

# 多目的利用可能な規格帯域を 超えた高性能GHzフィルタの 設計・製造・性能評価

自然科学研究機構 核融合科学研究所  
ヘリカル研究部 プラズマ加熱物理研究系  
准教授 西浦 正樹

2023年2月9日

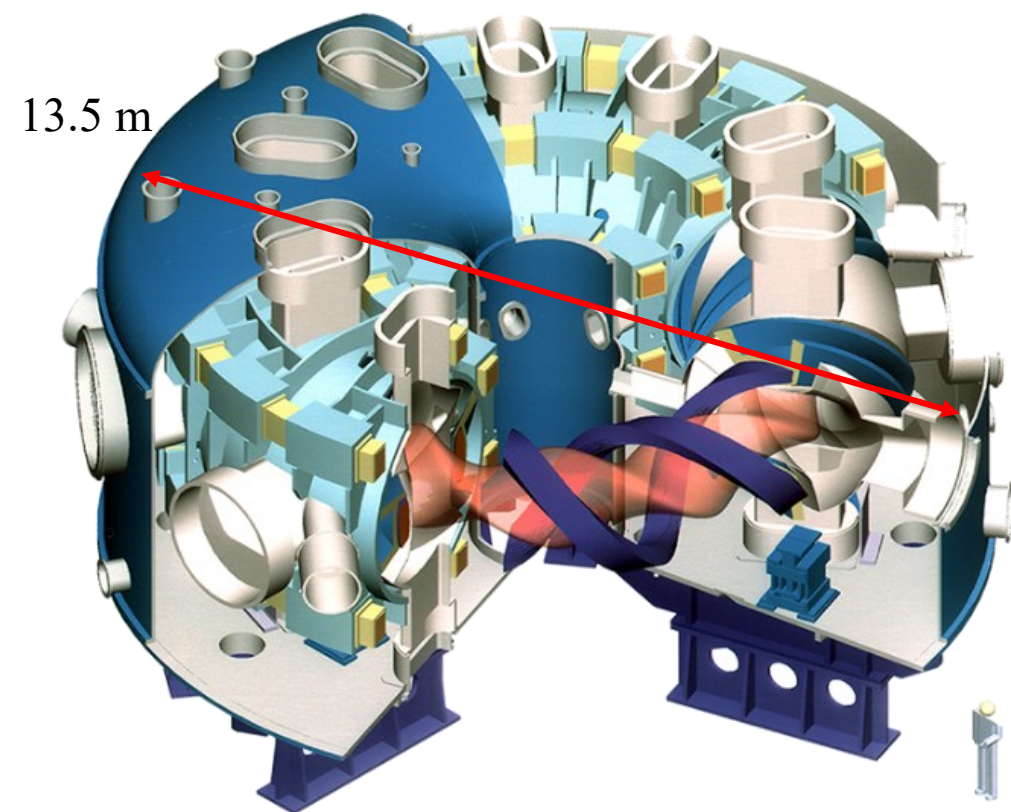
# 従来技術とその問題点

ミリ波は通信や計測分野で今後も広く利用されることが予想される。送受信回路に様々なミリ波コンポーネントが必要になるが、その中のフィルタ技術は信号調整に不可欠である。しかし、

フィルタの周波数特性が仕様を満たさない  
導波管の規格帯域外のノイズを除去できない  
等の問題があった。

# 従来技術とその問題点

例えば、一億度を超える核融合プラズマ計測の場合、ミリ波帯の電磁波輻射から温度を求める。

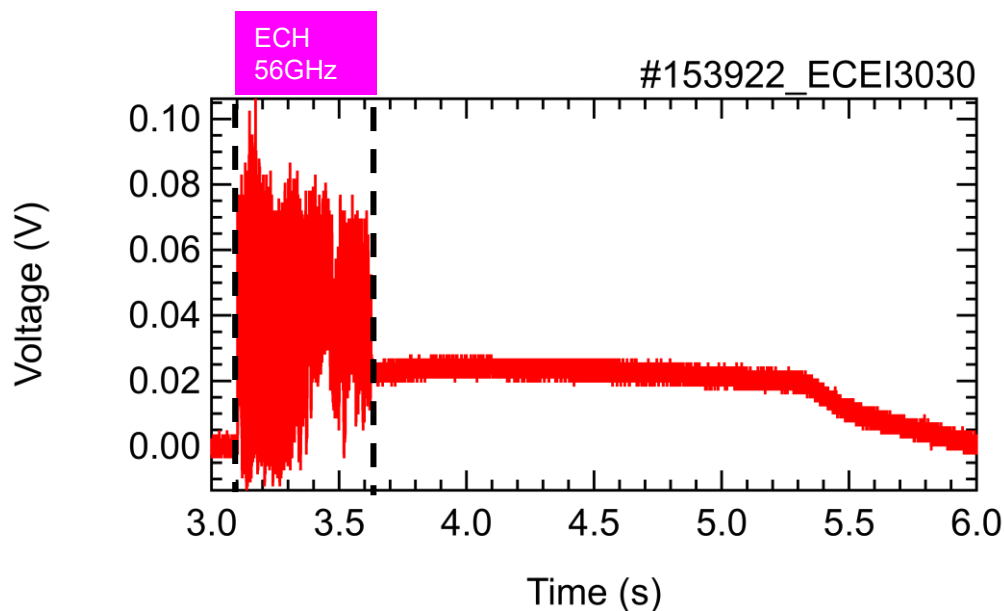


大型ヘリカル装置(LHD)



