

超伝導フィルタ技術の研究開発



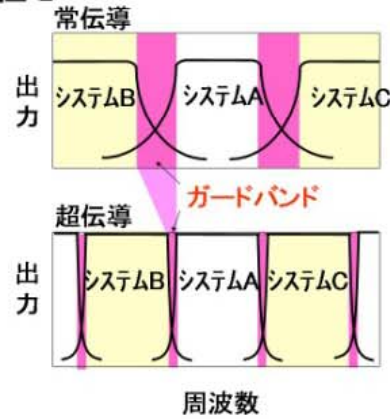
課題ア) 超伝導フロントエンドに関する研究開発
概要

超伝導フィルタ技術の狙い

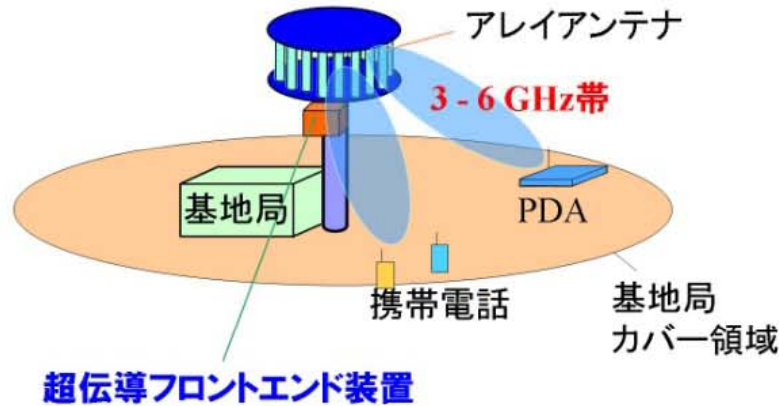
低損失かつ急峻な周波数遮断特性を有する超伝導フィルタの導入

システム間の無駄な周波数帯域 (ガードバンド) を1/10に低減

周波数資源の有効利用



次世代移動通信基地局のイメージ



超伝導フロントエンドの構成と成果

15リットル以下のフロントエンド試作

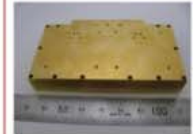
小型・高効率システム設計&アセンブリ



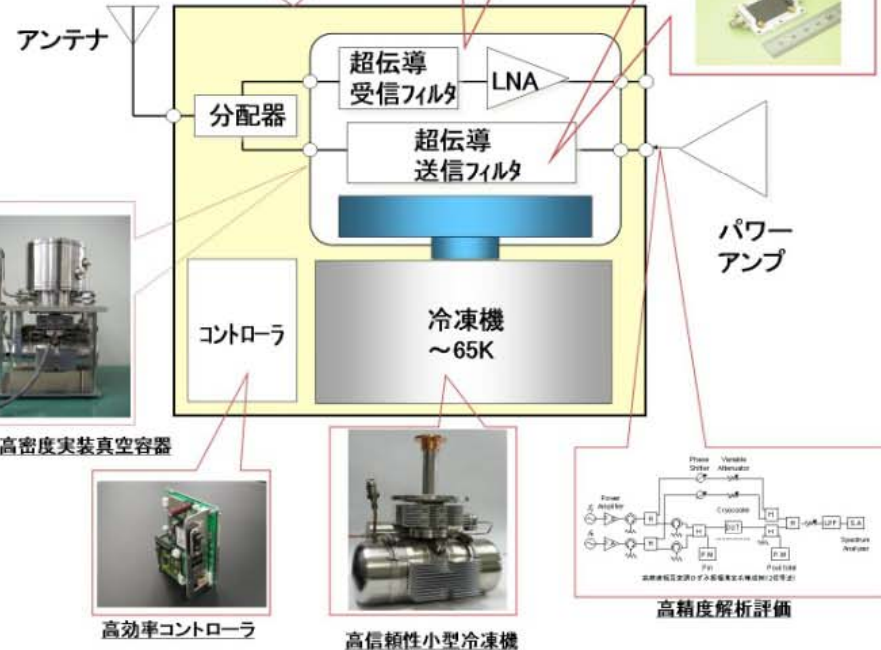
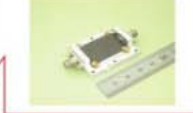
受信フィルタ+LNA一体化



