

卒業論文

チューナブルBPFの小型化に関する研究

指導教官 新井 宏之 教授

平成16年2月29日提出

0044140 宗正 英章

要約

希望の周波数帯域において効率よく通信するために用いられるのがフィルタである。フィルタには、受信機の入力に挿入して希望周波数以外が所望周波数より高い場合、それらの進入を阻止する *LPF*(*Low Pass Filter*) や、妨害波が希望波より低い場合に入力に挿入する *HPF*(*High Pass Filter*)、希望の信号波以外の妨害波を除外するため受信機や増幅器の入力に挿入する *BPF*(*Band Pass Filter*) などがある。この中で使用目的・用途に合ったフィルタを選択する必要がある。

高速移動体中において、所望周波数帯が変化していく中で通信を行う場合、通過周波数帯域が可変(チューナブル)な *BPF* が求められる。通過帯域可変なフィルタにはマイクロストリップ線路などを用いて電氣的に特性を制御し通過帯域を変化させる平面 *BPF* と本論文の機械的にキャパシタンスを変化させ通過帯域を可変にする導波管などを用いた *BPF* の 2 種類あるが、耐電力に優れ、高い *Q* 値を維持しながら帯域がシフトできるのは後者のほうである。しかし後者では寸法が大きくなるため、実装の段階で大きな障害となるので設計においてはできるだけ小さく設計する必要がある。

本研究では *BPF* を 1 ユニットとして直列に五つ、長方形結合窓を用いて結合させた五段チューナブル *BPF* の小型化を目標としている。具体的には現在の四段 *BPF* の幅で小型の五段 *BPF* を作成すること、つまり 1 ユニットあたりの幅を元の大きさの 80 % に短縮することである。1 ユニットあたりの小型化を実現することで、全体として同じ大きさで、かつ、*BPF* の段数が増えることにより、より急峻な減衰特性を得ることが可能になる。

本研究の *BPF* は同軸線路による入出力ポート、可変容量である回転羽根と固定容量である固定羽根、リアクタンスである誘電体ポスト、各段の結合を担う結合窓からなっており、各部分を変化させながら解析することによって、各特性を把握することができた。そこで同調において回転羽根の折り曲げとカップリング窓の大きさが大きな役割を果たすことがわかったので、より効率的なフィルタの設計が可能となった。そして解析の結果、小型一段チューナブル *BPF* の通過帯域幅は $-3[\text{dB}]$ において、およそ $5[\text{MHz}]$ となり従来手法とほぼ同等の特性をえることができた。さらに小型三段チューナブル *BPF* のおいては $-3[\text{dB}]$ における通過帯域幅は約 $0.8[\text{MHz}]$ となり多段チューナブル *BPF* を小型化することができた。

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	BPF の構成	4
2.1	導波管フィルタの等価回路	4
2.2	導波管チューナブル BPF の構成	7
2.2.1	周波数可変 BPF の特性	7
2.2.2	チューナブル BPF の小型化について	9
2.2.3	一段チューナブル BPF	10
第 3 章	多段チューナブル BPF の小型化	14
3.1	二段チューナブル BPF について	14
3.1.1	結合窓の形状	14
3.1.2	二段 BPF の小型化	16
3.2	三段チューナブル BPF について	18
3.2.1	BPF の幅が特性に及ぼす影響について	18
3.2.2	結合窓と回転羽根の及ぼす影響	20
3.2.3	三段 BPF の小型化	23
3.3	四段チューナブル BPF について	25
3.3.1	各部分の及ぼす影響について	25
3.3.2	多段 BPF の設計について	31
第 4 章	結論	32
	謝辞	33
	参考文献	34

第 1 章

序論

希望の周波数帯域において効率よく通信するために用いられるのがフィルタである。フィルタには、受信機の入力に挿入して希望周波数以外が所望周波数より高い場合、それらの進入を阻止する *LPF*(*Low Pass Filter*) や、妨害波が希望波より低い場合に入力に挿入する *HPF*(*High Pass Filter*)、希望の信号波以外の妨害波を除外するため受信機や増幅器の入力に挿入する *BPF*(*Band Pass Filter*) などがある。この中で使用目的・用途に合ったフィルタを選択する必要がある。

高速移動体中において、所望周波数帯が変化していく中で通信を行う場合、通過周波数帯域が可変(チューナブル)な *BPF* が求められる。通過帯域可変なフィルタにはマイクロストリップ線路などを用いて電氣的に特性を制御し通過帯域を変化させる平面 *BPF* と本論文の機械的にキャパシタンスを変化させ通過帯域を可変にする導波管などを用いた *BPF* の 2 種類あるが、耐電力に優れ、高い *Q* 値を維持しながら帯域がシフトできるのは後者のほうである。しかし後者では寸法が大きくなるため、実装の段階で大きな障害となるので設計においてはできるだけ小さく設計する必要がある。

チューナブルフィルタの例のひとつとして共振器に半同軸共振器を用いたものがある。半同軸共振器は図 1.1 に示すように先端短絡の同軸線路が円筒形の容器に収められており、短絡側にはネジが設置されている。短絡された同軸線路とネジとの間の対向部分には電界が生じており、そのために容量 *C* が生じる。半同軸共振器はネジを前後させることにより対向距離を変化させ、容量を可変としたものであり、同調周波数の微調整を可能としている。そのため、この共振器を用いた *BPF* は低損失を実現できる。

また、導波管のフィルタについて例を示す。導波管フィルタは、形状こそ大型になるが低損失で同調ねじなどによる調整が容易なことから、損失を嫌うマイクロ波装置に広く用

いられている。図 1.3 に代表定期的な導波管を用いた高域フィルタの例を示す。導波管にはもともとその横方向の寸法で決まるカットオフ周波数があり、高域通過特性を持っている。したがって、図 1.3 のように導波管の横幅を狭くしてカットオフ周波数を上げることにより、理想的な高域フィルタが得られる。なお、この前後とは特性インピーダンスが異なるので、緩やかに幅を変化させたテーパ導波管により整合がとられている。次に導波管帯域フィルタでは、後に述べるアイリス結合導波管形帯域通過フィルタのような誘導性絞りにより仕切った、二分の一波長に近い長さの共振器を多段に接続したものがよく用いられる。アイリス結合導波管形 BPF は低損失、高耐電力性などの利点から、衛星や地球局等の通信放送機器に多く用いられる。さらに共振器に誘電体ポストをたてることにより、中心周波数や伝送特性を調整できるようにしている例が多く紹介されている。

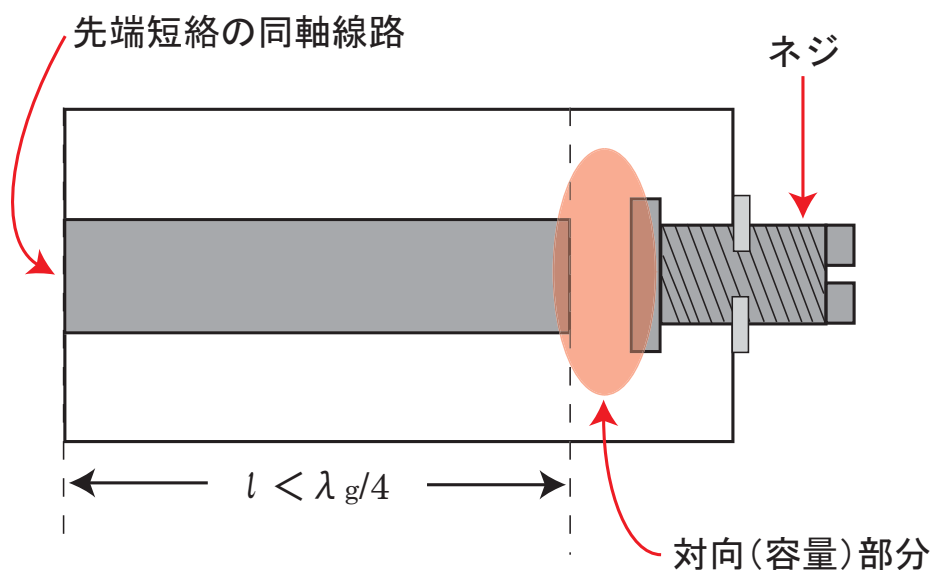


図 1.1 : 半同軸共振器の構成

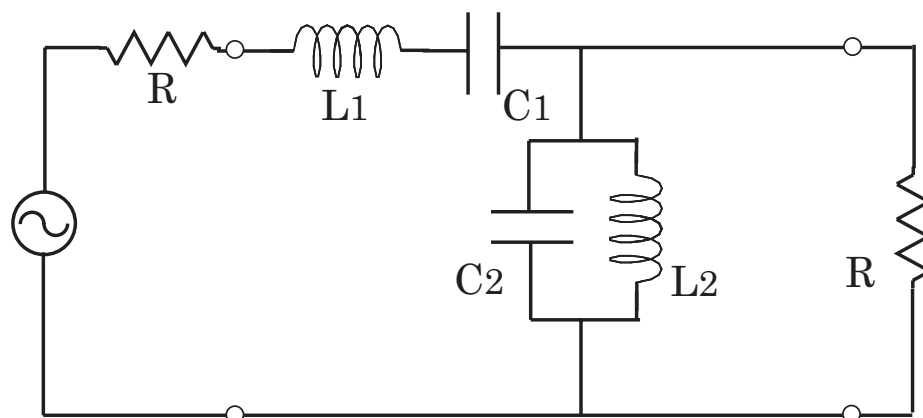


図 1.2 : 半同軸フィルタの等価回路

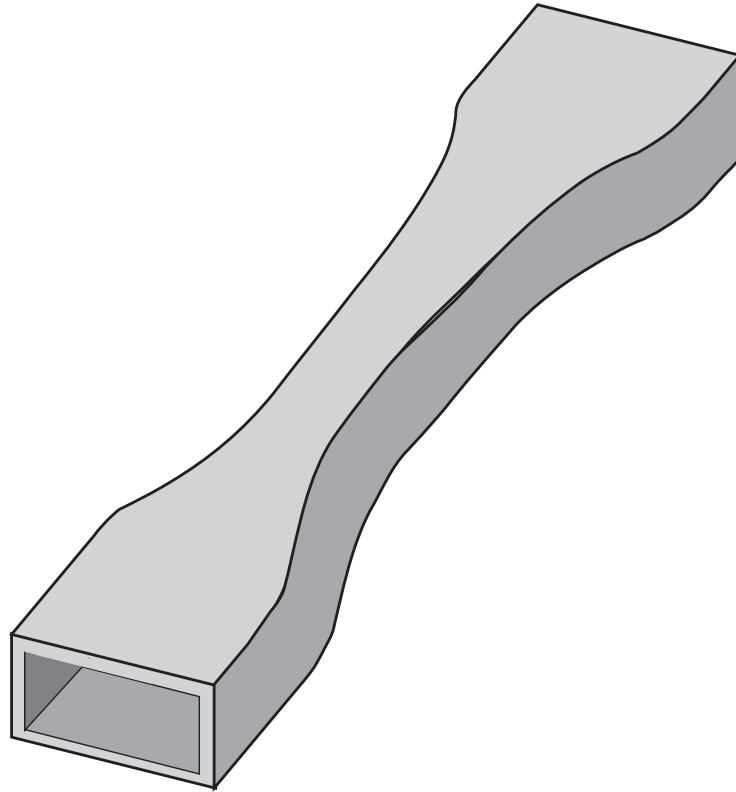


図 1.3 : 導波管高域フィルタ

本論文の構成を示す．第 2 章では共振器を用いた BPF の基本的な構成を説明する．そこで導波管 BPF の各共振器の結合方法や等価回路、本研究の目的である多段チューナブル BPF の小型化について説明する．さらに本 BPF の周波数可変の原理を検討した．第 3 章では 2 章で説明した一段 BPF を長方形結合窓を用いて一つずつ直列に接続し各々解析し、検討を行った．さらに各部分の変化がどのように特性に影響を与えるか比較考察を行った．最後に第 4 章を本論文の結論とする．

第 2 章

BPF の構成

本章では BPF の基本原理及び導波管を用いた BPF の構成、容量可変の BPF を作成し、通過特性に与える影響を検討した。またその結果を用いて各パラメータがどのように通過帯域の特性に影響を与えるのかを考察した。

2.1 導波管フィルタの等価回路

BPF は発信機や増幅器または倍器の出力に挿入して必要な信号源のみを取り出した後、所望の信号波以外の妨害波を除外するため受信機や増幅器の入力に挿入する。BPF の設計は遮断導波路に共振器を結合させればよい。ここで共振器は、導波管、同軸線路、マイクロストリップ線路のほか、インダクタとキャパシタなどの電磁波回路でできるほか、水晶や圧電セラミックなどを用いた弾性波でもできる。また小さなフェライト単結晶に直流磁界を加えると、静磁モードという共振器ができる。これらは使用の用途や所望の周波数帯に応じて適宜用いられる。例えば、同軸線路は低周波からマイクロ波帯までの広い周波数帯域で使用できるが、周波数がミリ波帯以上や、マイクロ波帯でも大電力の伝送を行う場合には、中空の導体内に電磁波を閉じ込めて伝送させる導波管が用いられる。このときは共振器の電磁界と入出力開孔の電磁界の結合を用い、また共振器の電磁界のお互いの結合を用いたりする。すなわち電磁界の結合を用いられる。そこで、その模様を BPF について示したのが図 2.1 である。

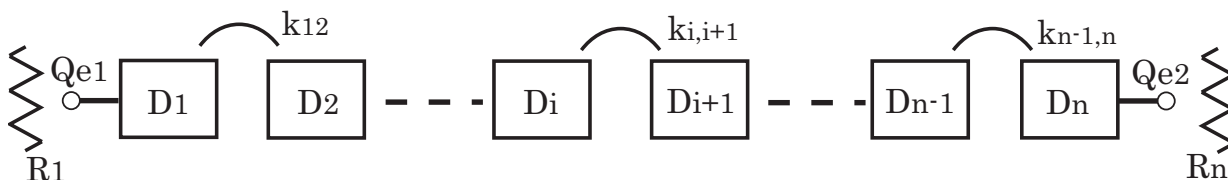


図 2.1 : n 個の共振器が順次結合して構成された n 段 BPF

この図において $D_i [i = 1, \dots]$ は共振器であり、 R_1 及び R_n は入出力開孔のインピーダンスである．図 2.1 でわかるように $D_i [i = 1, \dots]$ を取り去ると入出力は遮断され、入力に加えた信号は出力には伝わらない．つまり遮断導波路である．そしてこの遮断導波路に共振器を挿入することにより信号は入力 共振器 出力と伝わっていく．したがって BPF を作る方法は、まず遮断導波路を作り、それに共振器をお互いに結合するように配置して結合させることである．図 2.2 は共振器間及び共振器と入出力の結合をインダクティブ窓によって結合したアイリス結合導波管形帯域通過フィルタである．インダクティブ窓の代わりに図 2.4 のようにキャパシティブ窓を用いる場合もある．なお本研究で用いる長方形窓 (図 2.5) はインダクティブ窓とキャパシティブ窓を並列に接続したものと考えられる．