# 従来技術とその問題点

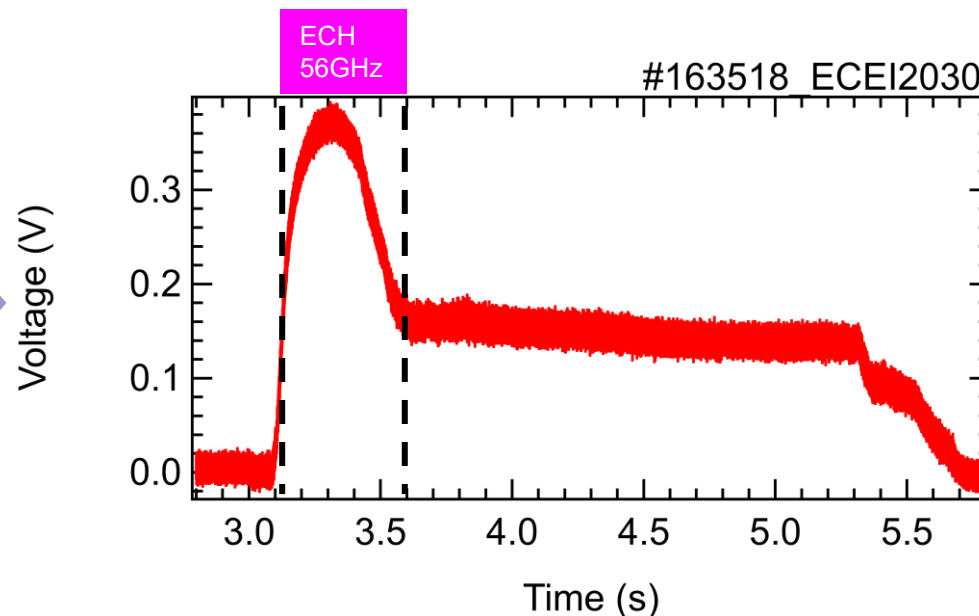
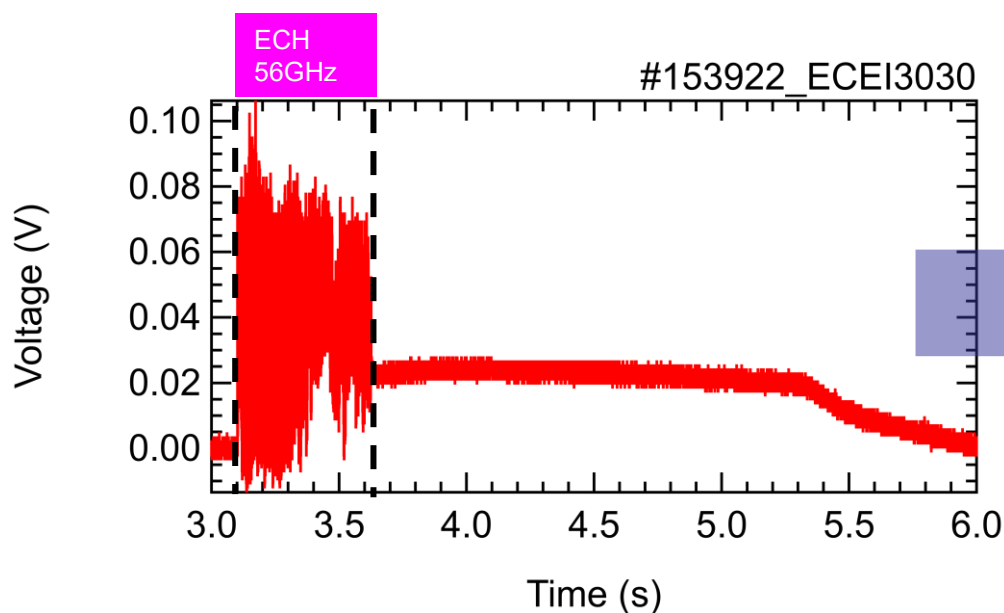
プラズマ生成・加熱のためにメガワット出力・ギガヘルツ帯の電磁波源（ジャイロトロン）を用いる。その電磁波がノイズとして信号に混入し、アンプゲインの低下やミキサの損傷等により、プラズマの温度計測が困難になる。



