

マイクロ波ロケット打上げ用RF源のパ ワーマトリックスの検討

ー リング共振器式マルチプレクサーの 特性検討 ー

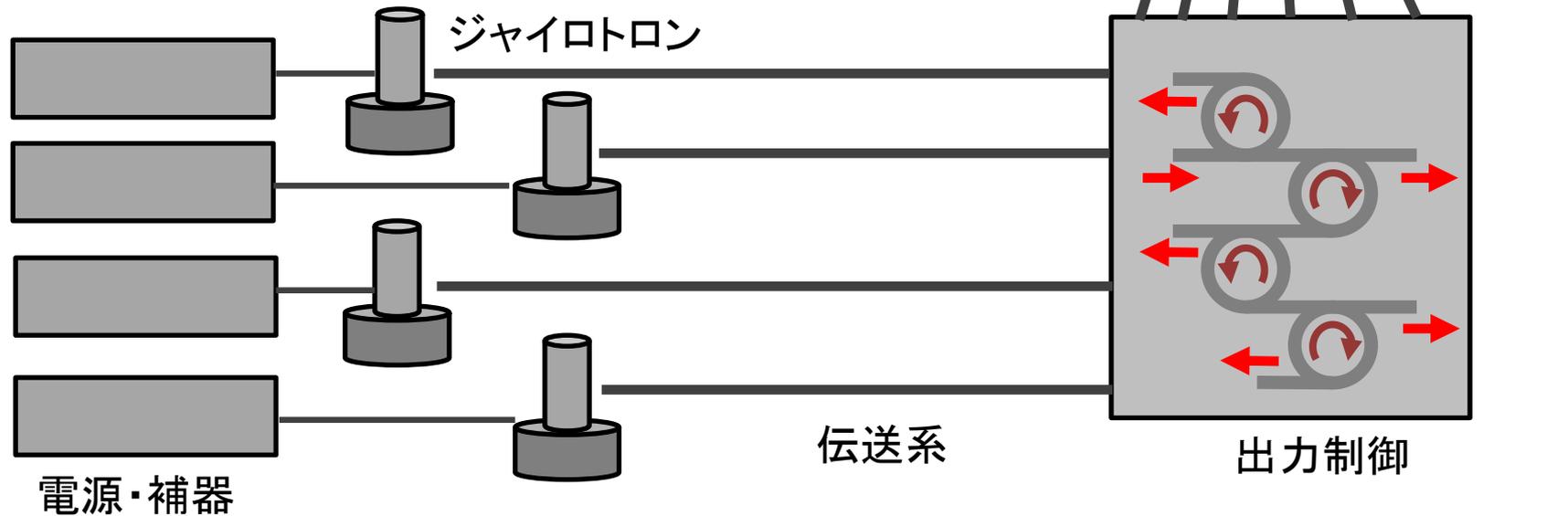
摂南大学
理工学部 機械工学科
小田 靖久

発表内容

- リング共振器式マルチプレクサーの検討
 - ビーム源システムの出カ制御技術
- ビーム源システム要素機器の情報
 - ジャイロトロン用マグネットのコスト要素
 - 伝送系の性能
 - 電源システム
 - システム全体の効率(ウォールプラグ効率)

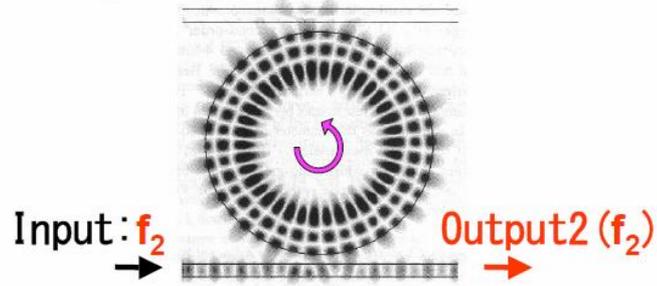
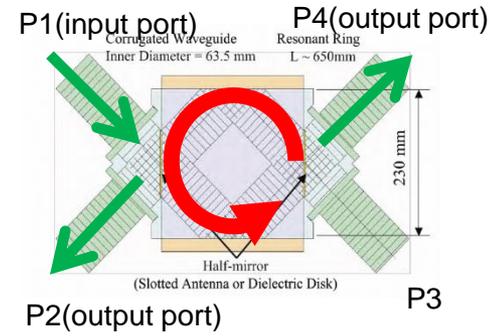
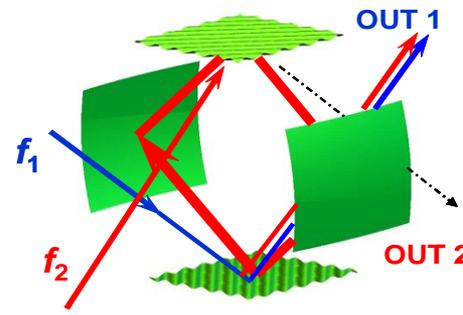
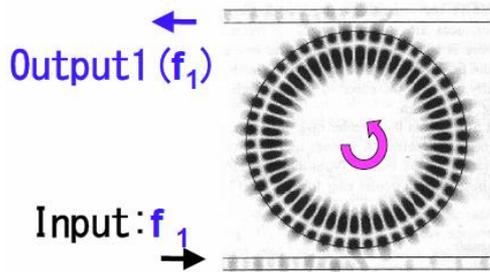
ビーム源の全体構成

- ギガワット級発振源の構成
 - アンテナシステム
 - 出力制御
 - 伝送系
 - 発振源 (ジャイロトロン)
 - 電源・補器類



出力制御技術

- 共振リング型ダイプレクサー(マルチプレクサー)
- 大電力に適用可能な出力制御技術
- パワー切替／パワー合成／パワー分配

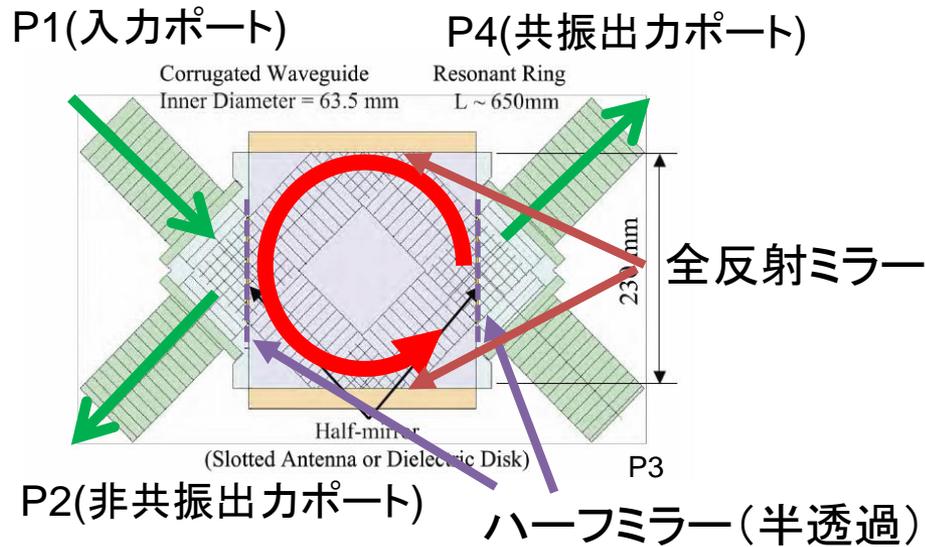


共振リングによる出力切替
(Hagness et al., 1997)

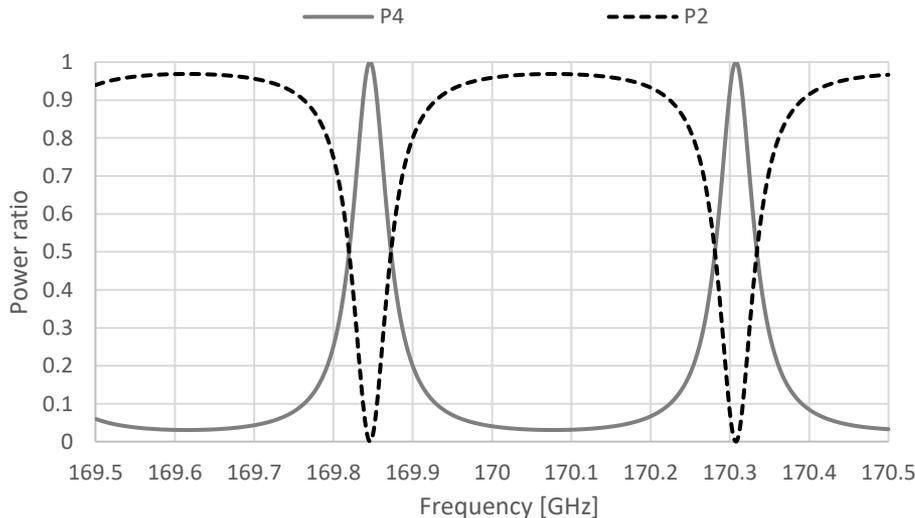
FADIS
(Stuttgart U. W.Kaspalek)

導波管リング型
(茨大 三枝先生)