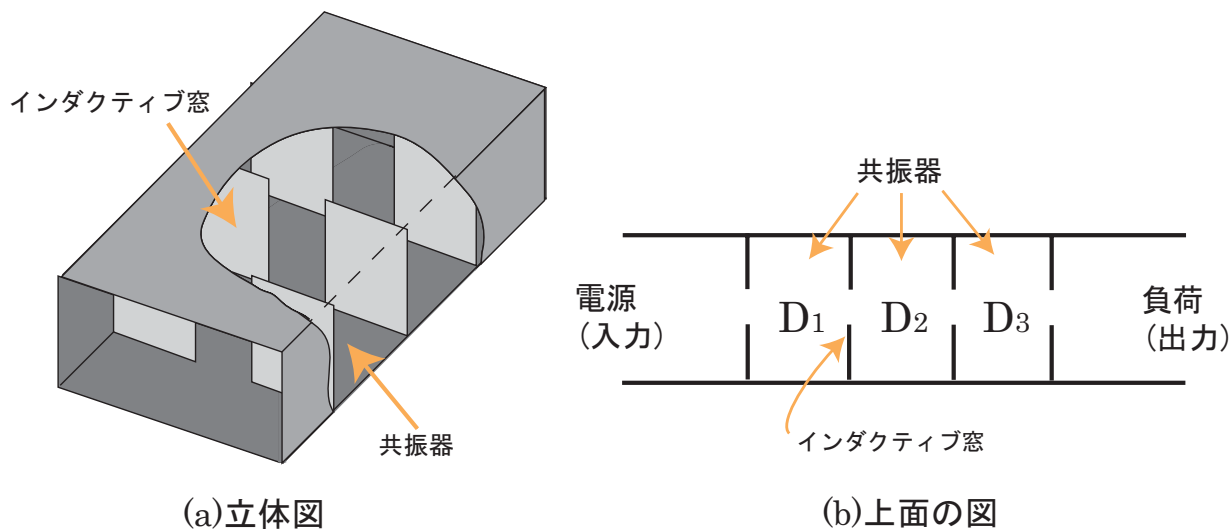


図 2.2 : アイリス結合導波管形帯域通過フィルタの構造

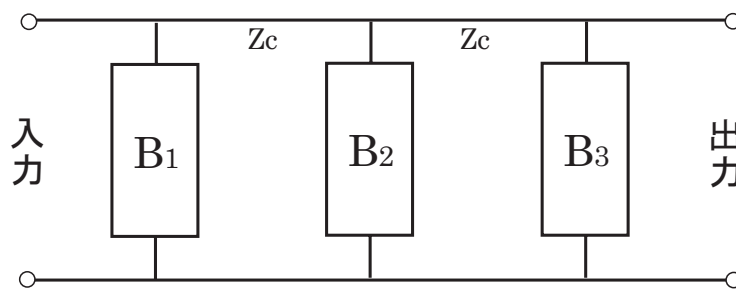


図 2.3 : 図 2.2 の等価回路

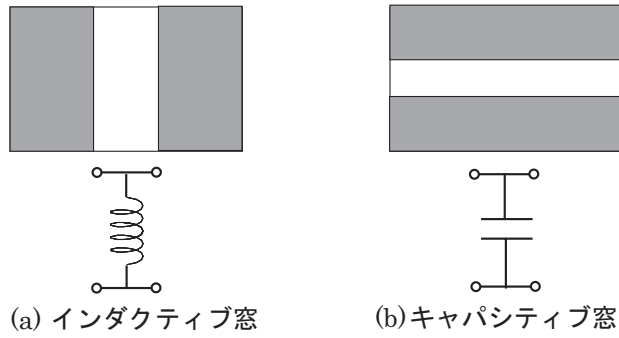


図 2.4 : 窓形状と等価回路

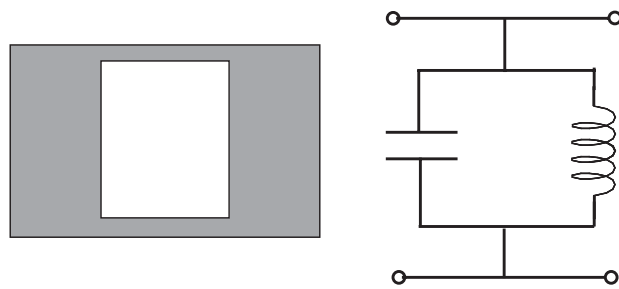


図 2.5 : 長方形窓と等価回路

このとき入出力の等価回路は図 2.3 のように特性インピーダンス Z_C をもつ分布定数線路に並列に B_1 、 B_2 、 \dots の適当なサセプタンスを接続したものとなり、この B_i $i = 1, 2, \dots$ は図 2.4 のような等価回路で表される．ここで図 2.3 において $B_2 =$ にしたときの D_1 は図 2.6 のようになる．図 2.6 において B_1 には入出力の結合や各種の結合窓による結合などが入る．

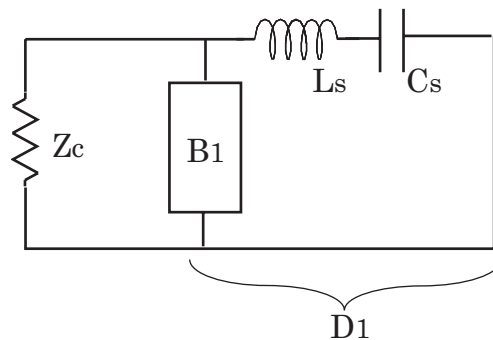


図 2.6 : $B_2 =$ にしたときの D_1 の等価回路

2.2 導波管チューナブルBPFの構成

2.2.1 周波数可変BPFの特性

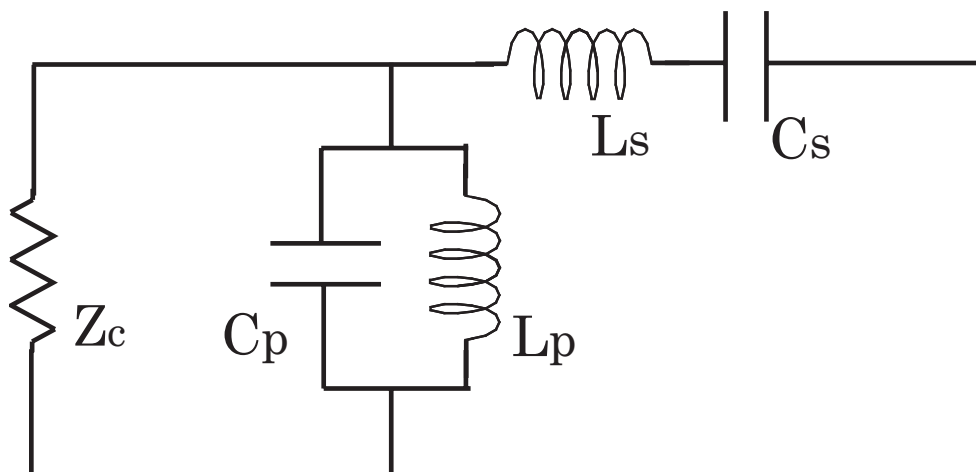


図 2.7 : 図 2.6 に LC 並列共振器を挿入した回路

図 2.6 に LC 並列共振器を挿入した BPF の回路を図 2.7 に示す．この回路は前節で説明したように入出力の結合またはカップリング窓による結合を示している．この回路を通過周波数可変にするためにさらに図 2.7 の容量部分を可変にし、さらに可変容量を持つ LC 並列回路を挿入する (図 2.8) ．

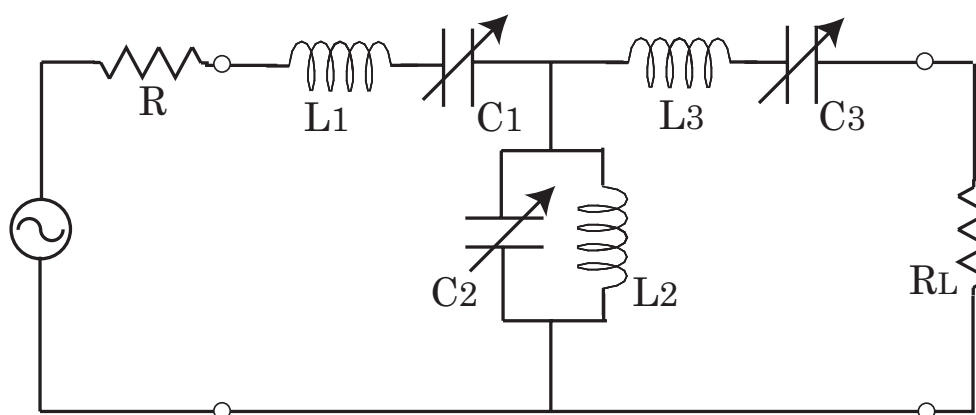


図 2.8 : 三つの可変容量を持つ共振器を結合させた BPF

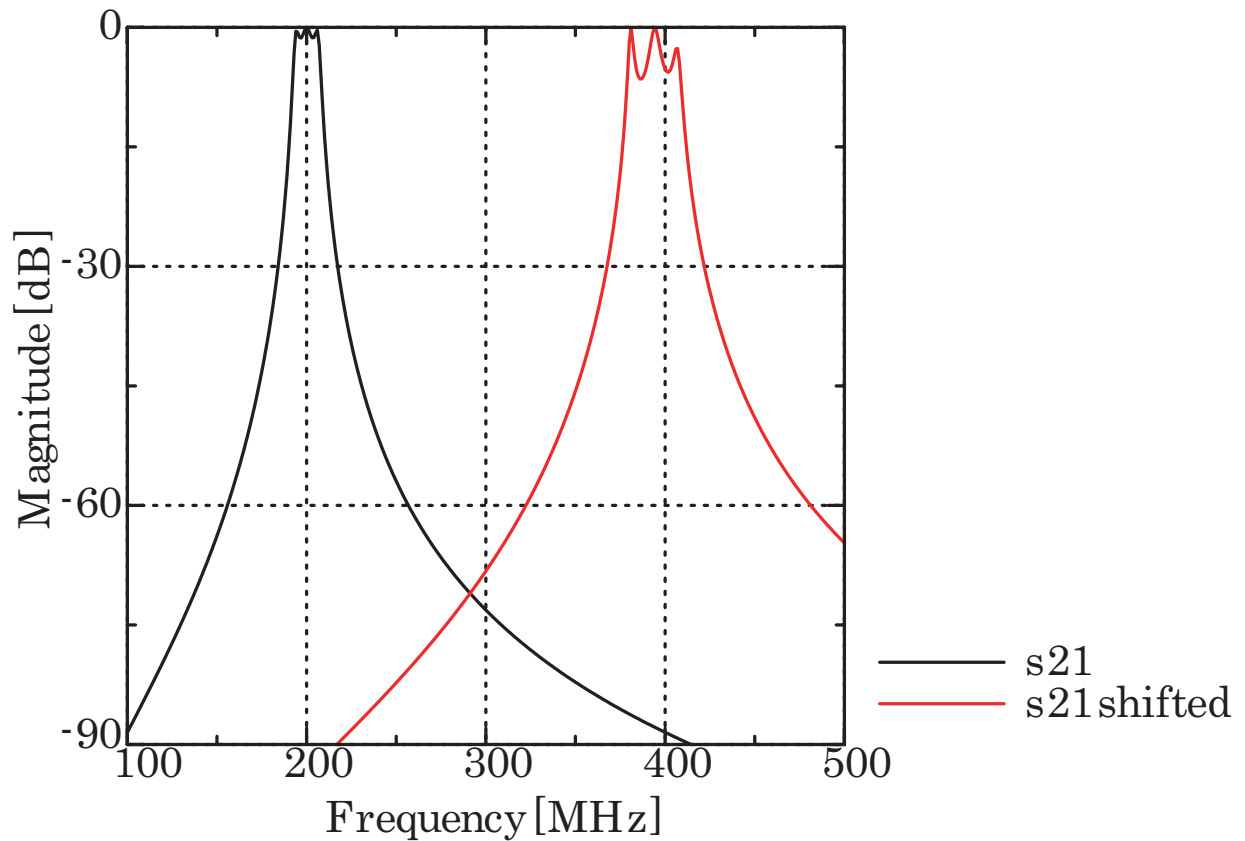


図 2.9 : 図 2.8 の BPF の通過帯域のシフト

図 2.9 に図 2.8 の回路をリアクタンスの値を固定し、キャパシタンスを可変に設定して解析した結果を示した。容量成分を可変にすることによって通過帯域が高域にシフトできることが明らかになった。このことは導波管 BPF に容量可変のコンデンサを付加することによって通過帯域を任意に操作できることを示す。さらにリアクタンス固定のもとで容量を変化させると、通過帯域を高域にシフトさせたときに帯域が広がる傾向がある。

2.2.2 チューナブル BPF の小型化について

本研究では図 2.10 の BPF を 1 ユニットとして直列に五つ、図 2.5 の長方形窓を用いて結合させた五段チューナブル BPF の小型化を目標としている．なお各部の説明は次小節で行う．具体的には現在の四段 BPF の幅で小型の五段 BPF を作成すること、つまり 1 ユニットあたりの幅を元の大きさの 80 % に短縮することである．ここで例として現在の四段の BPF(図 2.11(a)) と小型化した五段 BPF(図 2.11(b)) を並べて示す．1 ユニットあたりの小型化を実現することで、全体として同じ大きさで、かつ、BPF の段数が増えることにより、より急峻な減衰特性を得ることが可能になる．

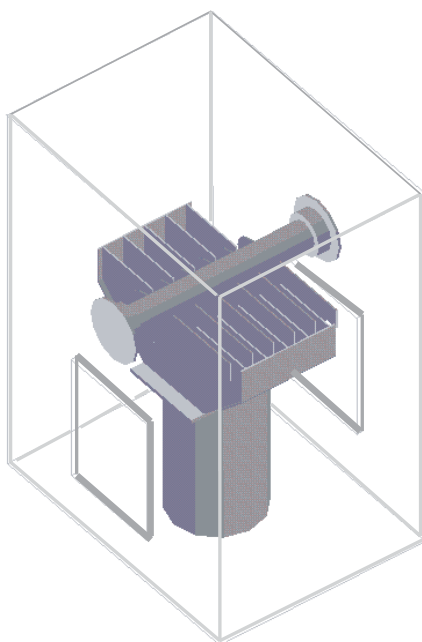
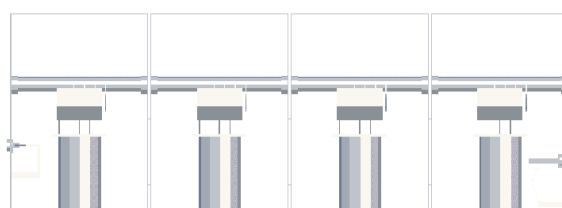
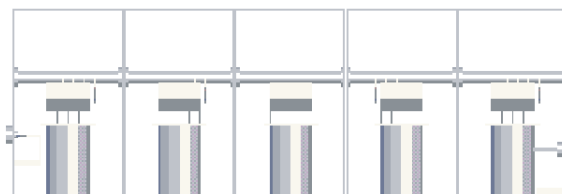


