

導波管型帯域分離フィルターの製作

○大西崇文^{A)}、鈴木和司^{A)}

^{A)} 教育・研究技術支援室 装置開発技術系

概要

星の生誕を探求する電波天文学や地球大気環境観測ではミリ波、サブミリ波と呼ばれる周波数の高い領域の電波信号が用いられるが、ミリ波、サブミリ波を直接増幅する増幅器は存在しない。信号の増幅には、受信したい信号と周波数が少し異なる信号を混ぜ、周波数の低い信号を作り、それを増幅させるのが一般的である。しかし、この手法では装置が複雑化し、不安定性が増加するという問題点がある。今回製作した導波管型帯域分離フィルターは、導波管回路を利用して、必要な帯域の電波信号のみを出力するように設計されたフィルターであり、これを用いることにより、装置を簡略化することができる。ここではマシニングセンタを使用した 100 GHz 帯の導波管型帯域分離フィルターの製作について報告する。

1 導波管型帯域分離フィルター

図 1 に製作した導波管型帯域分離フィルターの外観写真を示す。フィルターは図 2 に示すように左右対称の導波管回路をもつ二つの部品で構成されており、それらが向かい合わせにねじ固定されている。全体の大きさは縦 24.8 mm、横 52.4 mm、高さ 20 mm であり、中を通る導波管の大きさは、高さ 2.54 mm、幅 1.27 mm である。フィルターは冷却して使用するため、熱容量を減らす目的で、導波管回路の反対側の面は深さ 6 mm くり抜かれた形状となっている。材料にはアルミニウム合金 A6061 を用いた。

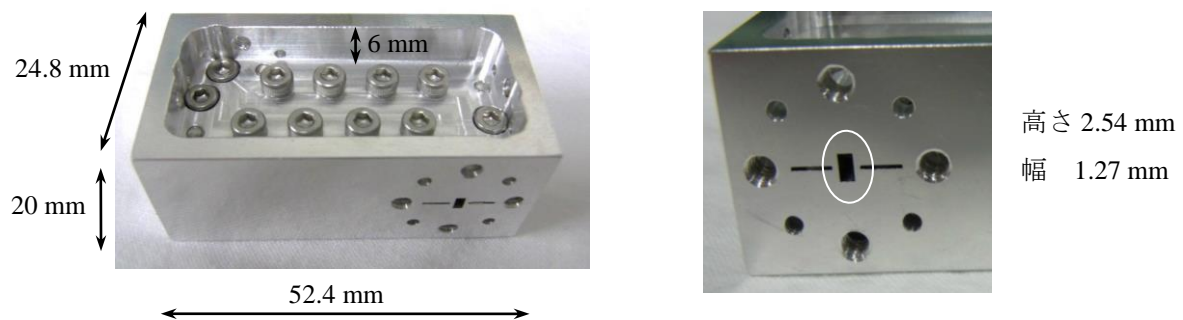


図 1 導波管型帯域分離フィルター外観

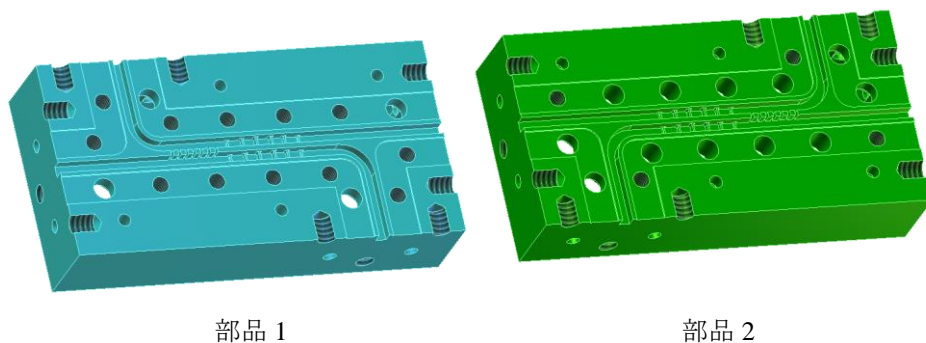


図 2 部品の形状

図3に今回製作した導波管回路を示す。図3の色をついた部分が導波管回路である。導波管回路以外には、位置決め用のピン穴と、固定用のねじ穴がある。固定用のねじ穴のある面は、組立てる際に接触面の圧力を増やして導波管部分の隙間を少なくするため、周囲よりも0.2 mm低くなっている。導波管回路には、ハイブリッドカップラとバンドパスフィルターが組み合わされており、図4および5にそれぞれの寸法を示す。

