

長中間赤外線用 高耐久メタルメッシュフィルタの開発

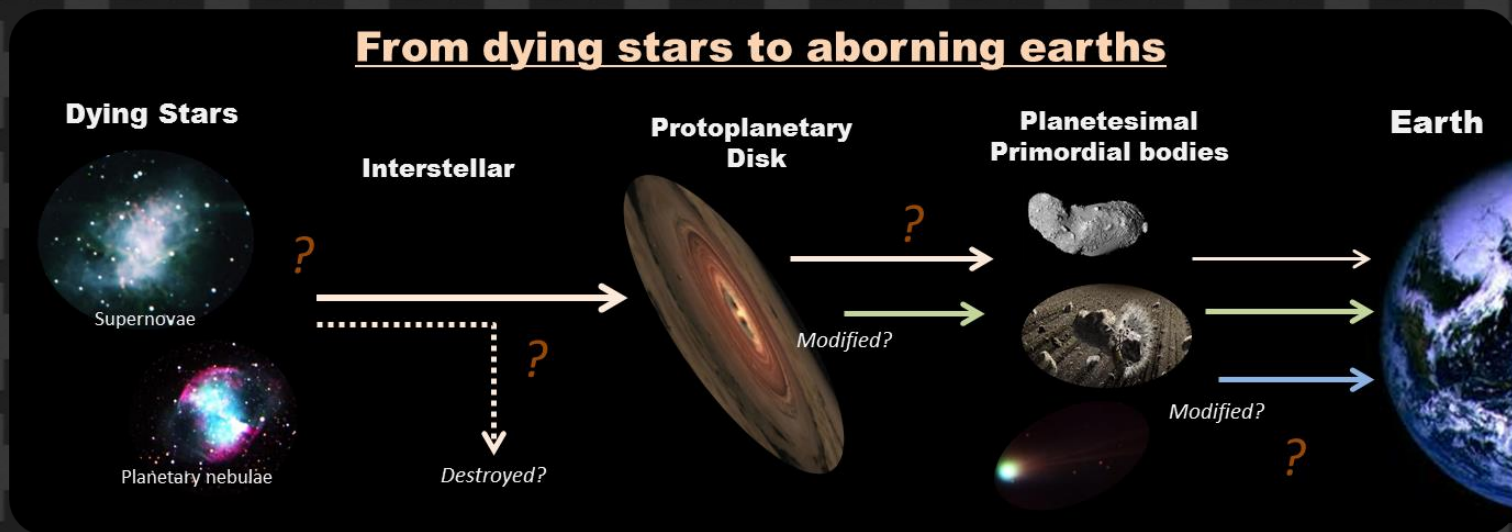
上塚 貴史 (東大天文センター・特任研究員)

宮田隆志、酒向重行、浅野健太郎、内山瑞穂、岡田一志 (東大天文センター)

和田武彦、中川貴雄 (ISAS/JAXA)、中村友彦、左近樹、尾中敬 (東京大学)

長波長中間赤外線天文学

- 長波長の中間赤外線: $\lambda = 25\text{--}40\ \mu\text{m}$
- 観測対象
 - 100K 程度の固体微粒子 (ダスト) の熱放射
 - 結晶質シリケート等の鉱物フィーチャー
- 宇宙におけるダストの形成・変性、惑星への成長を明らかに



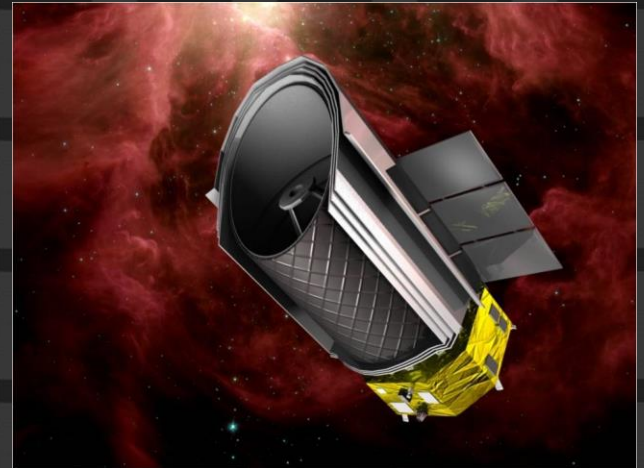
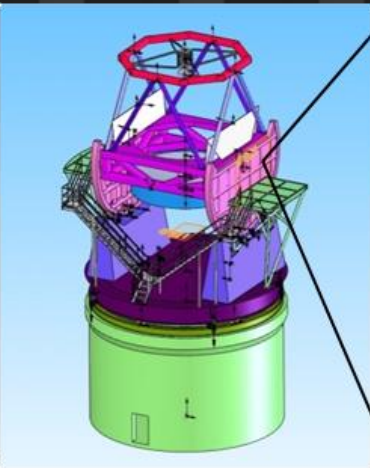
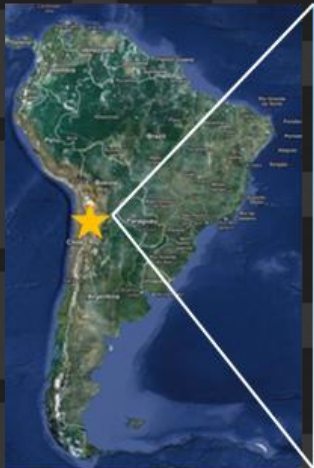
終末期天体から惑星形成までのダストの道のり