バンドパス型



リジェクション型



超伝導フィルタ技術の研究開発



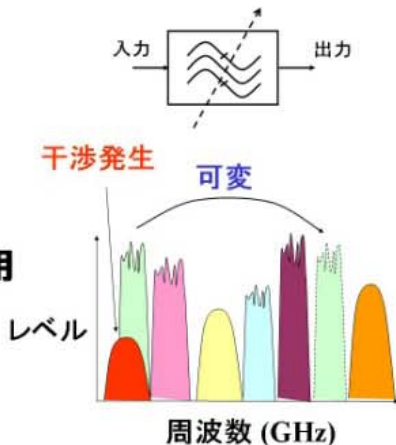
課題イ) チューナブル送信フィルタに関する研究開発
概要

超伝導チューナブルフィルタ技術の狙い

超伝導フィルタ
+
チューナブル(周波数可変)

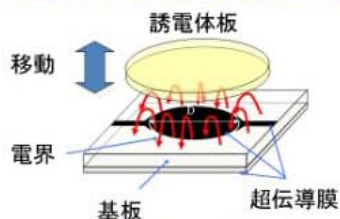
環境に応じて空き周波数帯の利用

周波数資源の有効利用



チューナブル化の方法

- 電界制御型・・・電界により誘電率が変化する強誘電体を利用
- 磁界制御型・・・磁界により透磁率が変化する強磁性体を利用
- メカニカル型・・・各種材料の移動により実効的な誘電率 ϵ_{eff} や透磁率 μ_{eff} を変化させる



メカニカル型の例

共振周波数

$$f_0 = \frac{c_0}{2D\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}\mu_{\text{eff}}}}$$

メカニカル型チューナブル送信フィルタの構成例と成果

室温駆動方式

低温駆動方式

超音波ピエゾモータ
積層アクチュエータ

平面フィルタ構造

平面フィルタ構造

歯車型

歯車型

グランドスロットデュアルモード型

グランドスロットデュアルモード型

立体フィルタ構造

立体フィルタ構造

バルク埋め込み型

バルク埋め込み型

空洞型

空洞型

チューニング方式

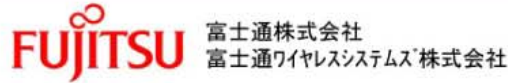
チューニング方式

トリミングロッド チューニング板
給電線 ギャップ電極
フィルタ共振器
銅キャビティ グランド面

超伝導フィルタパターン

誘電体ロッド 誘電体板
チューナブル機構
冷凍機
超伝導フィルタパターン

超伝導フィルタ技術の研究開発

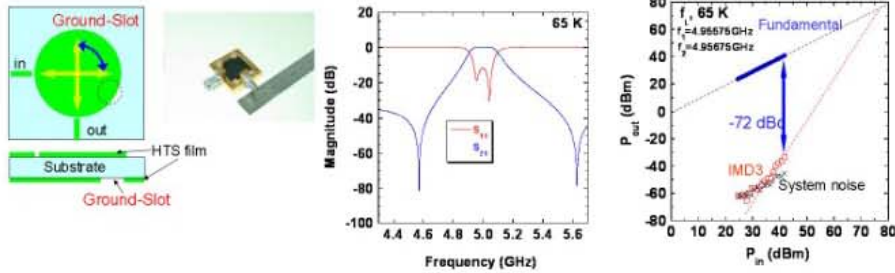


課題ア) 超伝導フロントエンドに関する研究開発 主な開発要素技術

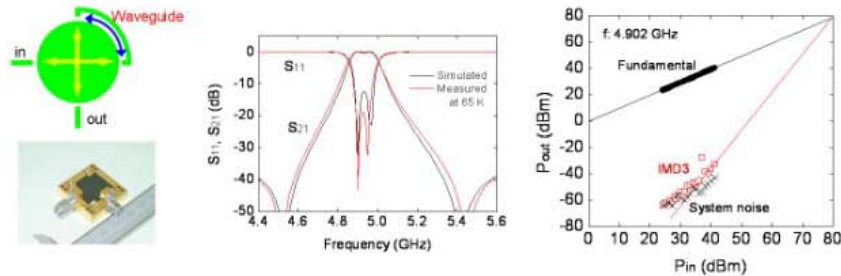
■ 超伝導送信フィルタの要素技術開発

- 新規Dual-modeディスク共振器の提案 (より小型で電力動作を目指し)