図 2.10 : 本研究の BPF の 1 ユニット



(a)元の幅のBPF(四段)



(b)小型化したBPF(五段)

図 2.11 : 現在の四段 BPF と小型化した五段 BPF

2.2.3 一段チューナブル BPF

現在の一段チューナブル BPF を図 2.12 に示す．構成としては導波管に入出力部を付加し、導波管の内側に誘電体ポストを設け、その上部に直列に接続された平行平板コンデンサを配置している．コンデンサ部は固定部と可変部で構成されている．この BPF は回転軸を中心に可変部である回転羽根が回転し容量を調節できるようになっている．回転することで容量が変化し、その結果、2.2.1 で示したように、通過帯域が高域へとシフトするのである．さらに回転羽根の外側の羽根を折り曲げることによって容量の微調節が可能になっている．

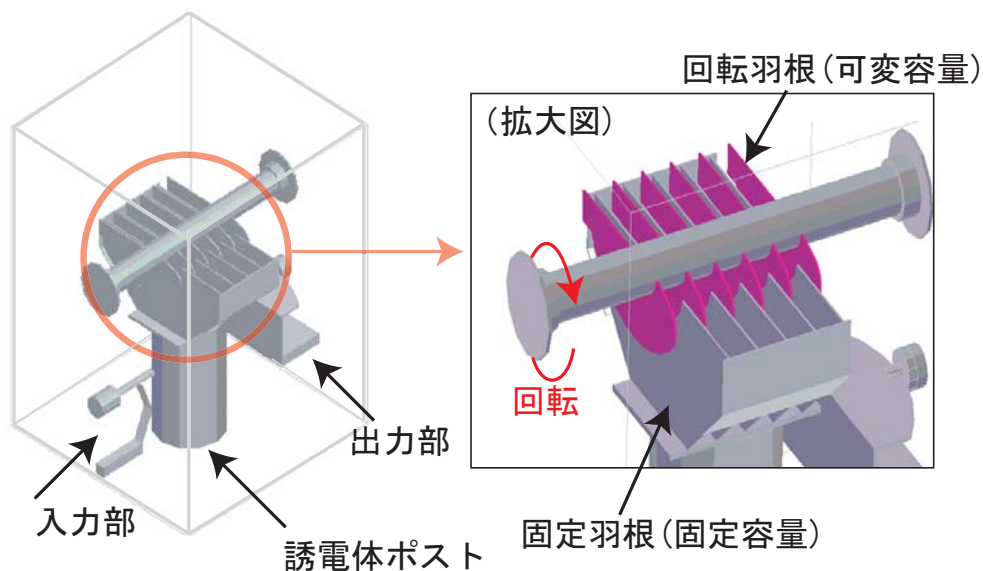


図 2.12 : 一段チューナブル BPF の構成

図 2.13 は一段 BPF を回転させたときの通過特性である．回転する角度が増すにつれて通過帯域が高域へとシフトしていくのがわかる．ここでは一段 BPF の小型化を行う．小型化の方法として、そのまま導波管長を短くするので共振周波数のずれや同調の乱れが考えられる．

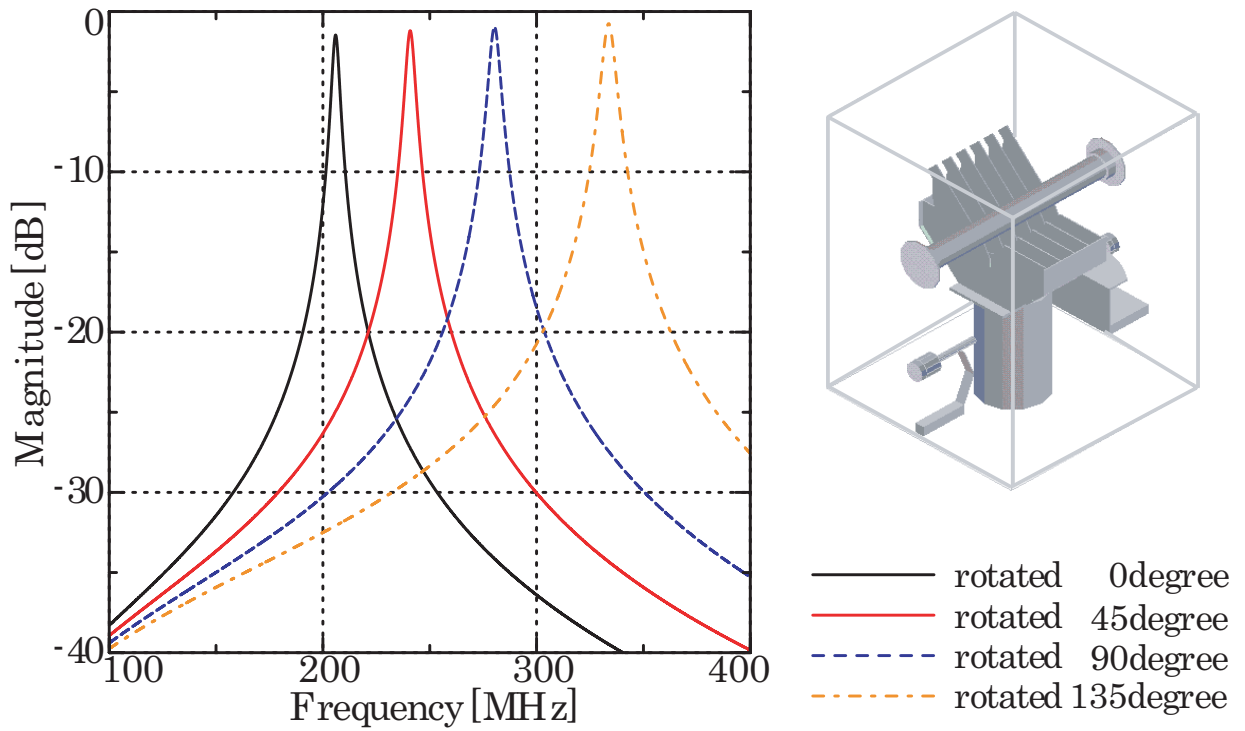


図 2.13 : 一段チューナブル BPF の通過特性

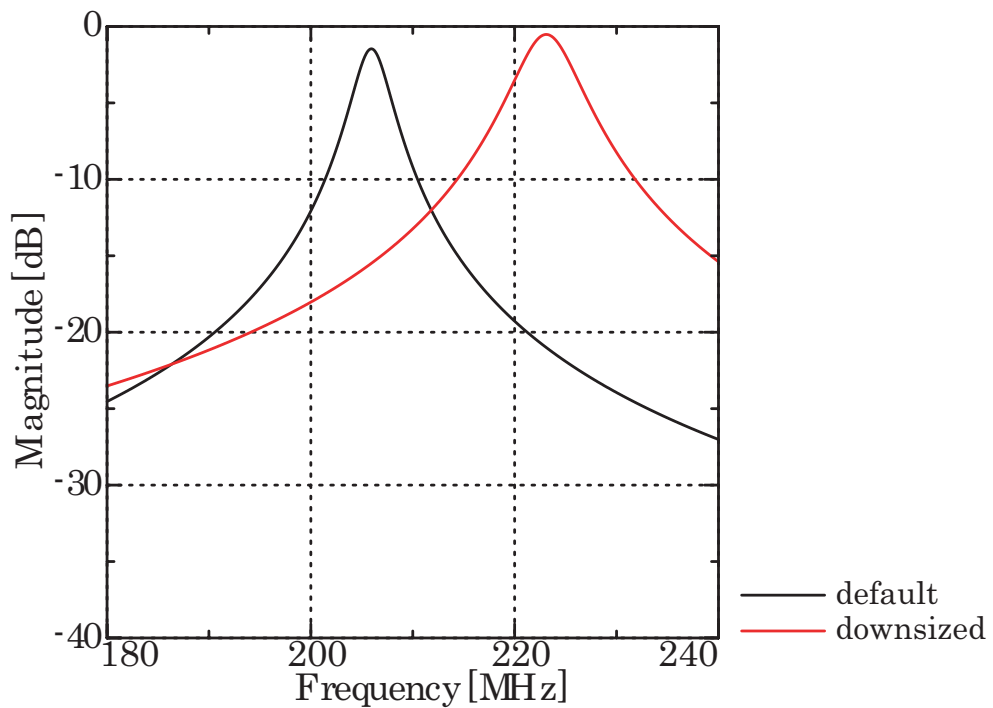


図 2.14 : 小型 BPF の特性 (幅の短縮のみ)

図 2.14 は幅の短縮のみを行った図である．やはり共振周波数が 20[MHz] 程ずれてしまっている．おそらく導波管長が変化してしまったために、入出力の結合が崩れてしまったためと考えられる．そこで入力側の同軸線路の下にある調整用銅板を変化させた．その様子を図 2.15 に示す．通過帯域のずれを 4[MHz] 程度まで削減することができた (図 2.16) ．

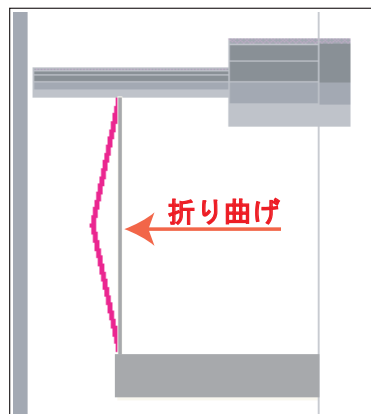


図 2.15 : 調整用銅板の折り曲げ

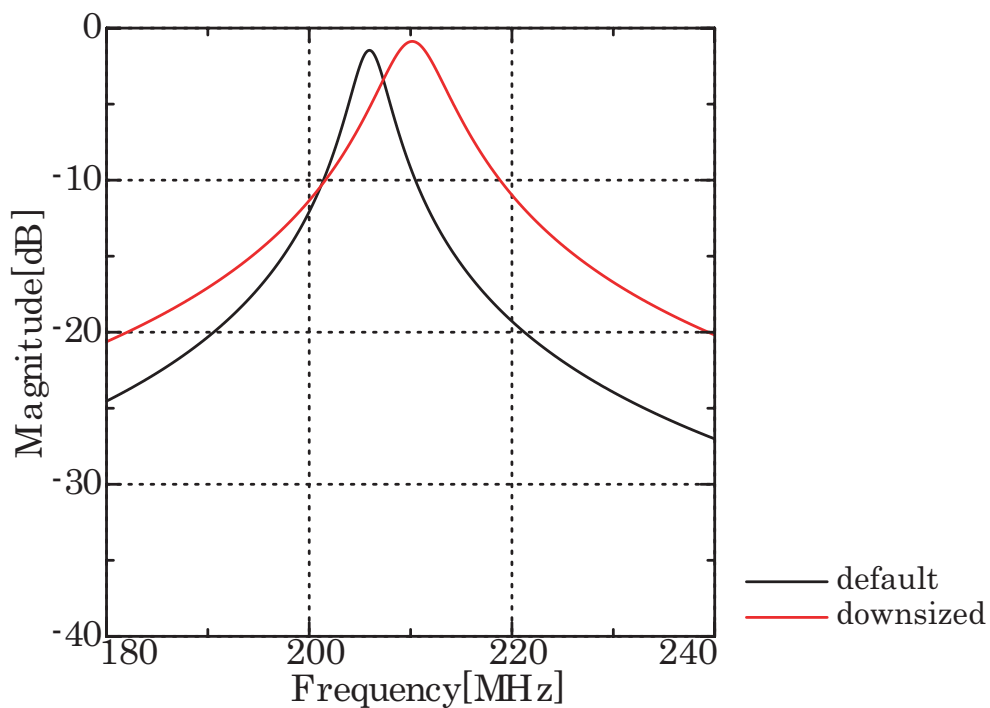


図 2.16 : 銅板調整後の小型 BPF の特性

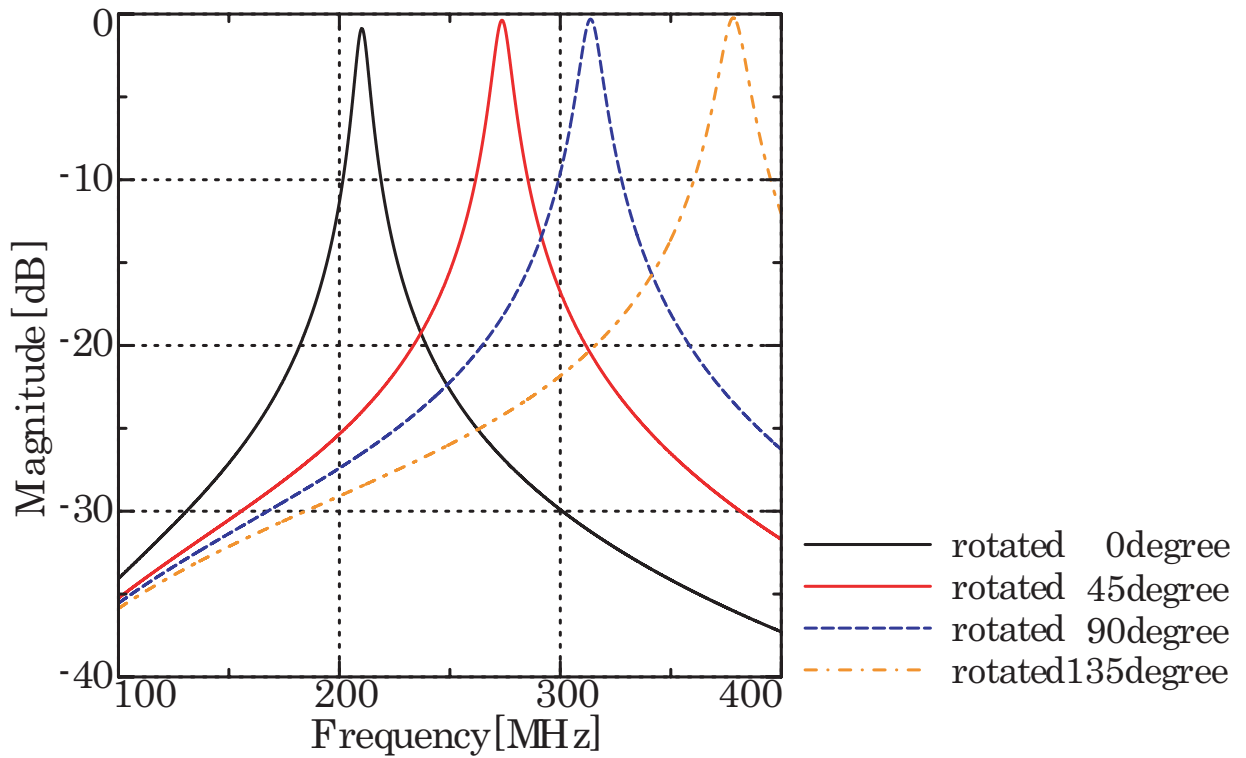


図 2.17 : 小型一段 BPF の特性

図 2.16 の小型化した一段チューナブル BPF を $45^\circ \sim 135^\circ$ まで回転させたのが図 2.17 である．ここで可変な周波数範囲はおよそ $210[\text{MHz}] \sim 380[\text{MHz}]$ であり $-3[\text{dB}]$ における通過帯域幅は約 $5[\text{MHz}]$ となった．このことから小型一段チューナブル BPF が正しく動作していることが明らかになった．