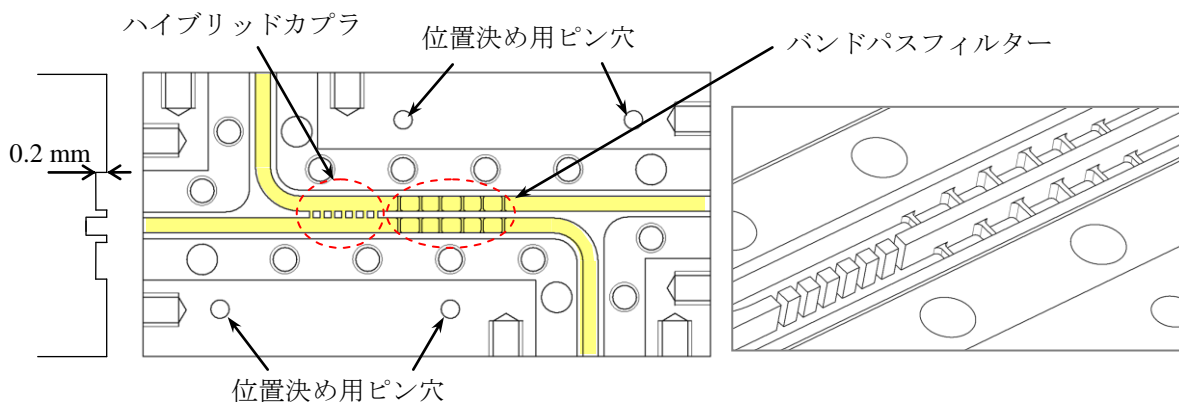


図3 導波管回路



図4 ハイブリッドカップラの寸法

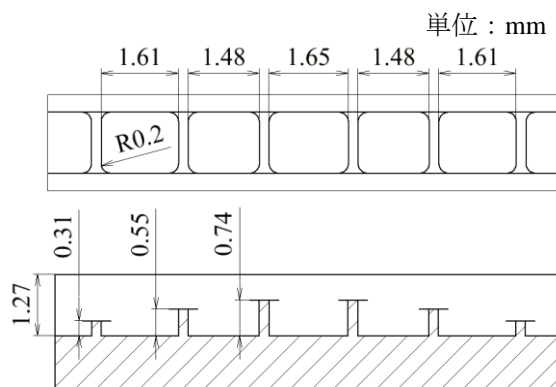


図5 バンドパスフィルターの寸法

2 加工手順

加工手順（図6）を以下に示す。

- (1) 裏側のポケット加工
- (2) 固定用ねじ穴加工
- (3) ねじ部の深さ 0.2 mm の溝の加工
- (4) 導波管回路の加工
- (5) 向かい合わせに固定し、側面を 4 面加工
- (6) 側面のピン穴とねじ穴加工

加工には図7に示すマシニングセンタ（東芝機械社製 JRV 40E）を使用した。裏側のポケット加工には、3D-CAD のデータを CAM ソフト（OneCNC 社製 XR5）で読み込んで作成した加工プログラムを使用し、導波管回路

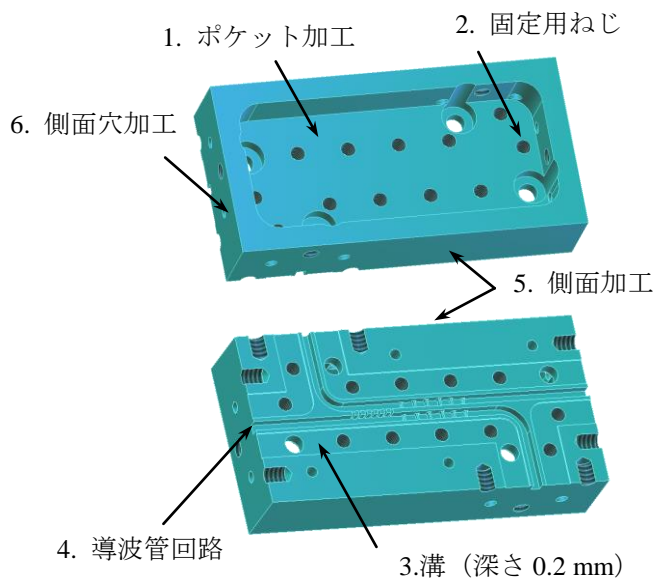


図6 加工手順

および穴の加工には、自作の加工プログラムを使用した。導波管回路の加工に自作のプログラムを使用した主な理由は、当室の CAM ソフトでは、工具の径を補正するにはプログラムを作り直す必要があったことと、2種類の工具を使用した場合に、それぞれの工具を意図したように動かすプログラムを作成するのが煩雑であったためである。