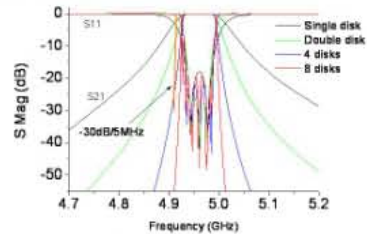
グランドスロット型



導波側路型



■ 多段化



・Dual共振器の多段特性(電磁界シミュレーション)

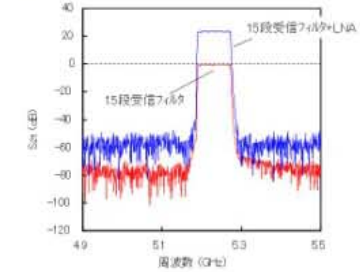
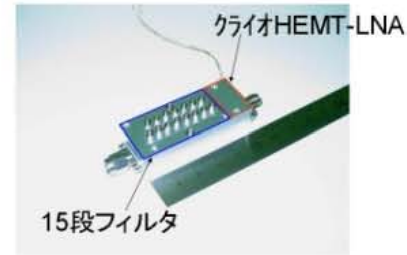
■ Dual-modeディスク共振器内蔵の8段送信フィルタの試作外観



・10W動作確認

■ 超伝導受信フィルタとクライオ(低温)LNA

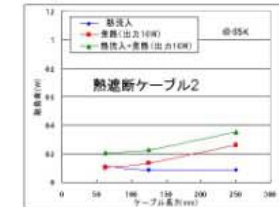
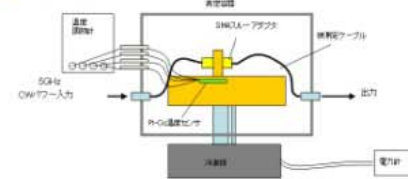
- 一体化受信フィルタの試作外観
- 伝送特性例



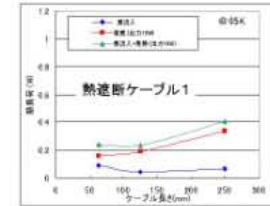
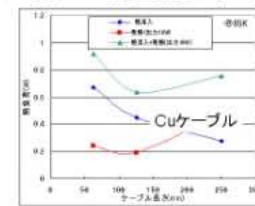
・HEMT, 超伝導フィルタの一体実装、クライオ動作 → 受信の高選択・高感度化

■ 真空容器内送信入出力用熱遮断ケーブル

■ 測定系



■ ケーブル長 vs. 熱負荷(1本当たり)