プラズマ中の電子温度の時間変化

# 従来技術とその問題点

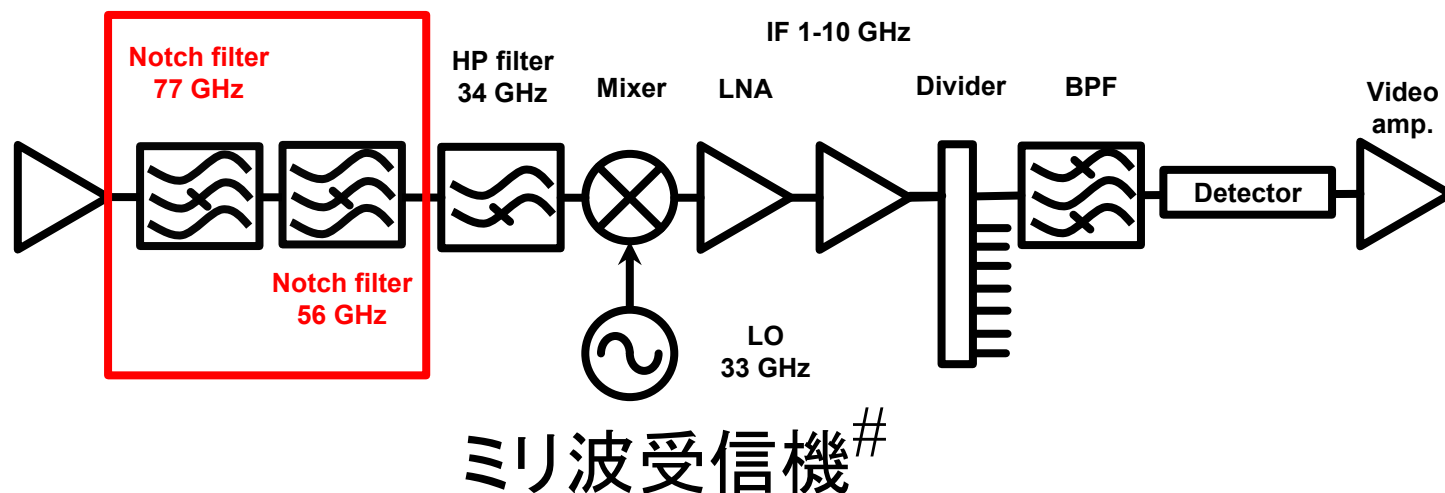
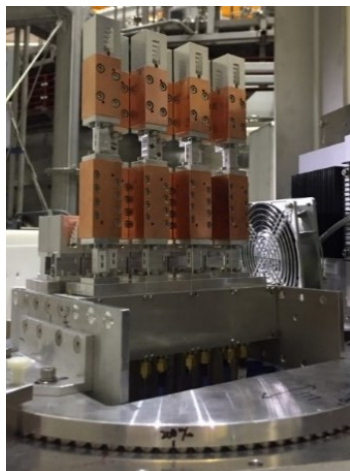
プラズマ生成・加熱のためにメガワット出力・ギガヘルツ帯の電磁波源(ジャイロトロン)を用いる。その電磁波がノイズとして信号に混入し、アンプゲインの低下やミキサの損傷等により、プラズマの温度計測が困難になる。



プラズマ中の電子温度の時間変化

新技術を適用

# 従来技術とその問題点



ミリ波受信機<sup>#</sup>

Qバンド帯域(33-50GHz)を計測する受信機は56GHz\*  
や77GHz\*\*の電磁波が容易に通過してしまう。そのため、  
56GHzや77GHzを阻止し、Qバンド帯は通過するQバン  
ドノッチフィルタが必要だが、そのようなフィルタは存在し  
なかった。

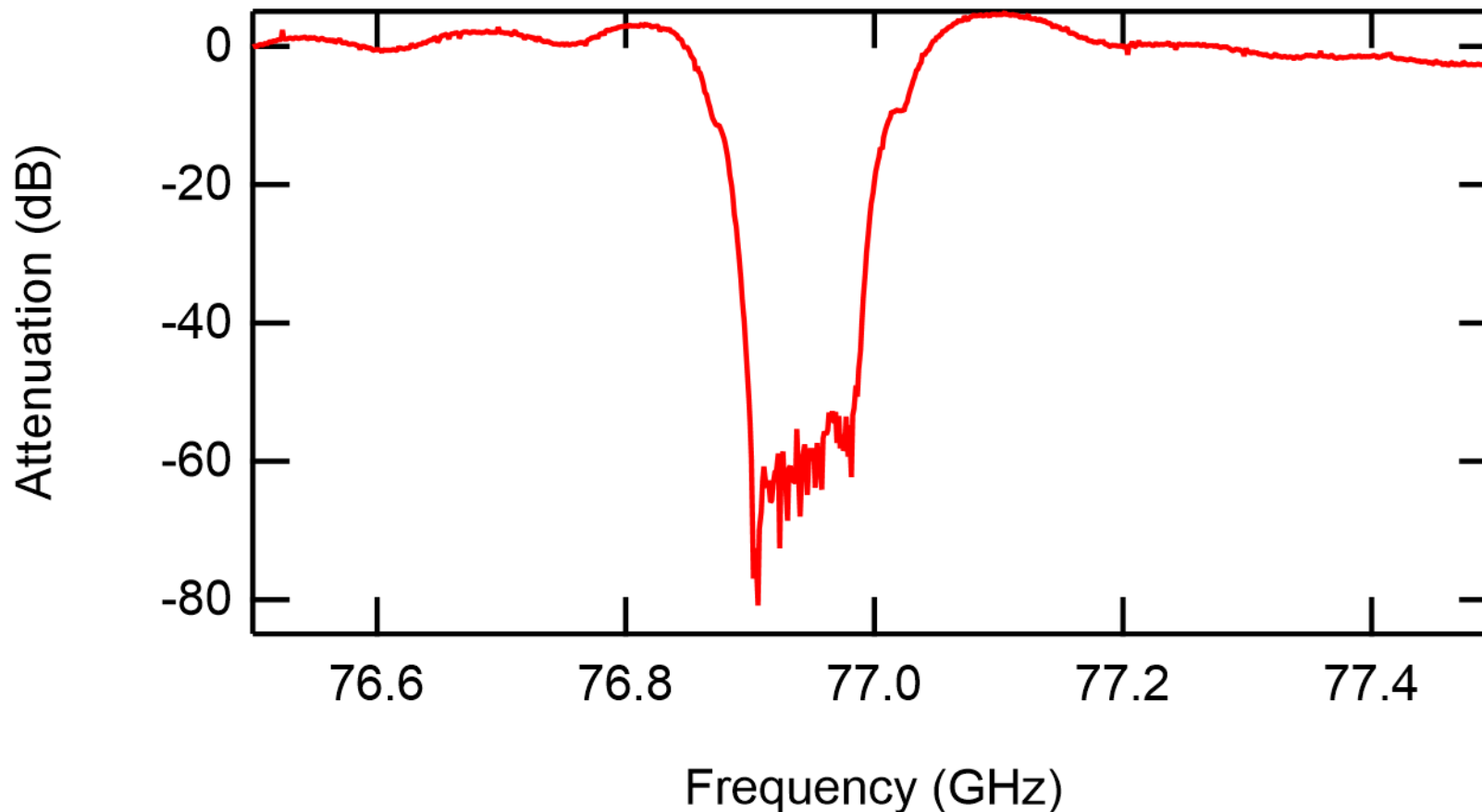
\*Vバンド帯(50-75GHz)