リング共振器の動作原理と特性



リング共振器の各ポート出力の計算



リング共振器の各ポート出力の計算

$$P2 = \frac{2a[1 - \cos(2\pi L/\lambda)]}{1 + a^2 - 2a\cos(2\pi L/\lambda)}$$

$$P4 = \frac{(1 - a)^2}{1 + a^2 - 2a\cos(2\pi L/\lambda)}$$

a: ハーフミラーの反射率

L: 共振長

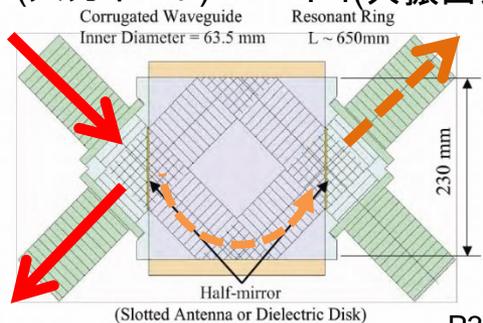
λ: 波長

M. Saigusa et al., Plasma Fusion Research, 7, 245099 (2012)

リング共振器の動作原理と特性

非共振時

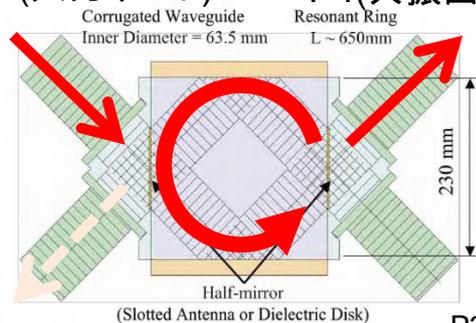
P1(入力ポート) P4(共振出力ポート)



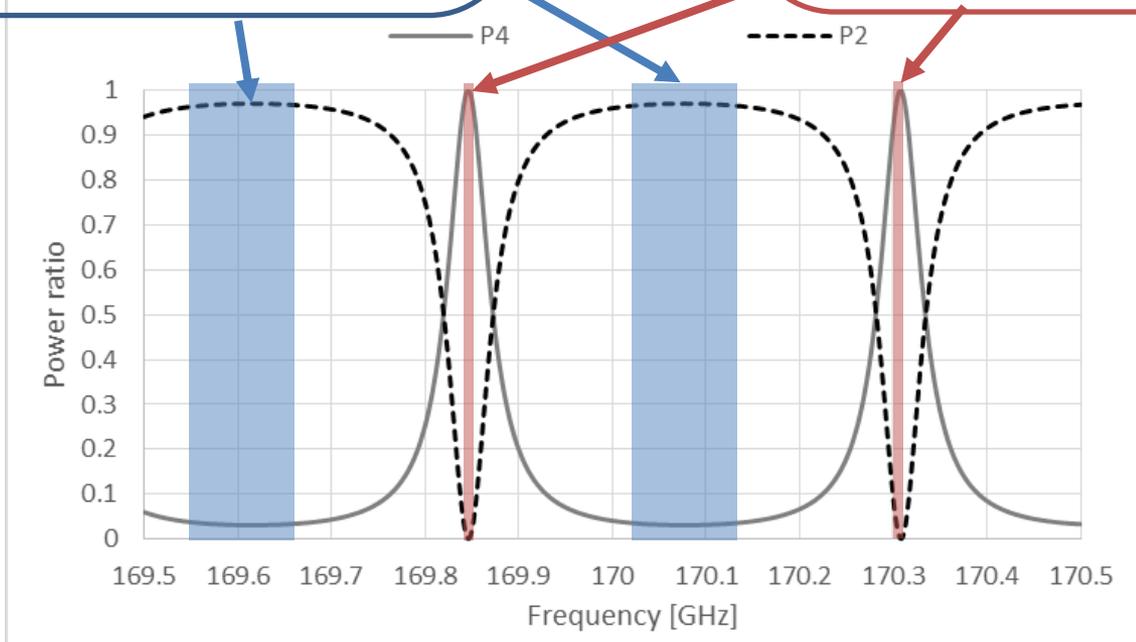
P2(非共振出力ポート)

共振時

P1(入力ポート) P4(共振出力ポート)



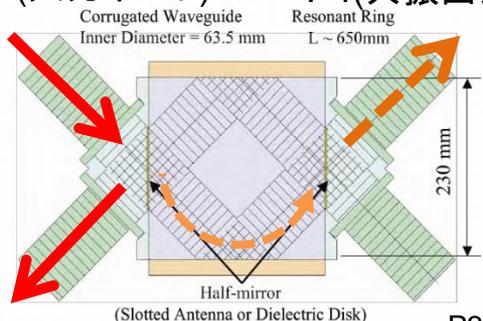
P2(非共振出力ポート)



リング共振器の動作原理と特性

非共振時

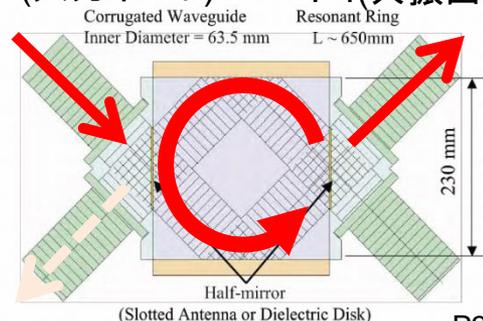
P1(入力ポート) P4(共振出力ポート)



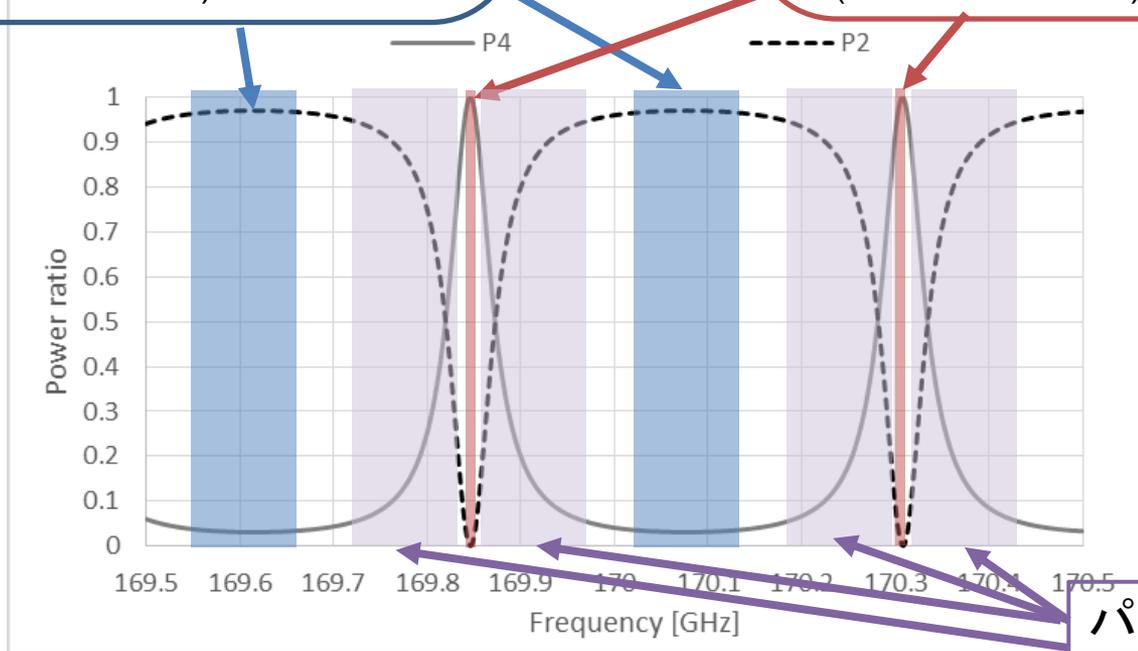
P2(非共振出力ポート)

共振時

P1(入力ポート) P4(共振出力ポート)



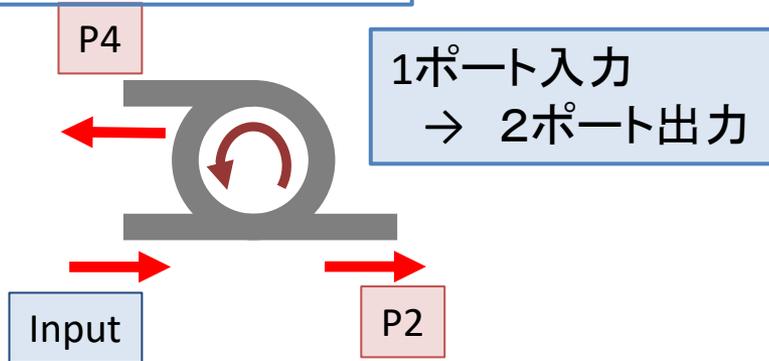
P2(非共振出力ポート)



