

地上デジタル放送中継局用 超電導フィルタ

Superconducting Band-Pass Filters for Digital Terrestrial Broadcasting Relay Stations

加屋野 博幸 福家 浩之 橋本 龍典

■ KAYANO Hiroyuki ■ FUKE Hiroyuki ■ HASHIMOTO Tatsunori

地上デジタル放送は、従来のアナログ放送と同じ UHF 帯の周波数チャンネルを利用しており、チャンネルの有効利用の観点から自由に受信用チャンネルと送信用チャンネルを割り当てられることが望ましく、このため、受信信号と送信信号を分離するための技術が求められている。しかし、従来型のフィルタでは隣接チャンネルの信号を十分抑圧できないために、隣接チャンネルの送信信号が受信部に回り込み干渉を起こしてしまう問題があった。

東芝は、これを解決するために、酸化物超電導体を用いることで急峻（きゅうしゅん）なスカート特性と低遅延時間偏差特性を併せ持つ、地上デジタル放送中継局受信用 超電導フィルタユニットを日本放送協会（NHK）と共同で開発した。この装置は、1チャンネルのテレビ（TV）信号を正確に取り出すことが可能であり、隣接チャンネルの有効利用が期待できる。

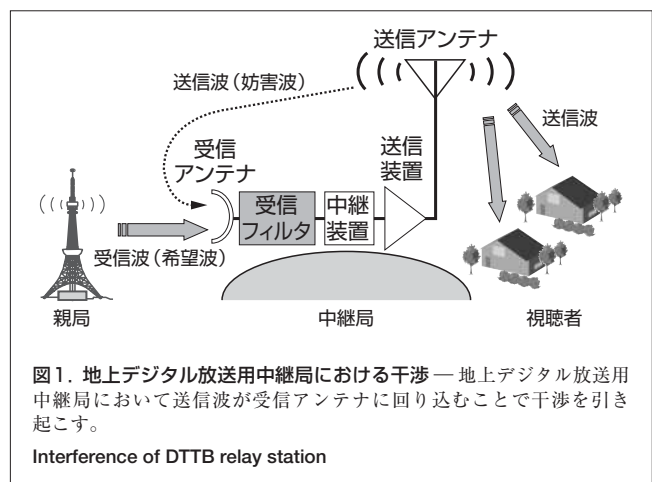
Digital terrestrial television broadcasting (DTTB) relay stations are required to utilize adjacent channels because the system uses the same UHF band as that for the existing analog system. Conventional filters cannot attenuate adjacent channel power, with the result that the transmitting signal of the adjacent channel produces interference in the receiver.

Japan Broadcasting Corporation (NHK) and Toshiba have developed high-temperature-superconducting (HTS) sharp-skirt band-pass filters with low group delay deviation for DTTB relay stations, in order to reduce this adjacent channel interference. These filters allow only the channel signal to pass through, making it possible to separate adjacent channels.