第 3 章

多段チューナブルBPFの小型化

前章で構成した小型一段チューナブル BPF を基に多段チューナブル BPF を設計・解析した。本章ではその結果について示す。

3.1 二段チューナブルBPFについて

3.1.1 結合窓の形状

二段以上の BPF を連結するとき本研究では結合窓を用いて結合する。ここでは二つの BPF の結合の方法を 2 章で紹介した、キャパシティブ窓及びキャパシティブ窓とインダクティブ窓を併せた長方形窓について検討した。図 3.1 よりキャパシティブ窓に関しては同調が得られていない。長方形窓に関しては一例として横 40[mm] のときに縦の長さを変化させたときの特性の変化を図 3.2 に示す。縦が 50[mm]、横が 40[mm] のときに同調し、結合もかなり向上しているのがわかる。今後多段化するときには基準としてこの大きさの窓を用いることにする。このことはこの BPF を結合させるときには容量性だけではなく、ある程度誘導性も必要になることを示している。ただ、通過帯域にわずかであるが乱れが生じているので、それを補正することが必要になる。

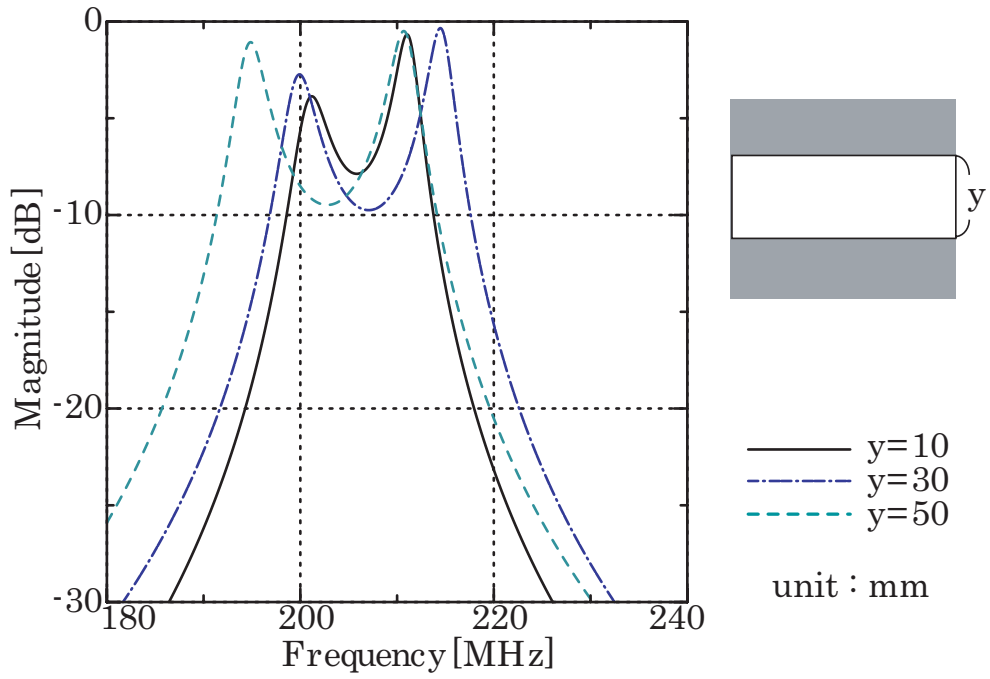


図 3.1 : キャパシティブ窓による特性の変化

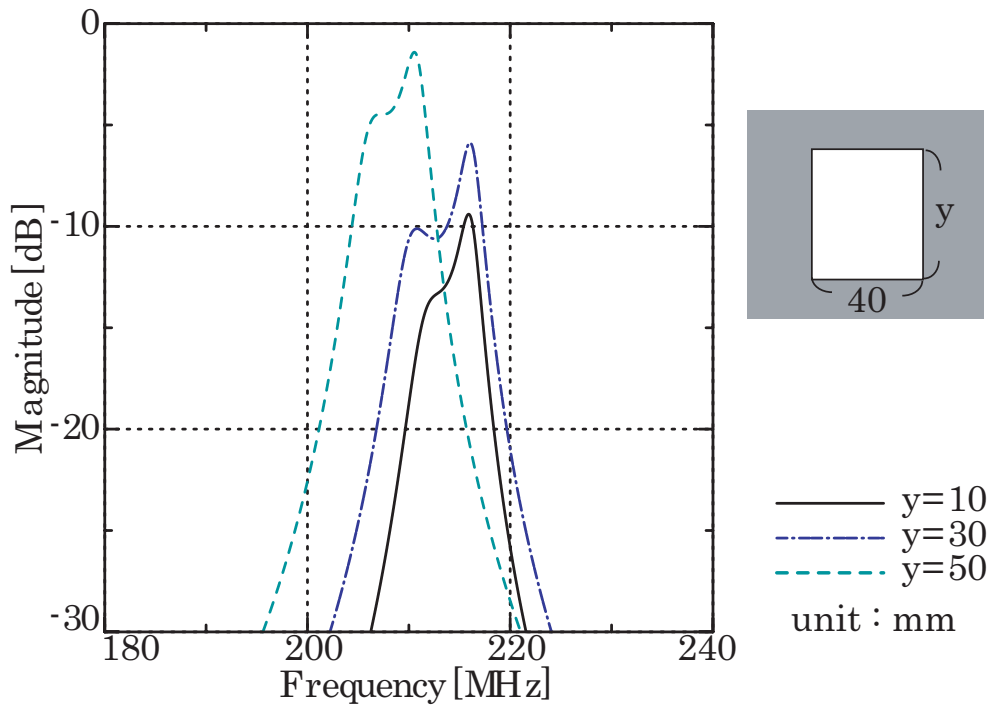


図 3.2 : 長方形窓による特性の変化

3.1.2 二段BPFの小型化

さらにこの二段チューナブルBPFの通過帯域の乱れの補正について検討した。このBPFは可変容量である回転羽根を回転させて容量を調節できるほか、回転羽根の外側を折り曲げることによって容量の微調節が行えるようになっている。補正には回転羽根の外側の羽根の折り曲げを行った(図3.3)。ここで羽根の折り曲げは一段、二段共に行った。羽根の折り曲げによる特性の変化を図3.4に示す。通過帯域がわずかに高域へとシフトしているが同調および結合が向上している。このことから二段BPFを最適化できた事がわかる。さらに羽根の角度を変化させて検討した。その結果を図3.5に示す。10°のときに最も同調が取れているのがわかる。このBPFの回転させた特性を図3.6に示す。



図 3.3 : 外側の羽根の折り曲げ

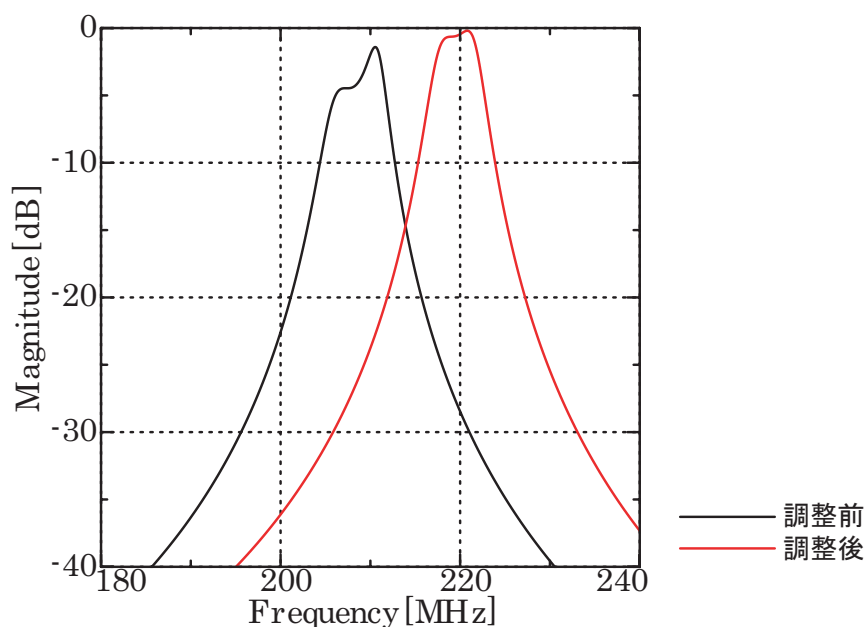


図 3.4 : 羽根の折り曲げによる特性の変化

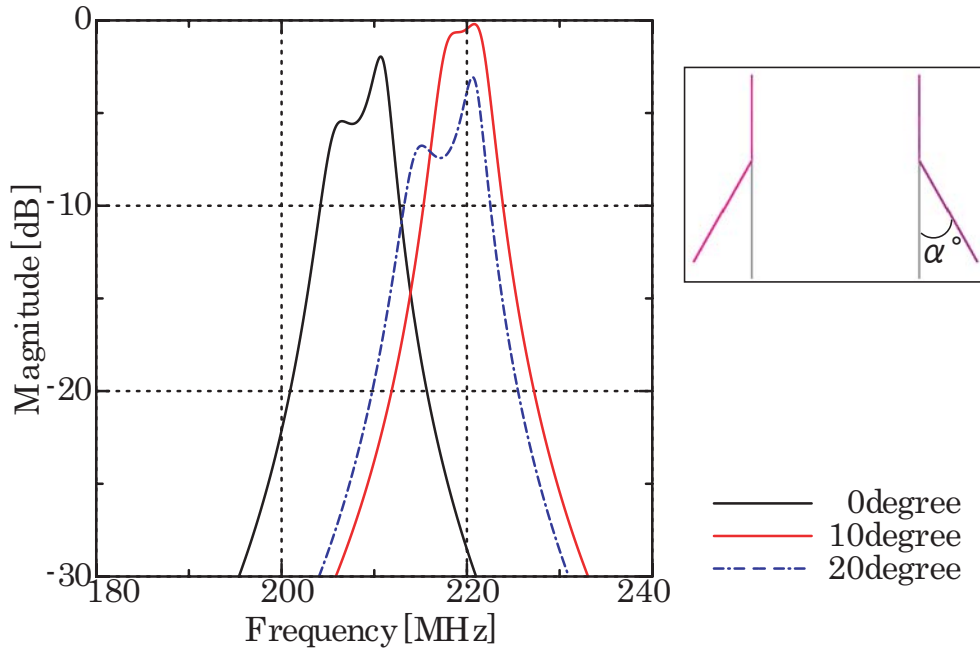


図 3.5 : 折り曲げ角度による特性の変化の比較

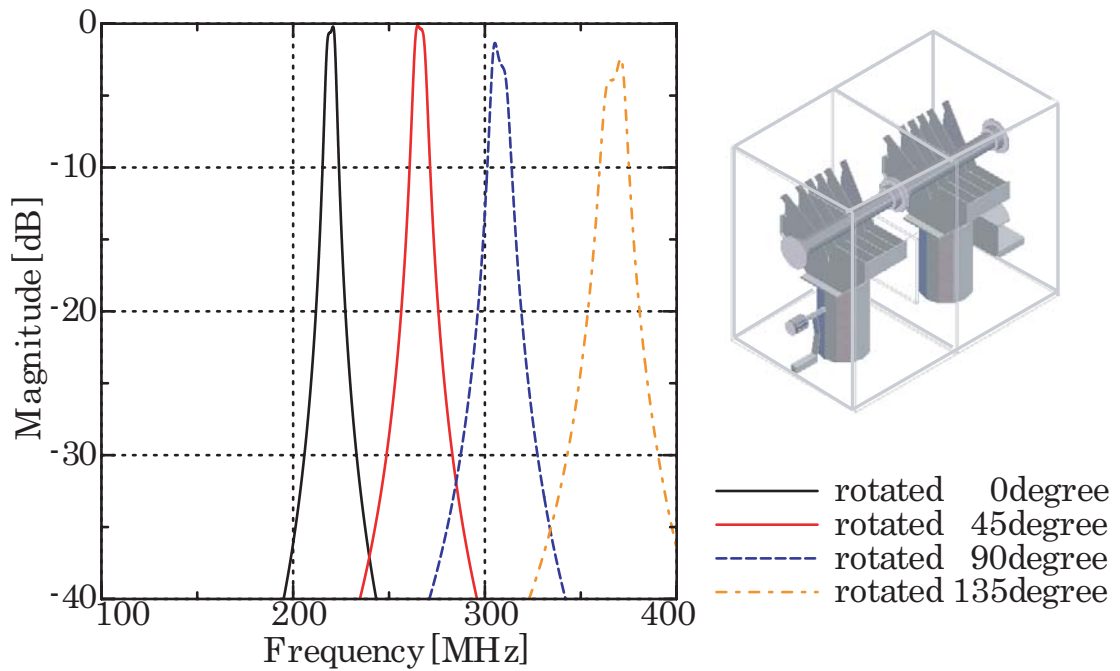


図 3.6 : 二段チューナブル BPF の特性

3.2 三段チューナブルBPFについて

3.2.1 BPFの幅が特性に及ぼす影響について

三段チューナブルBPFになると通過帯域の低域側の近傍にひとつ共振が現れる(図3.7)。これは二段BPFまでには見られなかった現象である。これは二つある結合窓が影響しているためだと考えられる。そこで窓と窓の距離(二段目の幅)を縮めて現れた共振がどのように変化するかを考察した。その様子を図3.8に、特性の変化を図3.9に示す。図3.9より、この共振は二段目の影響であった事がわかる。さらに共振する二段目の幅を求めた。その結果を図3.10に示す。