\*\*Eバンド帯(60-90GHz)

<sup>#</sup>M. Nishiura et al. Rev. Sci. Instrum 92, 034711(2021)

# 新技術の特徴・従来技術との比較

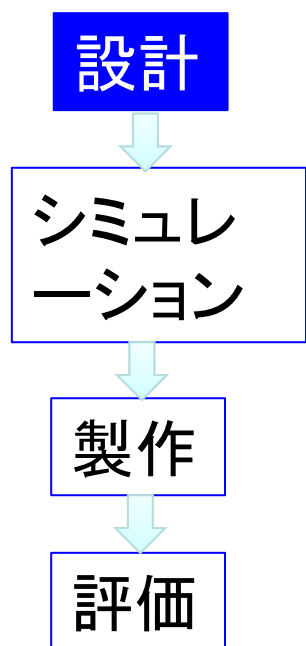
- 従来技術で、Eバンド76.95GHzノッチフィルタの製作。  
通過帯域は74-80GHzで低挿入損失。
- 超狭帯域( $\sim 200\text{MHz}$ 以下@3dB幅)を実現可能。



# 新技術の特徴・従来技術との比較

従来のノッチフィルタは、ある帯域内に阻止周波数を持つものに限られていたが、新技術を使うことで、帯域外まで阻止周波数を拡張することが可能になった。

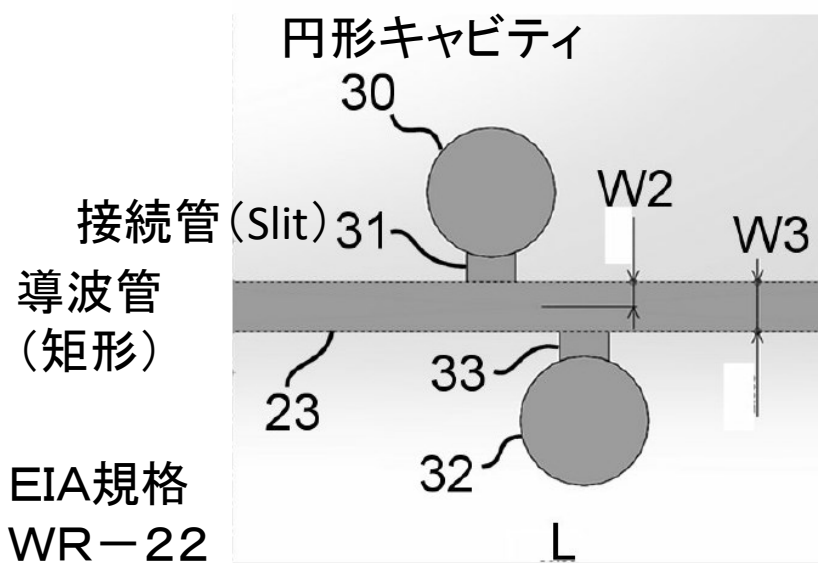
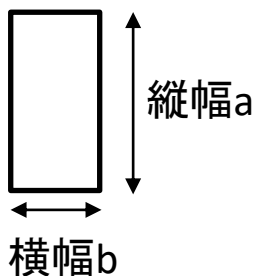
Q-band:33-50 GHz    W1 : 2.845 mm (Q-bandのTE10モードを考慮)  
U-band:40-60 GHz    W3 : 2.388 mm (U-bandのTE10モードを想定)



カットオフ波長

$$\lambda_c = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{n}{2b}\right)^2}}$$

TE10モードの場合、m=1, n=0  
a:導波管の縦幅(長辺)  
b:導波管の横幅(短辺)

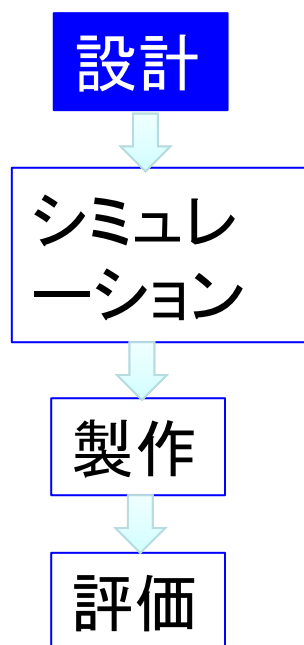


ノッチフィルタの内部を表す平面図



# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 円筒キャビティの電磁波モードを制御することにより、Q値を上げ、急峻なノッチを発生させることが可能になる。



TE<sub>111</sub>最低モードを使用

キャビティ長

$$l = \xi \frac{\lambda_g}{2} \quad \xi: \text{整数} \quad (1)$$

管内波長

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (\lambda_0/\lambda_c)^2}} \quad \lambda_0 < \lambda_c \quad (2)$$

カットオフ波長

$$\lambda_{c,mn} = \frac{\pi D}{v'_{mn}} \quad m=1, n=1 \quad \text{TE}_{mn} \text{ mode} \quad (3)$$