1 まえがき

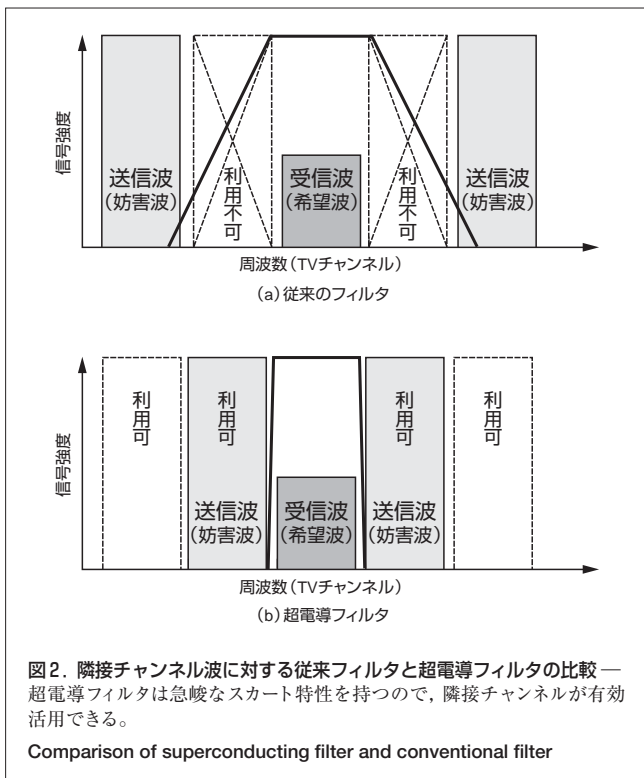
1986年、スイスIBM研究所のJ. G. BednortzとK. A. Mullerは、ランタン(La)、バリウム(Ba)、銅(Cu)を混ぜ合わせた酸化物を冷やすことによって直流電気抵抗がゼロとなる酸化物高温超電導体(HTS)を発見した⁽¹⁾。その後次々と高い温度で超電導特性を示す材料が報告された。そして取り扱いが容易な液体窒素温度(77K)以上で超電導特性が得られるようになったことで、超電導体をエレクトロニクス分野へ応用する研究が各方面で盛んに行われている。

一方、2003年12月から地上デジタル放送が東名阪の三大都市圏で開始され、現在は全国サービスに向けてネットワークの拡張が進められている。全国サービスに向けては、元の放送信号を中継する装置がネットワーク構築のために必要となる。中継装置の簡単な構成と役割を図1に示す。地上デジタル放送は、従来のUHF帯でのアナログ放送と同じ周波数帯を用いているために従来利用していないチャンネルの利用が必要であり、チャンネル不足が懸念されている^{(2),(3)}。これは図2に示すように、受信するチャンネルの隣接に信号強度の大きな送信信号を割り当ててしまうと、従来フィルタだけでは隣接の信号を除去できないために信号の回り込みが起り、中継装置において干渉が起こることで動作が不安定になってしまう。干渉を起こさずに安定したサービスを



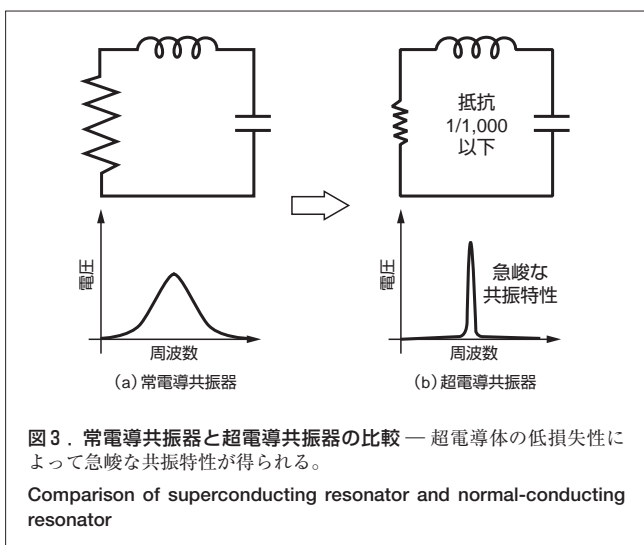
行うためには、受信信号と送信信号を分離するための技術が求められている。

そこで東芝はNHKと共同で、受信信号と妨害波である送信信号を分離するために、隣接チャンネルの信号減衰を可能とするフィルタの開発を行った。超電導体を持つ非常に低損失な高周波抵抗の特性を生かしたフィルタ開発を行い、隣接の送信信号を除去可能な急峻なスカート特性と中継時の信号遅延時間を小さくする特性を併せ持つ、地上デジタル放送中継局受信用 超電導フィルタを開発したので、以下にその概要と特長となる機能について述べる。