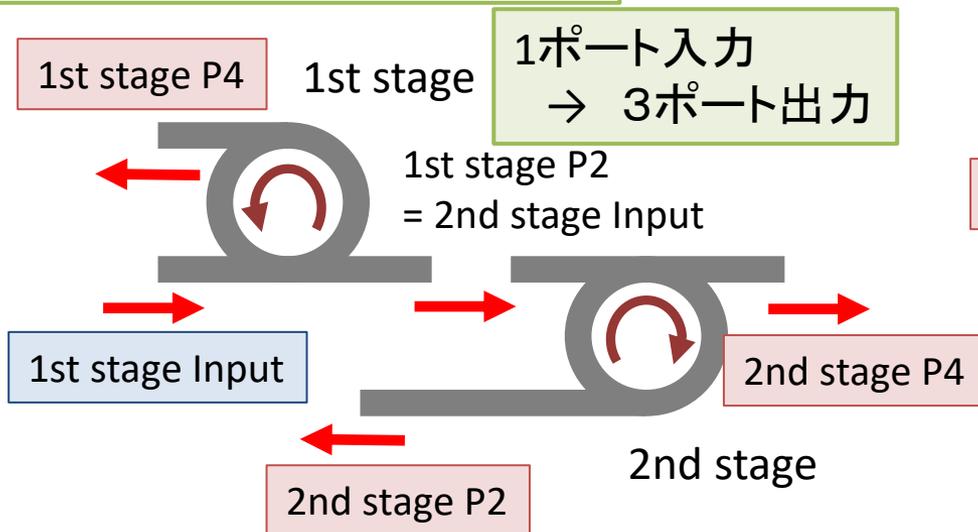
パワー分配動作領域

複数リング共振器によるマルチプレクサー

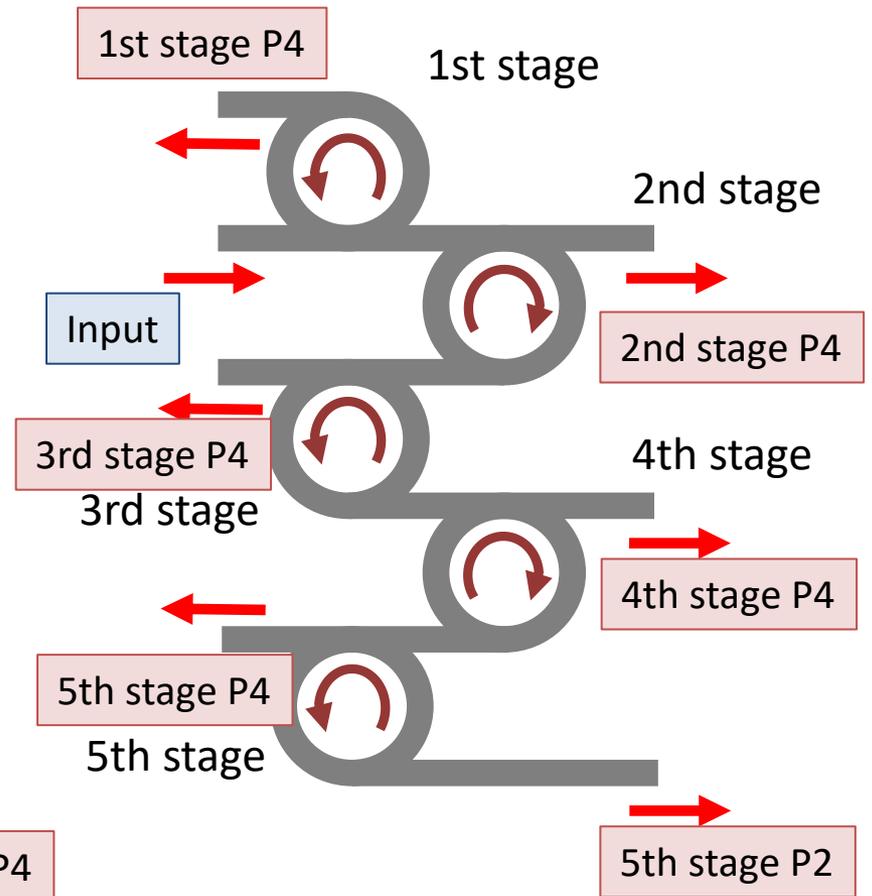
単一のリング共振器



リング共振器の出力を別のリング共振器に入力する



5段のリング共振器 マルチプレクサー



1ポート入力 → 6ポートの出力

マルチプレクサーの周波数変更による動作特性

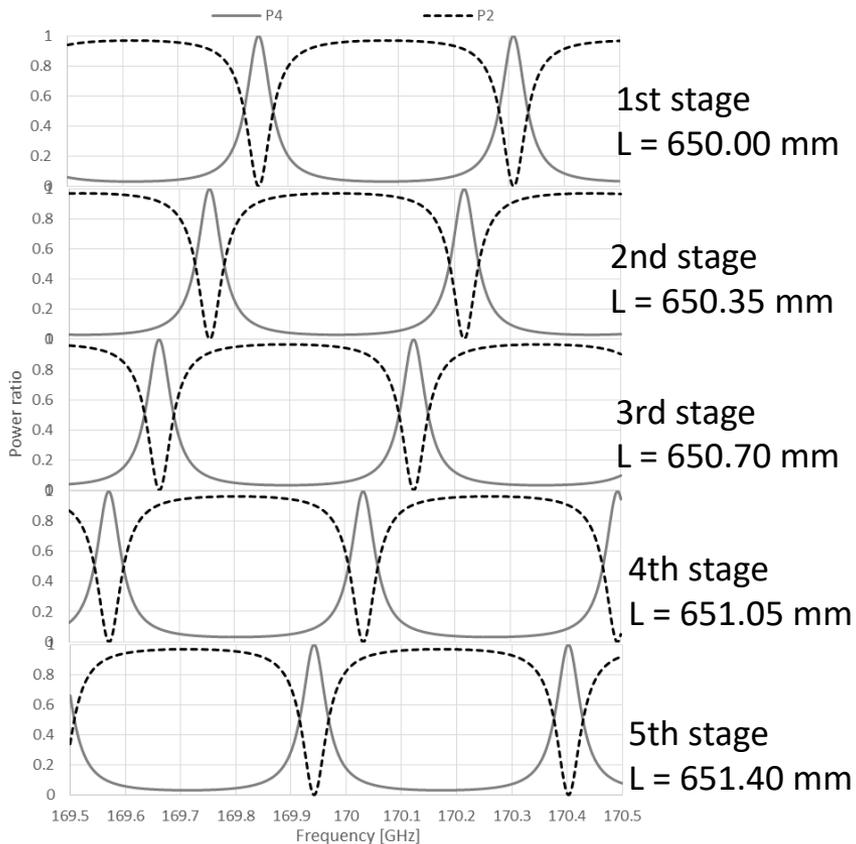
ハーフミラー反射率 $a=0.7$

1st stageの共振長 $L=650$ mm

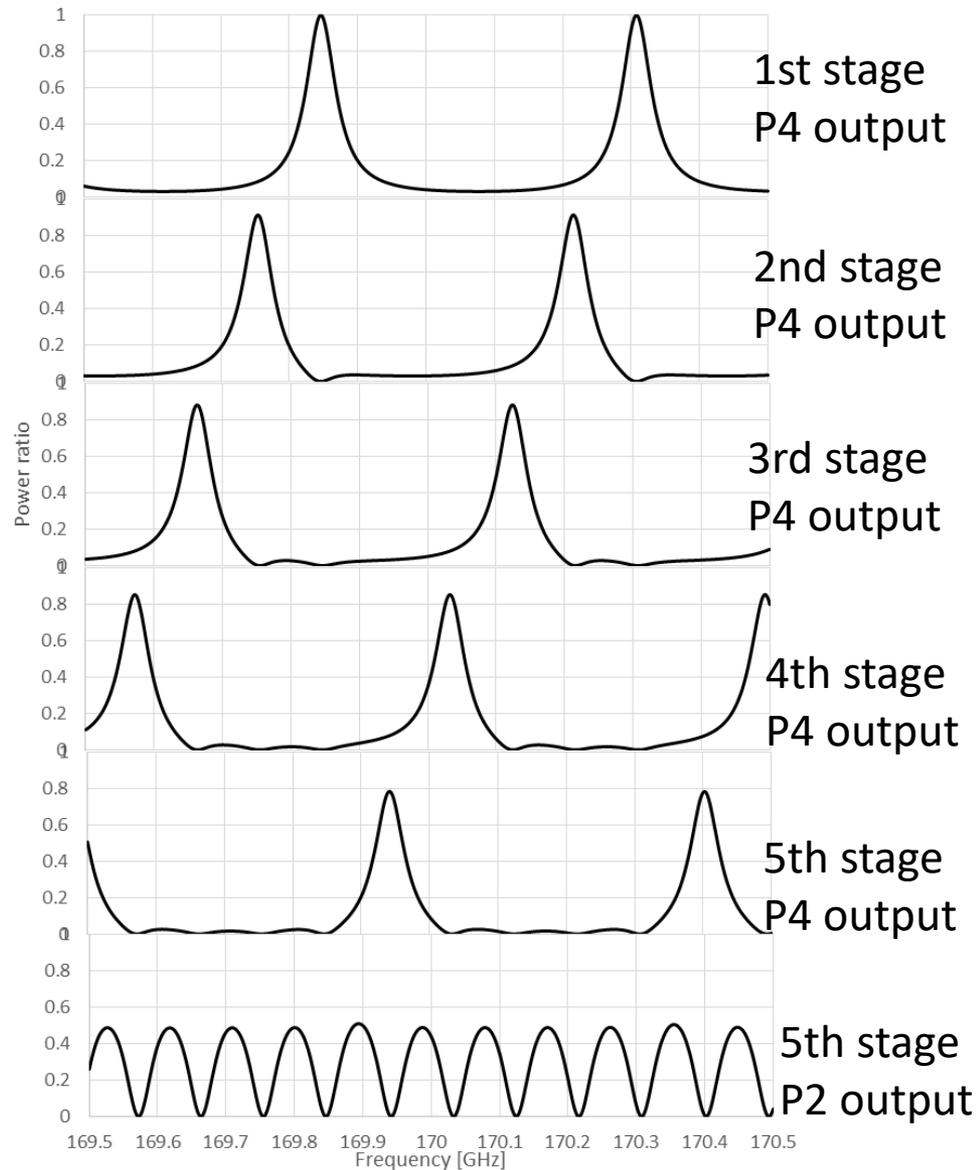
ステージ間の共振長のずれ

$\delta L = 0.35$ mm

各ステージの動作特性

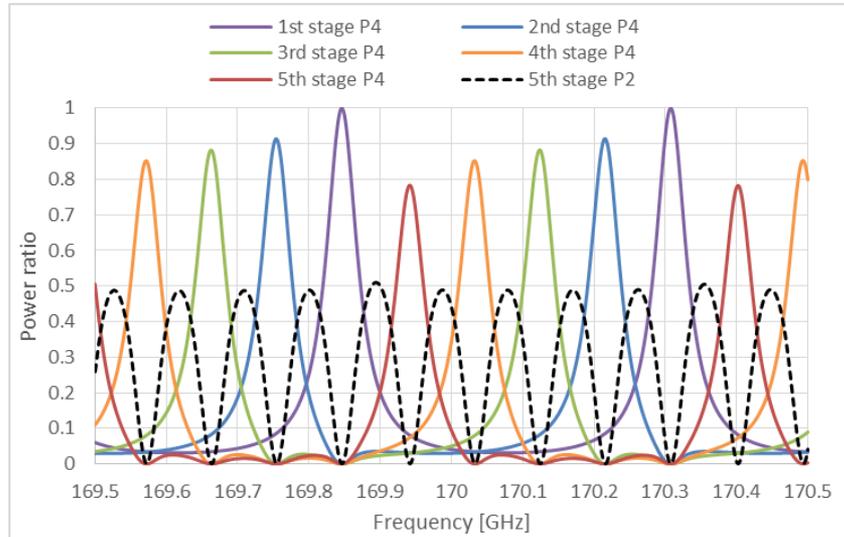


マルチプレクサーの各ステージポートの出力



ハーフミラー反射率とマルチプレクサーの動作特性

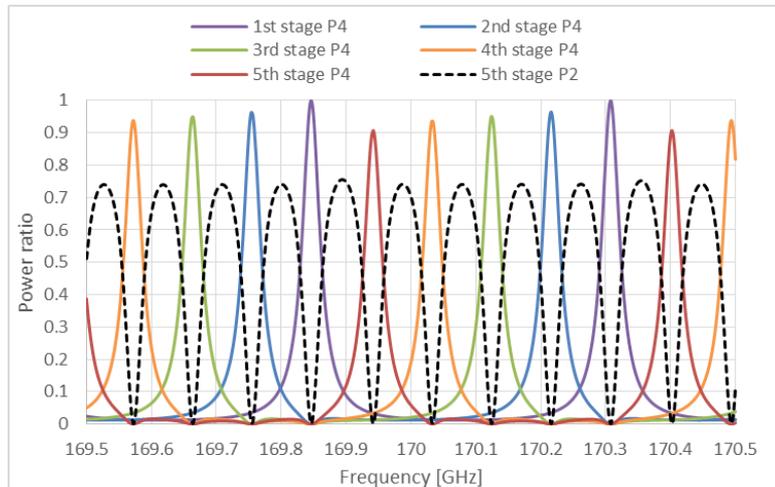
ハーフミラー反射率 $a=0.7$



