

スマートギヤの開発

機械工学系 射場大輔
電気電子工学系 島崎仁司
鳥取大学 本宮潤一

2024年3月19日 14:00-17:00

□ 動力伝達機構に用いられる歯車

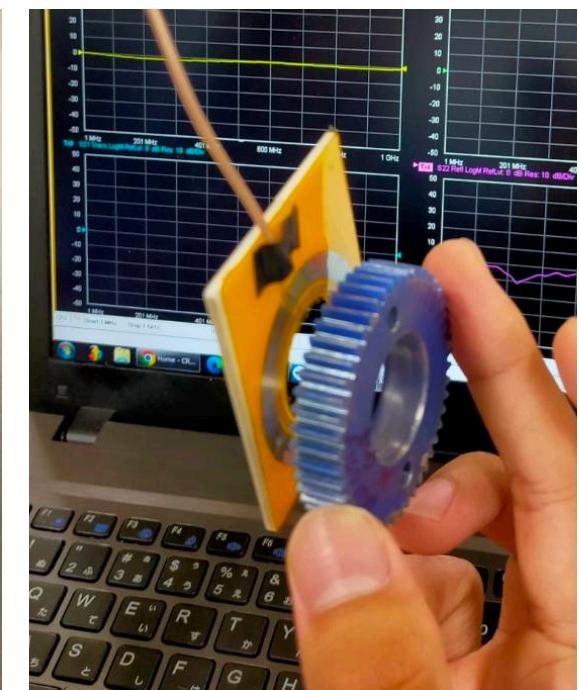
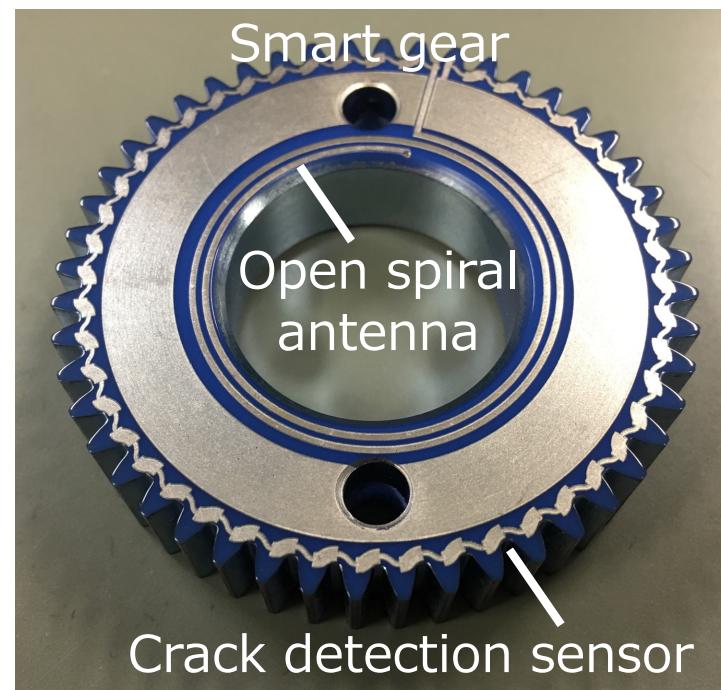
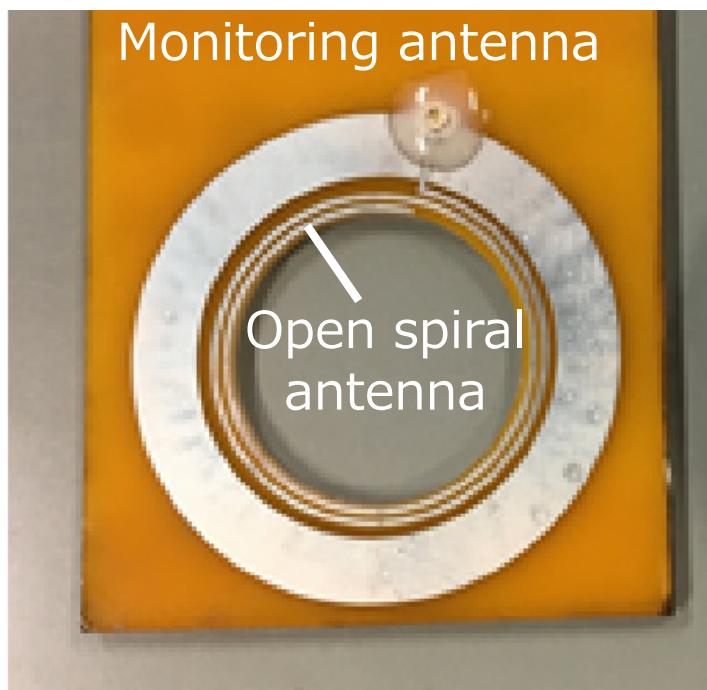
- ✓ 動力伝達機構にコスト・信頼性の面から歯車が選択されるケースが多い
- ✓ 歯車の損傷はシステム全体に影響 >> 人の生活空間を移動するロボットが普及すると、故障が大きな事故に発展

□ 樹脂歯車ヘルスモニタリングの必要性

- ✓ 歯車の健全性を評価する目的:
 - 潜在する損傷を未然に防止
 - 安全性を確保し、維持にかかるコストを削減

□スマートギヤシステム

- ✓ ネットワークアナライザに接続された観測用オープンスパイラルアンテナ
- ✓ 歯車表面に同形状のアンテナとき裂検知センサを印刷（スマートギヤ）。スマートギヤにはバッテリー等電源は無し。



