

## DSN X-band ( 8.4 GHz ) BPF Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

### DSN X バンド バンドパス・フィルタ 武安義幸 / JA6XKQ

深宇宙(Deep Space)探査機からのダウンリンク信号 (X-band 8.4GHz帯) 受信用 ダウン・コンバータを自作するにあたり、ミキサ、アンプ及びローカル・オシレータには SMA コネクタでディスクリットに接続する既製品を用いた。周波数変換に係わる帯域制限用フィルタ(BPF = Band-Pass Filter) は、Louis Cupido / CT1DMK 設計のフィルタを自作した。

#### はじめに

この BPF [1] は、CT1DMK 本人以外の製作例もあるので、設計と特性は確立した再現性の良いものと判断される。ダウン・コンバータ製作の時間的な制約から、BPF 製作自体に時間を取られないように、すなわち、「手段が目的化」しないように、最も難しい設計を避けるために本 BPF を採用した。本文では、製作で配慮したポイント及び調整方法とその結果について記述する。

#### フィルタの仕様

フィルタのドキュメント [2] には、狭帯域 (BW = 20 MHz ~ 250 MHz) と低損失 (BW = 50 MHz ~ 300 MHz) の二種類の設計が掲載されている。共振エレメント間隔において 16 mm (低損失) か 18 mm (狭帯域) という寸法の違いがある。通過帯域 (BW : Bandwidth) の違いは示されているが、通過損失 (Insertion Loss) の違いは示されていない。なお、二種類の設計について、いずれも “narrow band tuning” と図面に記載されているが、低損失の方は “wide band tuning” が正しい記載である。図面転載の許諾を得る際に誤記であることを確認した。ダウン・コンバータで必要とする通過帯域幅は 8.4 GHz ~ 8.5 GHz の 100 MHz であり、いずれの設計でも使用できる。通過損失については、ダウン・コンバータ総合でのレベル・ダイアグラムで考慮するので、違いは問題とならない。二種類ともに製作して周波数変換に関わる通過帯域特性と阻止帯域特性を確認し、適切な方をダウン・コンバータに採用することとした。

自作したフィルタの外観を写真-1 に示す。Louis Cupido 氏 / CT1DMK より図面転載の許諾を得たので、図-1 に示す。

#### 製作の要点

本体の材料は内径 10 mm , 厚み 1 mm , 望ましくは 2 mm の銅パイプで、内径は設計パラメータとして重要な順守すべきポイントである。厚みは、後述の共振エレメントとなるネジ (M2) とコネクタ取付けネジに対する雌ネジタップの観点からは、M2 ナットの厚みに做えば 2 mm が望ましい。しかし、入手性を考慮すると、本製作のように 1 mm 厚のパイプを用いて、共振エレメント部分はナットを半田付け、コネクタ部分は台座を半田付けするのが良いだろう。

5 本の共振エレメントには損失の観点から銀メッキの M2 ネジが指定されているが、入手は一般的ではないだろう。次善策として銅ネジを使う。銅ネジは市販されているようだが、ここでは、2 mm の銅丸棒にダイスでネジ切りを行い、自作した。極端な電界集中を避ける観点から、共振エレメントの先端は丸みを付けた仕上げとした。ただし、先端形状が特性に与える影響は未検証である。

銅パイプ本体の共振エレメント取付け部は厚みが十分ではないが、一応タップで雌ネジを切り、追加としてナットを半田付けする。共振エレメントの根元部分は高周波電流が集中するので、オーミック・ロスの観点からは銅製ナットを半田付けしたいところであるが、入手



写真-1 : BPF の外観

A (2:1)

