

ファブリペロー共振器による誘電率測定

EM ラボ株式会社

E-mail : info@emlabs.jp

Web : <https://www.emlabs.jp>

はじめに

近年の 5G・6G 通信や高性能サーバー、自動車レーダーの普及により、100 GHz を超える高周波領域での材料評価が強く求められている。ファブリペロー共振器は、26～330 GHz という広帯域をカバーし、特に低誘電正接材料の高精度測定において国際的に標準的な装置として利用されている。

1. 測定原理

ファブリペロー共振器は、2 枚の球面反射鏡を平行に配置することで共振器を形成している。

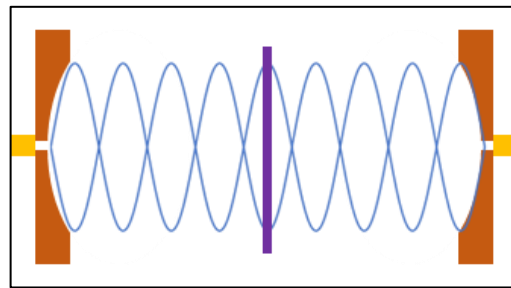
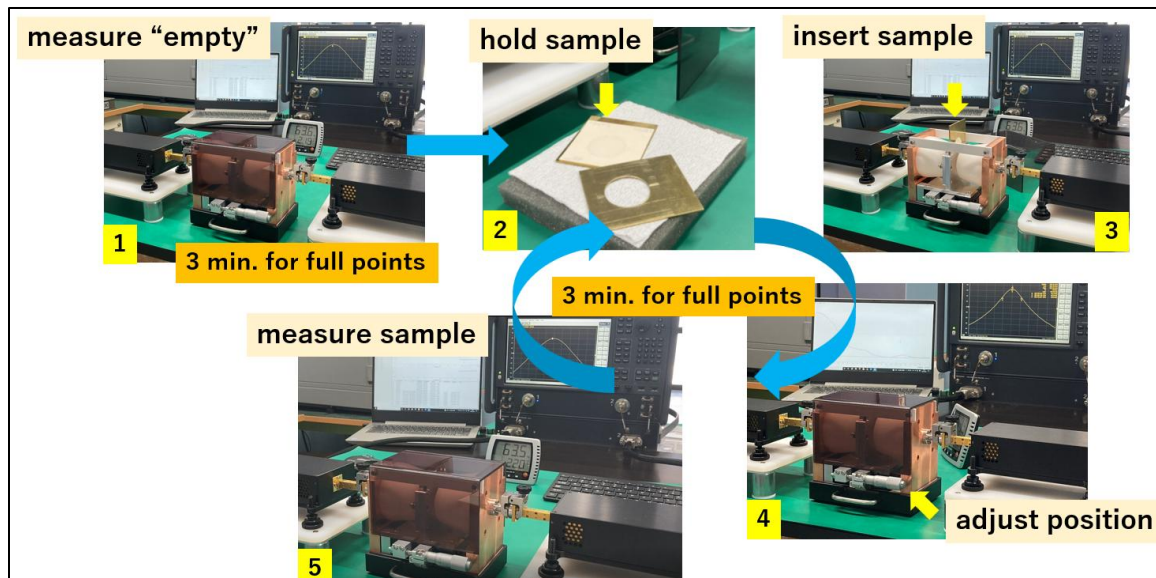


図 1 ファブリペロー共振器の概念図

図 1 に示すように、共振器内部には共振による定在波が形成され、共振が生じる。その共振周波数と Q 値を測定した後、試料を共振器の中央に配置すると、共振周波数は低域へシフトし、さらに試料内部の損失によって Q 値が劣化する。これらの測定値から、誘電率 (ϵ') および誘電正接 ($\tan\delta$) を算出することができる。本測定法は、1 台の治具で広帯域測定が可能であり、特に高周波領域における低損失材料の評価に優れている。