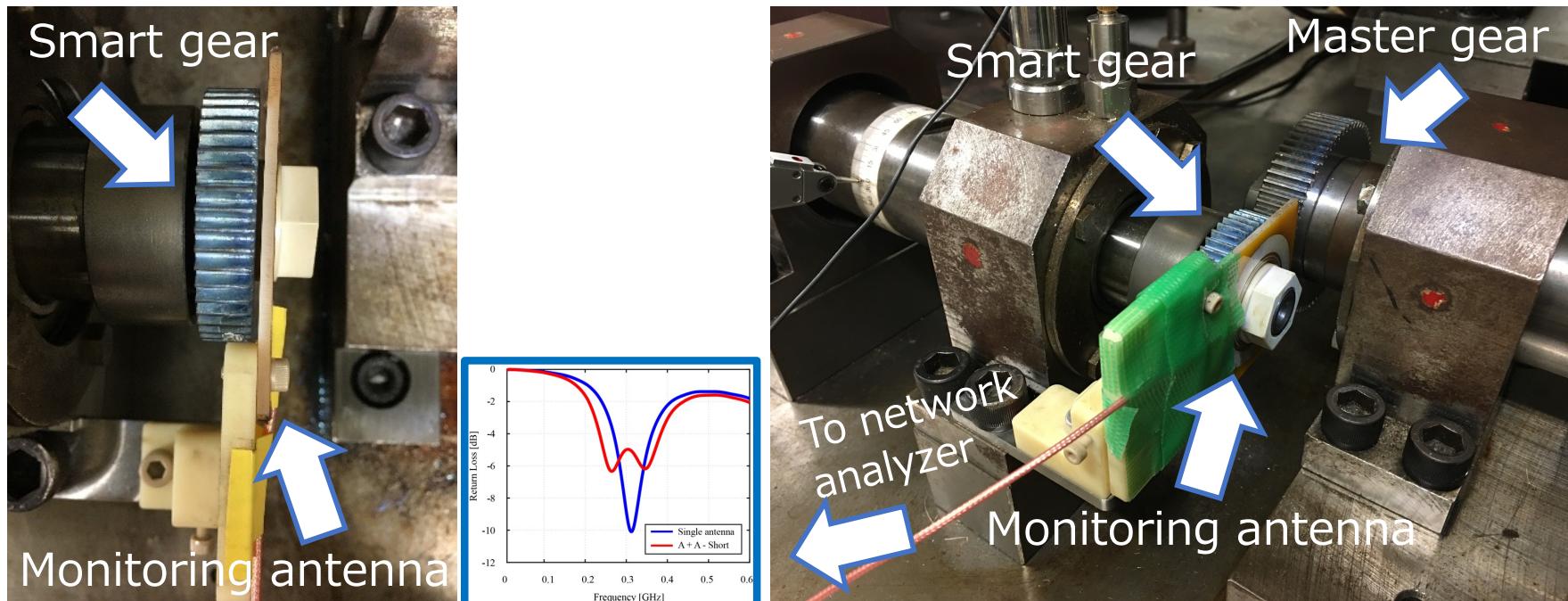
Two components of smart gear system

□システムの配置

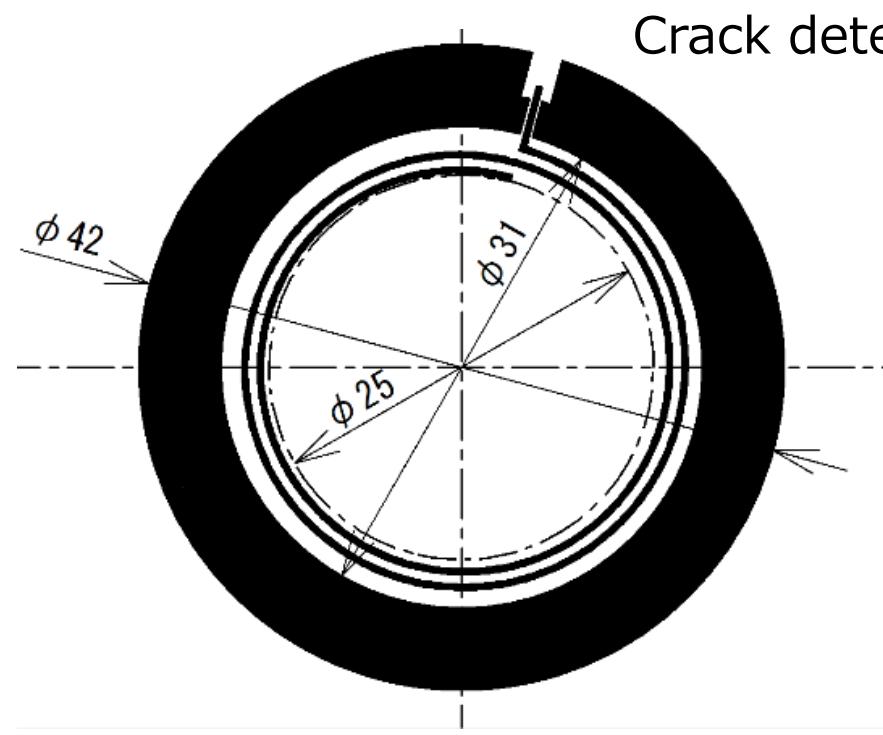
- ✓ 観測用アンテナは、スマートギヤに隣接して配置。観測用アンテナの周波数特性をネットワークアナライザで観測

□動作原理

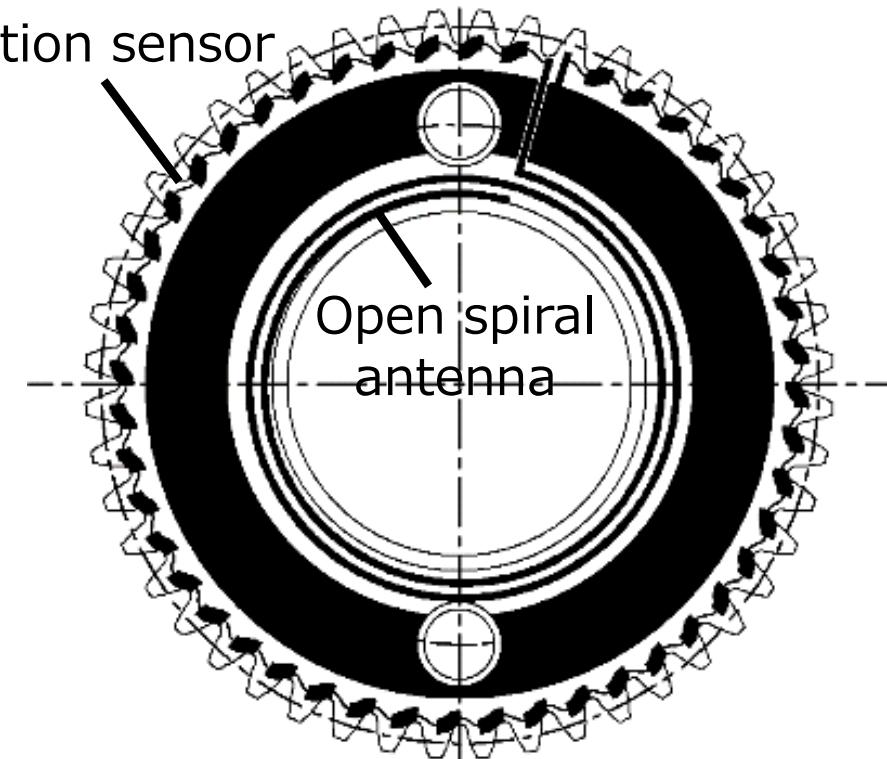
- ✓ 観測用アンテナとスマートギヤ上のアンテナ間で磁界結合
- ✓ スマートギヤ側の回路の影響を非接触でモニタリング