# DSN 8.4 GHz Bandpass Filter

Louis Cupido, CT1DMK

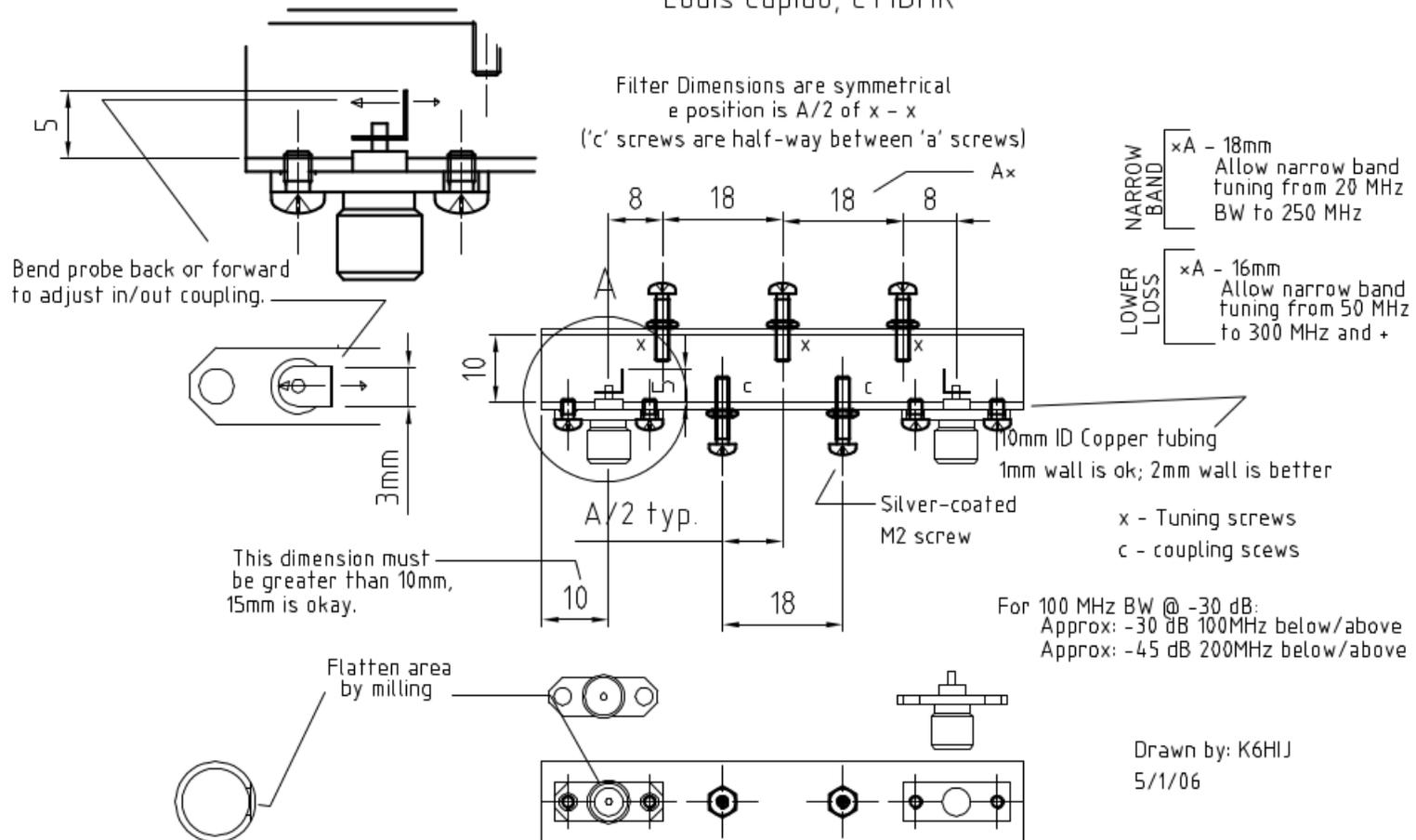


図-1 : DSN 8.4 GHz Bandpass Filter (Reprint permission granted by Louis Cupido / CT1DMK)

性の観点からやむなく鉄製ナットを使用した。ナットにはこだわらず、銅板小片を半田付けすることで厚みを増し、そこにタップを切る方が良いかもしれない。鉄製ナットを半田付けする際はステンレス用フラックスを塗布し、ナットの仮止めには、ネジ山に半田が浸入しても固着しないように、半田濡れ性が悪いニッケルめっきの鉄ネジを使用する。銅パイプ本体の雌ネジタップがナットで補強されるので、共振エレメントの緩み止めダブル・ナットを雌ネジ山の破損を心配せずに締めることができ、フィルタ特性の安定化と低損失化に貢献すると考えられる。

入出力の SMA コネクタを銅パイプ本体に取り付ける部分の接触面積を確保するために、銅パイプの曲面を平面に加工するが、銅パイプの厚みが 1 mm では取付けネジのタップ山数が不足する。また、コネクタ・フランジの接触も高周波的に不十分で、フィルタ特性が不安定なものとなる。タップのための厚みと平面状の接触面積を増やすために、銅平板を銅パイプに半田付けすれば良いだろう。