長波長中間赤外線天文学

限られた観測サイト

- 標高 5000m 以上の高地、南極
- スペース

→ 高空間分解能観測が不足する未開拓波長帯

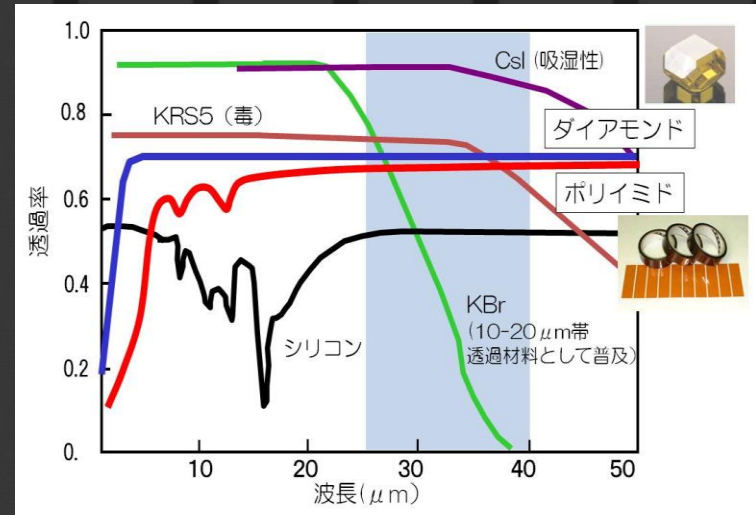


次世代の長波長中間赤外線観測を担う装置
(左: TAO 6.5m 望遠鏡・MIMIZUKU, 右: SPICA 衛星)

長波長中間赤外線バンドパスフィルタ

多層膜干渉フィルタの課題

- 光学材料の不足
- 冷却耐性の悪化
 - 膜厚の増加に起因



中間赤外線光学材料の透過率特性

他の種類のフィルタ

- サブ波長構造 (SWS) フィルタ
- **メタルメッシュフィルタ**



熱サイクルでクラックの入った多層膜干渉バンドパスフィルタ

メタルメッシュフィルタ

概要

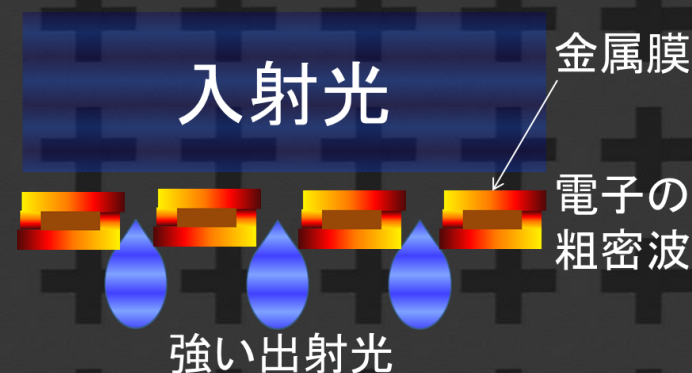
遠赤外線・電波の高効率バンドパスフィルタとして長く利用されている

構造

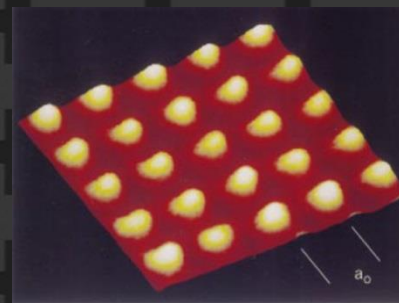
- 金属からなる
- 周期的に穴がある

動作原理

- 入射光と表面プラズモンが共鳴
 - 表面プラズモン = 電子の粗密波
- 特定波長の光の選択
- 穴部分への強い光の集中
- 穴のフィリングファクターの2-3倍の透過率



メタルメッシュフィルタの概念図



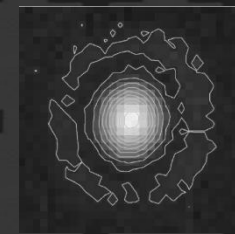
出射側の近接場光画像。
(Thio et al. 1999)