Gear running test with smart gear system



観測用アンテナ

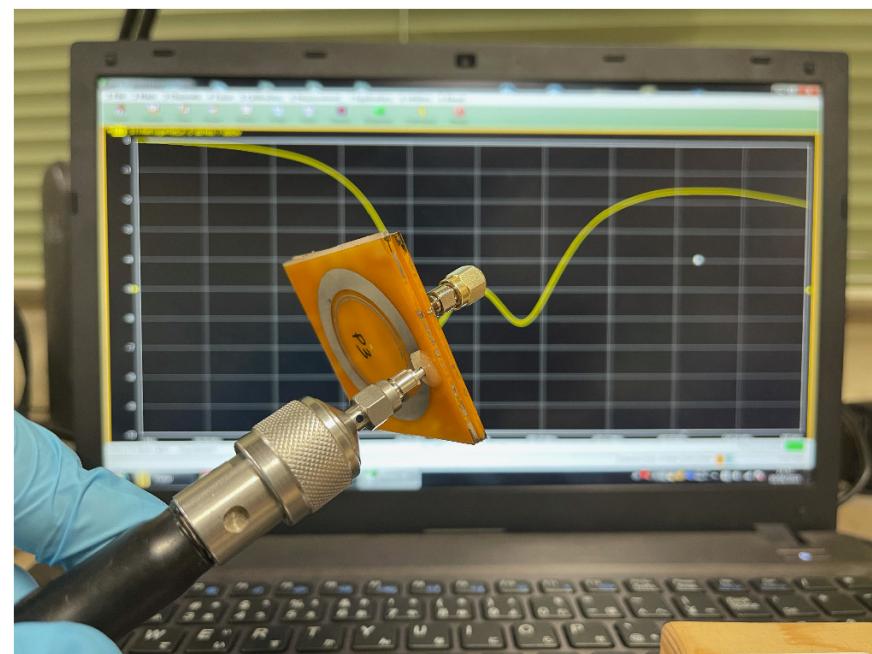
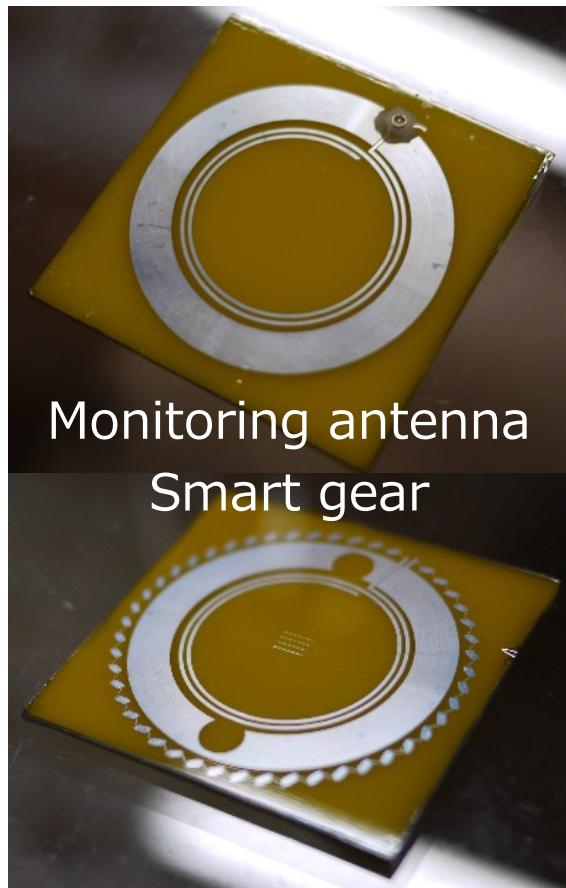


スマートギヤ

同じ形状のオープンスパイラルアンテナ

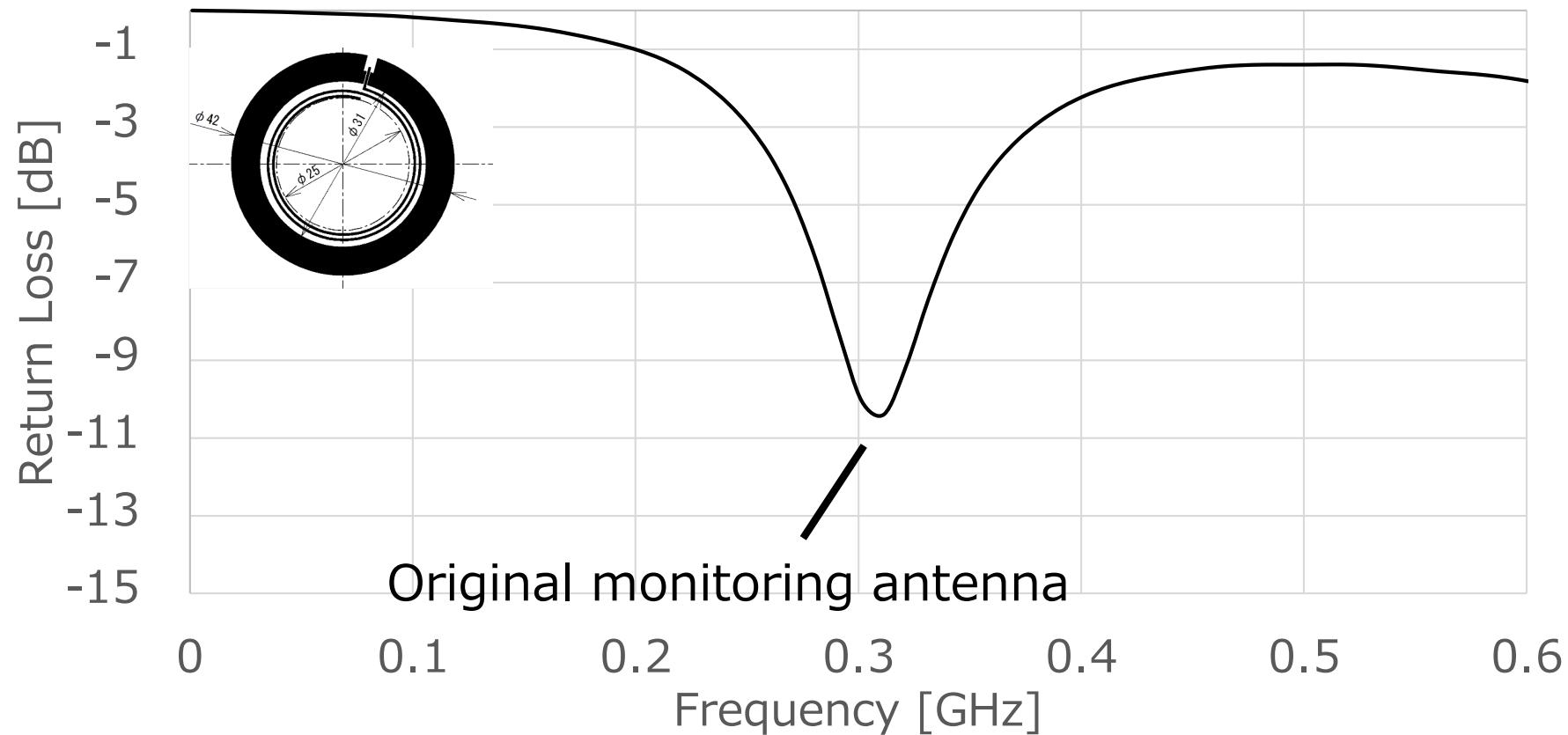
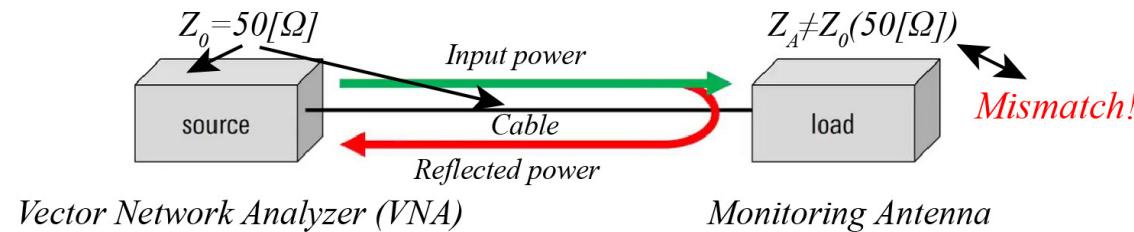
□観測用アンテナの周波数特性にスマートギヤのセンサ回路の断線が与える影響を調査