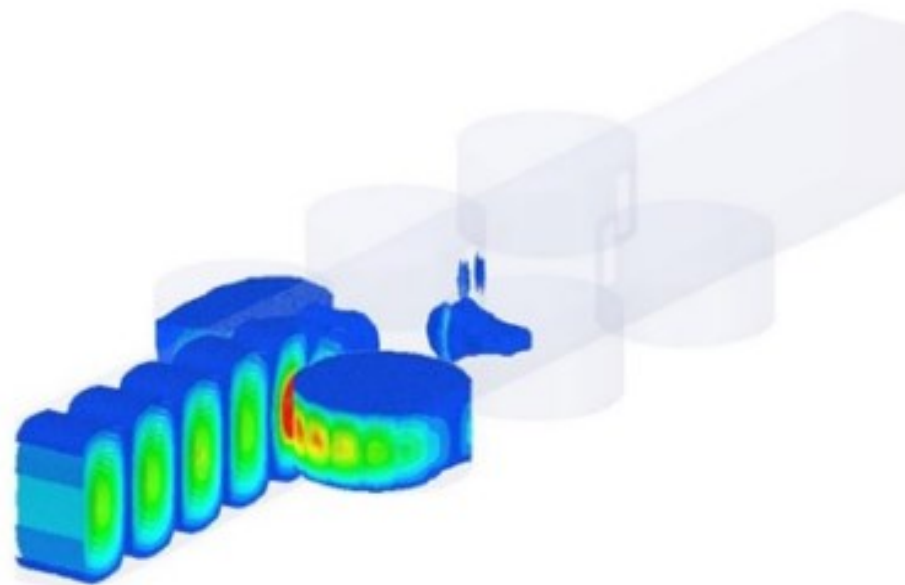
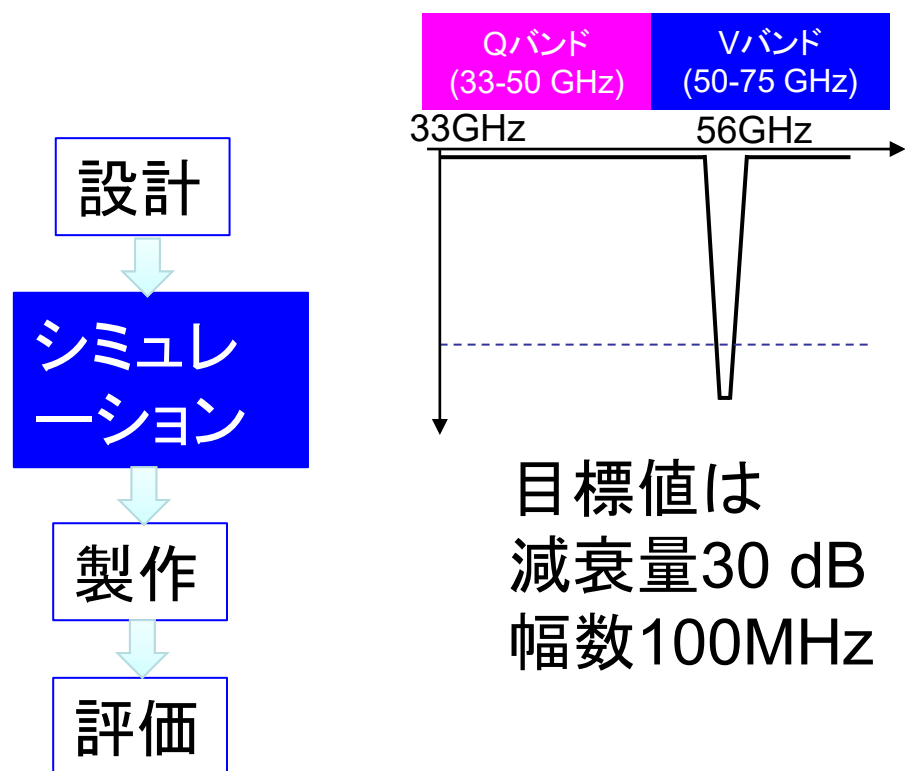
where  $v'_{mn}$  is the  $n$ th root of the derivative of the Bessel function  $J'_m(x) = 0$ .

キャビティ間距離

$$\Delta l = \frac{l_g}{4}(1 + 2N) \quad N: \text{整数} \quad (4)$$

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 電磁界解析シミュレーションによりフィルタの形状を最適化し、希望の周波数特性を得る。



電場強度分布

# 新技術の特徴・従来技術との比較

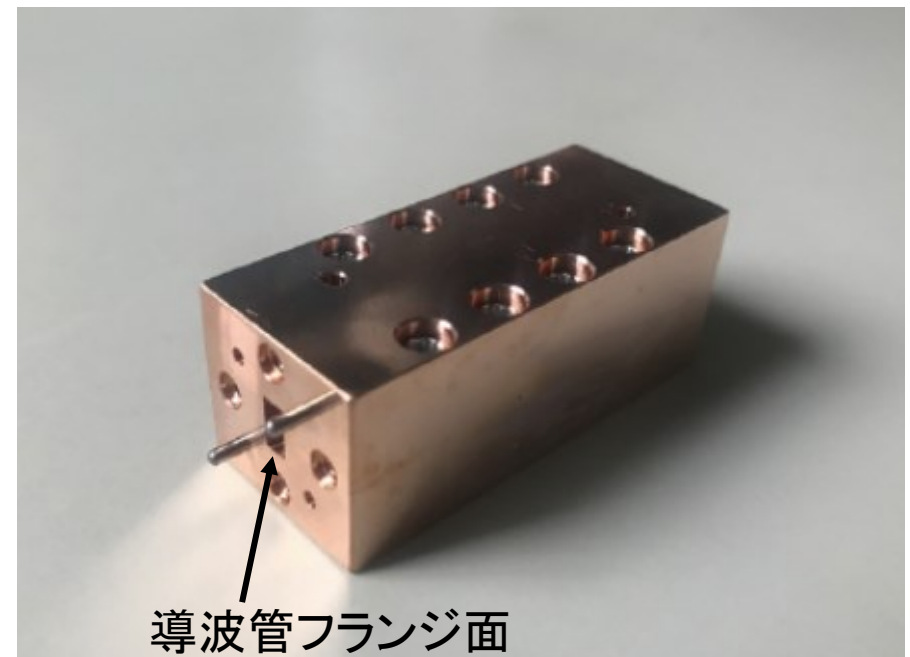
- 従来のノッチフィルタは、キャビティに周波数特性を調整するプランジャ(ピストン)を用いていた。
- 新技術ではプランジャを無くし切削のみで仕上げる。
- 小型化と工数削減を実現。