3 導波管回路の加工

導波管回路の加工には、直径 1 mm および 0.3 mm のエンドミルを使用した。ハイブリッドカプラのスリットおよびバンドパスフィルターの角 R の部分は直径 0.3 mm、その他の部分は直径 1 mm のエンドミルにより加工した。使用した機械は主軸の最高回転数が 6,000 rpm であり、今回のような小径のエンドミルによる加工には回転数が不十分であるため、図 8 に示すように主軸に高速スピンドル（ナカニシ社製 HES500-BT40）を取り付けて加工を行った。切削油は、フックス社製エコカット 210 を使用した。

最初に試作を行い、加工した導波管の幅（1.27 mm）およびスリットの幅（0.33 mm）の測定値と設計値との差を求め、その差を補正して本加工を行った。加工を行った際の切削条件を表 1 に示す。



図 7 マシニングセンタ東芝機械社製 JRV 40E)



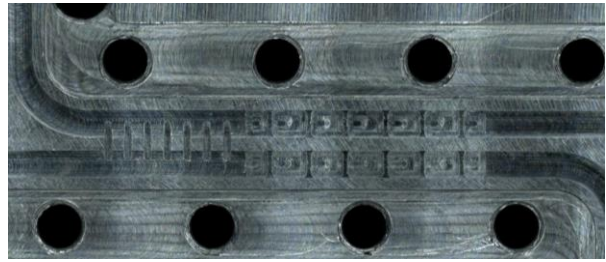
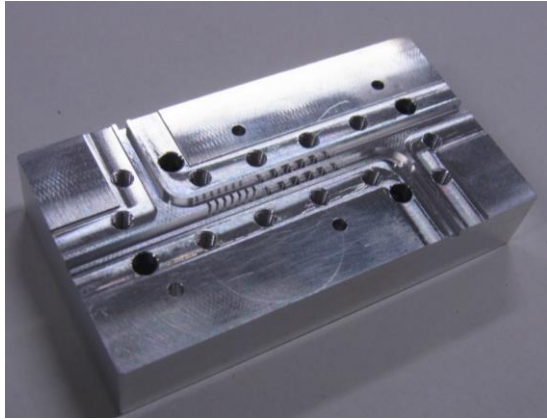
図 8 加工時の様子

表 1 切削条件

	直径 1 mm エンドミル	直径 0.3 mm エンドミル
回転数 [rpm]	20,000	40,000
切り込み [mm]	0.1	0.01
送り速度 [mm / min]	100	100

4 試作の結果

図 9 に試作後の全体写真および顕微鏡写真を示す。寸法を測定した結果、導波管およびスリットの幅それぞれ 1.27 mm に対して 1.259 mm、0.33 mm に対して 0.330 mm であった。この結果から、本加工では直径 1 mm のエンドミルの工具径補正值（直径）を 10 μm 小さくし、直径 0.3 mm のエンドミルは工具径補正值を変えせず加工を行うことにした。また、図 9 の顕微鏡写真からわかるように、直径 0.3 mm のエンドミルの切削痕が底に残っており、その段差は 15 μm であった。各エンドミルの高さ方向は、顕微鏡で見ながらエンドミルを加工面に近づけ、切りくずが出た位置を基準とした。本加工ではより確実にするため、場所を変えて複数回高さ合わせを行うこととした。なお、直径 1 mm および 0.3 mm のエンドミルでの加工時間はそれぞれ約 40 分、15 分であった。