- ✓ POM板にスマートギヤシステムを印刷
- ✓ スマートギヤは二種類用意. 健全なセンサ, 断線したセンサ

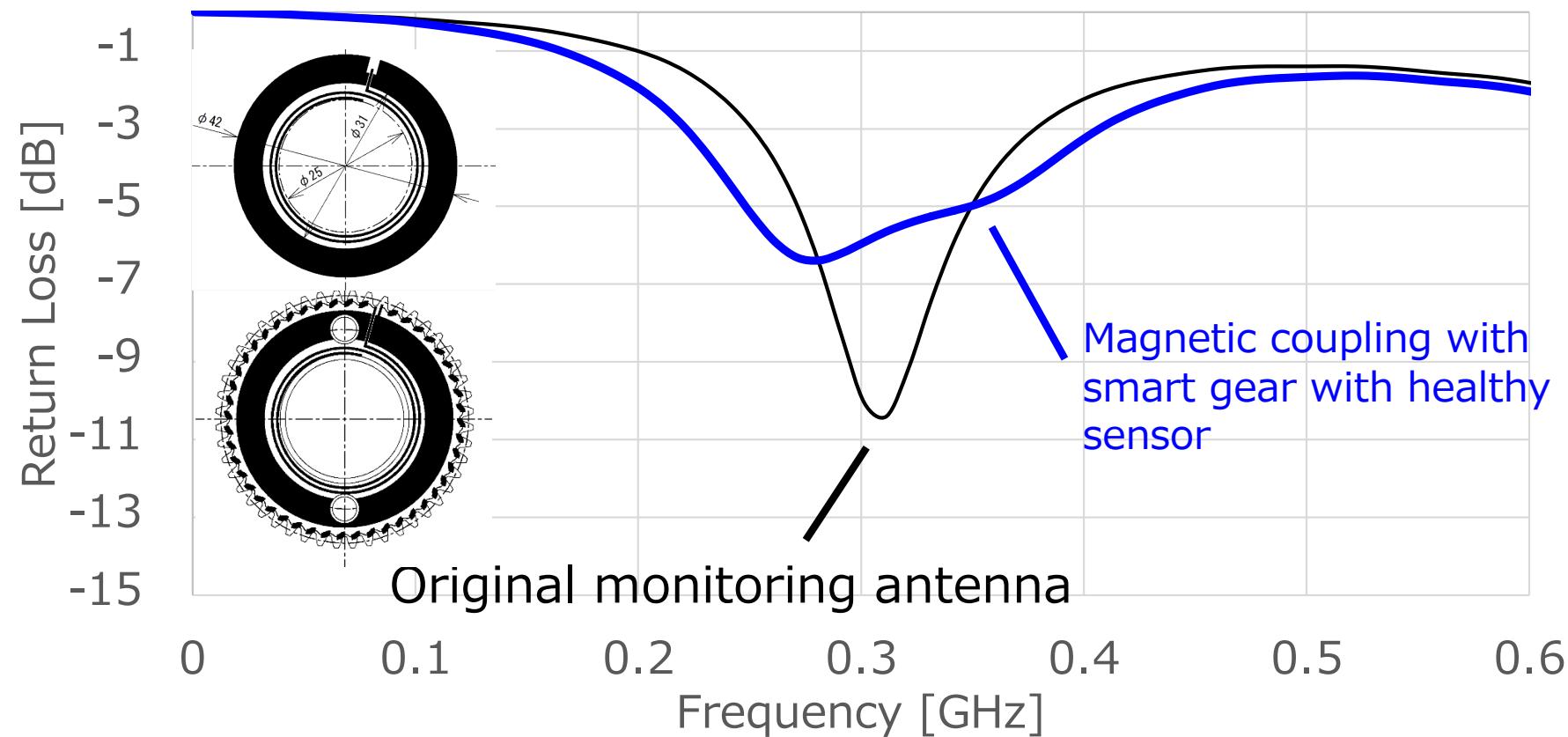


スマートギヤシステムを印刷した面の反対側を合わせて観測用アンテナの特性をネットワークアナライザで計測

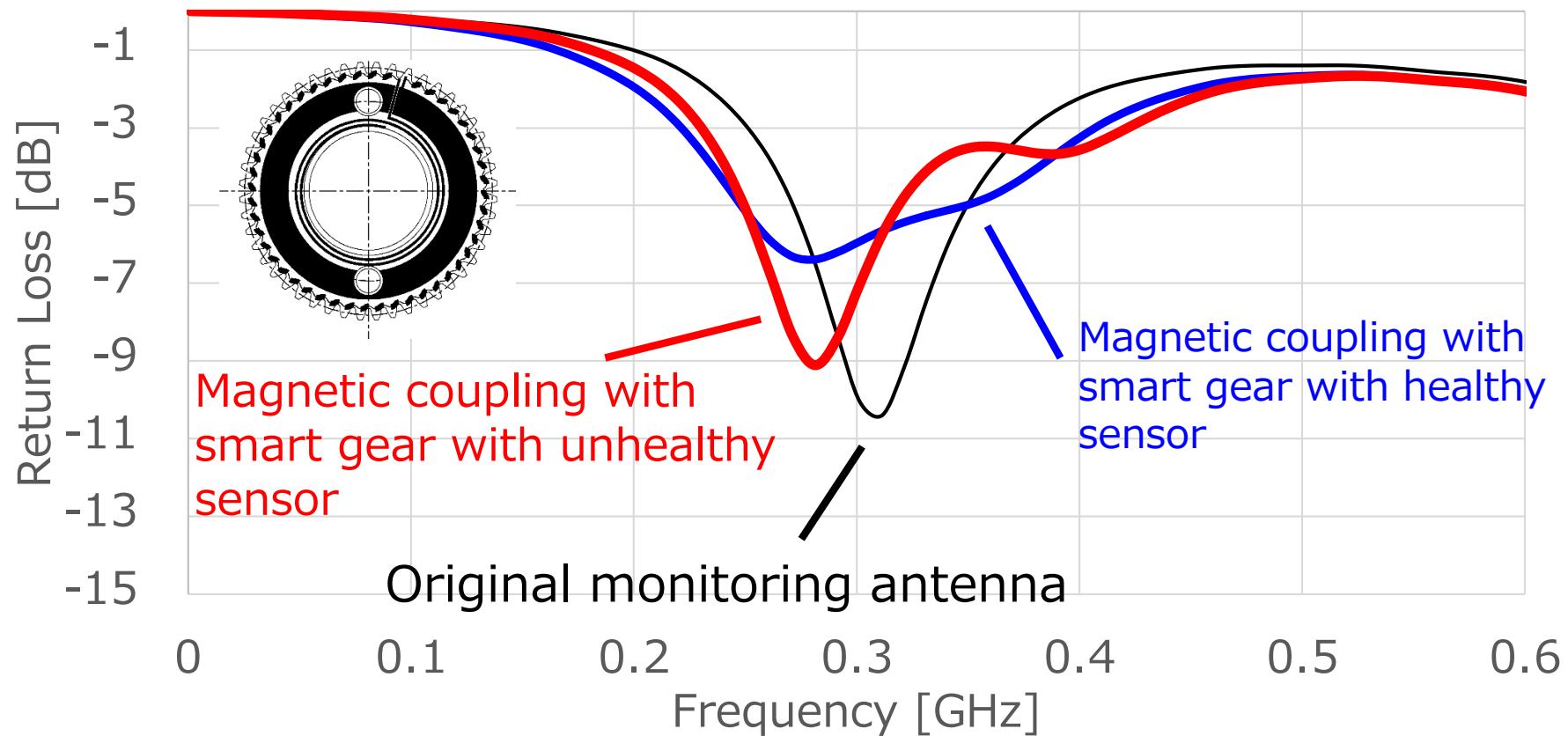