・送信出力10Wにおける最適なケーブル条件を抽出
・測定系のノイズレベル以下の歪(IMD)を確認

超伝導フィルタ技術の研究開発

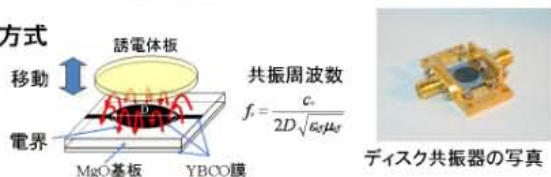


富士通株式会社
富士通ワイヤレスシステムズ株式会社

課題イ) チューナブル送信フィルタに関する研究開発 主な開発要素技術

■ 誘電体プレートによるチューニング

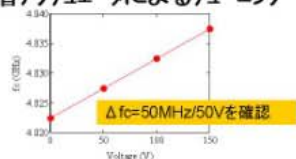
■ チューナブル方式



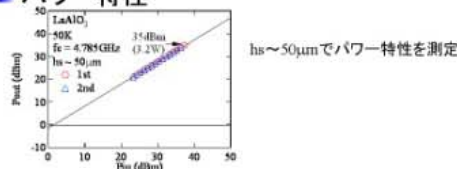
■ 試作共振器の構成



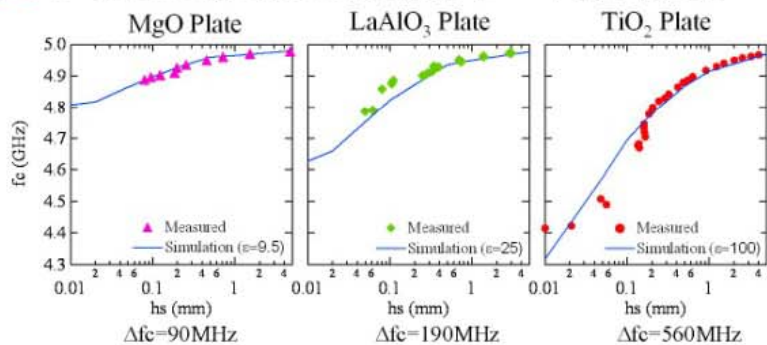
■ 積層アクチュエータによるチューニング



■ パワー特性



■ ディスク共振器の誘電体プレート材料依存



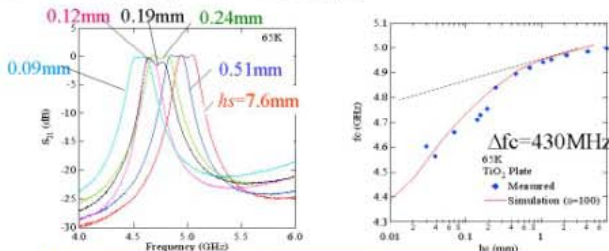
TiO₂誘電体プレートで560MHzの共振周波数のシフトを確認

■ 送信用超伝導チューナブルディスク共振器の多段化

■ グラウンドスロットを用いたデュアルモード型共振器



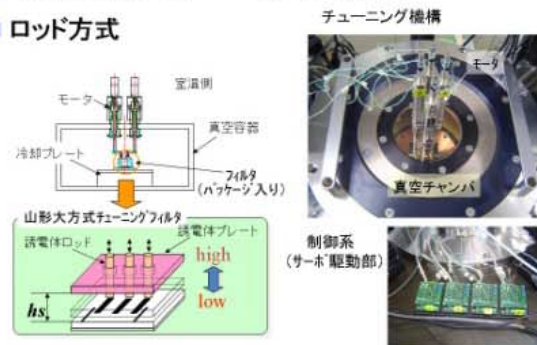
■ TiO_xプレートによるチューニング特性



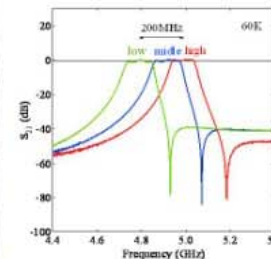
フィルタ特性を維持したまま、中心周波数430MHz可変

■ PC制御チューニング機構

■ ロッド方式



■ チューニング波形



超伝導フィルタ技術の研究開発

Fuji Electric Systems Co., Ltd.