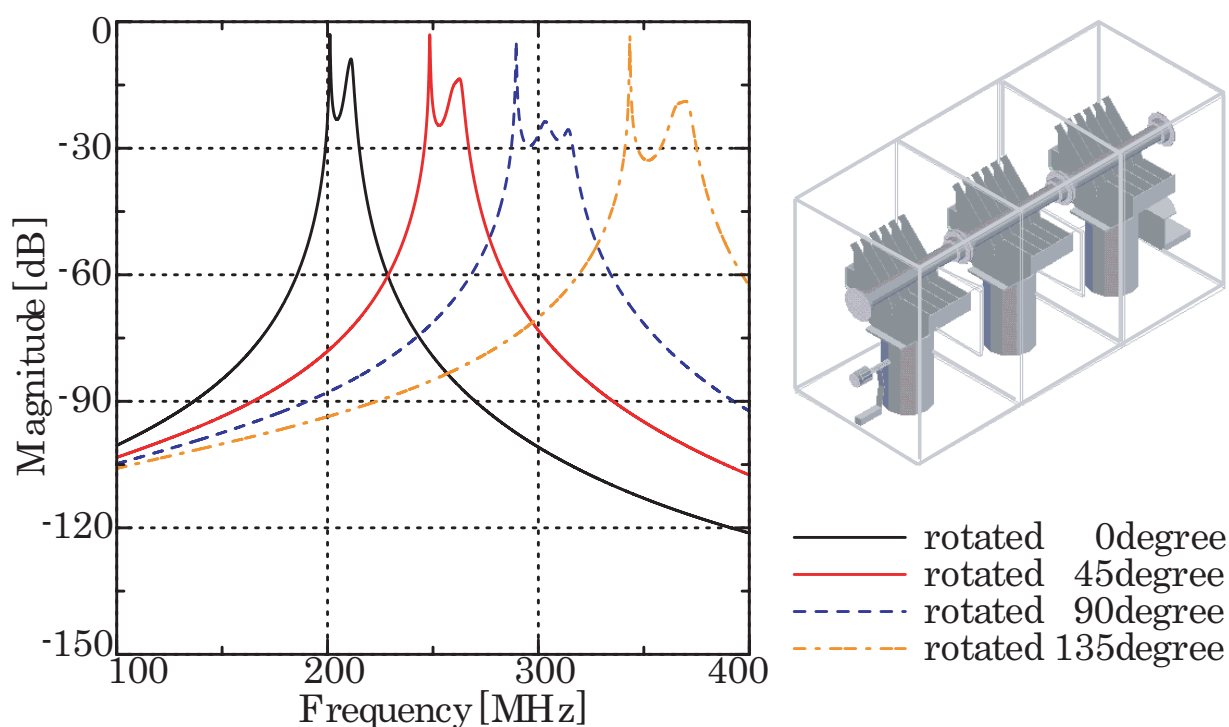


図 3.7 : 三段チューナブル BPF の特性

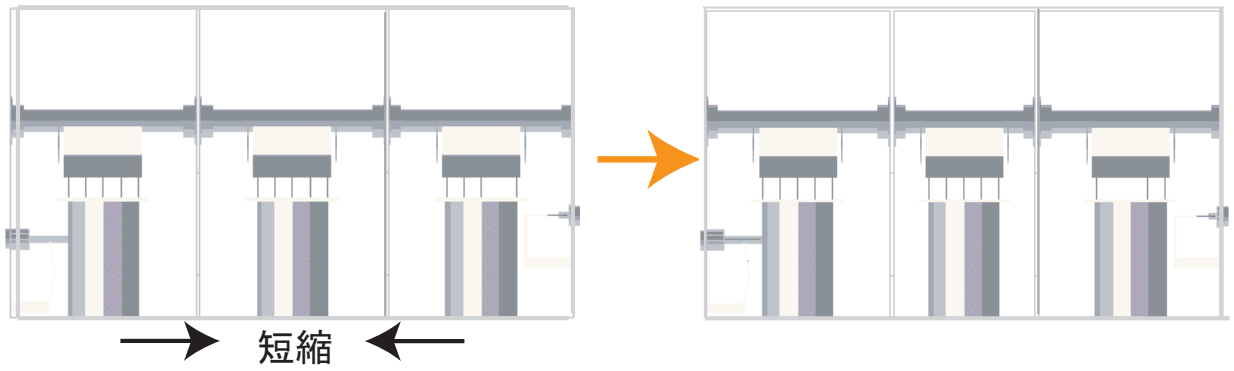


図 3.8 : 二段目を短縮する様子

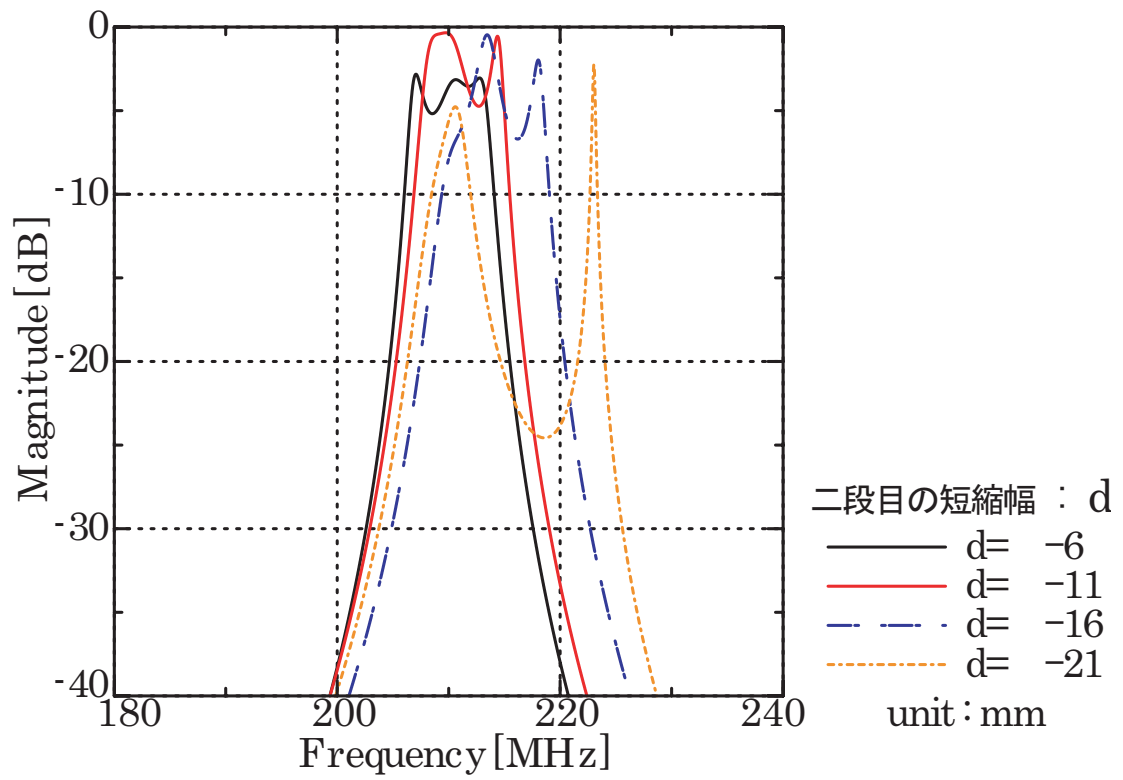


図 3.9 : 短縮したときの三段 BPF の特性

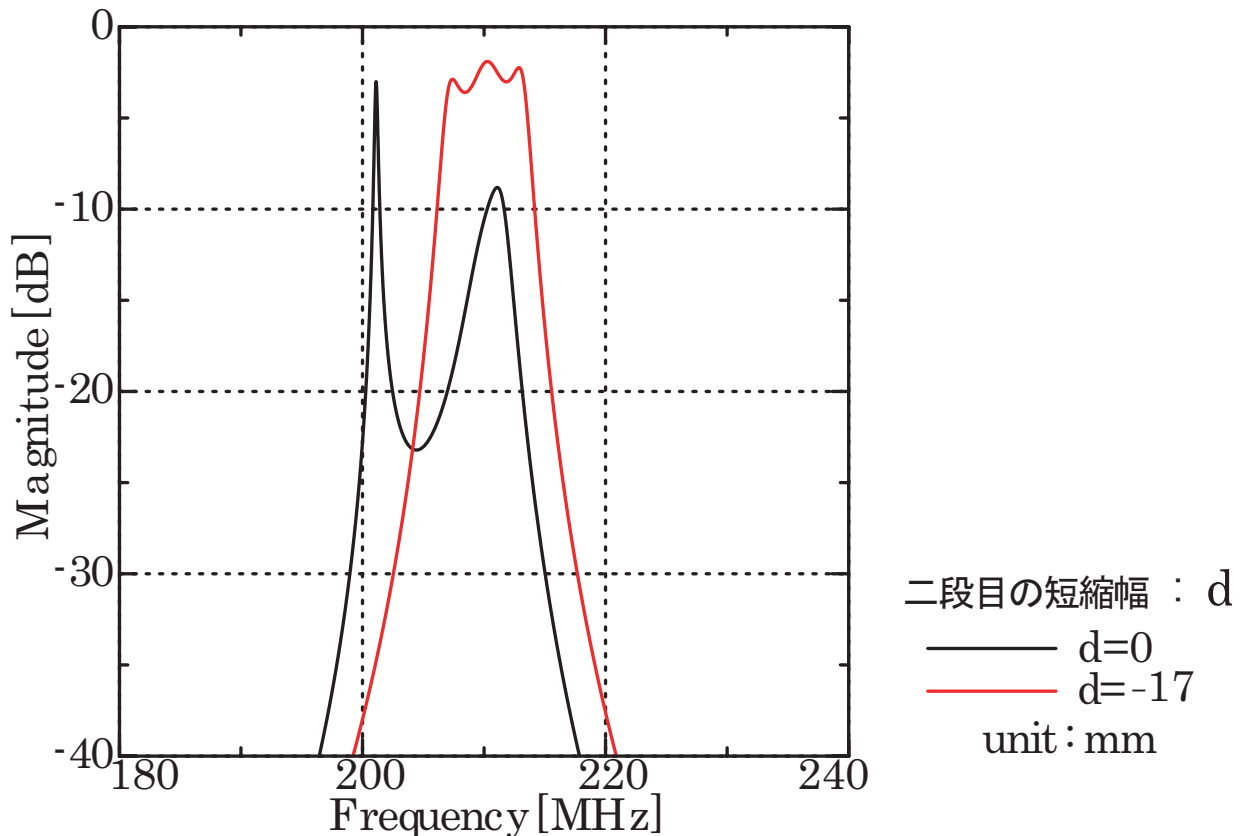


図 3.10 : 共振する短縮幅のときの三段 BPF の特性

3.2.2 結合窓と回転羽根の及ぼす影響

本 BPF は結合窓によって接続されている．ゆえに結合窓の形状・大きさが特性を大きく影響を与えると考えられる．そこで結合窓の大きさについて比較・検討したのが、図 3.11 と図 3.12 である．縦方向の変化では狭めるにつれて結合が強まっていくことがわかる．しかし狭まっていくにつれて通過特性が減衰していくことがわかる．横方向の変化に関しては狭めると同時に激しく減衰される．しかし同調に対してかなり影響がある．このことから結合窓の縦方向の変化は同調後に結合を強めるときに用い、横方向の変化は同調・結合後の補正に用いることができることが明らかになった．また帯域の分裂の原因と考えられる二段目において回転羽根の折り曲げも行った．回転羽根の外側の羽根を折り曲げることによって帯域全体が外側にシフトしていることがわかる．このことから同調を取る際に羽根においても調節ができることが明らかになった．