□リターンロスで評価



- 健全なスマートギヤと磁界結合
- 結合により 2 自由度系に変化



- 断線したセンサ回路を有するスマートギヤとの磁界結合
- リターンロスの形状が変化



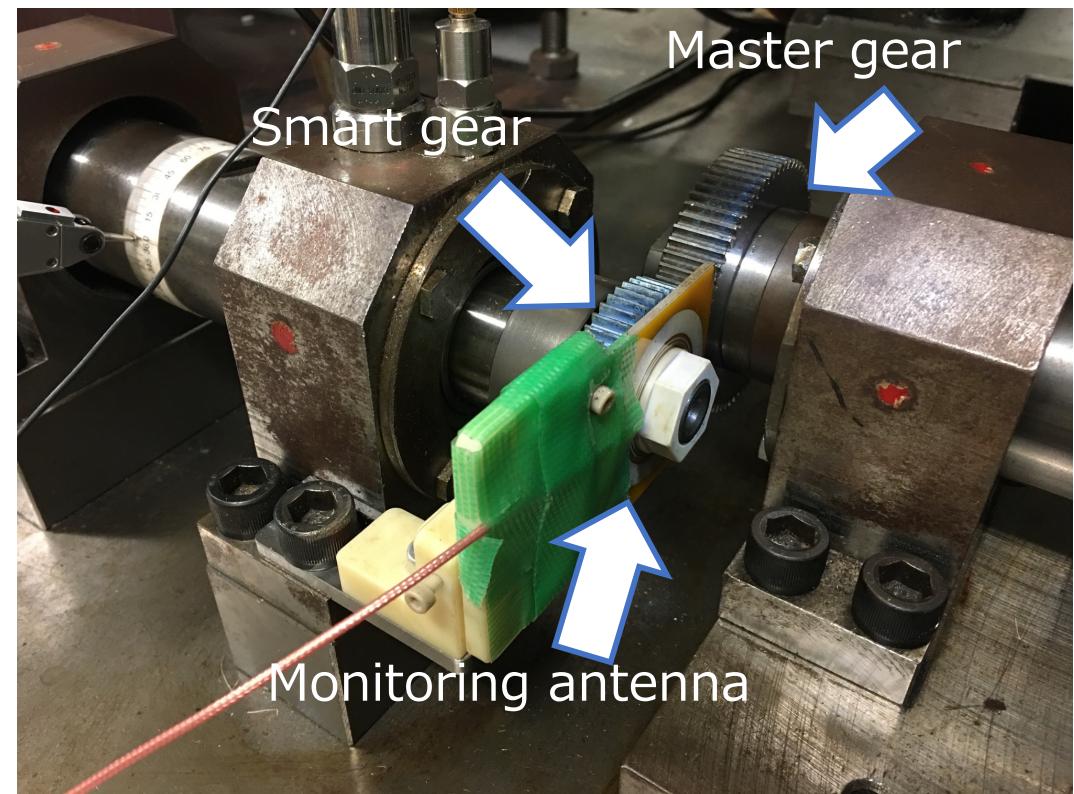
歯車運転試験

□ 目的:

- ❖ 樹脂歯車(スマートギヤ)運転中の観測用アンテナのリターンロス変化を調査

□ 実験条件:

