

導波管型周波数可変バンドパスフィルタの製作

○加藤渉^{A)}、小林和宏^{B)}

A) 装置開発技術支援室 極限環境機器開発技術グループ

B) 装置開発技術支援室

概要

テレビやラジオなどでも広く使われているヘテロダイン受信機は、周波数変換の際にノイズが生じる。天文観測に使用されるミリ波帯においても同様で、バンドパスフィルタ(BPF)によってノイズの低減をしている。従来の BPF は導波路部分が一体構造のため、カットオフ周波数を変更することはできない。今回製作した BPF はこれが可変となるような構造に設計されたもので、当室のマシニングセンタを用いて加工した。材料は真鍮を使用した。

1 BPF の構成

- 1.1 今回製作した BPF は図1のようになっており、ハイパスフィルタ (HPF) とローパスフィルタ (LPF) から構成されている。



図1. 製作した BPF

1.2 HPF

HPF は図2で示す5点の部品を組付けている。図3で示すように、本体は20mm×20mm×厚さ10mmの上下の2部品から成り、それぞれに1.27mm×1.27mmの溝がある。HPF上の溝の一部には可動壁（図4）が挿入されており、マイクロメーターヘッドの制御によって上下に駆動する仕様になっている。本体の上下を組付けることで溝部形状は1.27mm×2.54mmの導波路（図5）となる。可動壁を制御し、2.54mmから任意の寸法にすることで、カットオフ周波数も変化させることができる。また、可動壁には性能向上を目指したステップ構造が設けられている。

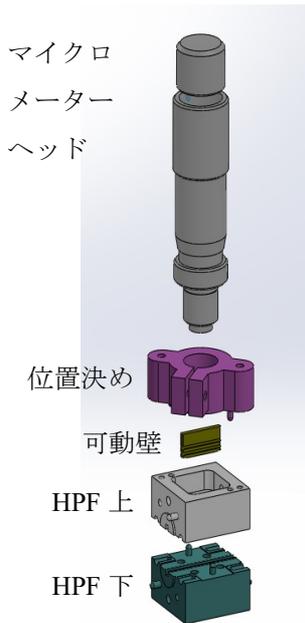


図2. HPFの概要

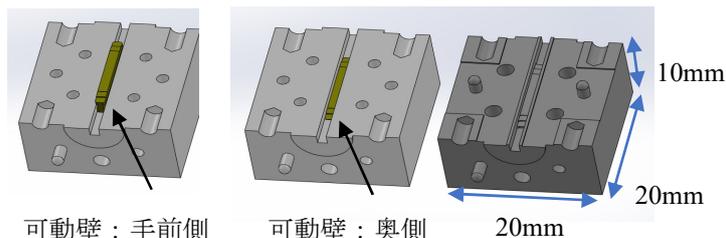


図3. HPF本体と可動壁の駆動イメージ

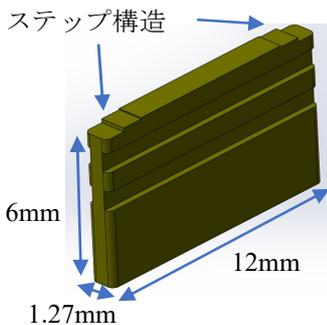


図4. 可動壁

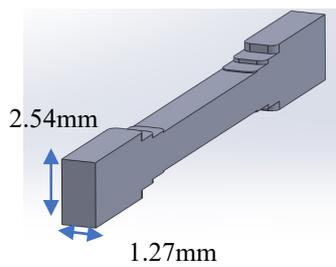


図5. 導波路のイメージ

1.3 LPF

LPFも類似の構造をしているが、可動壁が4つ挿入されている。また、0.2mmのスリット（90度ハイブリットカプラ）が設けてある。HPFとLPFを図1のように組み合わせることで可変BPFとなる。