図 2 にファブリペロー共振器の外観と測定手順を示す。本装置は 1 試料あたりわずか 3 分ですべての周波数点の測定が完了する。

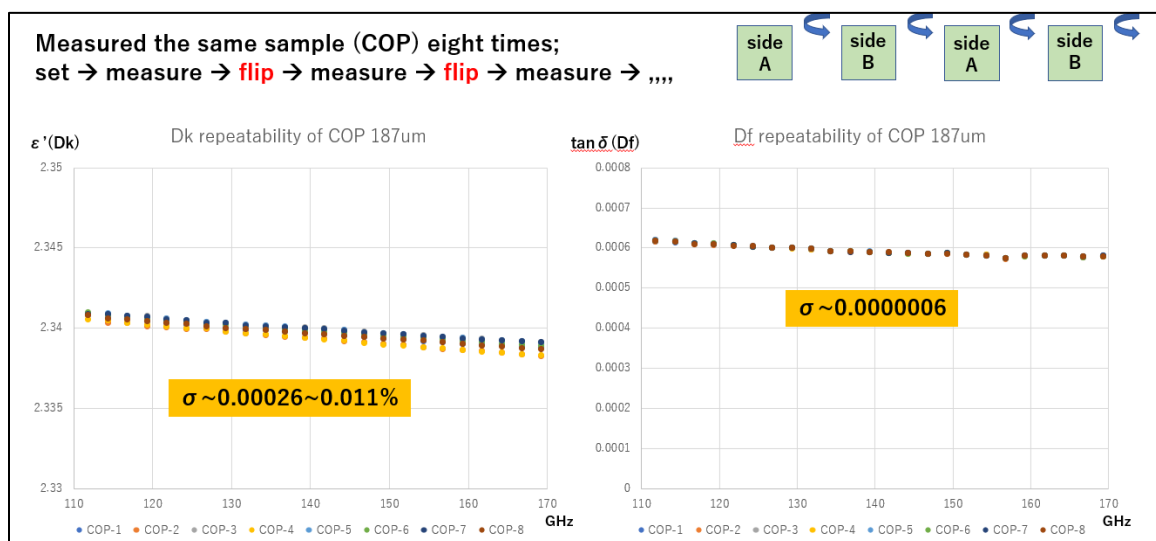


【図 2：ファブリペロー共振器の外観と測定手順】

2. ファブリペロー共振器の特長

- 広帯域対応：26～330 GHz をカバー
- 高再現性：COP(180um)において、誘電率の標準偏差 0.00026 以下、誘電正接 0.000006 以下
- 高速性：1 周波数点あたり 4 秒程度で測定完了
- 液体試料にも対応：専用容器を用いて安定測定が可能