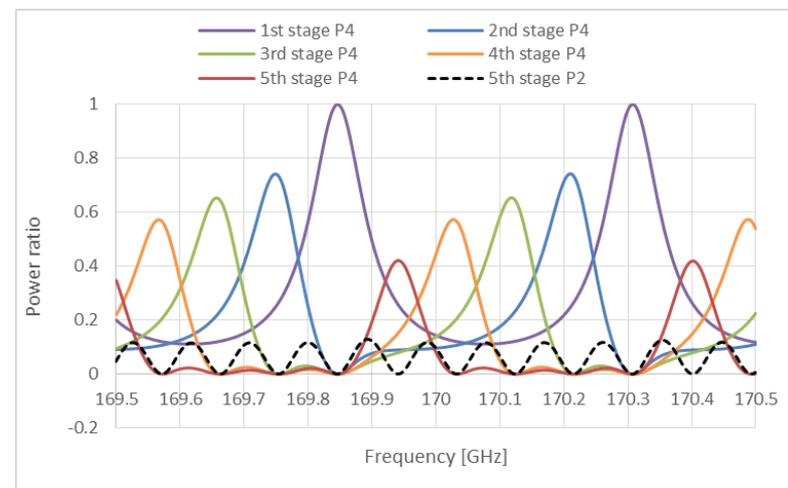
1st stageの共振長
 $L=650$ mm

ステージ間の
共振長のずれ
 $\delta L = 0.35$ mm

ハーフミラー反射率 $a=0.8$

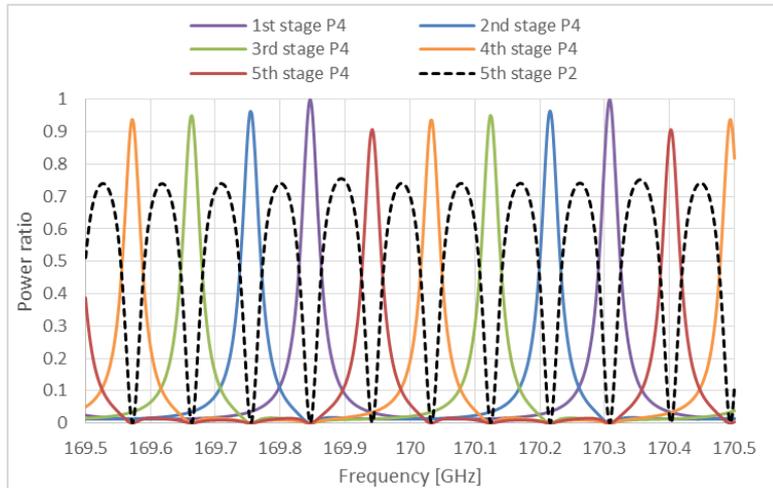


ハーフミラー反射率 $a=0.5$

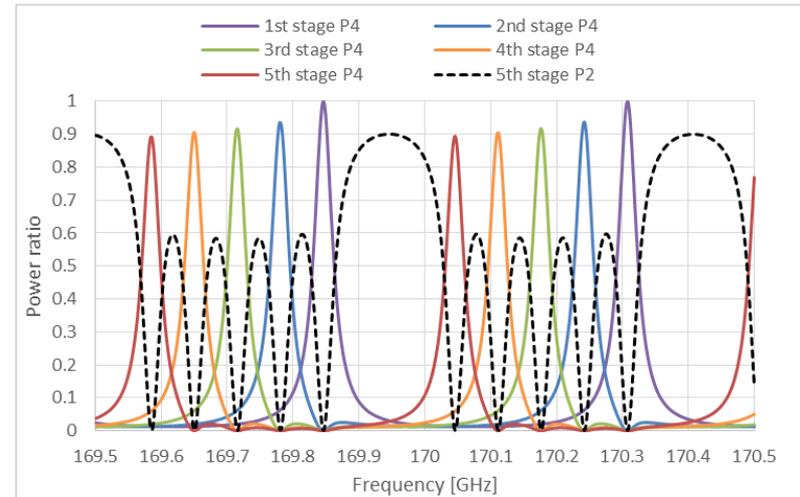


マルチプレクサーのさらなる多段化の可能性

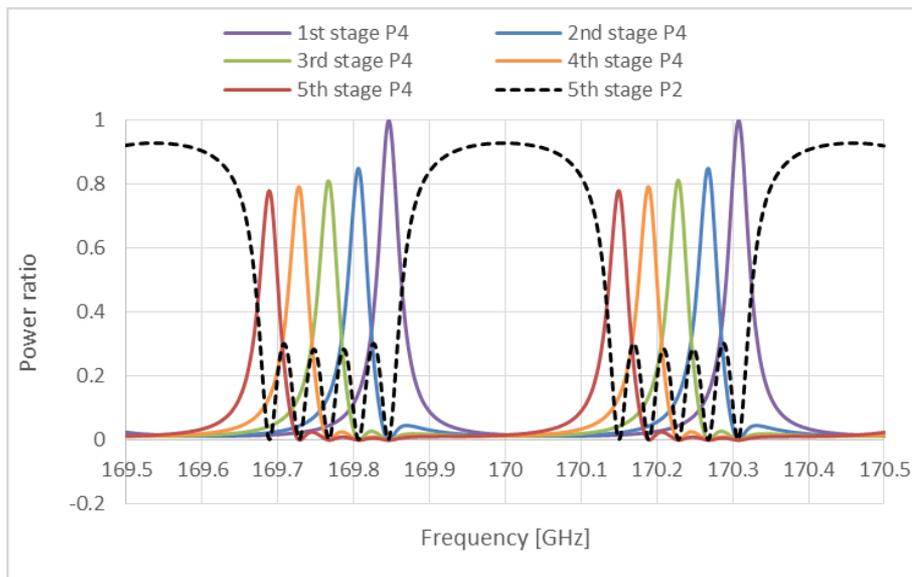
$\delta L = 0.35$ mm



$\delta L = 0.25$ mm



$\delta L = 0.15$ mm



ハーフミラー反射率 $a=0.8$

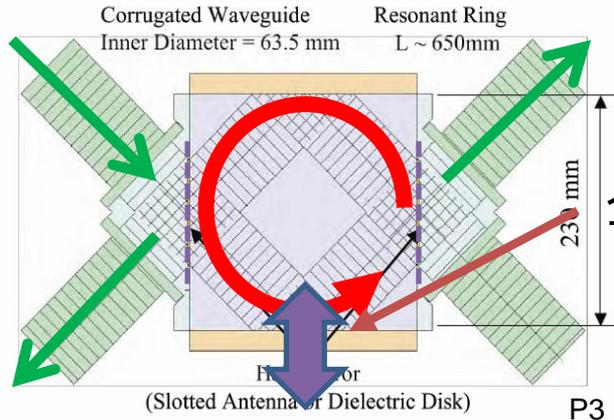
1st stageの共振長 $L=650$ mm

各ステージの共振長の調整により、
切り替え周波数の差は変更可能
さらなる多段化は十分に可能

ハーフミラー反射率をあげると
共振回路のQ値が高くなり、
全反射ミラーや経路損失が
増大すると予想される

リング共振器の共振長変化による制御