課題ア) 超伝導フロントエンドに関する研究開発 主な開発要素技術

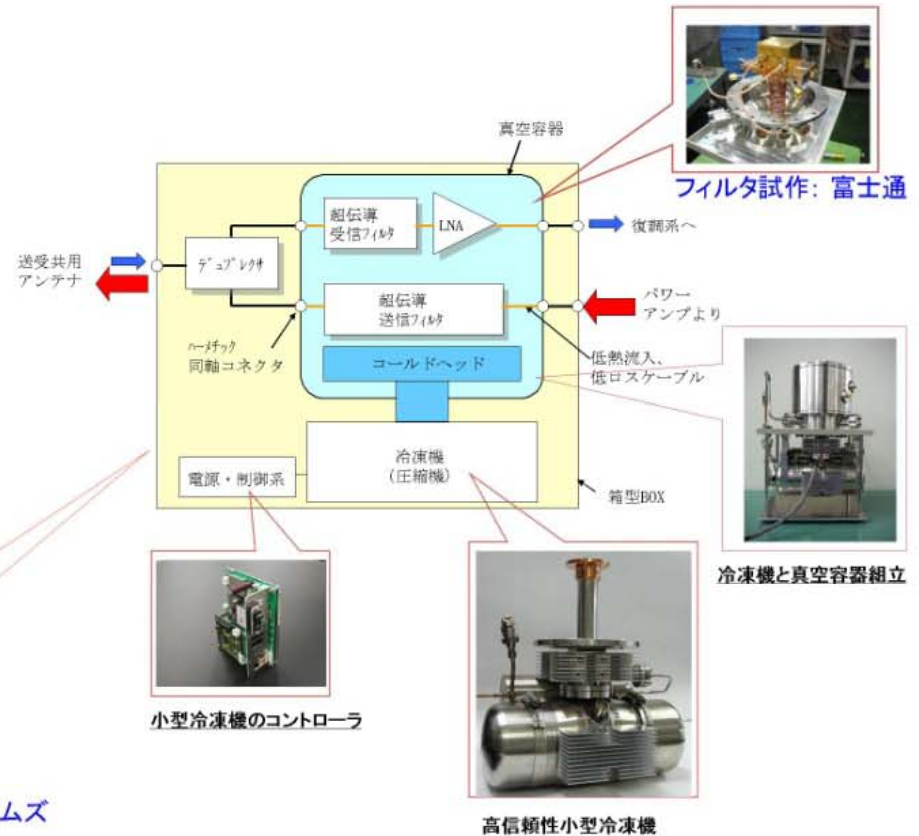
■ 目的

超伝導式受信フィルタだけでなく超伝導送信フィルタを65K(-208℃)に冷却でき、かつ15リットル以下の無線フロントエンドに収納できる寸法の高信頼性小型冷凍機を研究開発する。

■ 目標達成のための研究開発

開発要素	開発課題・対策	小型化	性能向上
リボン・リード線	長期信頼性を実現する機械的強度	○	-
リアモータ	駆動方式に可動磁石式を採用	○	○
ピストン・シリンダ	クリアランスの最適化	-	○
組立	位相制御機構の構成・配置	○	-

開発要素	開発課題・対策	小型化	性能向上
膨張機構	蓄冷器とパルス管を同軸リターン式に構成	○	-
蓄冷器	効率向上をねらった蓄冷材料選定、構成	-	○
整流機構	流体性能向上をねらった整流機構構造	-	○
組立	組立溶接治具の開発	○	-
排熱構造	構造	○	○



15リットル以下のフロントエンド
フロントエンド筐体: 富士通ワイヤレスシステムズ

超伝導フィルタ技術の研究開発



Graduate School of
Information Science and Technology
Hokkaido University

課題ア) 超伝導フロントエンドに関する研究開発

主な開発要素技術

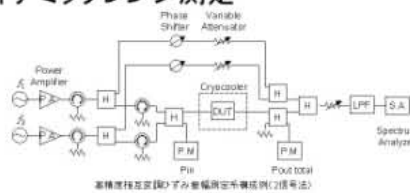
3) 解析評価技術の研究開発

目的

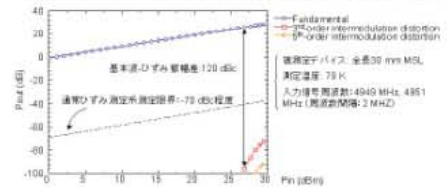
高品位の高温超伝導 (HTS) フィルタ実現のため、伝送特性のみではなく、非線形ひずみ振幅・位相特性等を含めた特性評価系を新たに構築し、詳細な評価を実施

相互変調ひずみ振幅高精度高ダイナミックレンジ測定

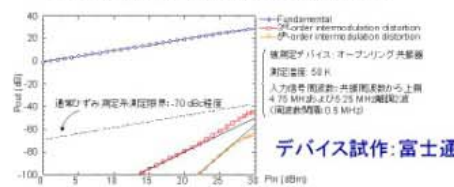
ひずみ成分よりもはるかに高いレベルの基本波信号成分をキャンセルし、基本波の影響を受けない高精度・高ダイナミックレンジ測定を達成



HTSマイクロストリップ回路から発生する非線形ひずみ振幅測定例



HTS共振器から発生する非線形ひずみ振幅測定例

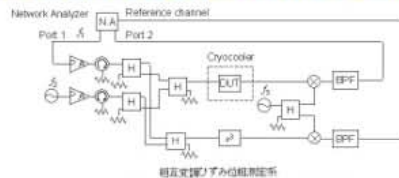


デバイス試作: 富士通

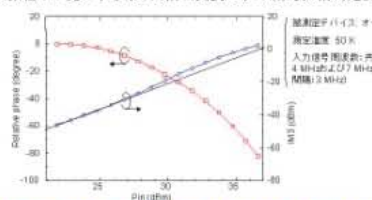
最大振幅比120 dBおよび最高感度-100 dBmの高精度・高ダイナミックレンジを達成