銅パイプ本体の末端が開放となっており、開放端から信号が漏れないのか、あるいは開放端近くにある導体の影響を受けないのか不安に感じるかもしれない。定量的な説明ではないが、銅パイプを円形導波管とみなすと、使用する周波数帯が円形導波管の遮断周波数よりも低い場合信号が減衰するので、開放端からの信号漏洩は無視できると考えられる。無視できるほどに減衰させるために、コネクタ位置から開放端までの長さを最低でも 10 mm 以上、15 mm あれば十分であると図面に示されている。本製作では、15 mm とした。末端が開放であることから、後述のプロープと共振エレメントとの間隔調整が簡単にできる。

入出力コネクタのプロープについて図面では解りづらい。図面で指定されているのは、プロープの幅 3 mm と銅パイプ内壁からの仕上がり高さ 5 mm だけである。プロープ単体の長さ、L 字型に折り曲げる長さ配分が不明であるが、これは、使用するコネクタのセンターピンの構造寸法に依存するためだと考えられる。すなわち、コネクタのセンターピンもプロープの一部として機能するので、銅パイプ内に露出するセンターピンも含めて、プロープ先端の仕上がり高さが 5 mm になれば良い。銅パイプ内壁と平行となるプロープの折曲げ部分は、コネクタのセンターピン絶縁体と同じ直径とすれば良いだろう。プロープ先端の形状が不明だが、コネクタのセンターピン側と同様に角を丸めていると推定される。プロープの長さで共振エレメントとの間隔は、後述のように微調整が必要である。

## 調整と結果

残念ながら、作りっぱなしの無調整とはいかず、共振及びカップリング・エレメントの長さ調整と入出力コネクタ・プロープの調整を必要とする。ベクトルか、スカラーかを問わず、挿入損失 (S21 : Insertion Loss) と反射係数 (S11, S22 : Return Loss) を同時に測定可能な多チャンネルのネットワーク・アナライザは調整に必要不可欠である。

調整結果の特性を、A = 16 mm の低損失タイプについて 図-2 及び 図-3 に、A = 18 mm の狭帯域タイプについて 図-4 及び 図-5 に示す。いずれの図も S11, S21, S22 を示したもので、通過帯域と阻止帯域の特性が分かりやすいように測定のスパンを変えている。

共振エレメント (以下、調整ネジと称する) は、下記のポイントに留意して調整する。

- ① 通過帯域の特性は単峰ではなく、所要の BW = 100 MHz にわたってフラットな特性を目指すこと。
- ② そのためには、S11 と S22 に着目して、中心周波数に対してリターン・ロスの山と谷の位置と高さ/深さ (特性図の W 字状トレース) が対称になるように調整する。S11 と S22 に着目する理由は、調整ネジに対する変化感度が S21 より高いため。
- ③ ②において、共振エレメント間のカップリング調整ネジ 2 本 (図面の“C”) と共振調整ネジ 3 本 (図面の“X”) を、同時に調整しないこと。カップリング調整ネジを一旦固定して、共振調整ネジ 3 本のみで調整を進める。共振調整ネジのみで所要の特性が得られない場合、カップリング調整ネジを特性が改善する方向に少し調整して固定し、共振調整ネジを再度調整する。
- ④ ③において、調整ネジ 2 本と 3 本の各組内では、均等に調整する。すなわち、1本のみを大きく変化させずに、1本を調整したら他方も同様に調整すること。
- ⑤ 調整の結果、調整ネジのパイプ内突出し長さは、入出力側で対称な長さとなっているのが理想。
- ⑥ 調整ネジの緩み止めナットは、面倒ではあるが、調整の都度に固定すること。最後にまとめて増し締めすると、特性が変化するため。

上記のポイントに留意して調整したが、A = 16 mm の低損失タイプは 図-2 に示すように帯域内リップルが 2.54 dB と大きい結果となった。また、低損失を意図した設計であるは

ずが、A = 18 mm の狭帯域タイプの -1.19 dB なる損失に対して、-1.79 dB と悪い値となっている。これらは、リターン・ロスが -4.01 dB と悪いことに起因すると考えられる。一方、A = 18 mm の狭帯域タイプは、所要 BW = 100 MHz を満足し、帯域内リップルも良好なので、ダウン・コンバータに搭載することとした。