設計

シミュレーション

製作

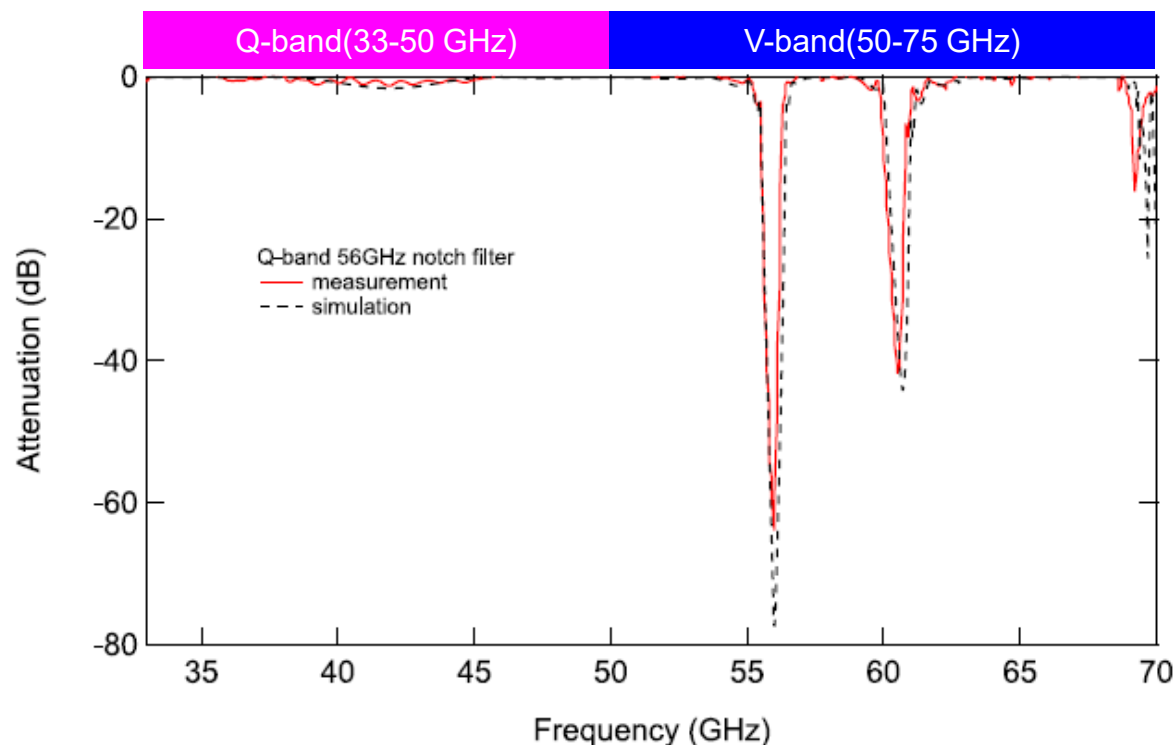
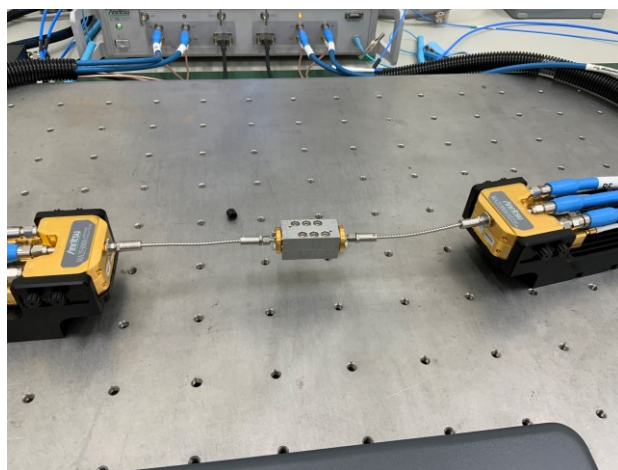
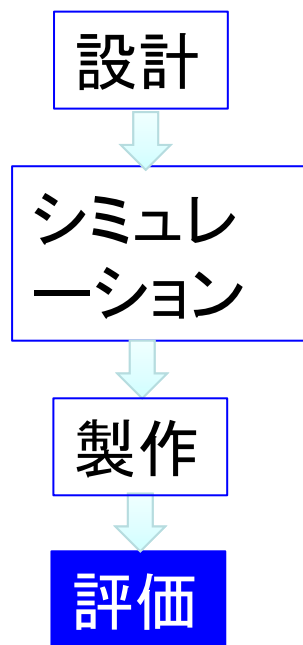
評価