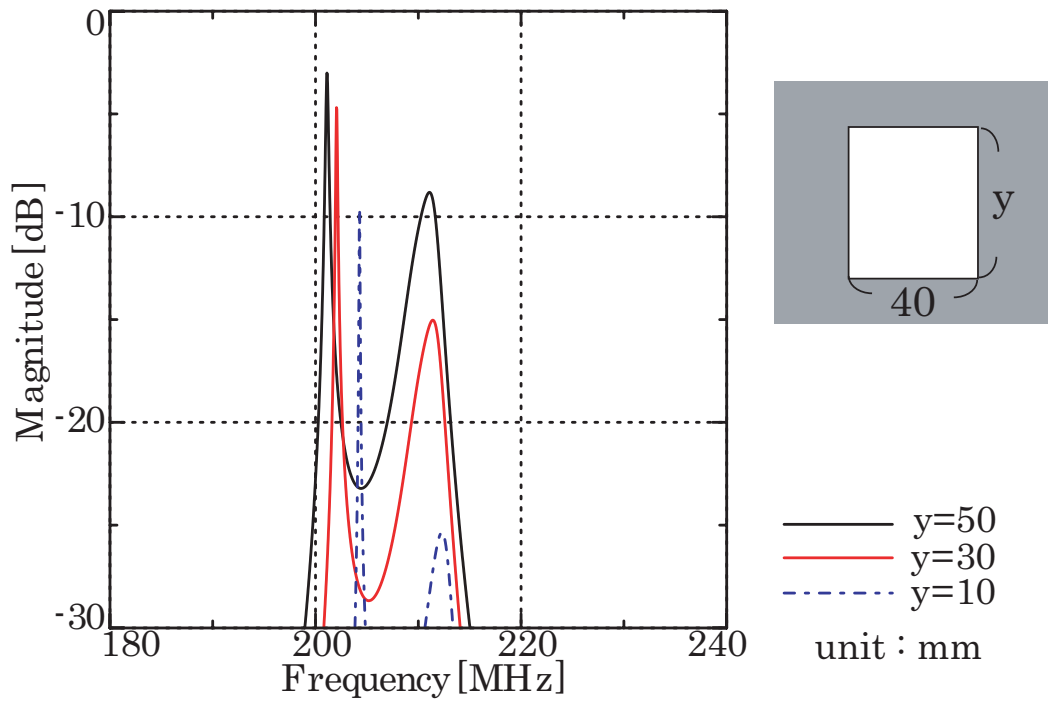


图 3.11 : 結合窓・縦方向変化

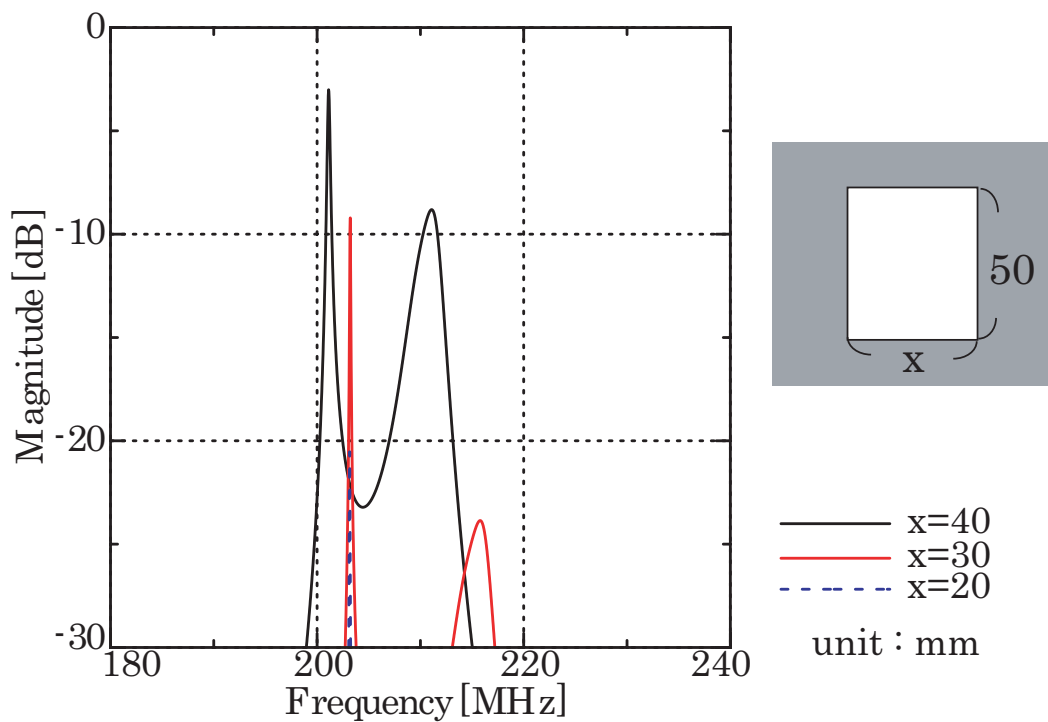


图 3.12 : 結合窓・横方向変化

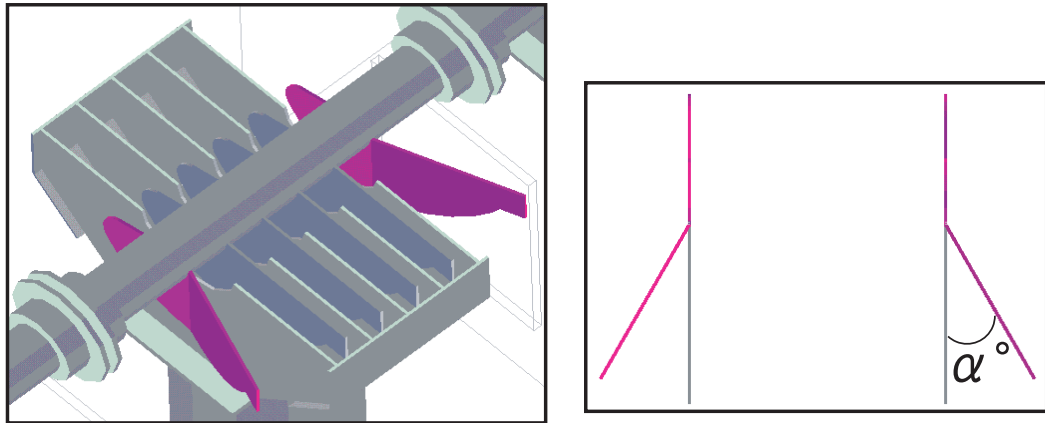


図 3.13 : 外側の羽根の折り曲げ

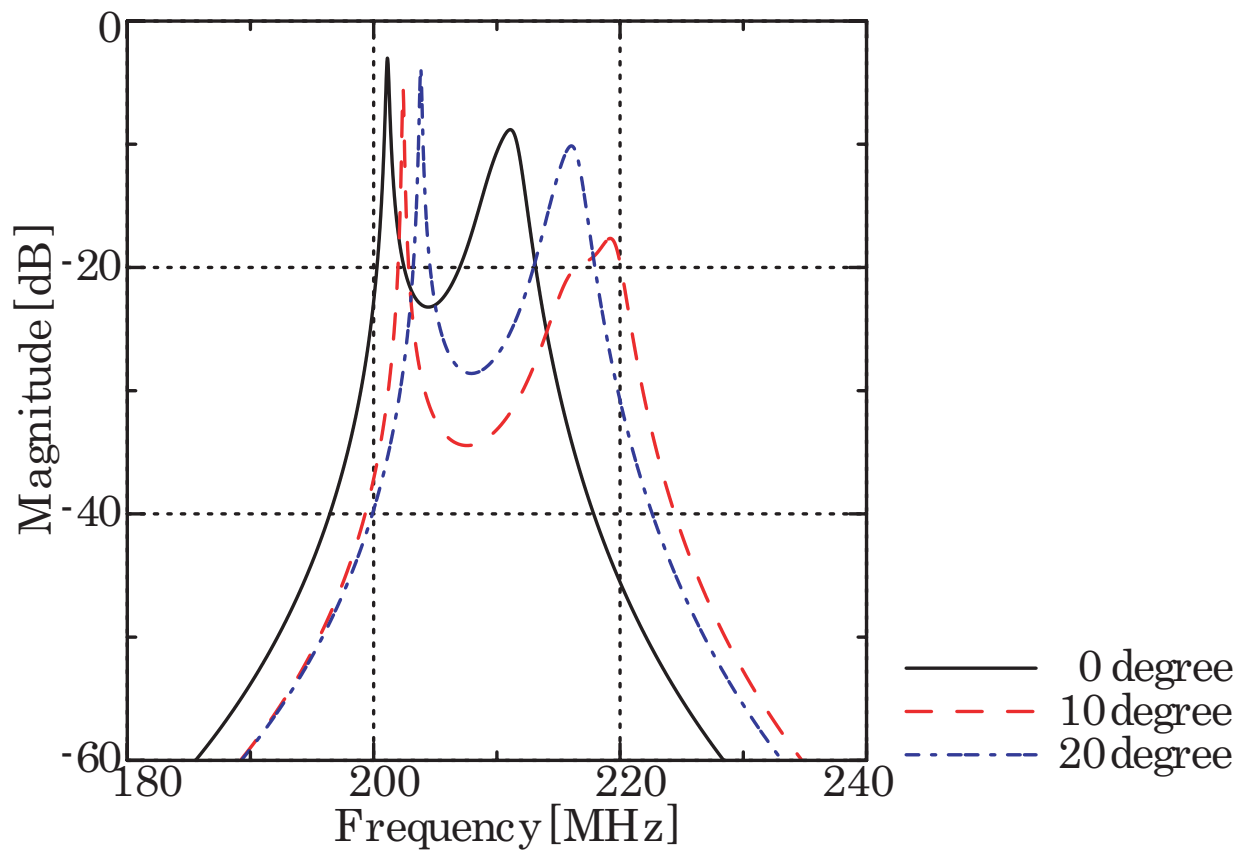


図 3.14 : 二段目の外側の羽根の折り曲げ

3.2.3 三段 BPF の小型化

ここでは導波管長を 3.2.1 において最適化した BPF を用いて、さらに同調を改善し、結合を強めて最適化を行う。同調の改善には羽根の折り曲げを用い、結合の強化には結合窓を狭めるという手法を用いた。羽根の折り曲げに関しては二段目が通過帯域の乱れの原因となっているので、二段目の羽根のみ折り曲げを行った。ここで最も同調をとることができたのは折り曲げ角度を 10° としたときであった。このことを図 3.15 に示す。また窓の大きさを変化させたとき、縦の長さを $10[\text{mm}]$ としたとき最も狭帯域かつ低損失となった。このことを図 3.16 に示した。そして調整などによって最適化した小型三段チューナブル BPF の通過特性を図 3.17 に示した。この BPF の可変周波数帯域はおよそ $210[\text{MHz}] \sim 370[\text{MHz}]$ で、通過帯域幅は約 $0.8[\text{MHz}]$ となった。

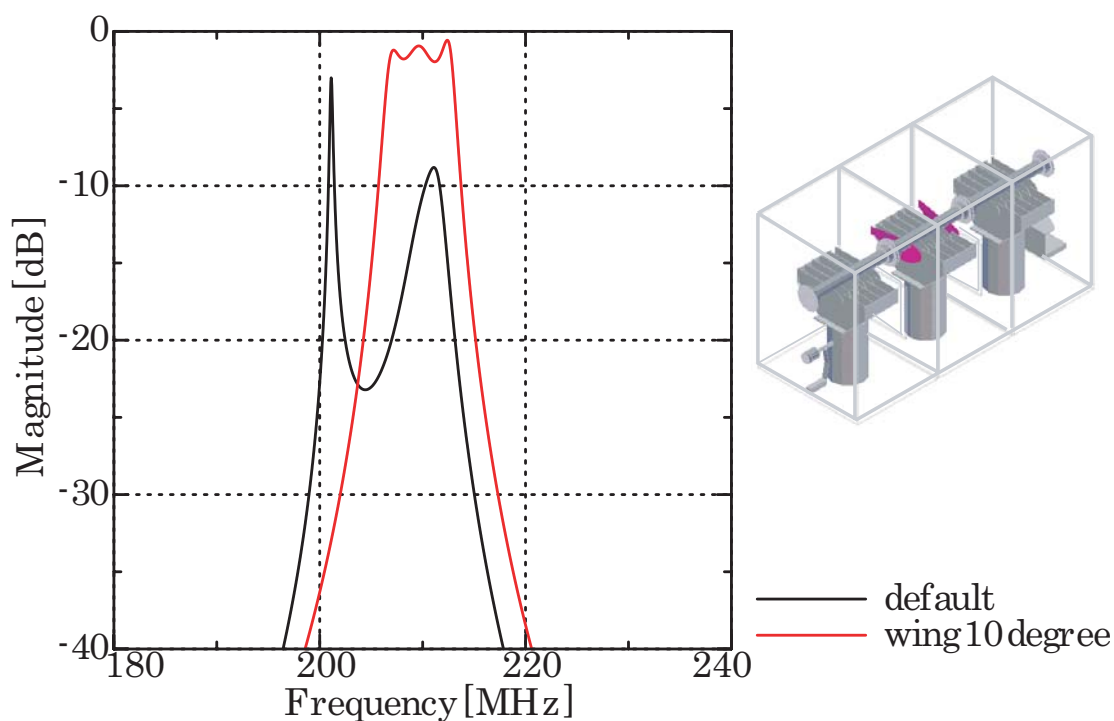


図 3.15 : 羽根を折り曲げたときの特性

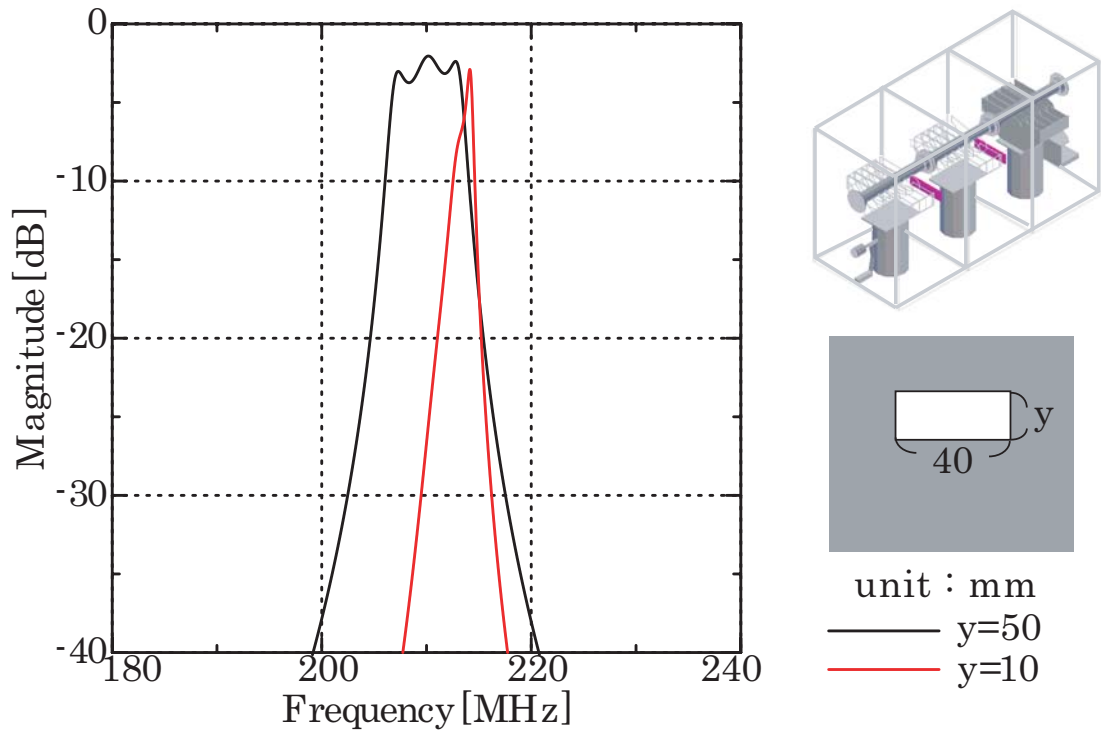


図 3.16 : 最適化したときの特性

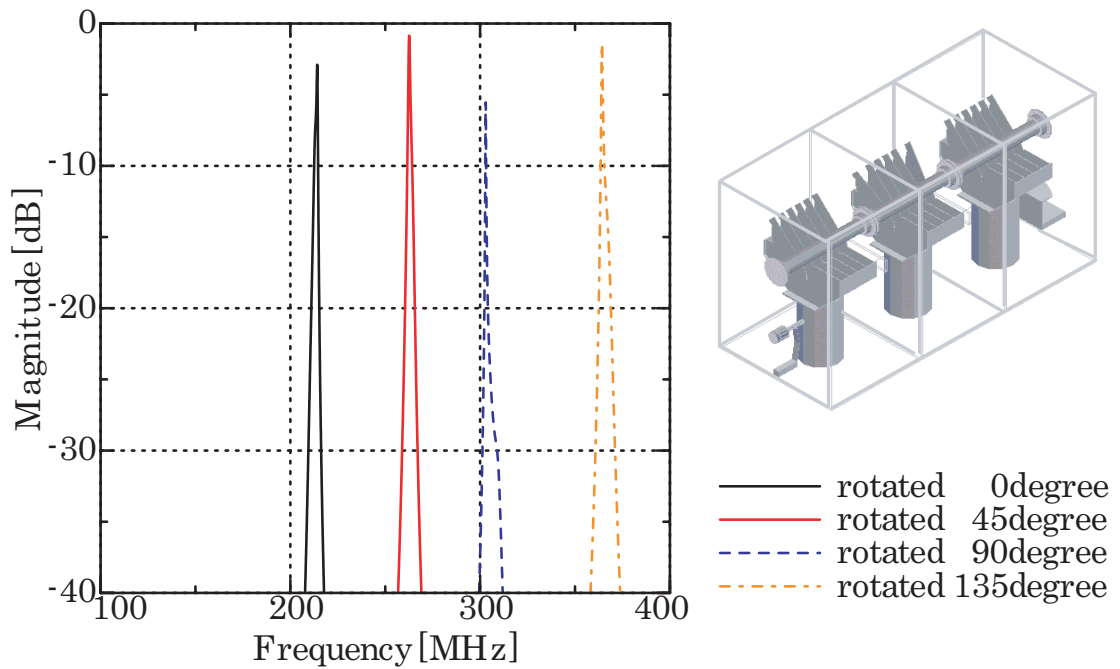


図 3.17 : 最適化した三段チューナブル BPF の特性

3.3 四段チューナブルBPFについて

3.3.1 各部分の及ぼす影響について

結合窓を用いてBPFを四つ直列に接続し、四段チューナブルBPFを設計・解析した。結合窓の大きさは縦50[mm]、横40[mm]とした。連結したときの特性を図3.18に示す。主となる共振の低域側に二つ余分な共振が現れる。四段BPFではこの二つの共振を補正することが必要となる。