メタルメッシュフィルタ for miniTAO/MAX38

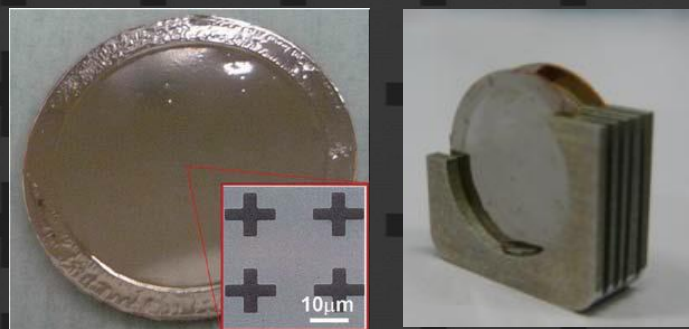
長波長中間赤外線への応用

- 穴の配置 (間隔・サイズ・形状) や
金属膜の厚みで透過バンド形状を制御
- 32, 38 μm の透過帯に合わせたフィルタを開発
miniTAO/MAX38 への搭載

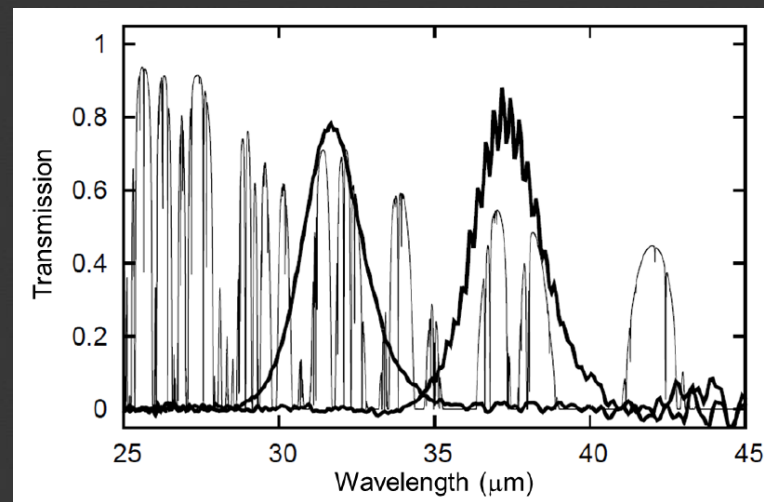
- 4枚重ね、狭帯域($\lambda/\Delta\lambda \sim 14$)・高阻止率化 ($<0.1\%$)
- 星像を乱さないことも確認



MAX38 32 μm 画像
(Sako et al. 2012)



MAX38 用メタルメッシュフィルタ



透過特性と大気透過率(Sako et al. 2012)

メタルメッシュフィルタ for miniTAO/MAX38

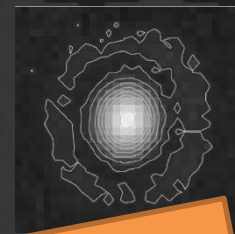
長波長中間赤外線への応用

- 穴の配置 (間隔・サイズ・形状) や
金属膜の厚みで透過バンド形状を制御

→ 32, 38 μm の透過帯に合わせたフィルタを開発

miniTAO/MAX38 への搭載

- 4枚重ね、狭帯域($\lambda/\Delta\lambda \sim 10$)
- 星像を飛ばす

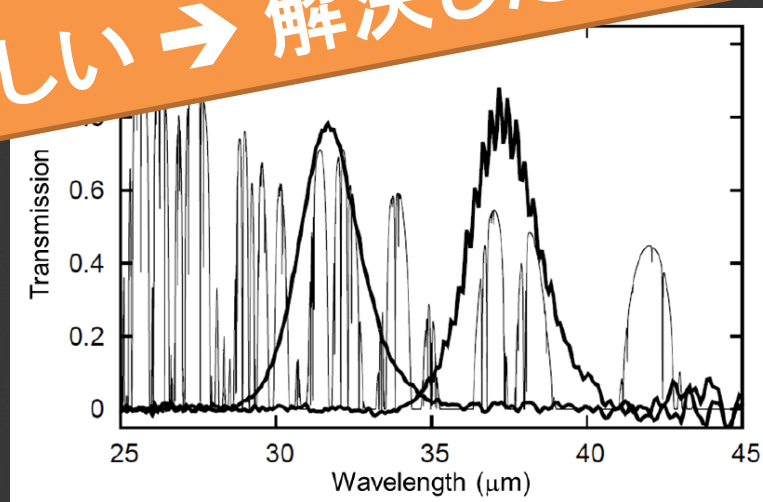


画像
(2)

金の薄膜 (2 μm 厚) でとても脆く扱いづらい!
スペースへの応用も難しい → 解決したい!