# 新技術の特徴・従来技術との比較

従来のノッチフィルタは、ある帯域内に阻止周波数を持つものに限られていたが、新技術を使うことで、帯域外まで阻止周波数を拡張することが可能になった。

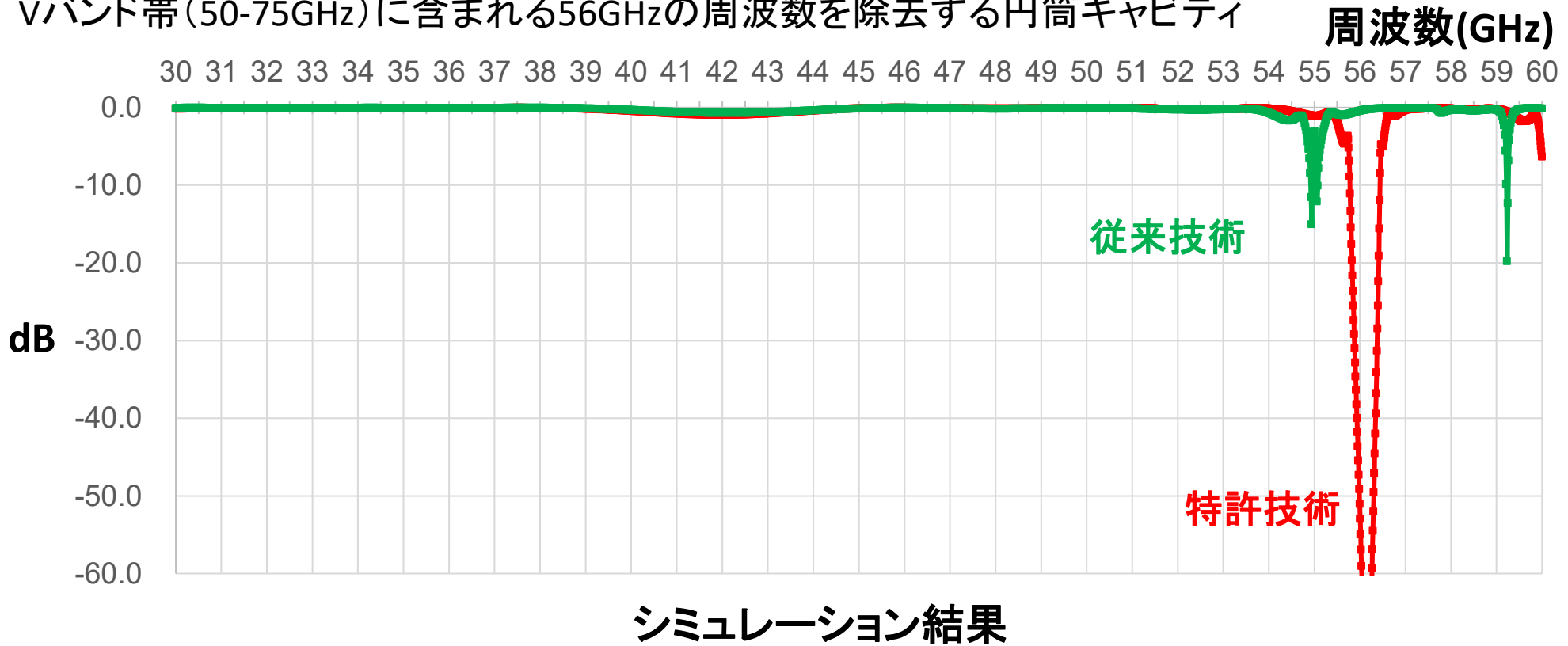
特許技術を用いたノッチフィルタの特性



# 新技術の特徴・従来技術との比較

Qバンド帯(33-50GHz)を通過させる矩形導波管+

Vバンド帯(50-75GHz)に含まれる56GHzの周波数を除去する円筒キャビティ

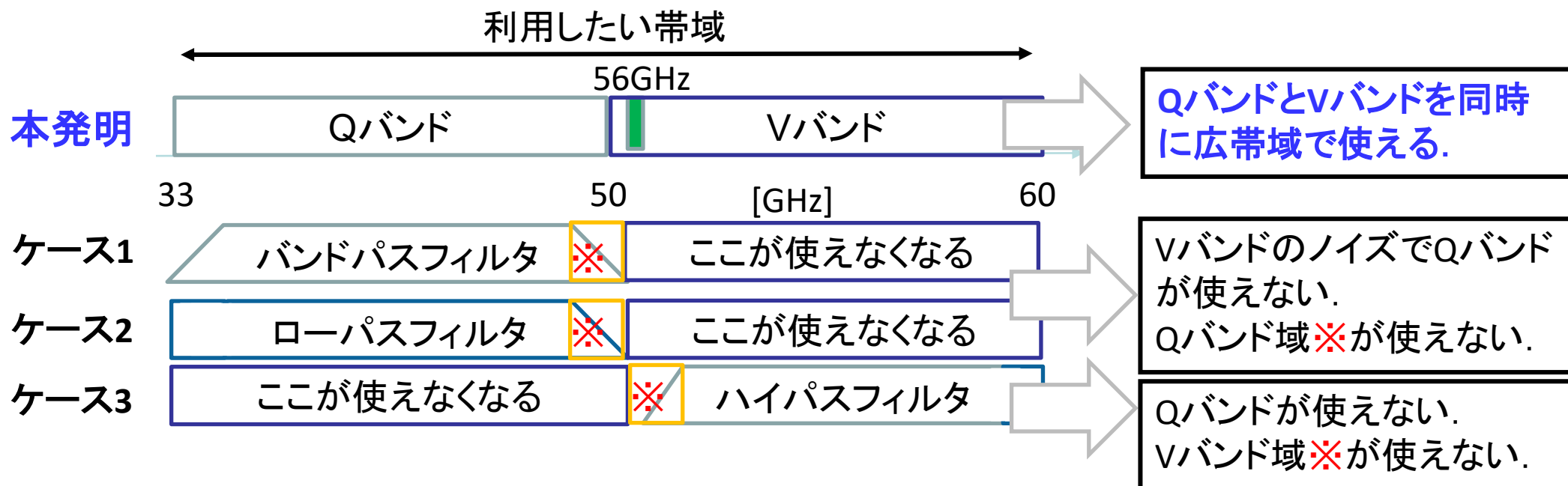


新技術により、規定周波数よりも高い周波数で高減衰量の急峻なノッチ特性を獲得

- 新技術の適用により、必要なミリ波周波数帯域を有効に活用できるようになる。

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 本発明技術と競合製品は今のところ見当たらない。
- 類似製品として、導波管の規定周波数内のノッチフィルタが多数存在する (100MHz以下の狭帯域を実現するのは難しいのではないか)。しかし、帯域外は先に示したように、ノッチフィルタとして機能しない。
- 本発明により以下を実現した。
  - Vバンドの強いノイズを除去し、Qバンドが利用可能となった。
  - QバンドとVバンドを同時に広帯域で利用できる。



- 本技術の適用により、必要なミリ波周波数帯域を有効に活用できるようになる。

# 新技術の特徴・従来技術との比較

	本発明	競合技術1	競合技術2	競合技術3	競合技術4
構成	導波管型 (キャビティ有)	導波管型 (キャビティ有)	導波管型 (矩形導波管の共振器)	同軸線路型	平面回路型(マイクロストリップ回路)
得られる特性	周波数帯:30-50GHz 通過特性:損失2dB以下 阻止特性: ・30dB以上 (キャビティ数を増やすことで減衰量の増大が可) ・56GHz±0.5GHz ・77GHz±1.1GHz	阻止特性: ・10dB程度 ・周波数制御困難 ・十分な帯域幅が得られない	周波数帯:90-210GHz 通過特性:損失40dB 阻止特性: ・85dB ・180GHz±30GHz	不明 数GHz以下なら良い特性が得られる	不明 20GHz以下なら良い特性が得られる
適用分野	計測器 通信機器 レーダ機器	計測器 通信機器 レーダ機器	計測器 通信機器 レーダ機器	計測器 通信機器 レーダ機器	通信機器 レーダ機器
その他	大きさ:20x20x50mm <sup>3</sup> 重量:170g 量産性:可 コスト:原料+加工	参考コスト: Eバンド77GHz狭帯域ノッチフィルタは 国外から600万円で購入		大きさ:小型 重量:軽量 量産性:良 コスト:量産時は低	大きさ:小型 重量:軽量 量産性:良 コスト:量産時は低

- 本技術の適用により、必要なミリ波周波数帯域を有効に活用できるようになる。