- ✓ 回転速度: 1000 rpm
- ✓ 負荷トルク: 8 Nm
- ✓ き裂が発生するまで運転

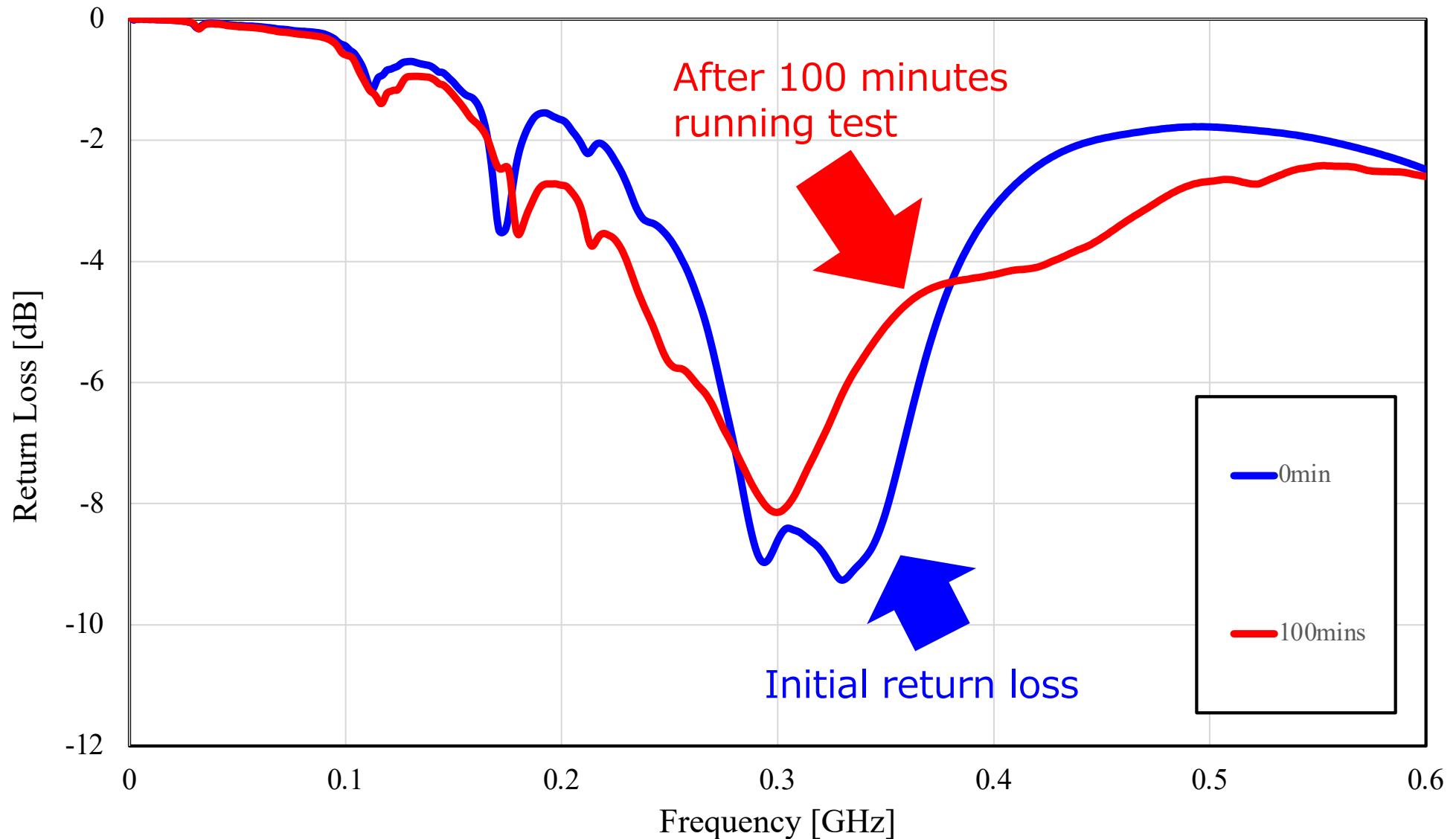


Gear running test

試運転



歯車運転試験の結果

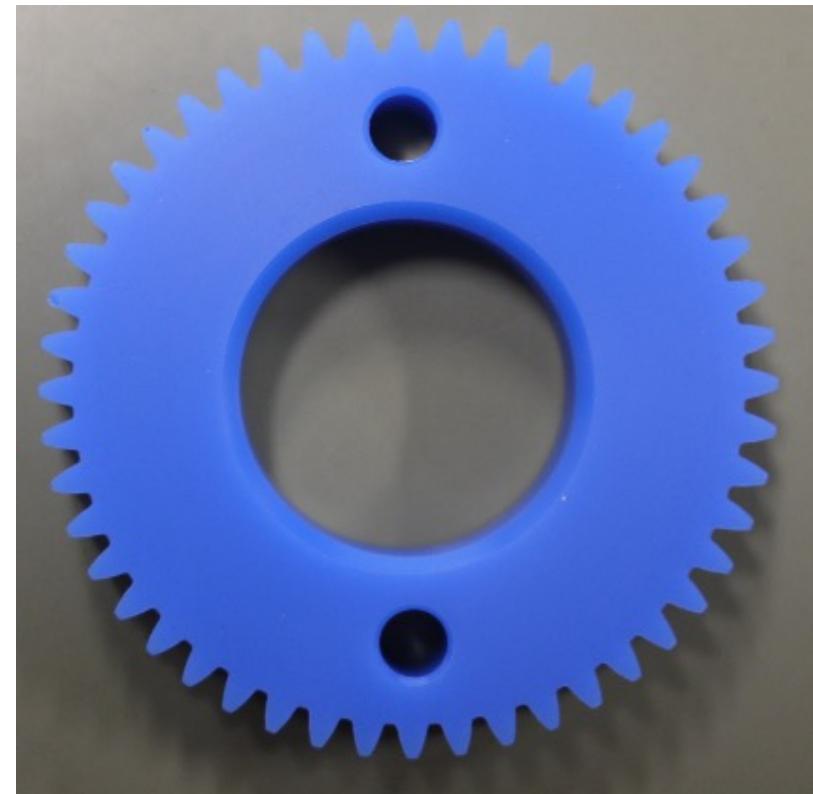


- 導電性インクを歯車に印刷するための印刷機を開発
- スマートギヤシステムを提案
- 歯車運転試験にて歯元き裂検知が可能であることを確認
- 課題について
 - スマートギヤ特性のばらつき
→ 製作方法・工程の見直し

- 導電性インクの印刷
- 印刷対象歯車

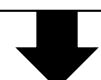
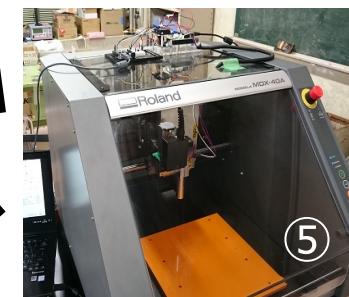


Parameters	Values
Module (mm)	1.0
Pres. angle (deg)	20
Number of teeth	48
Helix angle (deg)	0
Prof. shift coef.	0
Face width (mm)	8.0
Material	MC901(PA6)



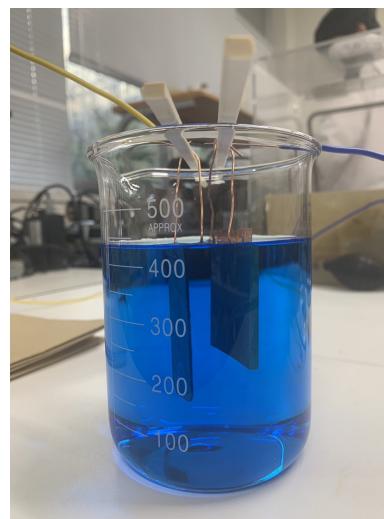
導電性インクの印刷手順

- ① Vacuum plasma treatment: 2min
To improve hydrophilic property
- ② Spraying conductive ink
- ③ Spin coating: 875rpm, 1min
- ④ Drying on hot plate: 100°C, 6min
- ⑤ Laser sintering
 - Focal length : 39.00mm
 - Laser power : 1.6W, 3%
 - Feeding speed : 240mm/min
- ⑥ Removing residual ink



スパッタリングとめっき技術を用いたベース導電層の印刷

- スパッタリング法
 - 歯車側面全体に銀をコーティング
 - 膜厚が薄く(数十 nm)回路として不十分
- 電気メッキ法
 - 銅めっきにより膜厚を増加(約百数十 μm)
 - 耐薬品性向上