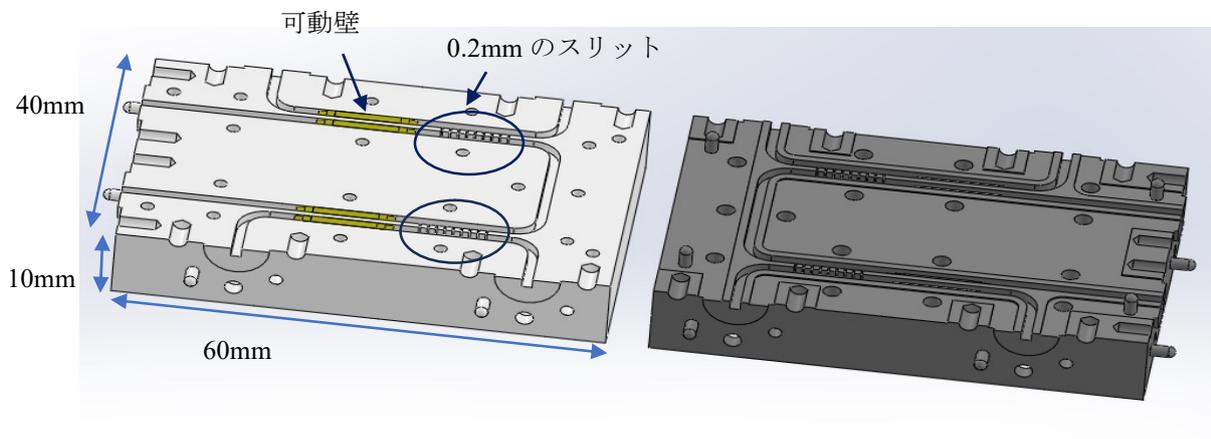


図6. LPFと可動壁

2 加工

2.1 加工機

加工の大部分は5軸加工機を使用した。可動壁の輪郭はワイヤー放電加工機を使用した。



図7. 5軸マシニングセンタ

ヤマザキマザック VARIAXIS j-500/5X

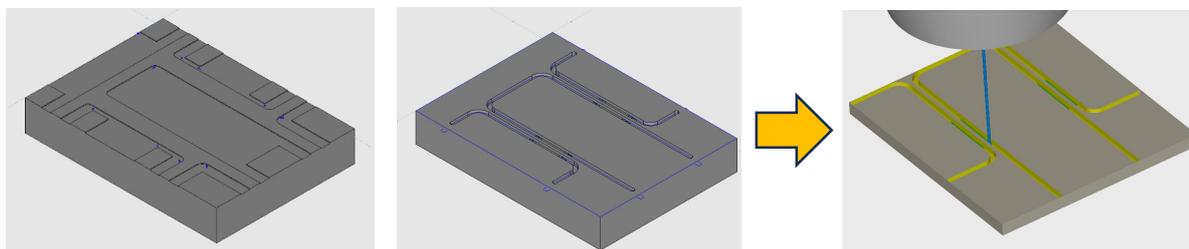


図8. ワイヤー放電加工機 Fanuc α-lid

2.2 加工プログラム

複雑な形状部分は、当室で保有しているCAM(OneCNC)を用いてプログラム作成した。刃物径、回転数、送りなどの切削条件を入れ、CADデータをもとにしたプログラムを作成するので、削り残しなどが起こりにくい。

他の部分の加工は、Gコード(幅0.2mmのスリット部)や5軸加工機内蔵のマザトロールでプログラムを作成した。



データ編集 溝以外(CAD)

データ編集 溝部(CAD)

プログラム作成(CAM)

図9. CAMによる加工プログラムの作成

2.3 導波路の加工工具

導波路の加工は日進工具製のエンドミルを使用した。φ0.2 や φ0.6 の微小径のエンドミルをしようするため、高速スピンドルを5軸加工機に取り付けて加工した。加工条件を表1に示す。

型式	工具径[mm]	回転数[rpm]	送り[mm/min]	Z 切り込み[mm]	加工場所
MHR230	φ0.2	40,000	180	0.006	スリット
MHR230	φ0.6	25,000	380	0.018	導波路(深部)
NCM-2	φ0.6	50,000	80	0.15	導波路

表 1. 導波路の加工条件

最初にマシニングセンタで HPF 上下の加工を行った。次に、完成した HPF 上に開いている四角形の穴を顕微鏡で測定し、穴と可動壁の隙間が 0.005mm になることを目標にワイヤーカット放電加工機で可動壁を製作した。わずかに引っかかるときもあり、サンドペーパーでの調整を要した。

3 組付け

3.1 組付け

マイクロメーターヘッド(3つ)、LPF 上下、HPF 上下の位置合わせには φ1.55 の位置決めピンを用いた。可動壁とマイクロメーターヘッドの固定は接着剤を使用した。LPF には可動壁が 4 つあり、それぞれの距離が近いので、1 つのマイクロメーターヘッドにつき 2 つの可動壁を接着した。マイクロメーターヘッドを操作することで可動壁が駆動する様子を顕微鏡で観察することができた。

3.2 測定

依頼者が実験したところ、シミュレーションに近い結果(図 10)が出ており、BPF として機能したとの声をいただいた。しかし、更なる周波数特性向上を求め、①アクチュエータによる制御、②ステップ構造の追加を施したモデルを製作・評価中である。