ダウン・コンバータを完成させて X-band 8.4 GHz 帯の受信実験を進める一方で、A = 16 mm 低損失タイプの特性改善を試みた。調整ネジだけでは特性改善ができないので、プローブを曲げることで共振エレメントとの距離を変えてみると、リターン・ロスが大きく変化することが判明した。そこで、プローブの長さを 1 mm 延ばすと共に、調整ネジとプローブ曲げを組み合わせると、図-6 と 図-7 に示すように、挿入損失が -0.95 dB、帯域内リップルが 0.27 dB と大きく改善された。これらは、リターン・ロスが -13 dB まで改善されていることから納得できる。更に、低域阻止帯域の減衰量が改善しており、周波数変換に係わる帯域制限という所期目的に合致した結果が得られている。図-6 と 図-7 に示す特性が、本 BPF の優れた実力である。

## まとめ

本 BPF の工作および特性の優れた再現性を確認することができた。ダウン・コンバータのキー・コンポーネントである BPF を、優れた再現性のお陰で試行錯誤することなく短期間で自作し、本来の目的である X-band 8.4 GHz 帯の受信実験へ進むことができた。このような優れた設計を公開され、図面転載の許諾を頂いたCT1DMK / Louis Cupido 氏に深謝申し上げる。

I would like to express my deepest gratitude to Mr. Louis Cupido / CT1DMK for publishing such an excellent design and for permission to reprint the drawing.

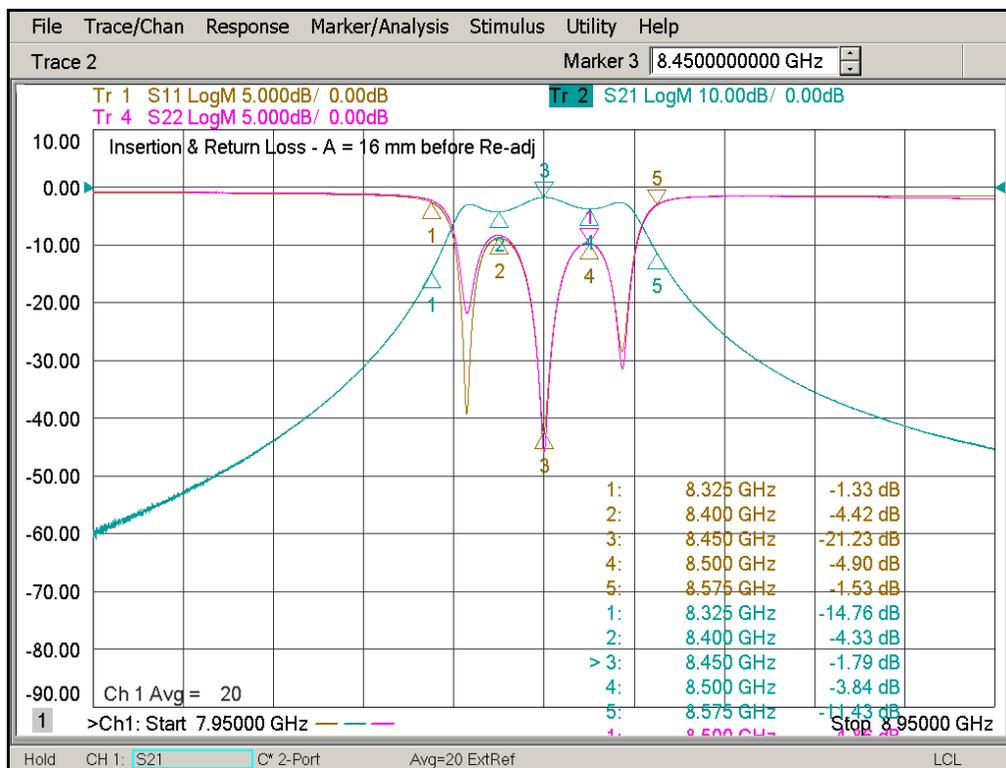


図-2 : A = 16 mm 低損失タイプ - S11/S21/S22 (特性改善前)