提案手法

エッチングによる電気回路の印刷

1. レジスト材の塗布

- フィルム状のレジスト材を使用



2. フォトリソグラフィによりマスクを作製

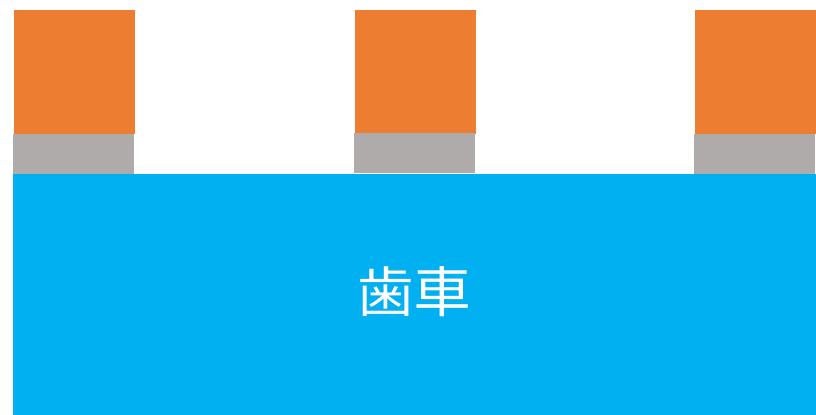
- 露光装置により回路パターンを露光
- 露光後に現像液にて現像

3. エッチング

- 露光されたエッチング液に浸す

4. レジスト材の除去

- 回路上のレジスト材を現像液で除去



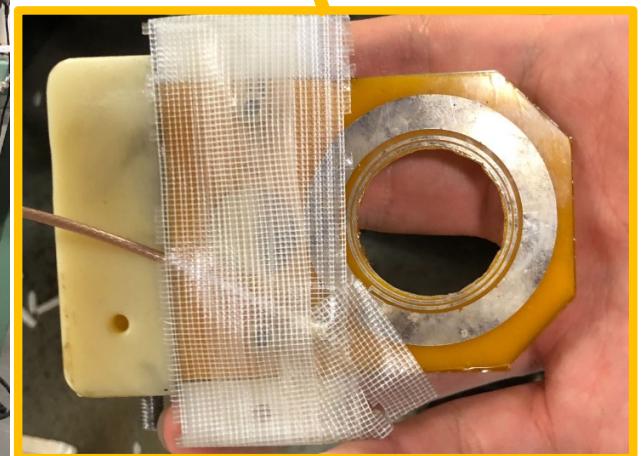
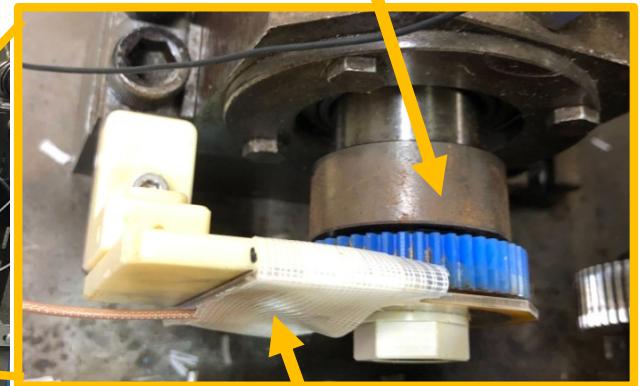
運転試験

➤ 運転試験環境

- 運転試験機に観測用アンテナを設置



スマート
プラスチックギヤ

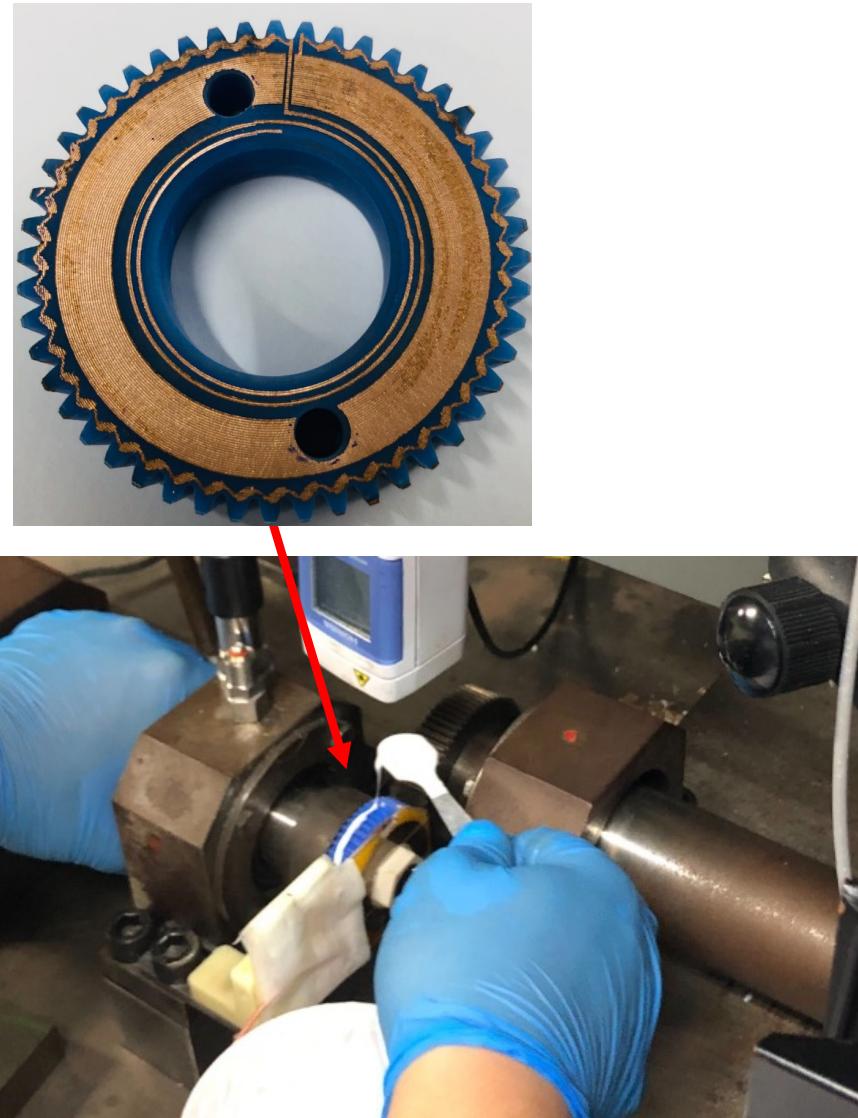
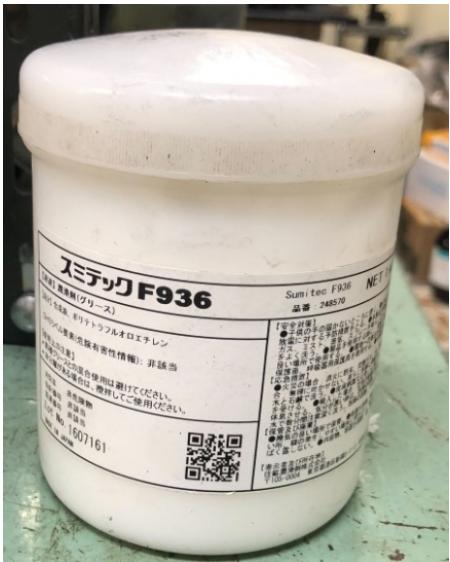