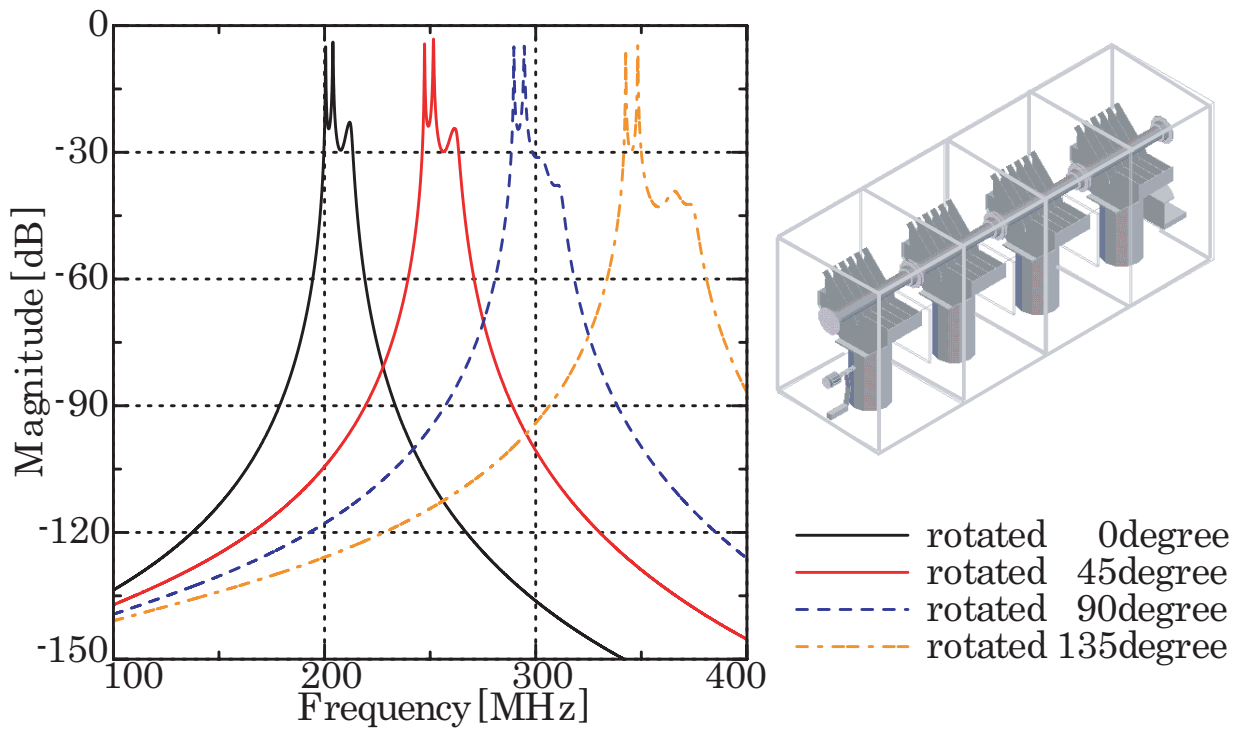


図 3.18 : 四段チューナブル BPF の特性

まず結合窓の縦と横方向の変化について図3.19と図3.20に示す。窓の縦方向の変化は結合は強まるが、通過特性は減衰する。横方向に関しては同調に大きく作用し、通過特性は大きく減衰する。どちらも小さくし過ぎると減衰してしまうので、ある程度の大きさが必要である。ただ、どちらも低域に現れる二つの共振の調節にはあまり関与しない傾向にある。さらに二、三段目の幅を短縮したときの検討も行った。ここでは回路の対称性を考慮して、二、三段目の短縮幅を等しくした。図3.22にその結果を示す。短縮するにつれて中心の共振に低域に現れた共振が同調していくのがわかる。しかしある程度短縮幅が大きくなると中心周波数よりも高い周波数に低域にあった共振がシフトしてしまう。図3.23に三段BPFにおいて最適な短縮幅であった-7[mm]を四段BPFの二段目と三段目に用いたとき

の特性を示す．低域の共振の一つは同調するものの、もう一方は分裂したままである．ゆえに四段 BPF においては同時に二、三段目の最適な短縮幅を満たす必要がある．

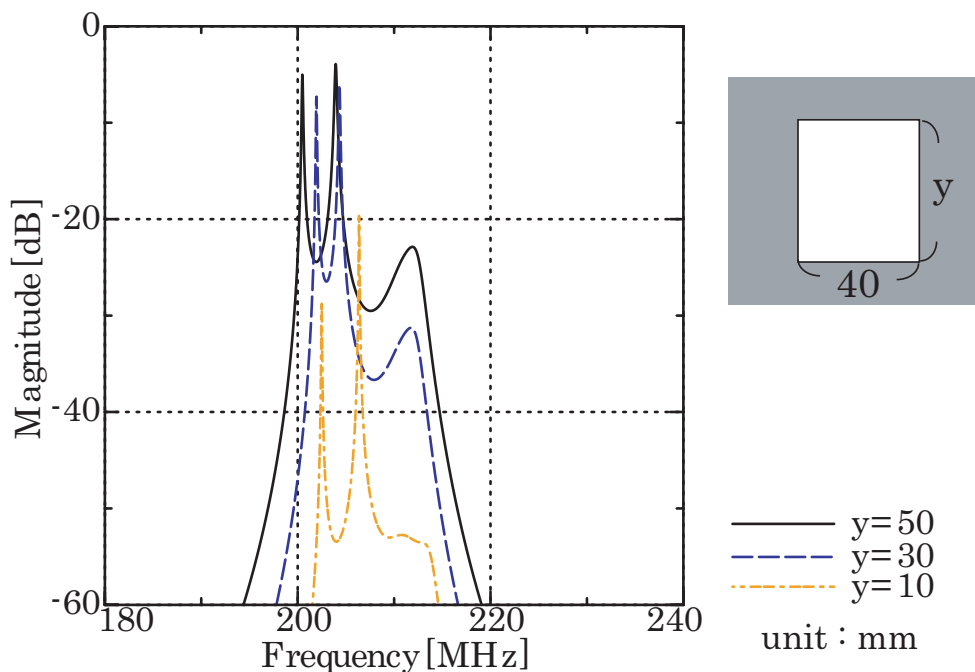


図 3.19 : 結合窓・縦方向変化

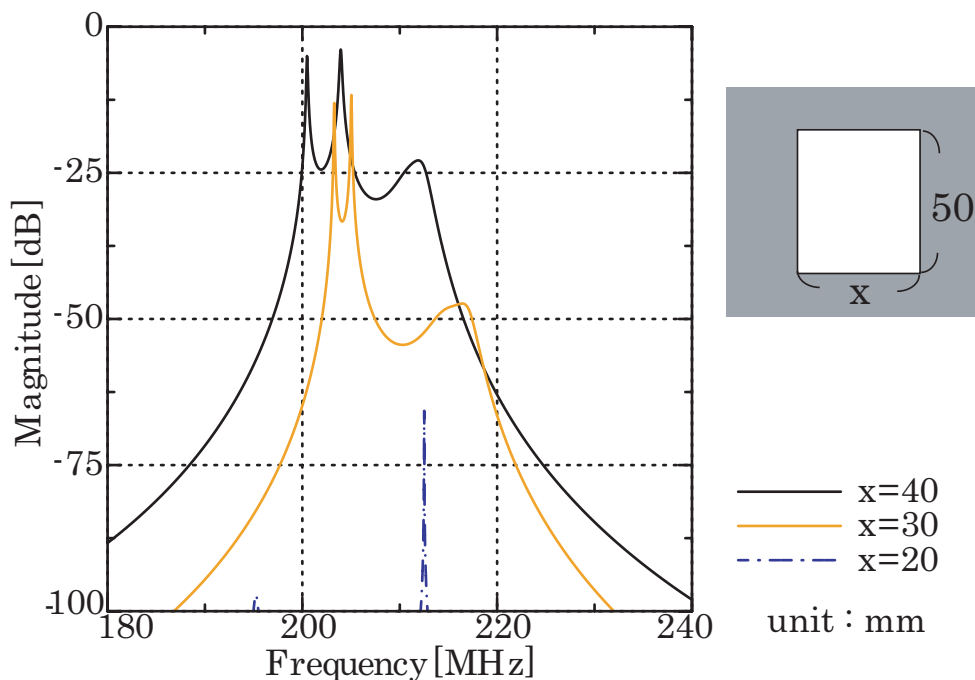


図 3.20 : 結合窓・横方向変化

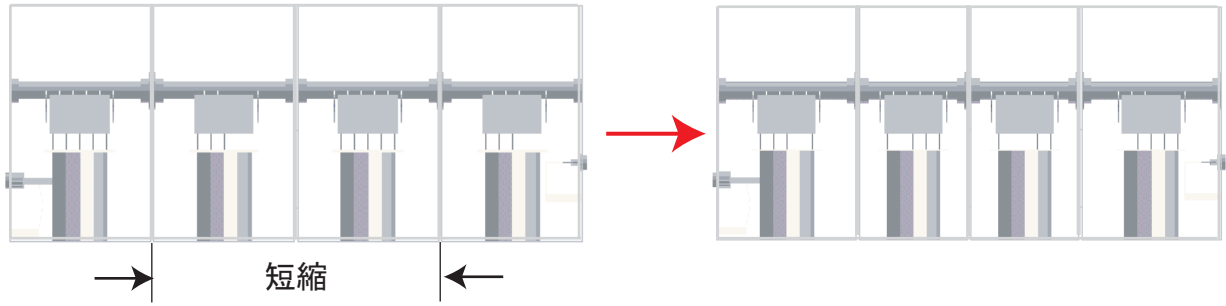


図 3.21 : 二、三段目を短縮する様子

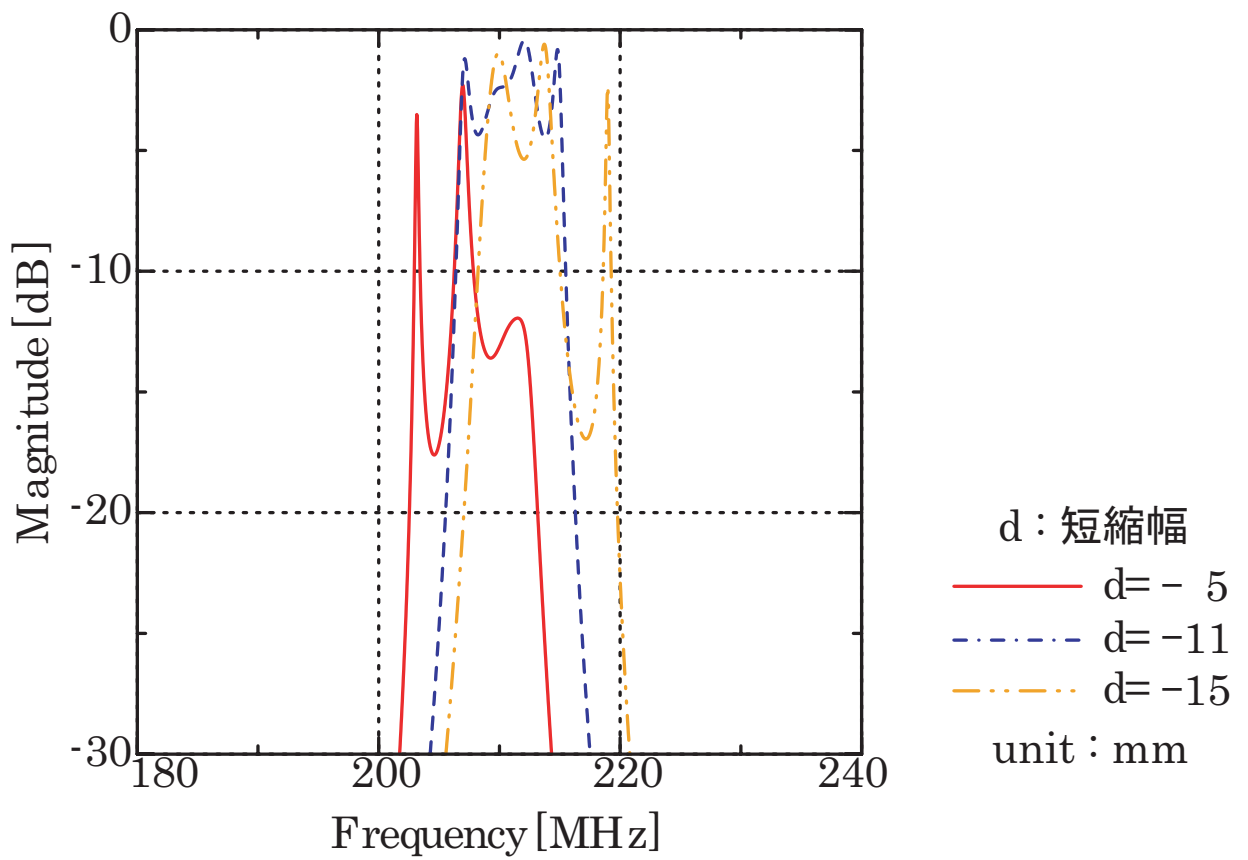


図 3.22 : 短縮したときの四段 BPF の特性

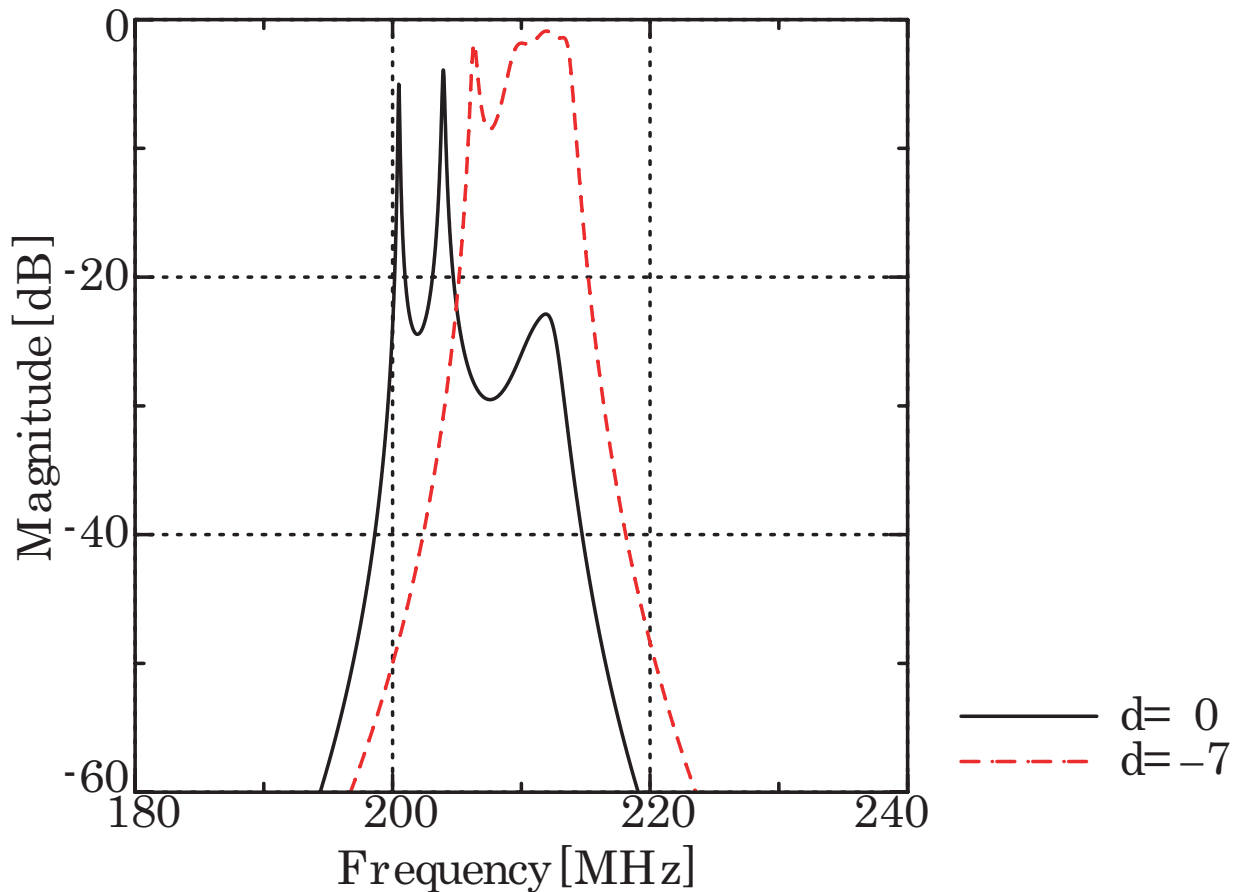


図 3.23 : 三段 BPF の最適な幅を用いた四段 BPF の特性

さらに低域の二つの共振の原因であると考えられる二、三段目の外側の回転羽根を折り曲げたときの特性の変化を図 3.24 に示す．羽根を折り曲げたとき、通過帯域は三段 BPF と同様に高域にシフトする傾向にある．図 3.25 に二段目を 10° 、三段目を 20° 折り曲げたときの特性である．ここで羽根の折り曲げにより同調を取ることができる．しかし羽根による同調は調節が難しく、解析時間も長くなるため、幅の短縮による同調のほうが精密な設定ができる ..