P1(入力ポート) P4(共振出力ポート)



全反射ミラー

周波数が一定の条件で切替動作させる
 ⇒ 共振長を変化させることによって可能

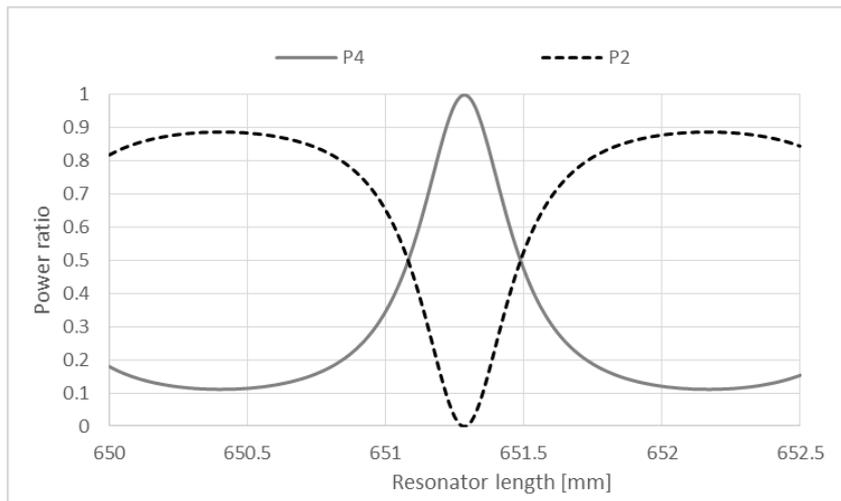
共振長の変化手法

⇒ 全反射ミラーを動かす

⇒ 共振リング全体の熱膨張

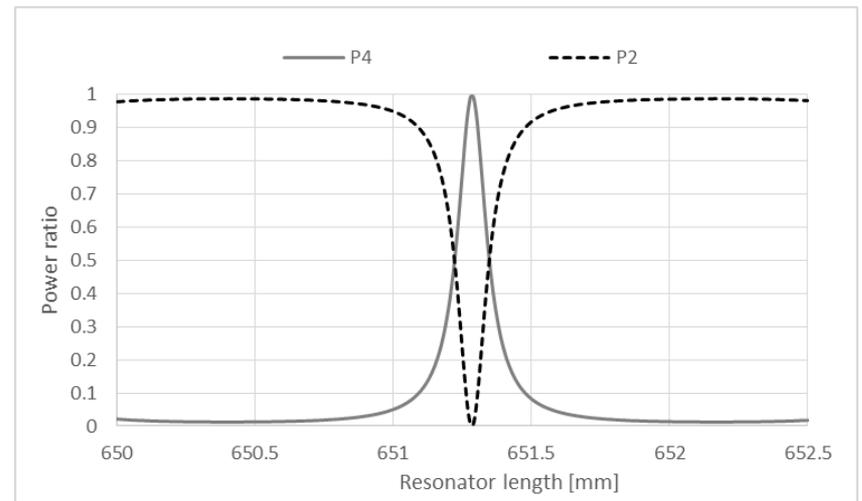
P2(非共振出力ポート)

ハーフミラー反射率 $a=0.5$



周波数 170 GHz

ハーフミラー反射率 $a=0.8$



周波数 170 GHz

共振長制御による6ポートマルチプレクサー動作

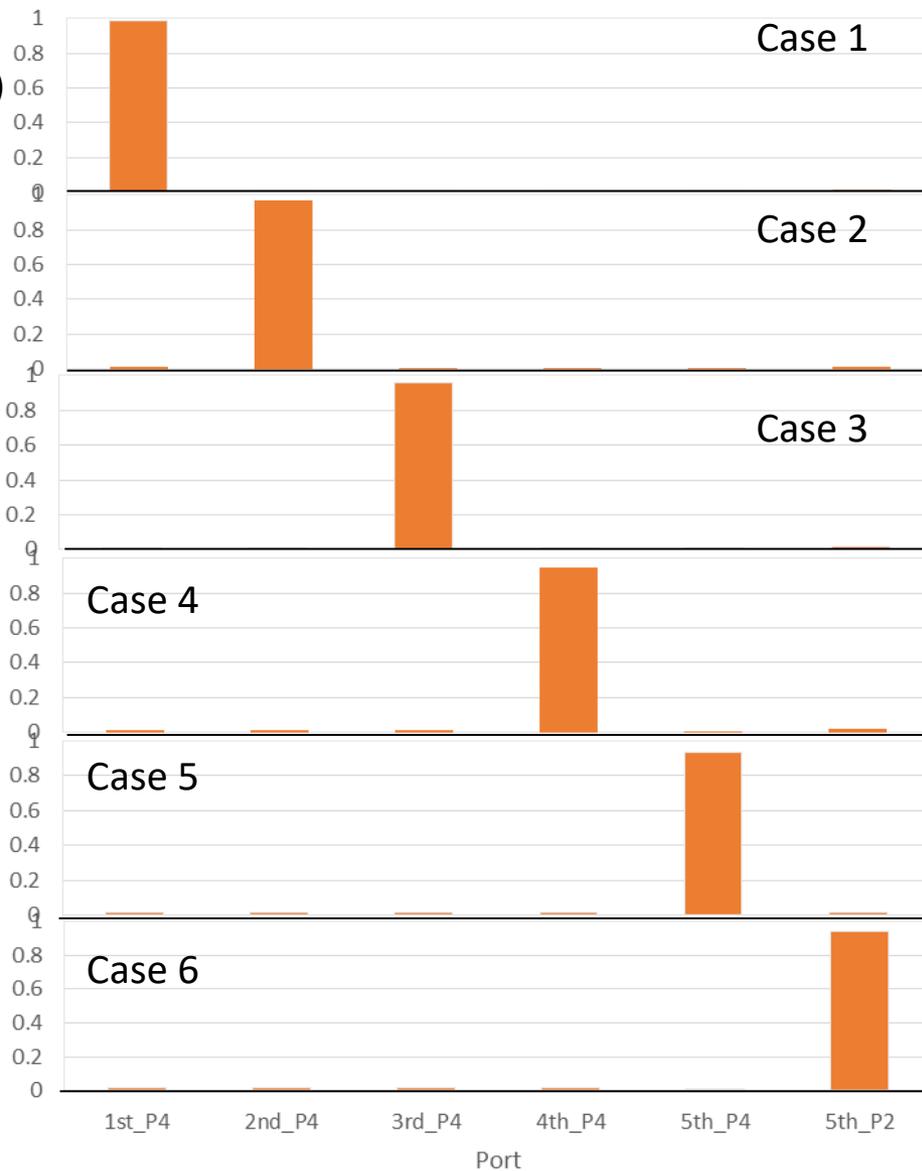
ハーフミラー反射率 $a=0.8$ 周波数 170 GHz

Case 1 (1st stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	651.18	0.997	0.003
2nd stage	650.35	0.012	0.988
3rd stage	650.35	0.012	0.988
4th stage	650.35	0.012	0.988
5th stage	650.35	0.012	0.988