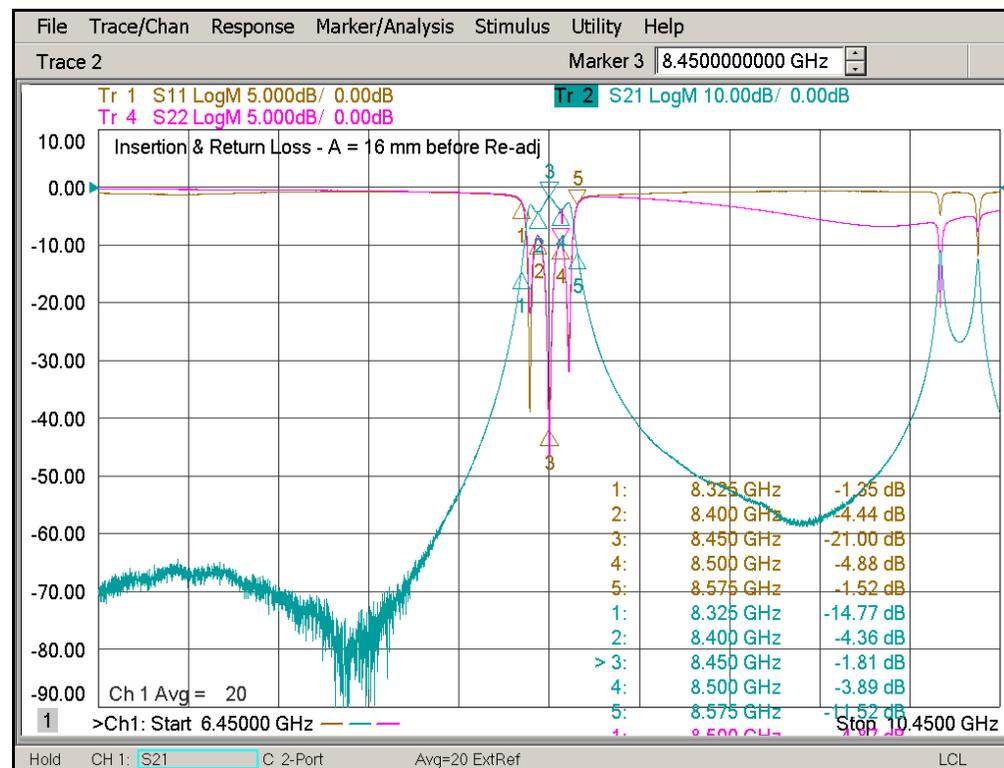


図-3 : A = 16 mm 低損失タイプ - S11/S21/S22 (特性改善前)

## 参考文献

[1] Louis Cupido, CT1DMK, "8.4 GHz Filter for DSN rx."

[https://www.qsl.net/ct1dmk/mw\\_low.html](https://www.qsl.net/ct1dmk/mw_low.html)

[2] Louis Cupido, CT1DMK, "DSN 8.4 GHz Bandpass Filter."

[https://www.qsl.net/ct1dmk/dsnxbandfilter\\_01.pdf](https://www.qsl.net/ct1dmk/dsnxbandfilter_01.pdf)