MAX38 用メタルメッシュフィルタ

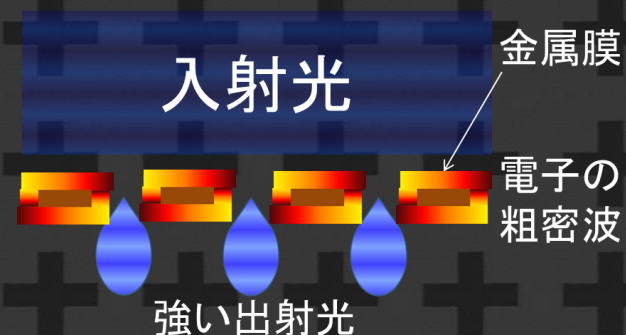


透過特性と大気透過率(Sako et al. 2012)

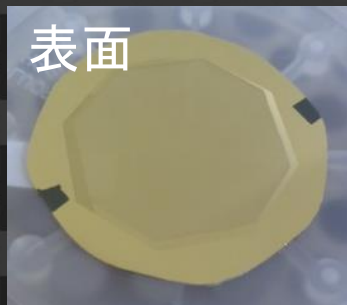
メンブレンメタルメッシュフィルタ

メタルメッシュフィルタを発展

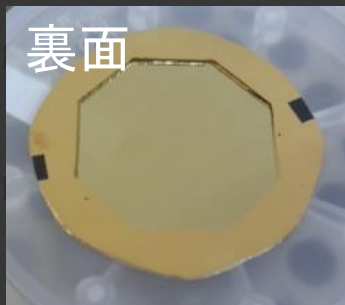
- 電子の流れる面は確保
 - 穴の長さも現在の物を維持
 - 金属膜である必要のない中身を補強
- 丈夫な SiC 膜にパターンニングし、金蒸着
→メンブレンメタルメッシュフィルタ



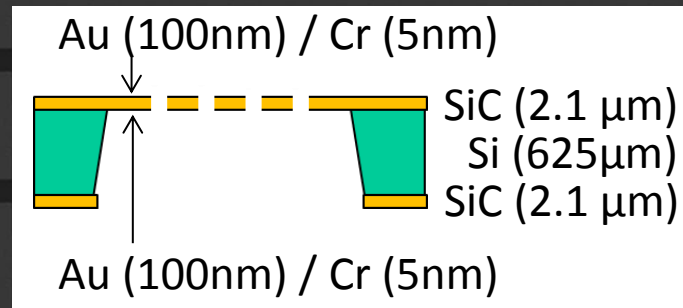
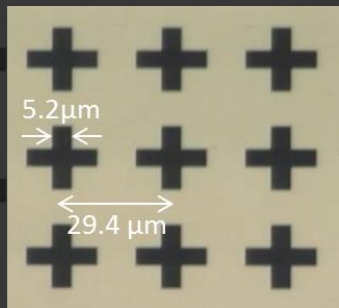
メタルメッシュフィルタの概念図