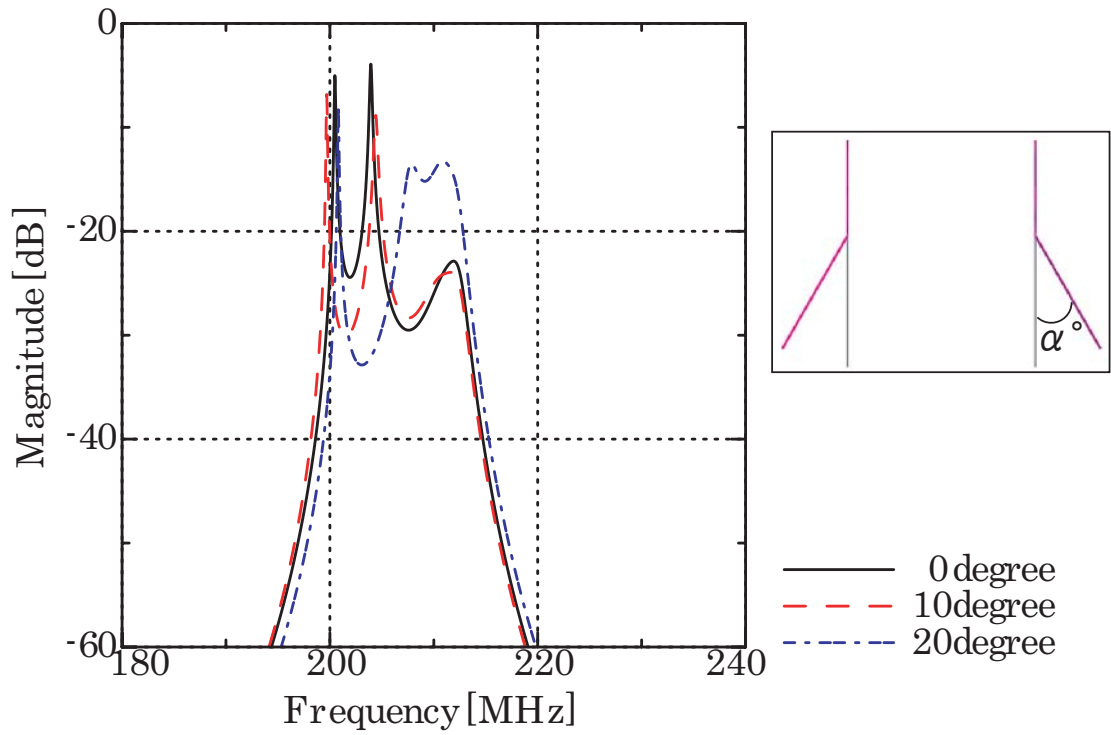


図 3.24 : 二、三段目の羽根を折り曲げたときの特性

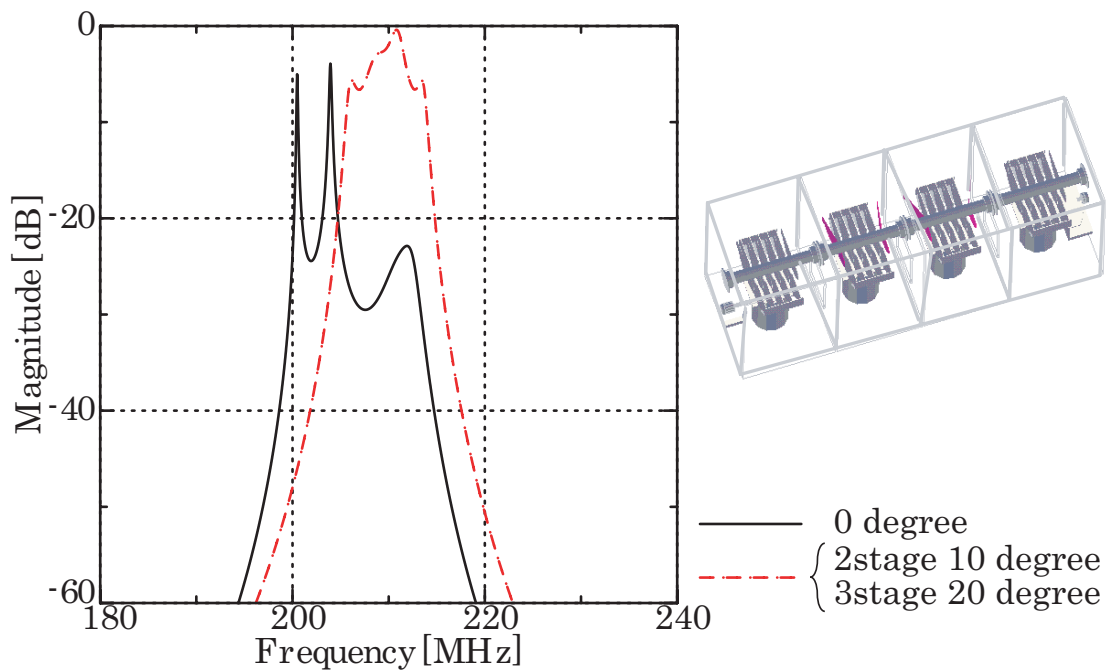


図 3.25 : 二、三段目の羽根を異なる角度で折り曲げたときの特性

ここで二、三段目の幅を最適化した特性を示す．同調がとれた BPF の減衰特性は通過帯域においてほぼ平坦となる．今後、この同調を損なうことなく結合を強めることが課題となる．

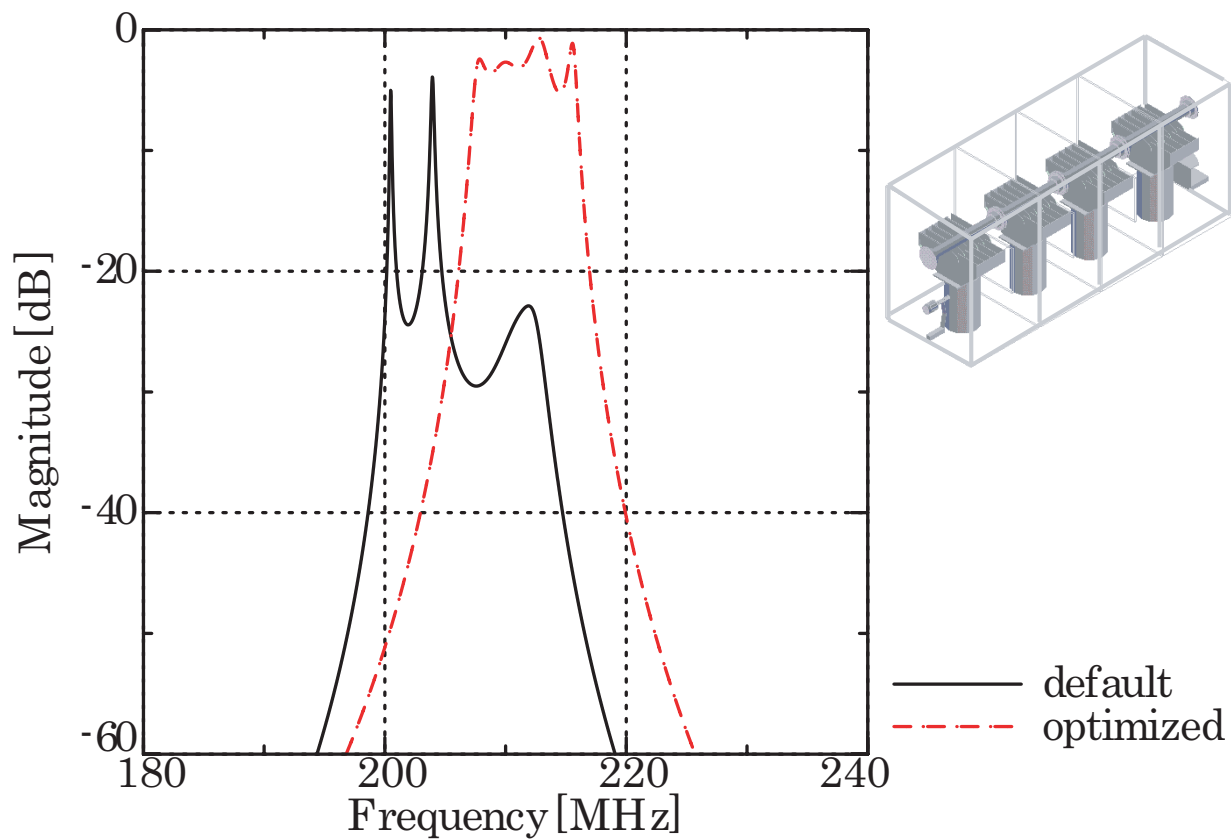


図 3.26 : 短縮幅を最適化した四段 BPF の特性

3.3.2 多段 BPF の設計について

ここまで小型多段 BPF について解析・検討してきた．三段以上接続した BPF にはやはり帯域の分裂が見受けられる．具体的には N 段 ($N > 2$) の BPF には $N-2$ 個の共振が入出力の共振 (200MHz 付近) の低域側に現れる．

ここでまとめとして N 段 BPF の通過帯域の分裂に対する補正方法を示す．まず入出力 (一段目と N 段目) には二段 BPF で用いたものを使用し、各段同じ幅の共振器を用い、縦 50[mm]、横 40[mm] の長方形結合窓を用いて直列に接続する．それを元に二段目から $N-1$ 段目まで随時その幅を短縮して各々の共振を近づけ、同調を取り、可変容量の調整である羽根の折り曲げに関しては本論文中に示したように折り曲げ、同調の微調整をする．そして結合窓をある程度狭めて結合を強める．

以上のようにすることで所望の特性が得られると考えられる．各部分の特性に与える影響について今後の調整の参考として表 3.1 示す．

表 3.1 : 個々の箇所が特性に与える傾向

	特性に与える影響
羽根の折り曲げ	同調に関係・同調の微調整に用いる
各段の幅の短縮	短縮するほど通過帯域が高域にシフト 同調を取るときに用いる
結合窓 (縦方向)	狭める程結合が向上・ある程度の大きさが必要 結合の強化に用いる
結合窓 (横方向)	同調に大きく関与・狭めるにつれて大きく減衰 調整に用いるときは注意が必要

第 4 章

結論

本論文ではチューナブル BPF の小型化について検討した．小型一段や小型二段の最適化を行った．また各モデルを解析することにより各部分を変化させたときの特性への影響を検討した．さらに三段以上の多段 BPF の検討も行い、多段 BPF に現れる通過帯域の分裂に関して検討を行った．以下にそれをまとめる．

- 一段チューナブル BPF の入出力を調整して小型化を行った．
- 小型二段チューナブル BPF の設計を行い、結合窓の形状について検討した．
- 導波管 BPF において通過帯域に導波管の長さが大きな影響を与えることがわかった．
- 三段以上の多段 BPF に見られる通過帯域の分裂について補正法に沿って設計する必要がある．
- さらに四段以上の BPF を調整する際、パラメータを部分的に調節するのではなく、全体的に調節しなければならない．

今後の課題としては各部分の与える影響について定量的な評価や、設計の簡略化などが考えられる．

謝辞

本研究を進めるにあたり，厳しくかつ丁寧に御指導下さった新井宏之教授に深く感謝致します．

また研究生活全般に渡って御指導下さった D3 の道下尚文氏に深く感謝致します．

最後に研究生活を共に過ごした新井研究室、市毛研究室の皆様に深く感謝致します．

参考文献

- [1] 新井宏之, 新アンテナ工学, 総合電子出版社, 1996 .
- [2] 小西良弘, 実用マイクロ波技術講座-理論と実際-第3巻, 日刊工業新聞社, 2001.
- [3] 今田康紀, チューナブル BPF に関する研究, 卒業論文, 2002.
- [4] 越智和之, パッチアンテナの給電回路を含む解析法の研究, 卒業論文, 2001.
- [5] 小西良弘, 実用マイクロ波回路設計ガイド, 総合電子出版社, 1996.
- [6] 小西良弘, マイクロ波回路の基礎とその応用, 総合電子出版社, 1992.
- [7] 豊田幸弘, 村上隆司, "遮断導波路の中に立方体誘電体共振器を装荷した帯域フィルタ," 信学技報, Vol.J78-C-1, pp.384-386, August. 1995.
- [8] 豊田幸弘, 濱田裕之, "遮断導波管の中に円柱誘電体共振器を装荷した帯域フィルタ," 信学技報, Vol.J79-C-1, pp.145-147, May. 1996.
- [9] 生田大輔, 飯田幸雄, 原田真也, "アイリス結合導波管型帯域通過フィルタの FDTD 法解析," 信学技報, Vol.J84-C, pp.332-334, April. 2001.
- [10] LEO YOUNG, Microwave Filters-1965 " IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., Vol.MTT-13, No5, pp.489-508, 1965-9
- [11] 飯田幸雄, 原田真也, "導波管形帯域通過フィルタと FDTD 法解析," 信学技報, Vol.J86-C, pp.139-146, February. 2003.
- [12] 馬哲旺, 難波由樹, 小林禧夫, "広帯域アイリス結合導波管形帯域通過フィルタの設計," 信学技報, Vol.99, pp.97-102, 1999.