Case 2 (2nd stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.012	0.988
2nd stage	651.18	0.997	0.003
3rd stage	650.35	0.012	0.988
4th stage	650.35	0.012	0.988
5th stage	650.35	0.012	0.988



Case 3 (3rd stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.012	0.988
2nd stage	650.35	0.012	0.988
3rd stage	651.18	0.997	0.003
4th stage	650.35	0.012	0.988
5th stage	650.35	0.012	0.988

Case 4 (4th stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.012	0.988
2nd stage	650.35	0.012	0.988
3rd stage	650.35	0.012	0.988
4th stage	651.18	0.997	0.003
5th stage	650.35	0.012	0.988

Case 5 (5th stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.012	0.988
2nd stage	650.35	0.012	0.988
3rd stage	650.35	0.012	0.988
4th stage	650.35	0.012	0.988
5th stage	651.18	0.997	0.003

Case 6 (5th stage P2 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.012	0.988
2nd stage	650.35	0.012	0.988
3rd stage	650.35	0.012	0.988
4th stage	650.35	0.012	0.988
5th stage	650.35	0.012	0.988

共振長制御による6ポートマルチプレクサー動作

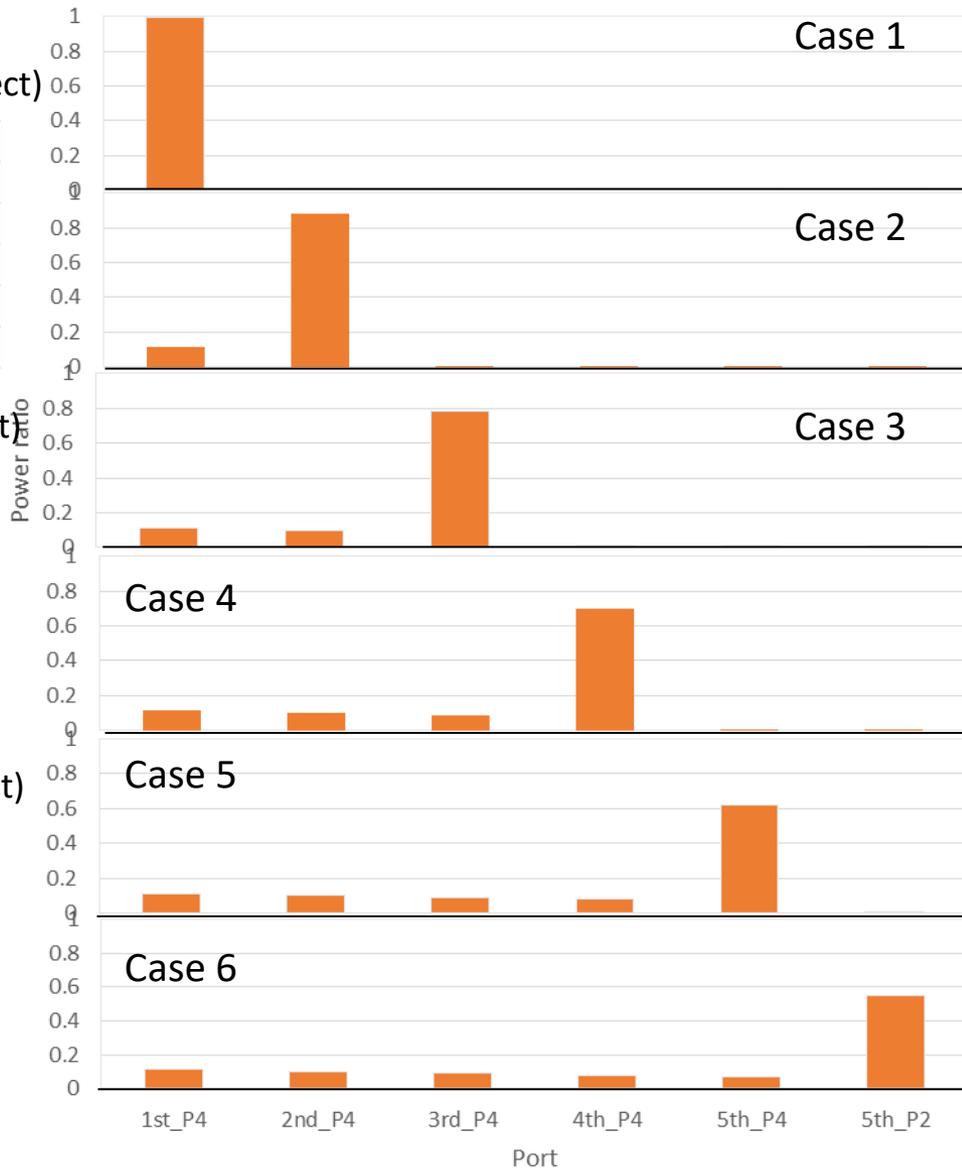
ハーフミラー反射率 $a=0.5$ 周波数 170 GHz

Case 1 (1st stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	651.19	0.995	0.005
2nd stage	650.35	0.112	0.888
3rd stage	650.35	0.112	0.888
4th stage	650.35	0.112	0.888
5th stage	650.35	0.112	0.888

Case 2 (2nd stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.112	0.888
2nd stage	651.19	0.995	0.005
3rd stage	650.35	0.112	0.888
4th stage	650.35	0.112	0.888
5th stage	650.35	0.112	0.888



Case 3 (3rd stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.112	0.888
2nd stage	650.35	0.112	0.888
3rd stage	651.19	0.995	0.005
4th stage	650.35	0.112	0.888
5th stage	650.35	0.112	0.888

Case 4 (4th stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.112	0.888
2nd stage	650.35	0.112	0.888
3rd stage	650.35	0.112	0.888
4th stage	651.19	0.995	0.005
5th stage	650.35	0.112	0.888

Case 5 (5th stage P4 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.112	0.888
2nd stage	650.35	0.112	0.888
3rd stage	650.35	0.112	0.888
4th stage	650.35	0.112	0.888
5th stage	651.19	0.995	0.005

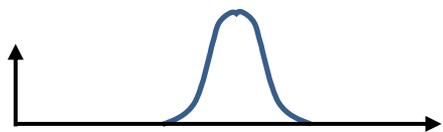
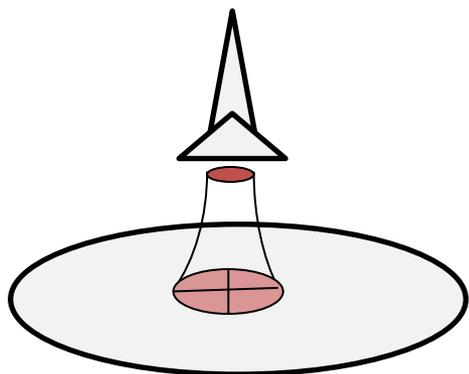
Case 6 (5th stage P2 select)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}
1st stage	650.35	0.112	0.888
2nd stage	650.35	0.112	0.888
3rd stage	650.35	0.112	0.888
4th stage	650.35	0.112	0.888
5th stage	650.35	0.112	0.888

電力・位相制御型フェイズドアレイ

同一ビーム源による集光距離を制御する

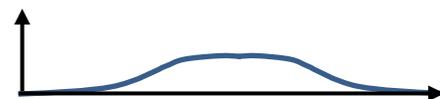
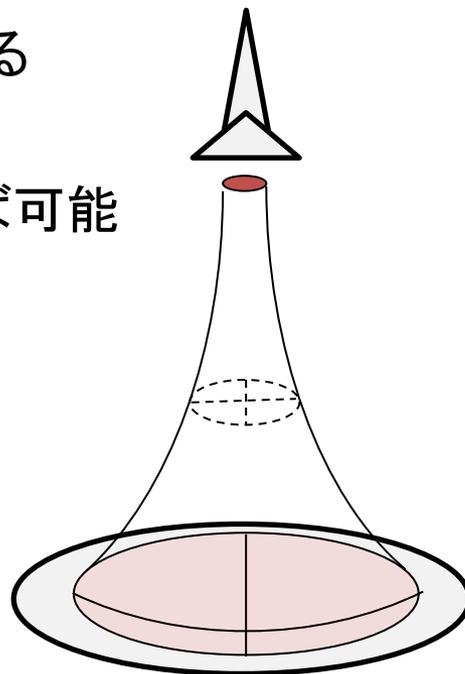
強度分布と位相分布を同時に制御すれば可能