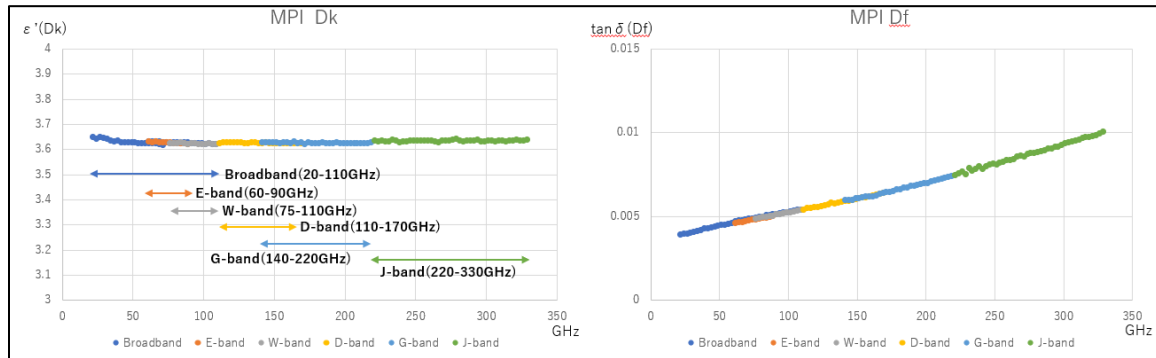
図 3 に、ファブリペロー共振器による誘電率測定の再現性データを示す。



【図 3：ファブリペロー共振器による測定再現性（平均値、標準偏差、変動係数）】

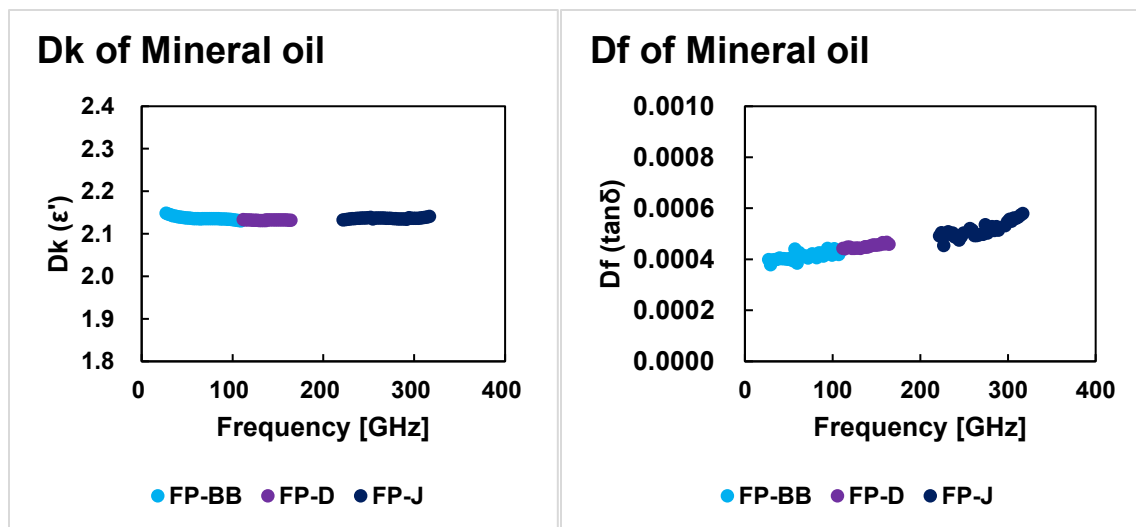
3. 応用事例

図 4 に、MPI フィルムの 26～330 GHz における誘電率特性を示す。広帯域での連続的な測定により、材料特性の周波数依存性を正しく把握できる。



【図 4：MPI フィルムの広帯域誘電率測定例】

ファブリペロー共振器は液体試料の測定にも対応している。専用の液体コンテナを用いることで、0.0004 という超低損失液体 Mineral Oil の測定も可能である（図 5 参照）。

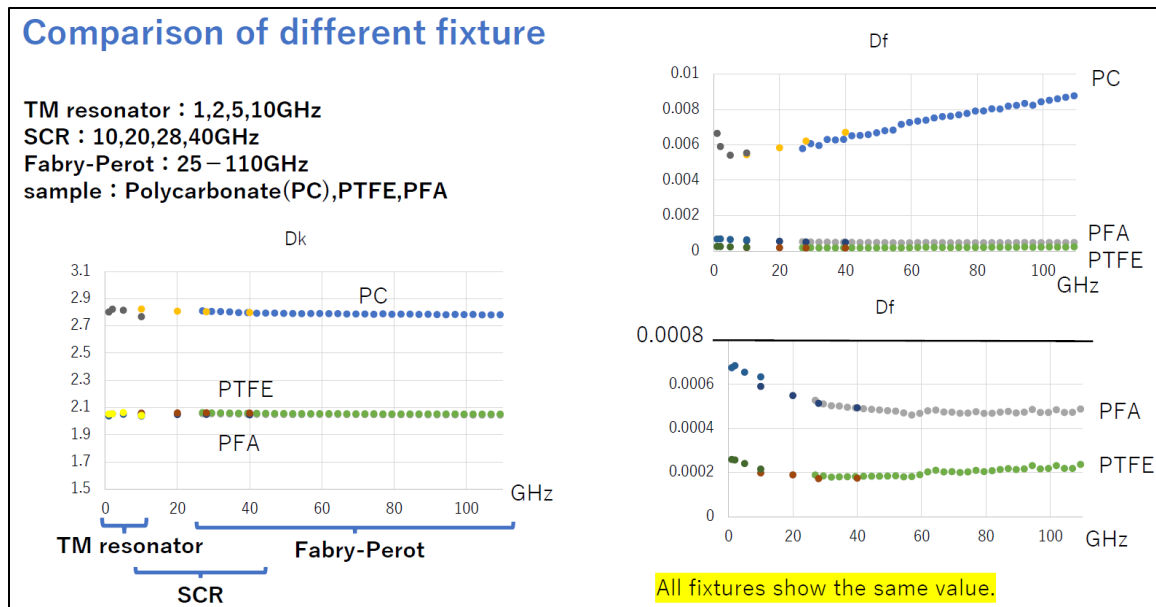


【図 5：液体誘電率測定例（Mineral Oil）】

4. 他方式との比較

ファブリペロー共振器は広帯域測定かつ高周波数に優れているが、単一周波数点での超高精度測定にはスプリットシリンダー共振器(10～80GHz)が適している。また、1～10 GHz 帯では空洞共振器が広く利用されており、複数の方式を組み合わせることで信頼性の高いデータ取得が可能となる。

例えば、複数の治具で同じ誘電体を測定したときに同じ値になることを確認しておくことで安心して値を使用することができる(図 6 参照)。



【図 6：複数の治具を用いて 3 種の樹脂を測定した結果】

5. 装置選定のポイント

ファブリペロー共振器を選定する際には、以下を確認する必要がある：

- 周波数特性データが連続的に得られるか
- 再現性データが公開されているか
- 低損失材料の測定実績があるか
- 測定スピードが実用的か
- ほかの共振器と同じ値が出るか

おわりに

EM ラボのファブリペロー共振器は、ミリ波からサブテラヘルツ帯域における誘電率測定の国際標準として確立されつつある。その広帯域性・高再現性・高速性は、次世代通信や高周波デバイス開発における材料評価の基盤となり、未来の材料開発や産業応用に大きく貢献している。

2025 年 9 月 1 日発行