2 超電導フィルタの原理

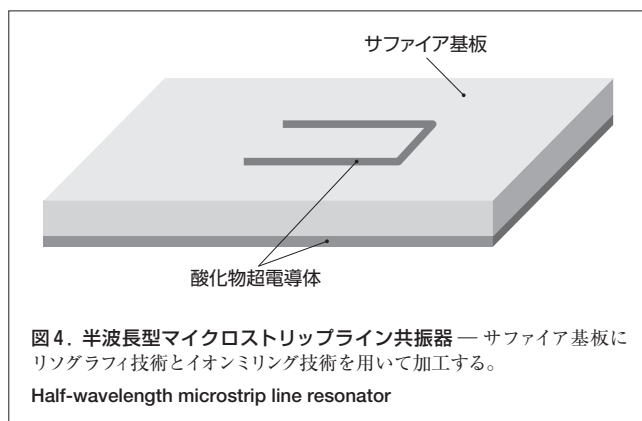
図3は、銅などに代表される常電導体と超電導体を用いた共振器の等価回路とその周波数応答を表したものである。周波数が1 GHzの共振器は、低損失常電導体である銅と比較しても超電導体の抵抗が1/1,000以下となる低損失特性を持っている。このとき共振器の周波数応答は急峻な共振特性を持つことができる。フィルタは、この共振器を組み合わせることによって特性を実現しており、共振器の特性の急峻度合いでフィルタのスカート特性の限界が決まる。超電導体



の急峻な共振特性を用いることで、従来では不可能であった高周波帯域での急峻なスカート特性を持つフィルタが可能となる。

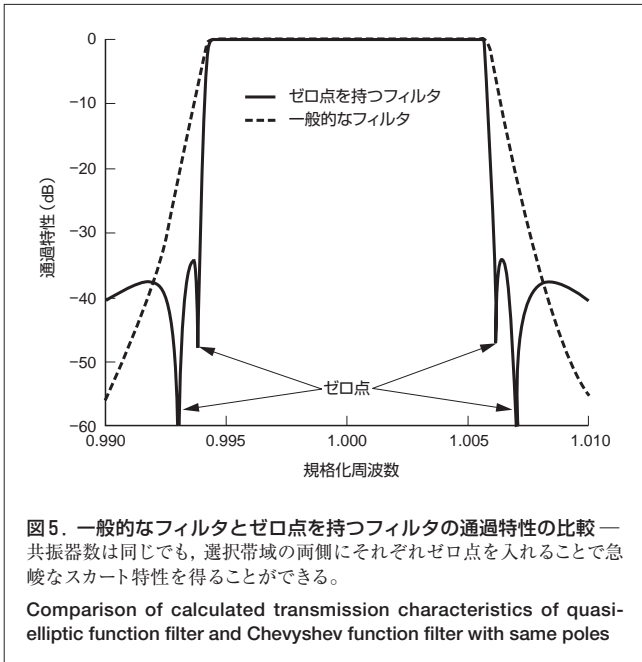
3 超電導フィルタの設計

超電導体としてイットリウム(Y)系HTSである $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO)を用い、図4に示すように、リソグラフィ技術とイオンミリング技術を用いて、サファイア基板の両面のYBCO薄膜の一方の面を共振素子構造に加工することによって、半波長型マイクロストリップライン共振器を作成する。半波長型マイクロストリップライン共振器は線路長が周波数に依存しており、今回作成するフィルタは、周波数470~770 MHz帯で自由空間における半波長が195~320 mmと長くなることから、フィルタが大型化してしまう問題点があった。