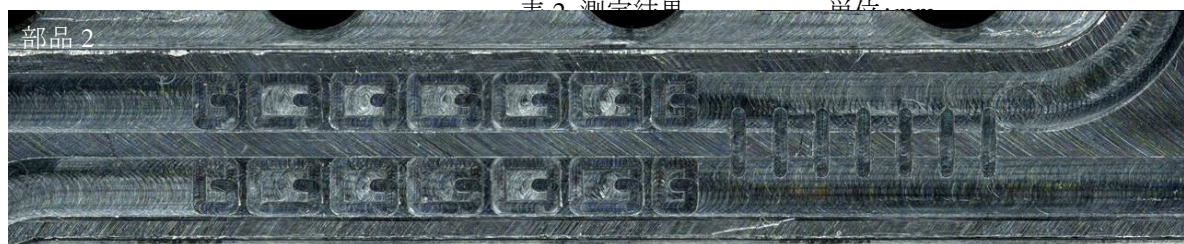


5 mm

図9 試作後の部品

5 本加工の結果と考察

本加工後の顕微鏡写真および測定結果を図10および表2にそれぞれ示す。バンドパスフィルター部の寸法は平均値であるが、ばらつきはいずれも数 μm 程度であった。本加工では試作の結果を考慮して導波管の幅(表2A)が $10\mu\text{m}$ 大きくなるように、工具径の補正值(直径)を $10\mu\text{m}$ 小さくしたが、両部品とも試作から $20\mu\text{m}$ 以上大きくなった。試作では、Aのみを測定して、工具径を補正したが、それ以外の箇所の寸法を測定したところ、ハイブリッドカップラの溝の長さ(C)は、設計値よりも $10\mu\text{m}$ 小さく、これをもとに工具径を補正するならば、逆に工具径の補正值を $10\mu\text{m}$ 大きくする必要があったことになる。他の箇所では試作と本加工とでAのような大きな変化は見られなかった。また、直径 0.3mm のエンドミルに交換した後の高さ合わせは、両部品で同じように行ったが、実際に加工された高さは異なっており、部品2では導波管の底に直径 0.3mm のエンドミルの切削痕があり、部品1では切削痕が見られない。今回使用した機械の仕様書によると、位置決め精度は $\pm 5\mu\text{m}$ であり、高速スピンドルのコレットの芯振れ精度は $3\mu\text{m}$ であった。またそれらの機械精度に加え、加工時の切りくずの排出具合によってエンドミルがたわみ、誤差が生じる可能性もあり、このようなことから、寸法にばらつきが生じたと考えられる。



5 mm

図10 本加工後の顕微鏡写真

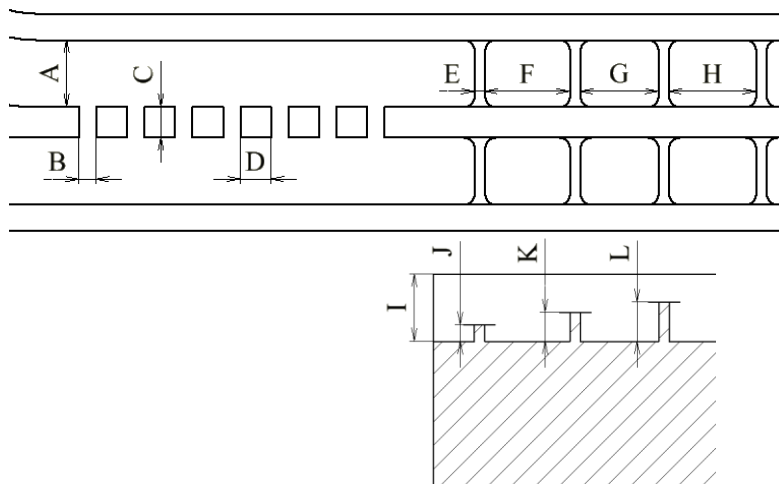
表2 測定結果

単位:mm

	A	B (n = 7)	C	D (n = 6)
設計値	1.27	0.33	0.58	0.58
テスト	1.259	0.330 ± 0.003	0.570	0.581 ± 0.002
部品 1	1.285	0.334 ± 0.003	0.564	0.575 ± 0.003
部品 2	1.288	0.329 ± 0.003	0.562	0.580 ± 0.002

	E	F	G	H	I	I'	J	K	L
設計値	0.2	1.61	1.48	1.65	1.27	1.27	0.31	0.55	0.74
テスト	0.206	1.606	1.472	1.641	1.268	1.283	0.306	0.551	0.738
部品 1	0.192	1.618	1.487	1.658	1.282	1.268	0.309	0.559	0.742
部品 2	0.195	1.615	1.487	1.652	1.270	1.274	0.309	0.551	0.738

I' は直径 0.3 mm エンドミルの切削痕の位置



6 まとめ

マシニングセンタに高速スピンドルを取り付け、導波管回路をもつフィルターの加工を行った。製作したフィルターの精度は $\pm 10 - 20 \mu\text{m}$ であった。研究者からは、今回製作したフィルターを使用した実験の結果、ほぼ設計した通りの機能が得られたとの報告を受けている。しかし、今後さらに精度の良い加工を目指すには、本加工を行う前に、工具径補正值の変更後や工具取り付け後に試験的な加工を行い、使用する機械の精度の再現性等を把握しておくことが重要であると感じた。今回は私にとってマシニングセンタを使用する初めて機会であり、マシニングセンタの操作やプログラムの作成等、貴重な経験となった。