表面

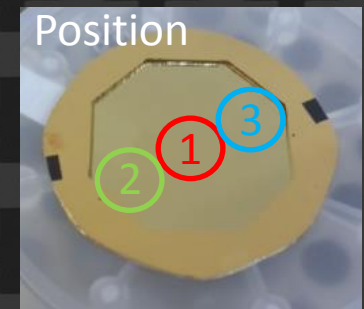
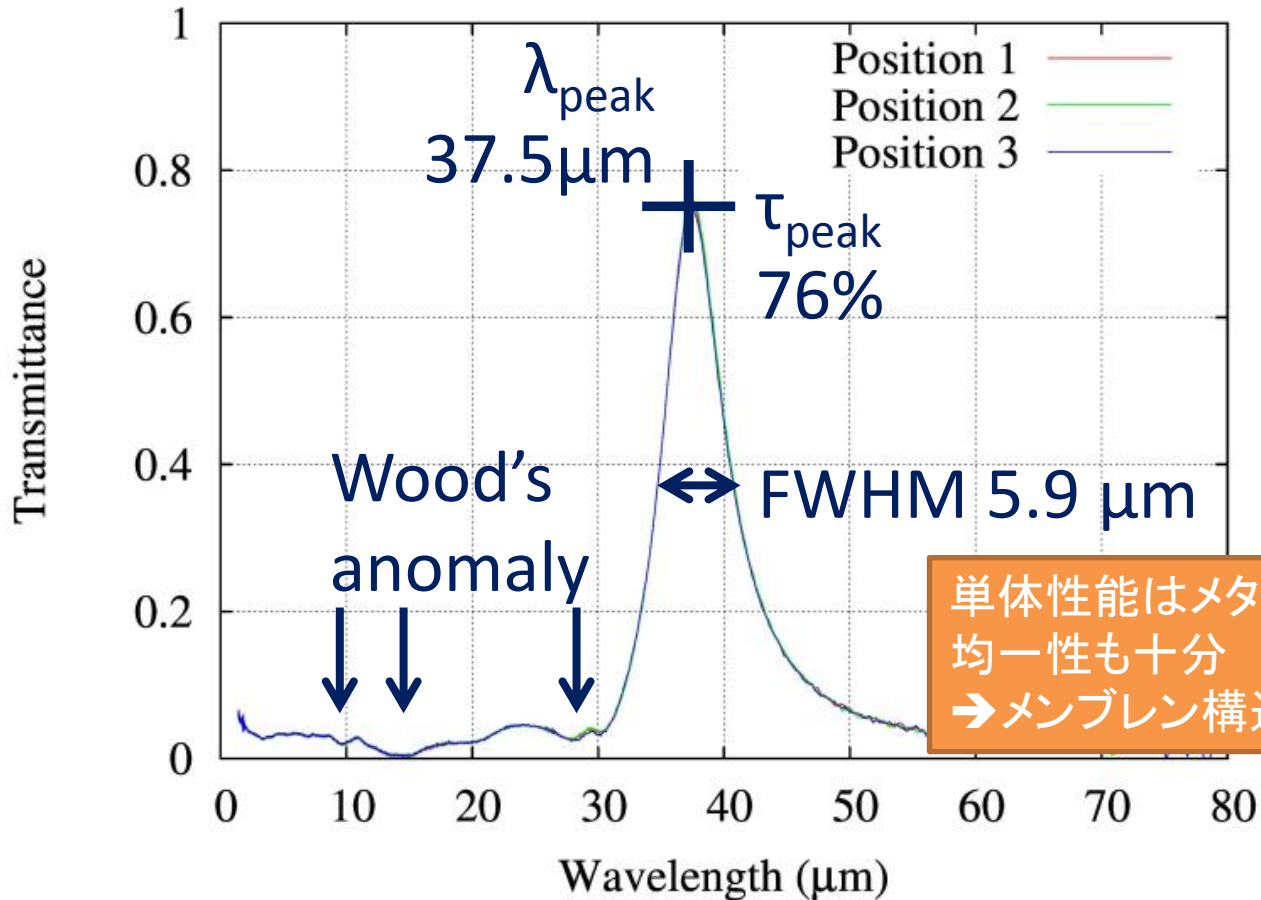


裏面



メンブレンメタルメッシュフィルタの構造
(外径 36mm, メンブレン領域 28mm 八角形)