# 想定される用途

- ミリ波・サブミリ波で導波管を使う回路であれば、周波数帯域を拡張して利用でき、メリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、例えば、バンドパスフィルタBPF, ローパスフィルタLPF, ハイパスフィルタHPFと組み合わせることで、減衰特性の改善効果が期待できる。
- 本技術を用いた高性能ノッチフィルタは、スマートフォン基地局やネットワークアナライザなどの計測器、ミリ波レーダ等の用途に展開可能と思われる。



# 実用化に向けた課題

- 現在、特許技術を使ったノッチフィルタ(Qバンド56GHz、Qバンド77GHz)を開発済み。
- 従来のノッチフィルタ(Vバンド56GHz, Dバンド154GHz)を開発済み。
- 核融合研究で実装済み。他分野での幅広い活用が期待できるが、特許の技術移転が課題である。

表. これまでの機構内の利用実績

2020年度	仕様	個数
本特許技術 利用	Qバンド 56GHz	10
本特許技術 利用	Qバンド 77GHz	10
既存技術	Vバンド 56GHz	10
既存技術	Eバンド 77GHz	1
2021年度		
既存技術	Dバンド 154GHz	2
2022年度		
本特許技術 利用	Vバンド 77GHz	2
既存技術	Eバンド 74.6GHz	1

# 企業への期待

- ミリ波技術を有する企業との共同研究により、本技術の利用、システムへの組み込み、技術課題の解決のための技術指導を希望する。
- また、ミリ波を利用する通信分野（スマートフォン基地局、衛星通信）、レーダ（気象、計測、車）、ミリ波センサ（医療、土木、計測）の他、様々な分野への応用展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。
- 本技術の外国特許出願を準備している。海外展開を視野に入れている企業へのライセンス供与を希望する。

## 本技術に関する知的財産権

- 特許第7197956号
- 発明の名称 : ノッチフィルタ
- 出願番号 : 特願2022-533132
- 特許権者 : 自然科学研究機構
- 発明者 : 西浦正樹、清水貴史、  
小林策治、久保伸

## 産学連携の経歴

- 2014年ー 企業と共同研究(ポッケルス素子を使ったRF電界計測器の開発\*)
- 2020年 特許出願
- 2021年 JST特許出願支援採択
- 2022年 PCT出願、日本国内での特許取得  
受託研究、企業との共同研究の研究代表者の経験有り。

\*M. Nishiura et al. Review of Scientific Instrum 88(2017)023501.

# お問い合わせ先

**自然科学研究機構事務局研究協力課**

**TEL 03-5425-1316**

**FAX 03-5425-2049**

**e-mail [nins-sangaku@nins.jp](mailto:nins-sangaku@nins.jp)**