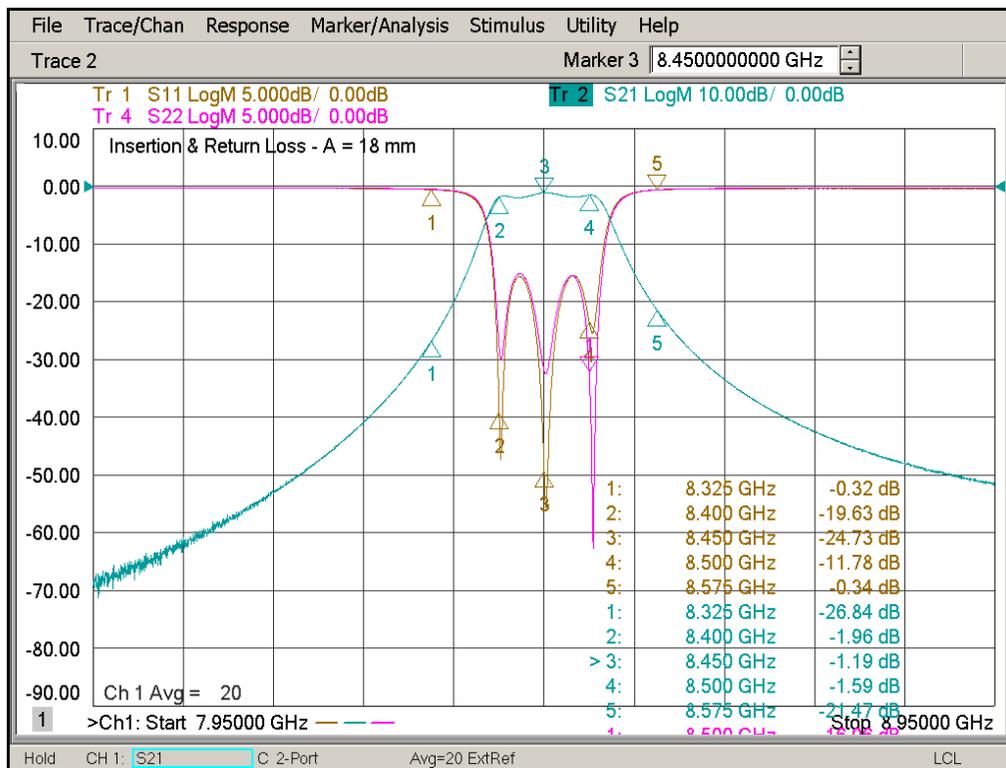


図-4 : A = 18 mm 狭帯域タイプ - S11/S21/S22

(C) 2023, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

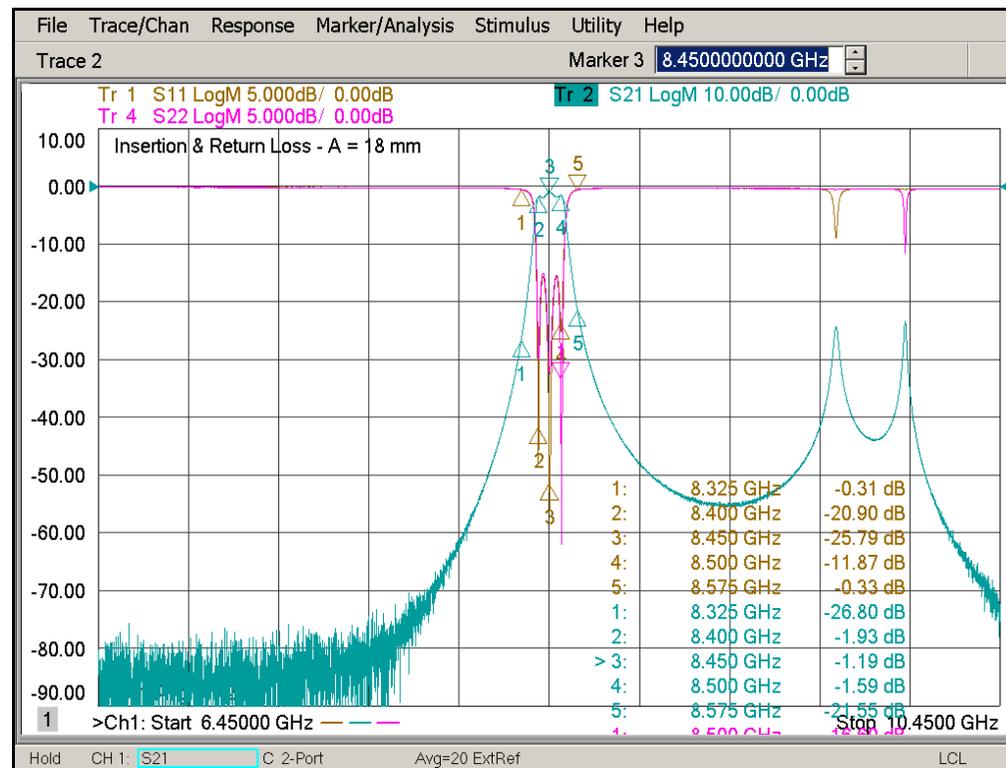


図-5 : A = 18 mm 狭帯域タイプ - S11/S21/S22

(C) 2023, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