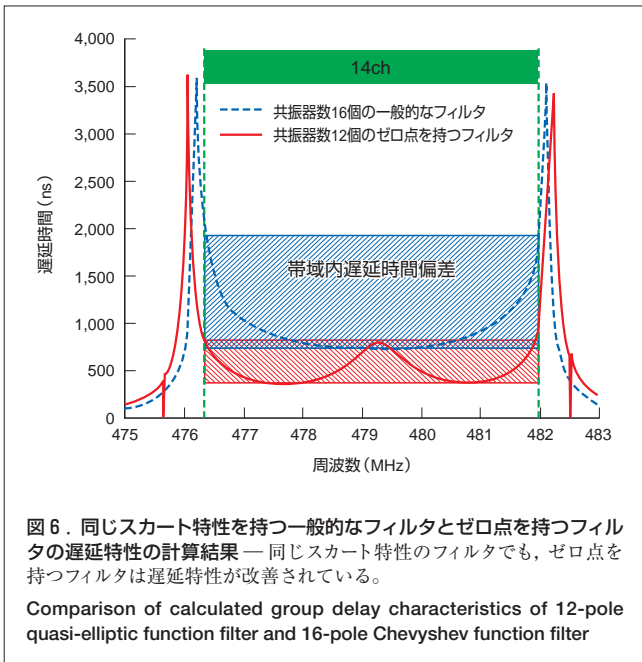


一般的なフィルタは共振器数を多くすることで急峻なスカート特性を実現できる。しかし冷却の面と低コストのためには小型化が必要であり、少ない共振器数で急峻なスカート特性を実現する方法が必要となる。図5は同じ共振器数を持つ一般的なフィルタとゼロ点を持つフィルタの周波数特性を示したものである。選択帯域の両側にそれぞれ二つのゼロ点を入れることで急峻なスカート特性を持つフィルタを実現することができる。この設計技術によって急峻なスカート特性を少ない共振器数で構成可能となり、小型化が可能なる。

また、地上デジタル放送用に急峻なスカート特性を持つフィルタを用いる場合には、信号劣化を避けるために新たに帯域内での遅延時間の平坦性が必要となる。しかし、フィルタ特性が急峻になってくると帯域内での遅延時間変化が大きくなるため、帯域内遅延時間偏差を小さくする必要がある。これには、急峻なスカート特性を実現するために用いたゼロ点を作るための回路技術と同様の方法を用いて遅延補償を行った⁽⁴⁾。地上デジタル放送の14ch(チャンネル)用に設計した共振器12個のゼロ点を持つフィルタの遅延時間特性を、



ほぼ同じスカート特性を持つ共振器16個の一般的なフィルタの遅延時間特性と比較した計算結果を図6に示す。このフィルタでは急峻なスカート特性を利用して遅延のピークを帯域の外側にずらし、中心周波数付近の遅延時間を大きくすることで選択帯域内の遅延時間偏差が小さくなるように最適化している。共振器16個の一般的なフィルタの帯域内遅延時間偏差を青斜線領域で示し、最適化した共振器12個のゼロ点を持つフィルタの帯域内遅延時間偏差を赤斜線領域で示した。一般的なフィルタと比較して、今回設計したフィルタでは半分以下の帯域内遅延時間偏差を実現した。



4 評価結果

50 mm角サファイア基板を用いて14 ch用及び16 ch用の二つの超電導フィルタを試作した(図7)。フィルタのサイズは70×70×18 mmである。ラックマウントタイプのフィルタユニットを図8に示す。外形寸法430×530×200 mm、質量42 kgである。フィルタユニットは、超電導フィルタ、冷凍機、温調器、電源装置、廃熱系で構成している。冷凍機は5 W級スターリング型パルス管冷凍機を用いている。このフィルタユニットは最大四つのフィルタを実装することができ、定常状態では消費電力350 Wで動作する。試作した二つのフィルタは70 K(−203℃)まで冷却して評価を行った。



図9は、二つのフィルタの実験結果であり、通過特性(S_{21})を実線で、反射特性(S_{11})を破線で示したもので、14 chと16 chの評価結果を示す。それぞれのフィルタの挿入損失は冷凍機の端子間で0.5 dB以下を実現した。また、隣接チャンネルとのわずかな間隔で30 dB以上の信号減衰を実現している。更に、次隣接チャンネルに対しても65 dB以上の減衰を達成した。次に遅延時間特性の測定結果を図10に示す。それぞれのフィルタの帯域内遅延時間偏差は、ほぼ設計どおりの結果が得られた。また、地上デジタル放送の帯域(13 ch～