光学特性



測定箇所は三つ

単体性能はメタルメッシュフィルタと同等
均一性も十分
→メンブレン構造の導入は問題ない

メンブレンメタルメッシュフィルタの透過率特性

耐久試験

メンブレンメタルメッシュフィルタの
スペース応用の可能性を検証

- 振動試験

- 打ち上げ時の振動に耐え得るか

- 冷却試験

- 極低温での使用に耐え得るか

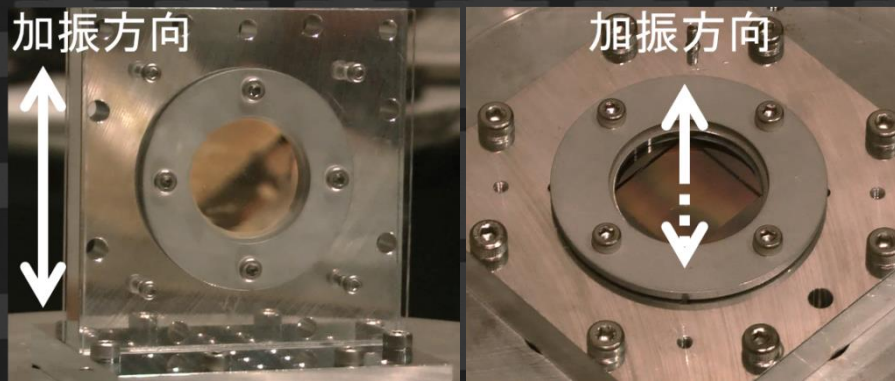
- 音響試験

- 打ち上げ時の音響負荷に耐え得るか

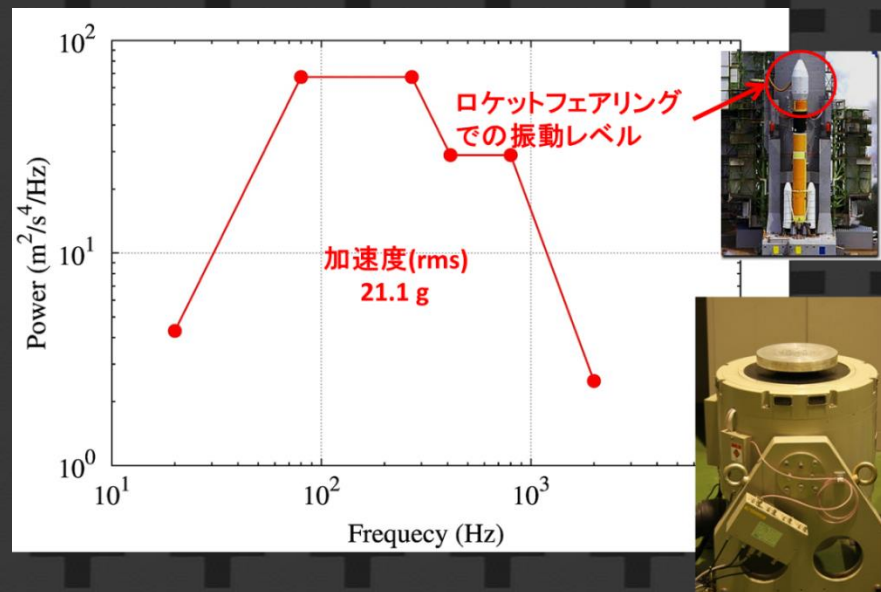
各試験の後、透過率測定試験を実施し、
光学特性に変化が無いかを調べた

振動試験

- JAXA 相模原キャンパスの小型振動試験器を使用
- ロケットフェアリングにおける振動レベルで加振
- フィルタ面に垂直・平行方向に、60秒加振
→壊れることはなかった



加振方向とフィルタセットアップ



加振パワースペクトルと小型振動試験器

冷却試験

- 東大天文センターの実験デュワーを使用
- 約 10K の温度に 1000 秒晒して昇温
→壊れることはなかった



固定ジグでフィルタを
セットし、保護銅板を
取り付けている

冷却試験に用いた実験デュワーの様子

音響試験

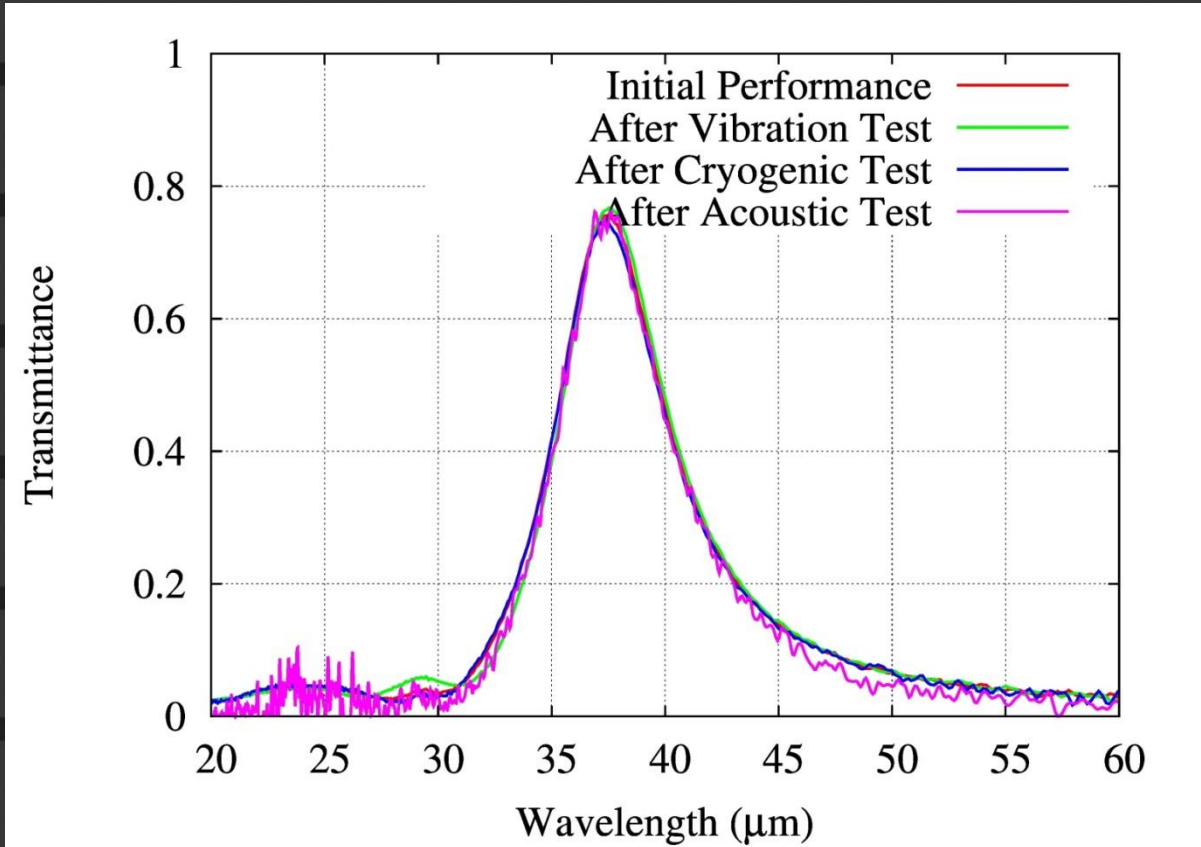
- JAXA 筑波宇宙センターの音響試験設備を使用
- イプシロンロケットで見込まれる音響負荷を45秒間かけた
→壊れることはなかった