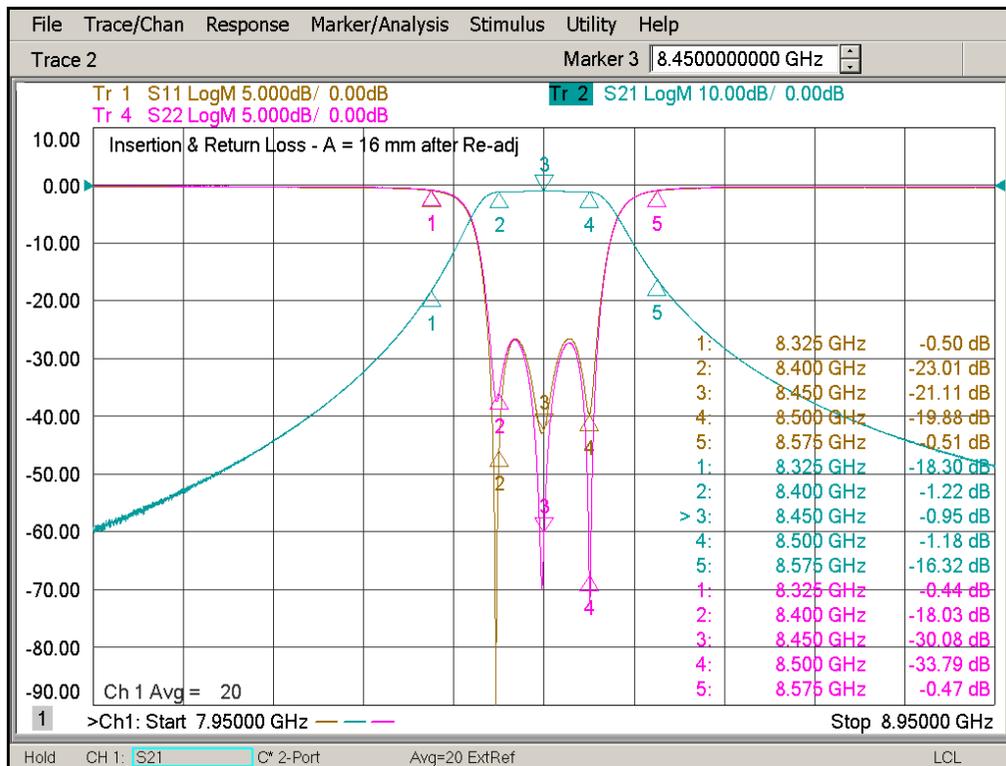


図-6 : A = 16 mm 低損失タイプ - S11/S21/S22 (特性改善後)

(C) 2023, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

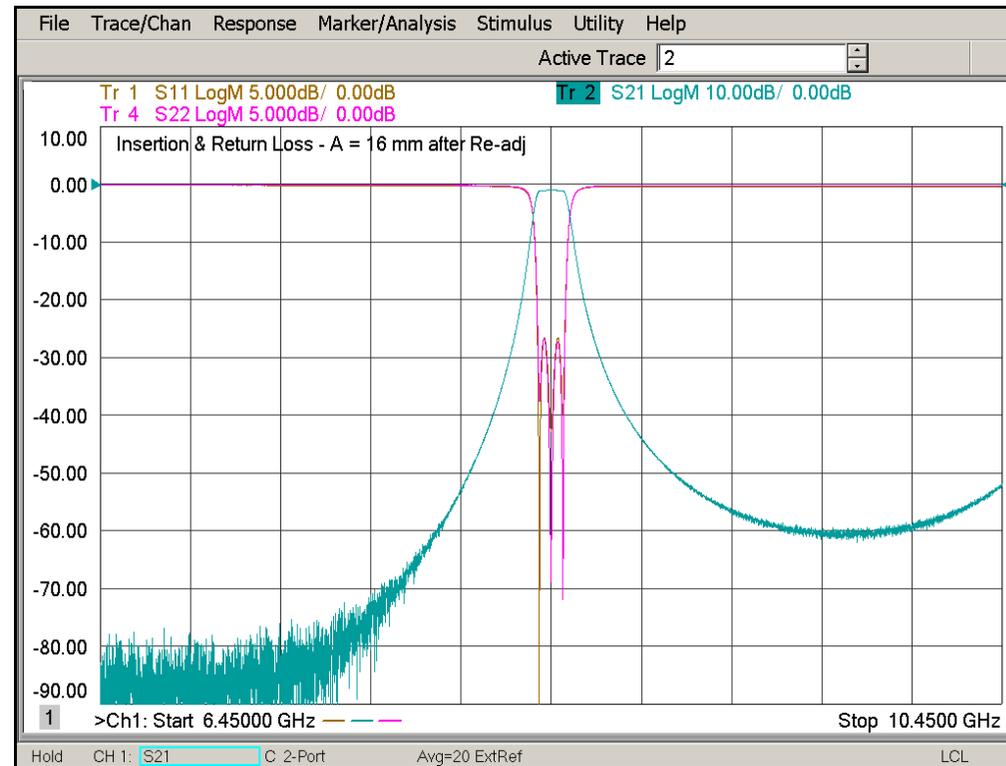


図-7 : A = 16 mm 低損失タイプ - S11/S21/S22 (特性改善後)

(C) 2023, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