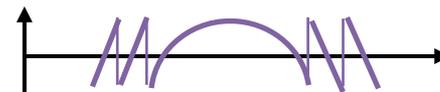
強度分布



位相分布



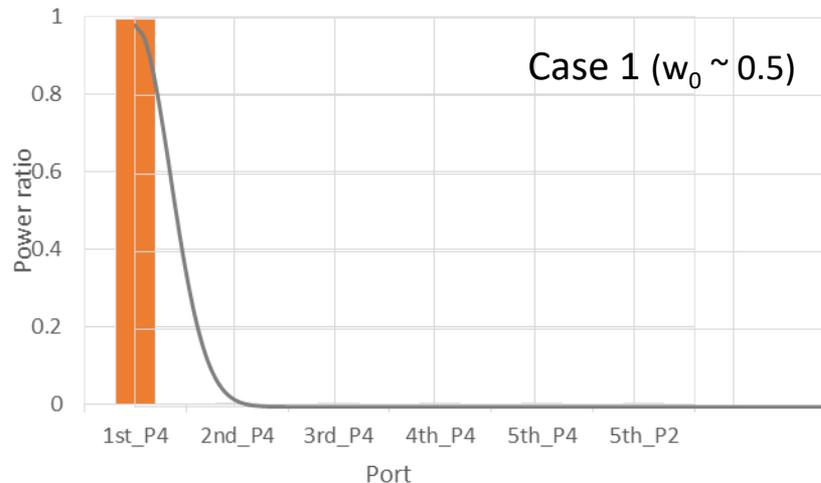
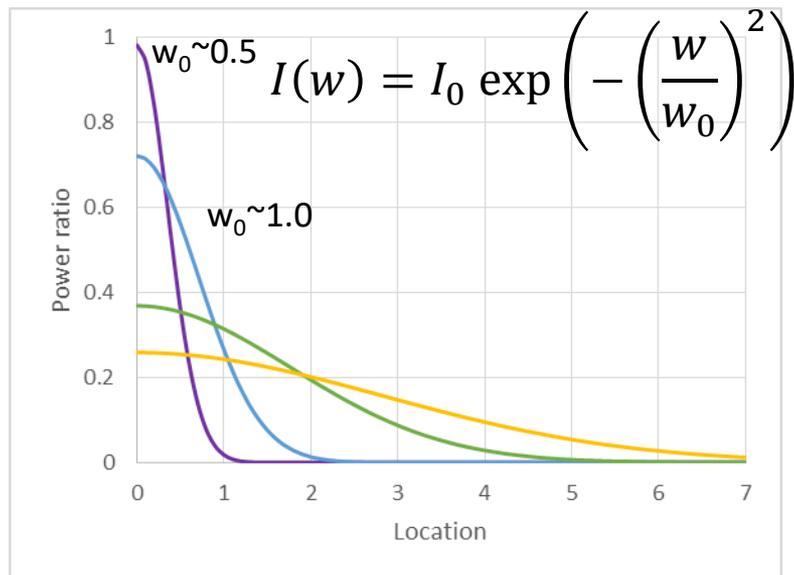
強度分布



位相分布

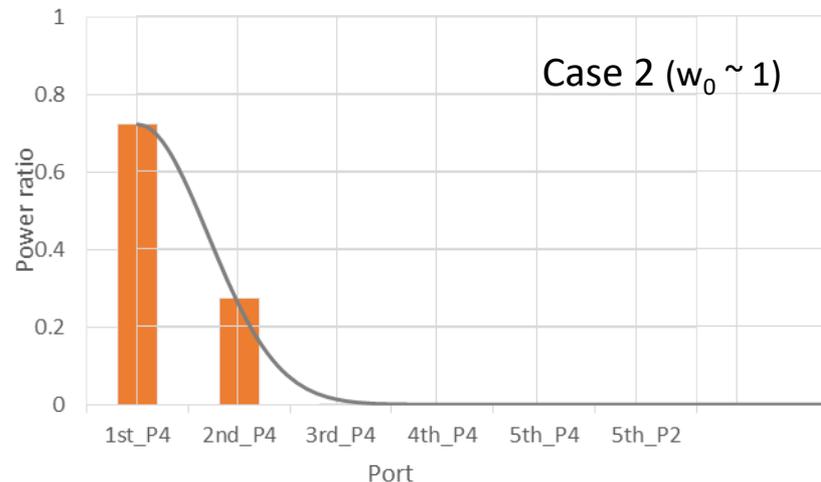
フェイズドアレイの各エレメントの電力と位相を制御する

マルチプレクサーによるガウス分布へのパワー分解



Case 1 ($w_0 \sim 0.5$)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}	P4 out	P2 out
1st stage	651.19	0.995	0.005	0.995	-
2nd stage	650.35	0.112	0.888	<0.001	-
3rd stage	650.35	0.112	0.888	<0.001	-
4th stage	650.35	0.112	0.888	<0.001	-
5th stage	650.35	0.112	0.888	<0.001	<0.001

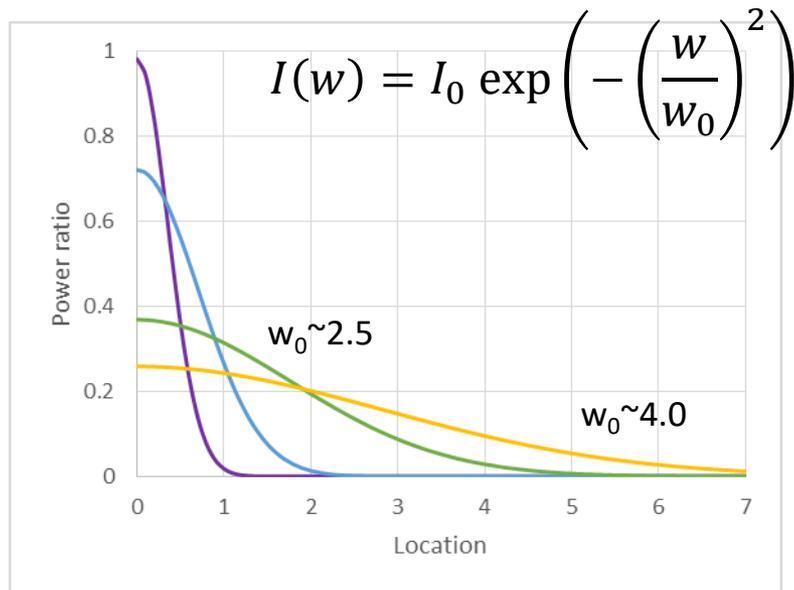


Case 2 ($w_0 \sim 1$)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}	P4 out	P2 out
1st stage	651.30	0.724	0.276	0.724	-
2nd stage	651.19	0.995	0.005	0.274	-
3rd stage	651.19	0.995	0.005	0.001	-
4th stage	651.19	0.995	0.005	<0.001	-
5th stage	651.19	0.995	0.005	<0.001	<0.001

ハーフミラー反射率 $a=0.5$ 周波数 170 GHz

マルチプレクサーによるガウス分布へのパワー分解

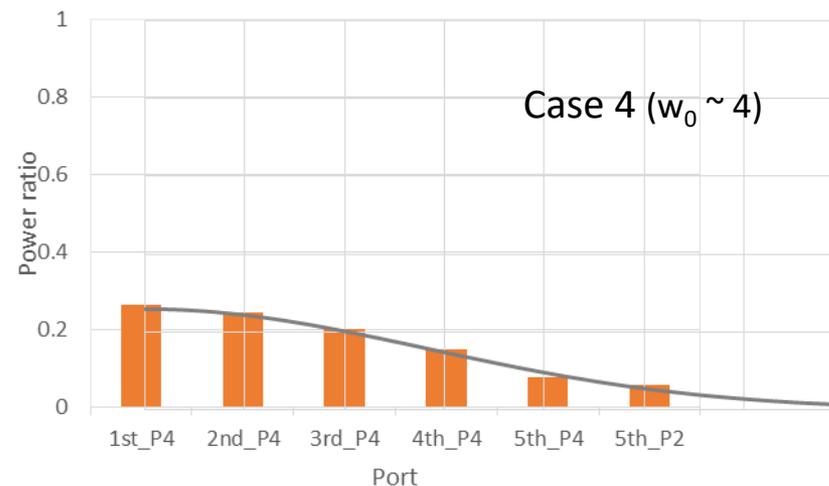
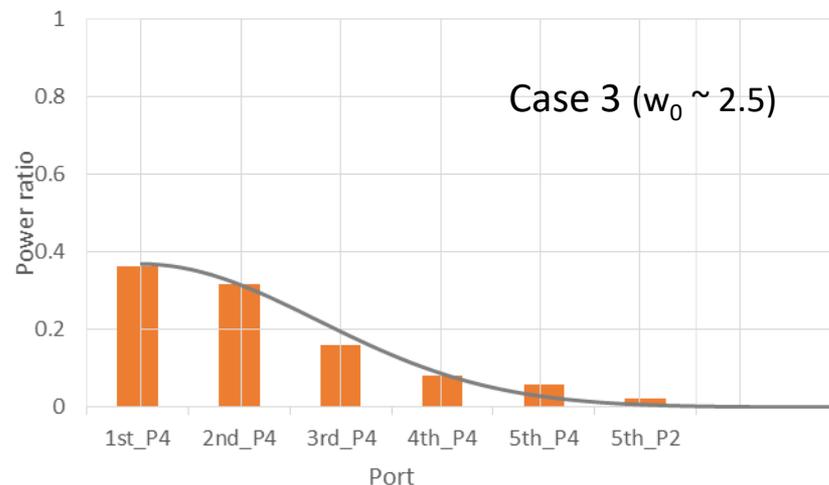


Case 3 ($w_0 \sim 2.5$)