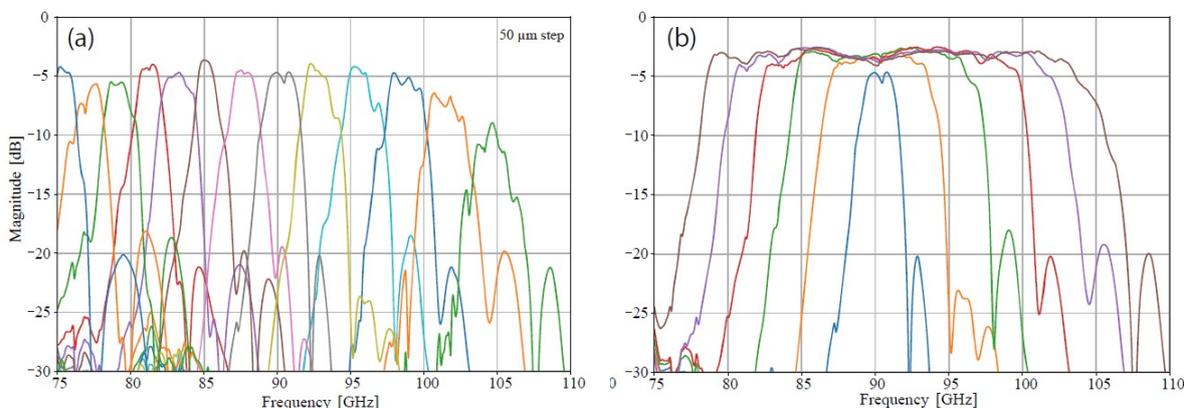


図 10. 測定結果

4 今後の指針

4.1 アクチュエータによる制御

マイクロメーターヘッドより細かい制御をするため、アクチュエータ(日本レーザー：M3-L)を用いて HPF を改造した(図 11)。可動壁の裏面に M1 ねじを追加し、アクチュエータと接続した。アクチュエータの位置分解能は $0.5\mu\text{m}$ で推力が $0.2\text{N}(0.02\text{kgf})$ だったため、マイクロメーターヘッドでは動かしていたものが、アクチュエータにすると動かすことができなくなった。軸位置の微調整や、研磨剤を用いて引っかかる部分をなくすことで滑らかに動くようになった。依頼者が測定した結果、HPF として機能するとのことだった。

LPF や他モデルの HPF についても同様の方式を展開していく可能性がある。

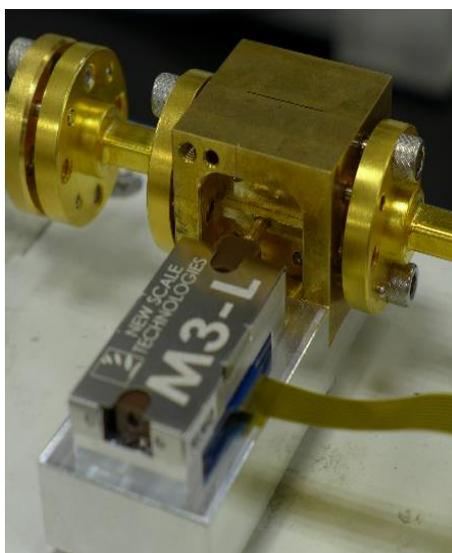


図 11. HPF 試作機

4.2 ステップ構造の追加

導波路の短辺方向にもステップ構造を追加した可動壁を製作した(図 12)。真上から見ると今までは単純な四角形(四隅は $R0.3$)だったが、ステップ構造が追加されたため、段差ごとに R が付いた。また、側面にも段差(チョーク)部分も追加されている。加工・納品は済んでおり、依頼者が評価中である。

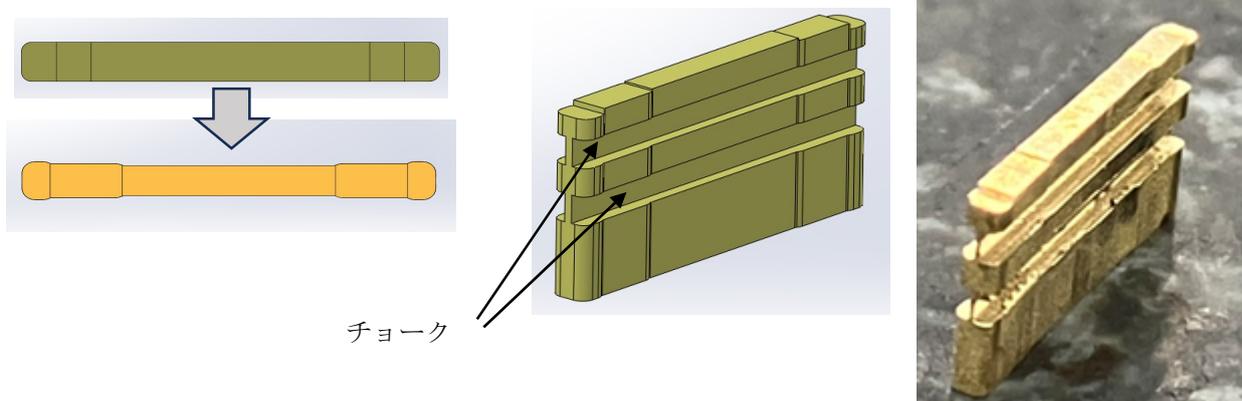


図 12. 新たに製作した可動壁