相互変調ひずみ位相測定

HTSデバイスから発生する3次相互変調ひずみ位相特性を明らかにし、より詳細な非線形ひずみ特性を取得



HTS共振器から発生する第3次相互変調ひずみ相対位相測定例



非線形ひずみ位相測定状況

HTSデバイスから発生する相互変調ひずみ位相特性測定を新たに実現

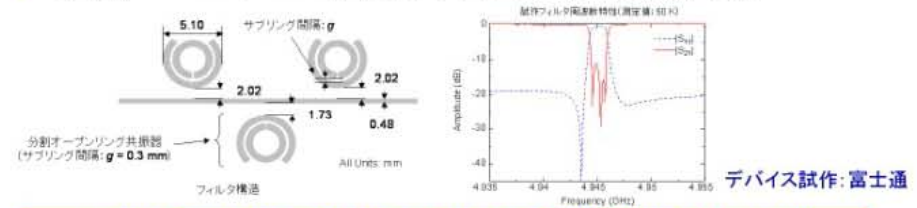
5) リジェクション型フィルタの研究開発

目的

高電力に対応可能な送信用HTSフィルタとして、帯域阻止特性を持つリアクション型フィルタ適用を新たに提案し、その実現可能性を検討

HTS3段リアクション型フィルタ(分割オープンリング共振器適用)

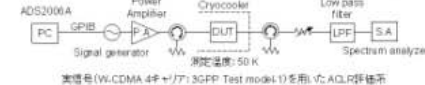
- 低電流密度および高無負荷Q値、低放射を達成可能な分割オープンリング共振器を適用
- 帯域幅1.5 MHzの5 GHz帯3段リアクション型フィルタを設計・試作



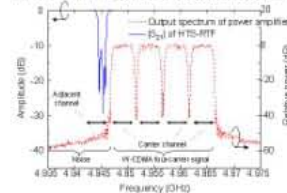
フィルタ通過損失0.1 dB以下、帯域端遮断特性は60 dB/MHzを実現

W-CDMA4キャリア信号を用いた電力増幅器ACLR改善量評価実験

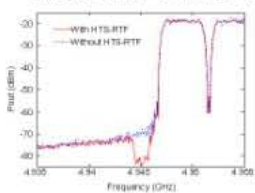
- W-CDMA規格(3GPP TS25.141)で規定される基地局用出力ACLR(隣接チャネル漏洩電力比)を評価



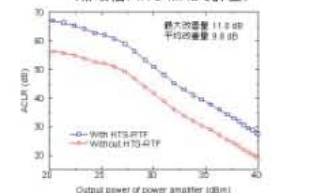
ACLR評価時のフィルタ伝送特性およびW-CDMA4キャリア信号の入力周波数条件



電力増幅器出力スペクトラムの一例



リアクション型フィルタを用いたACLR改善量(帯域幅: 1.78 MHzで評価)



約10 dBのACLR改善を確認(評価帯域幅1.78 MHz)
入力電力40 dBmにおいても、ACLR改善効果を確認(リアクション型フィルタの利点)

超伝導フィルタ技術の研究開発



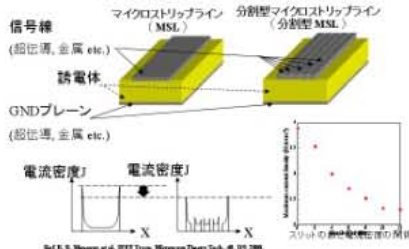
課題イ) チューナブル送信フィルタに関する研究開発
 主な開発要素技術

超伝導送信フィルタの開発

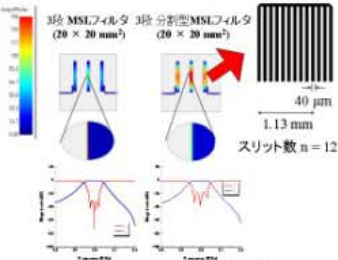
目標: スカート特性 30 dB/10MHz 以上, 耐電力特性 1W 以上

コンセプト

耐電力向上 → 電流集中の緩和

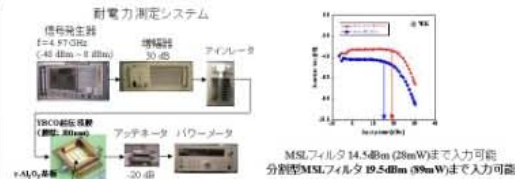


線路の分割数を増やすことで線路端の電流集中が緩和
 分割型MSLを用いたフィルタの提案と設計



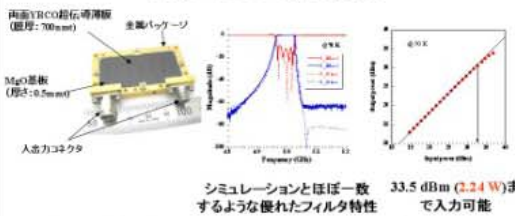
30MHz帯用MSLフィルタの耐電力特性 30dB帯用MSLフィルタ-500MHz帯用耐電力特性
 * EUCAS2007, ISS2007等の国際会議で成果報告