	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}	P4 out	P2 out
1st stage	651.45	0.363	0.637	0.363	-
2nd stage	651.38	0.499	0.501	0.317	-
3rd stage	651.38	0.499	0.501	0.159	-
4th stage	651.38	0.499	0.501	0.080	-
5th stage	650.30	0.724	0.276	0.058	0.022

Case 4 ($w_0 \sim 4$)

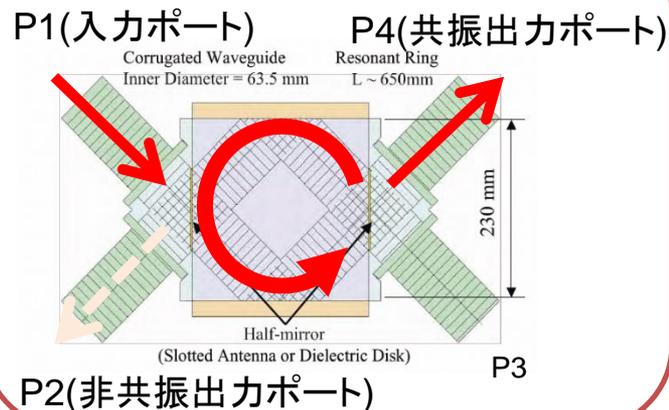
	L [mm]	P4/P _{total}	P2/P _{total}	P4 out	P2 out
1st stage	651.53	0.265	0.735	0.265	-
2nd stage	651.47	0.334	0.666	0.246	-
3rd stage	651.42	0.415	0.585	0.203	-
4th stage	651.37	0.523	0.477	0.150	-
5th stage	651.35	0.575	0.425	0.079	0.058



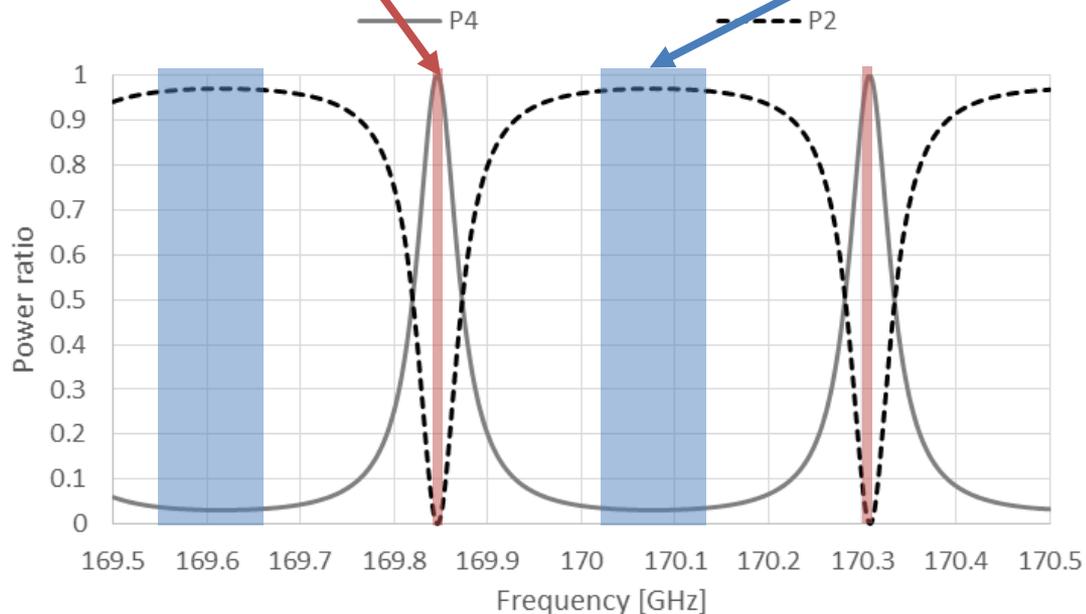
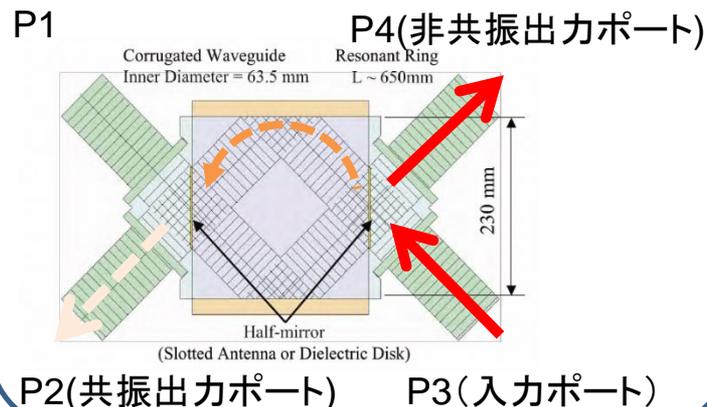
ハーフミラー反射率 $a=0.5$ 周波数 170 GHz

リング共振器によるパワー合成

P1入力 共振動作



P3入力 非共振動作



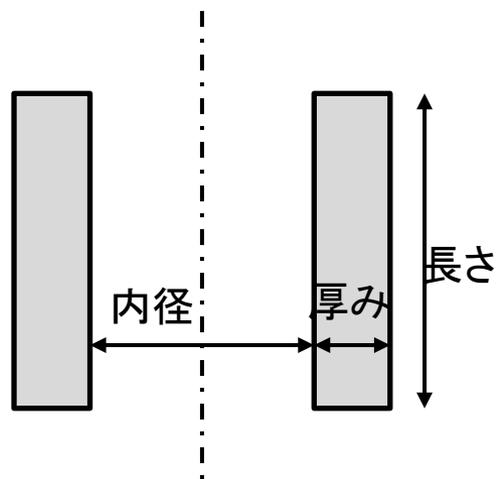
P1とP3からの入力の
周波数制御によって
合成は可能になる

同一周波数は不可？

マルチプレクサー検討のまとめ

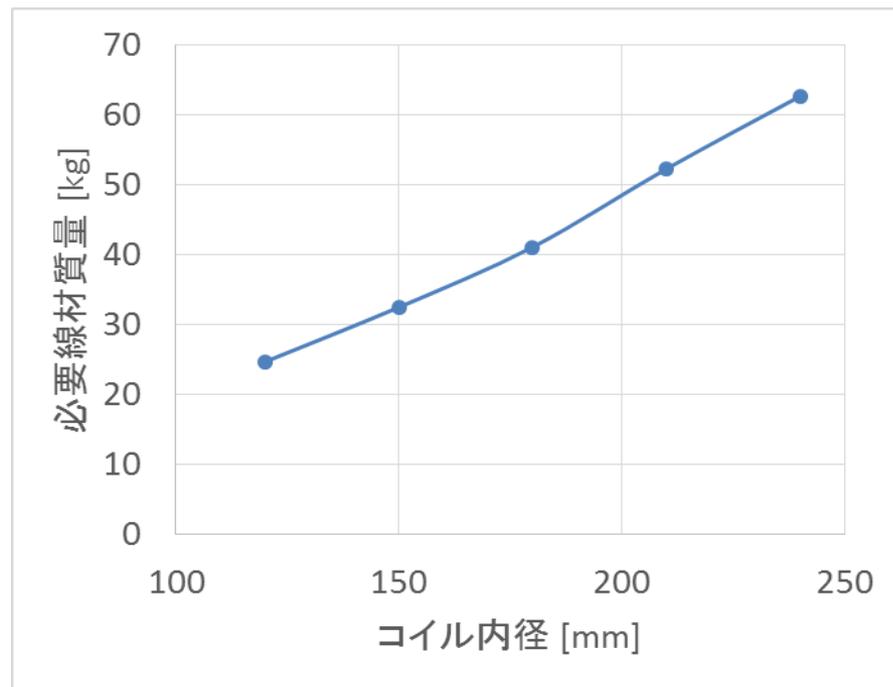
- 5段リング共振器を使ったマルチプレクサー
 - 解析式による簡略評価
- 入力周波数変化を用いた動作評価
 - 6ポート出力切替え
 - さらなる多ポート化の見通しも
- 共振長変化を用いた動作評価
 - 6ポート出力切替え
 - パワーの配分動作によるガウス分布生成
 - 電力・位相制御型フェイズドアレイに利用可能
- 今後の展開(希望)
 - フェイズドアレイアンテナ計算と組み合わせる？
 - 低電力であれば、実験もできるか??

ジャイロトロン用マグネットのコスト要素



コイル内径	120 mm	240 mm
コイル厚さ	26 mm	35 mm
コイル長さ	250 mm	250 mm
コイル電流	100 A	100 A
A・T	1,160,000	1,560,000
中心磁場	5.01 T	5.13 T
線材質量	24.7 kg	62.7 kg

線材(NbTi相当) $\phi 0.75$ mm / 8.3 g/cm³



マグネットのボア径が2倍となった場合
 ・必要な超伝導線材が約2.5倍に増大
 ・初期冷却&励磁に必要な冷却能力増大
 →量産時の製造コストは少なくとも2倍以上

ボア径半分にて
 ジャイロトロン出力半分であれば、
 全体コストを下げることにつながる(だろう)
 漏れ磁場の影響低減によるサイト縮小も可能？