音響試験設備 (写真は「きぼう」
ロボットアームコンソールの試験の物)

加音後のフィルタ・メンブレンサンプル

透過率比較



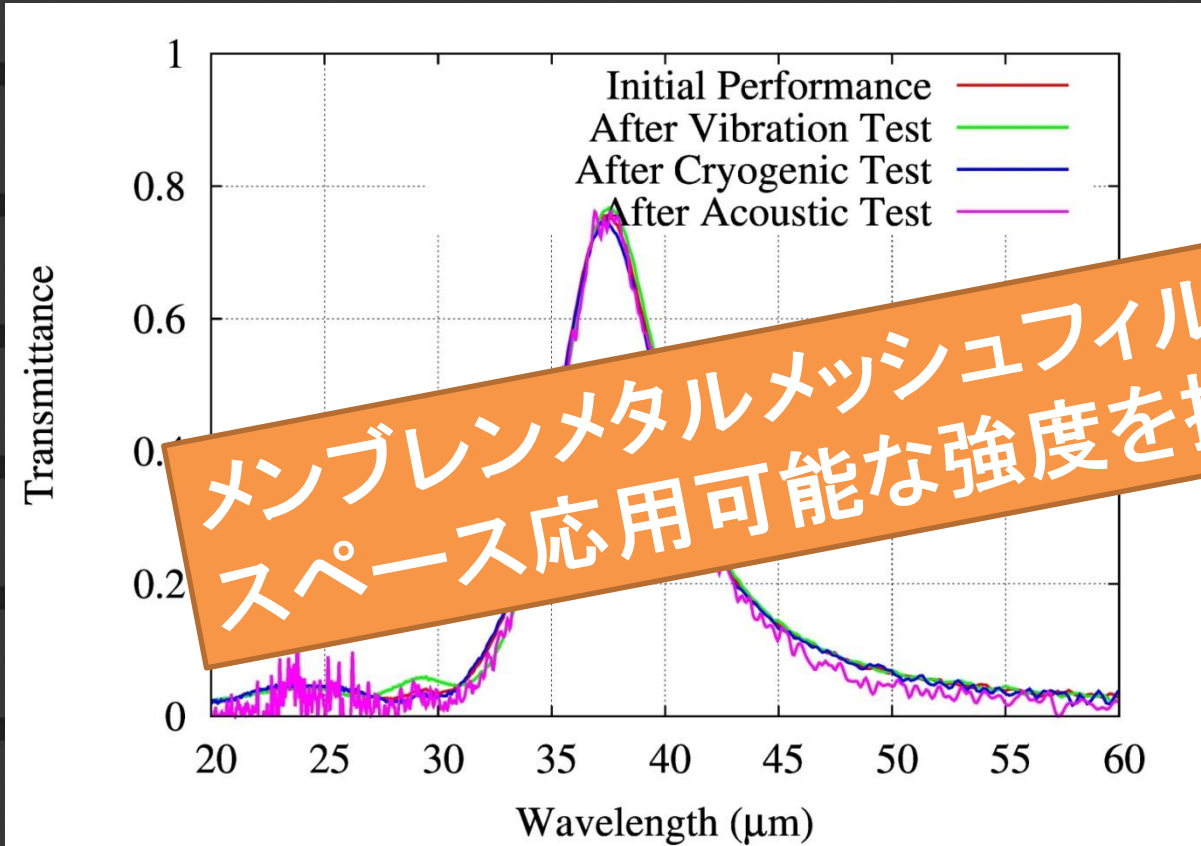
各試験後の透過率スペクトル

FT-IRにて測定

- Bruker IFS 125 (東大尾中研)
- BOMEM DA-8 (JAXA 相模原キャンパス)

どの試験後も、初期と同じ透過率スペクトルを確認

透過率比較



メンブレンメタルメッシュフィルタは
スペース応用可能な強度を持っている!!