3段フィルタの耐電力測定



耐電力測定結果より、
 5.0 dBの改善を確認し、分割型MSLの有効性を実証

1段フィルタの耐電力測定



シミュレーションとほぼ一致
 するよう優れたフィルタ特性
 ・シャープスカート特性 (33.8dB/10MHz)
 ・高耐電力特性 (2.24 W) のフィルタを実現

* ISS2007で成果報告

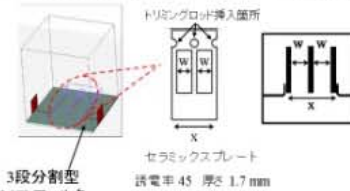
超伝導チューナブルフィルタの開発

目標: 500 MHz チューニング

小型冷凍機によるチューニング実験システムの開発

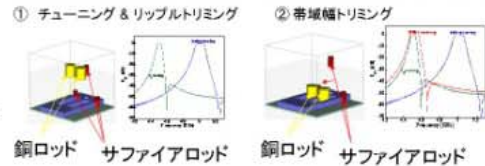
複合チューニングシステムの提案

チューニング・誘電体板を用いてバンドパス特性の中心周波数をシフト



トリミング・劣化したバンドパス特性の修正
 サファイアロッド(誘電体): 共振周波数を低周波数側へシフト
 ニッケルロッド(磁性体): 共振周波数を高周波数側へシフト
 銅ロッド(金属): 共振器間の電磁界結合を強くするのに有効

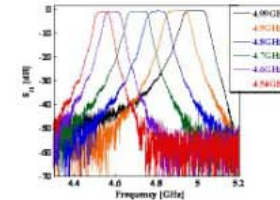
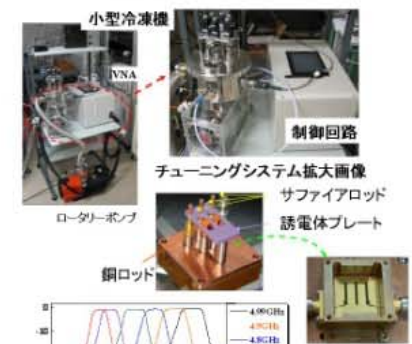
超伝導フィルタのチューニング&トリミングのシミュレーション



バンド特性を劣化させずに500 MHzチューニングを確認

* ISS2007で成果報告

小型冷凍機チューニングシステム



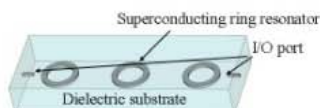
バンド特性を維持したまま、
 中心周波数500 MHzシフトを実現

* 応用物理学の分野の学術講演会で成果報告
 国際会議で発表予定

超伝導チューナブル高電力送信フィルタの提案

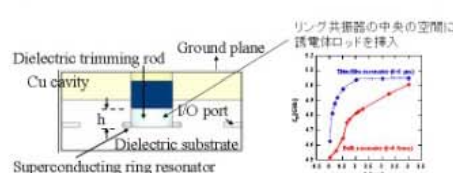
コンセプト(バルクフィルタ)

薄膜型よりも臨界電流が高いことを利用して超伝導バルクを使用

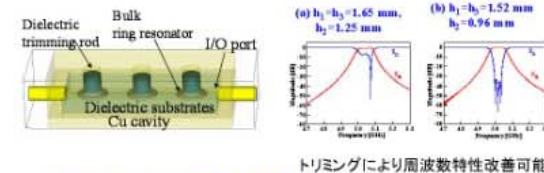


埋め込み式超伝導バルクフィルタを提案

超伝導バルクフィルタのトリミング方法の提案



3段バルクフィルタのトリミングのシミュレーション



* ASC2006, EUCAS2007, ISS2007等の国際会議で成果報告

成果のまとめ

スカート特性

目標: 30 dB/10MHz 以上
 → 33.8 dB/10MHz (達成!)

耐電力特性

目標: 1 W 以上
 → 2.24 W (達成!)

チューニング特性

目標: 500 MHz シフト
 → 500MHzシフト・理論的な実証
 → 500 MHz シフト・自動チューニング
 システムの構築 (達成!)