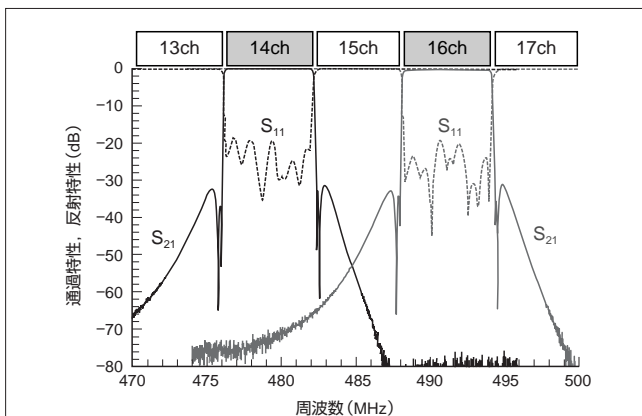


図9. 超電導フィルタユニットの通過特性と反射特性の評価結果 — 挿入損失は0.5 dB以下、隣接チャンネルでの減衰は30 dB以上を実現している。

Measured transmission characteristics and return loss of HTS filter unit

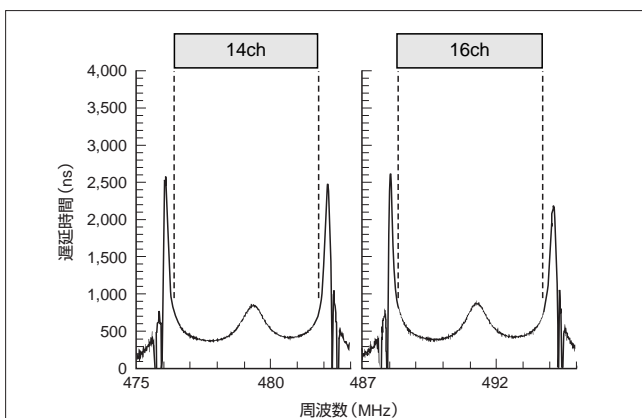


図10. 超電導フィルタユニットの遅延特性の評価結果 — ほぼ設計どおりの帯域内遅延時間特性が得られた。

Measured group delay characteristics of HTS filter unit

62 ch)である470～770 MHzにわたって50 dB以上に減衰されており、不要な共振モードなどは十分に押さえられていることを確認した。

5 あとがき

受信信号と隣接の送信信号を分離可能とするための地上デジタル放送中継局受信用超電導フィルタを開発した。急峻なスカート特性と帯域内遅延時間偏差の低減を両立し、従来不可能とされていた隣接信号除去を可能とした。更に、4系統分のフィルタを実装可能なラックマウント型超電導フィルタユニット試作機を開発した。

今後は、実用化に向けて詳細な検討をしていくとともに、他のアプリケーションへも展開できる技術開発を進めていく。

文献

- (1) J. G. Bednorz, and K. A. Muller. Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. *Z. fur Phys.*, **64**, 1986, p.189 - 193.
- (2) Nakakita, H., et al. HTS Filter System for Digital Terrestrial Television Transposer. 2004 NAB BEC Proceedings. 2004-04, p.137 - 140.
- (3) 金森香子, ほか. 地上デジタル放送中継局用超電導フィルタの開発 - 隣接チャンネル妨害除去特性 -. 映像情報メディア学会技術報告. **28**, 39, 2004-07, p.17 - 20.
- (4) 相賀史彦, ほか. 地上デジタル放送中継局用超電導フィルタの設計. 2005IEICE総合大会. C-2-90, 2005-03. (CD-ROM).



加屋野 博幸 KAYANO Hiroyuki, D. Eng.

研究開発センター 先端機能材料ラボラトリー研究主務、工博。超電導フィルタに関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Advanced Functional Materials Lab.



福家 浩之 FUKE Hiroyuki

研究開発センター 先端機能材料ラボラトリー主任研究員。超電導フィルタに関する研究・開発に従事。応用物理学学会会員。

Advanced Functional Materials Lab.



橋本 龍典 HASHIMOTO Tatsunori, D. Eng.

研究開発センター 先端機能材料ラボラトリー主任研究員、工博。超電導フィルタに関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Advanced Functional Materials Lab.