FT-IRにて測定

• Bruker IFS 125
(東大工学部研)

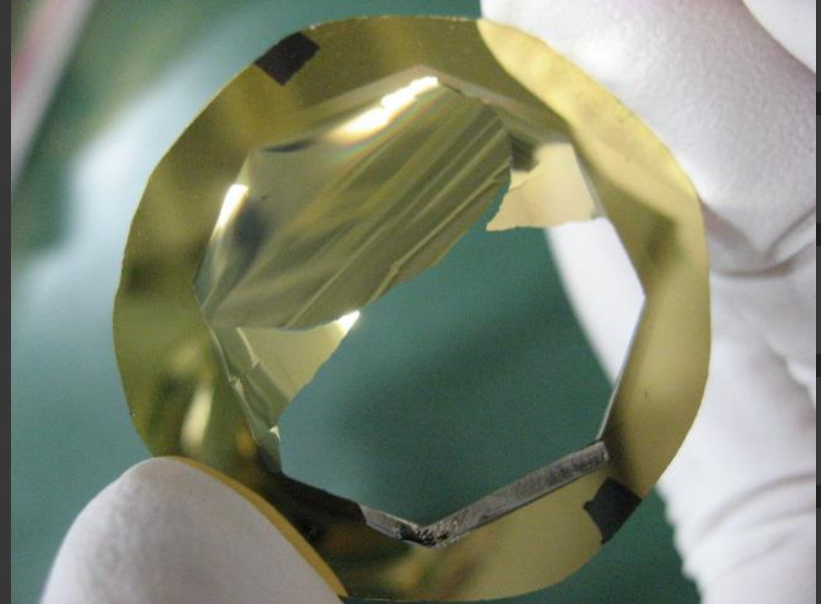
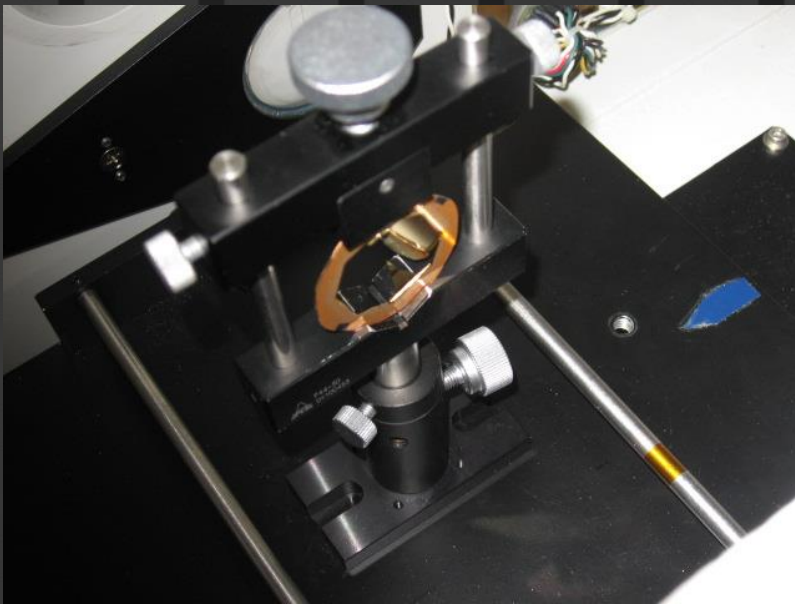
A-8
(原
キャンパス)

どの試験後も、初
期と同じ透過率ス
ペクトルを確認

各試験後の透過率スペクトル

急加圧による(?)破損

- 透過率測定の際、真空から常圧に戻すとフィルタが破損していた
- 直前の測定まで異常はない
→ 常圧に戻す際の風で破損？



破損したメンブレンメタルメッシュフィルタ

急加圧による(?)破損

- 透過率測定の際、真空から常圧に戻すとフィルタが破損していた
 - 直前の測定まで異常はない
- 常圧に戻す際の戻り圧

真空状態で打ち上げる装置には利用可能
打ち上げ時に急減圧する装置での利用には
さらなる改良が必要



破損したメンブレンメタルメッシュフィルタ

まとめ

メタルメッシュフィルタの強度の問題を解決し、スペース利用につなげるべく、メンブレンメタルメッシュフィルタを開発

- 光学特性はメタルメッシュフィルタと同等
- 10Kでの使用に耐えることを確認
- スペース用途に耐える振動・音響負荷耐性を確認
- 急な圧力変化には弱い可能性が判明

真空状態で打ち上げる装置には利用可能
打ち上げ時に急減圧を伴う装置への利用には、改良が必要