試験条件

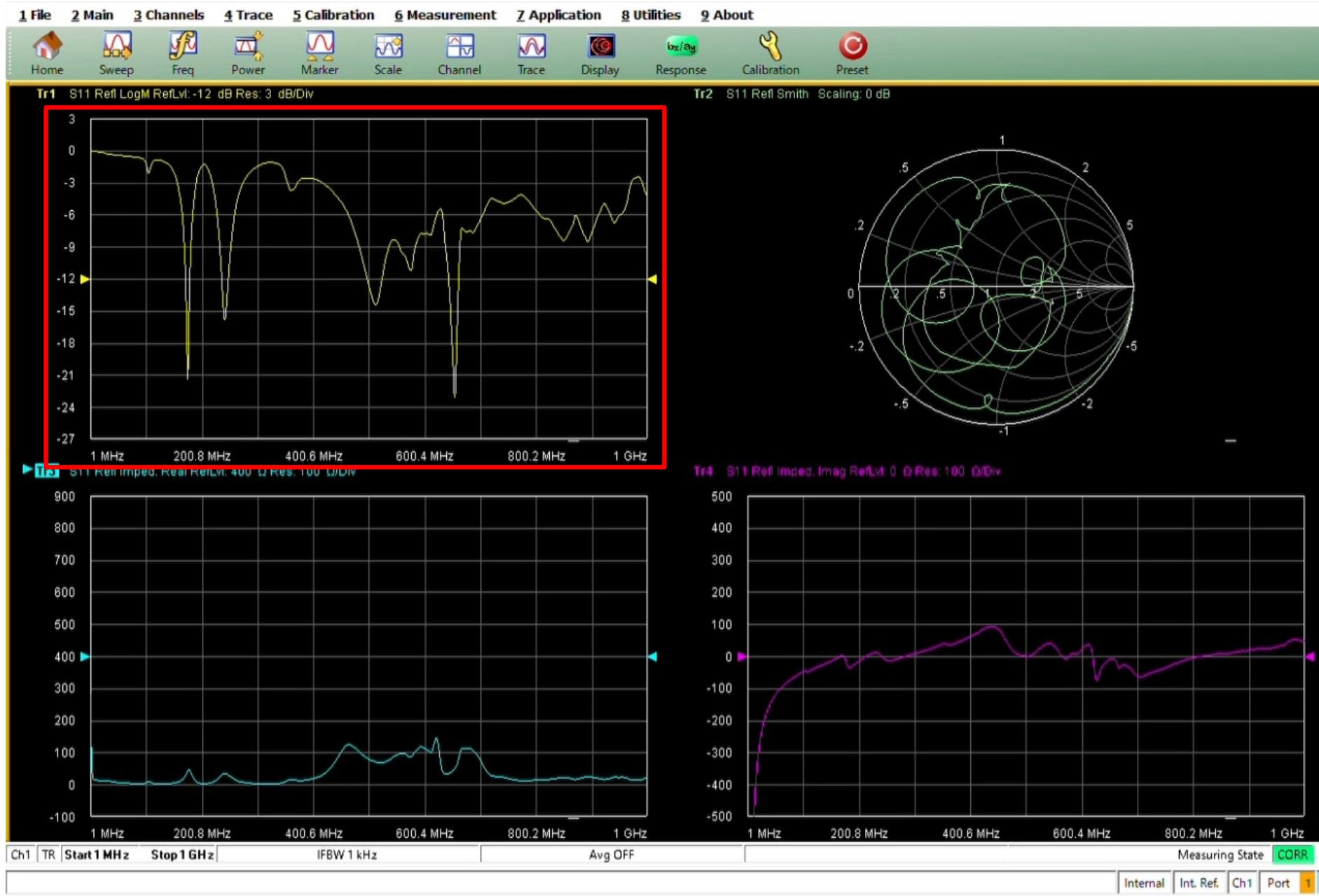
- 運転条件

- 回転数 : 1000 rpm
- 負荷トルク : 8 Nm
- 潤滑試験

- 計測パラメータ
- ✓ リターンロス

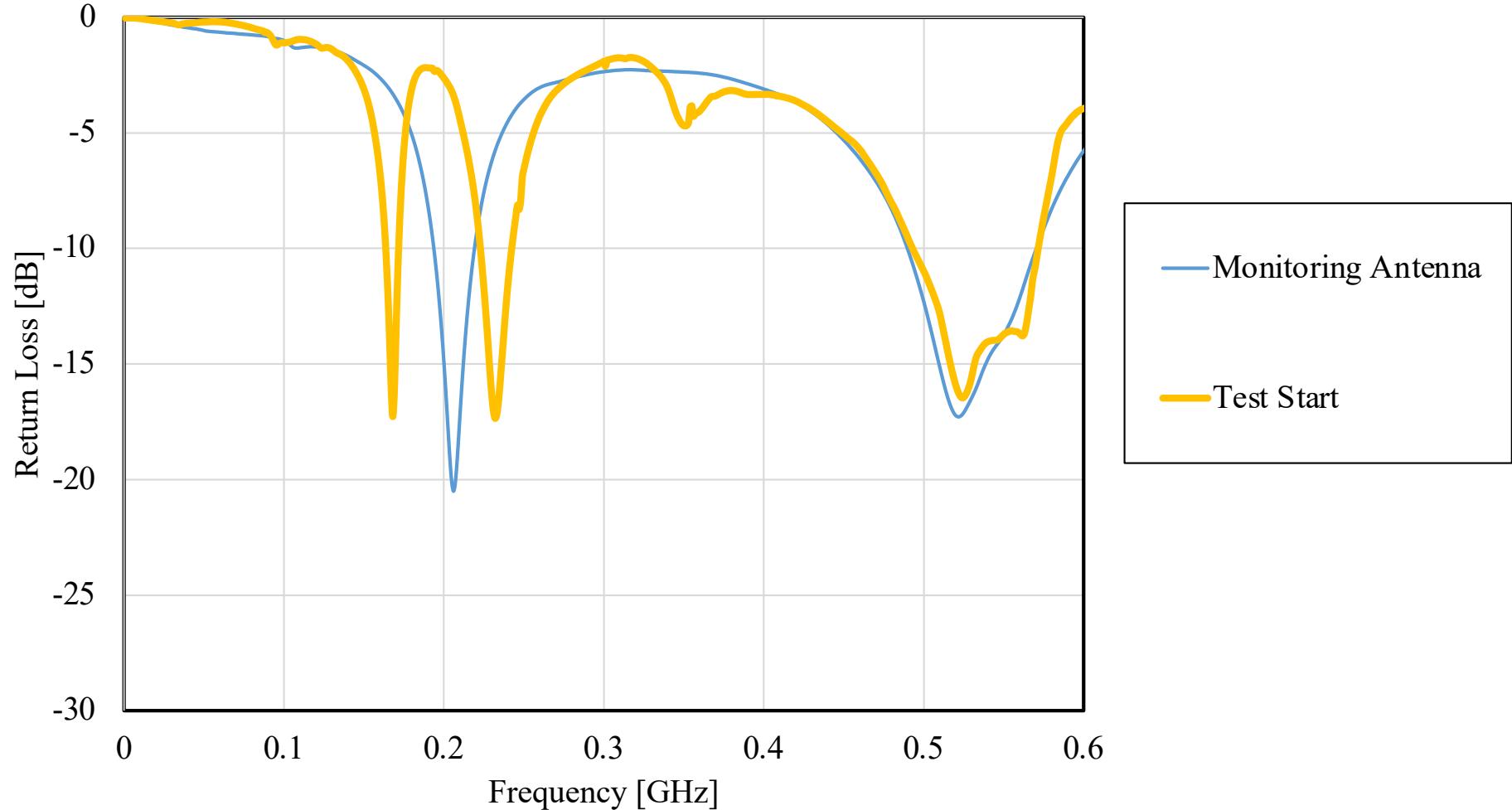


運転中のモニタリング用PC



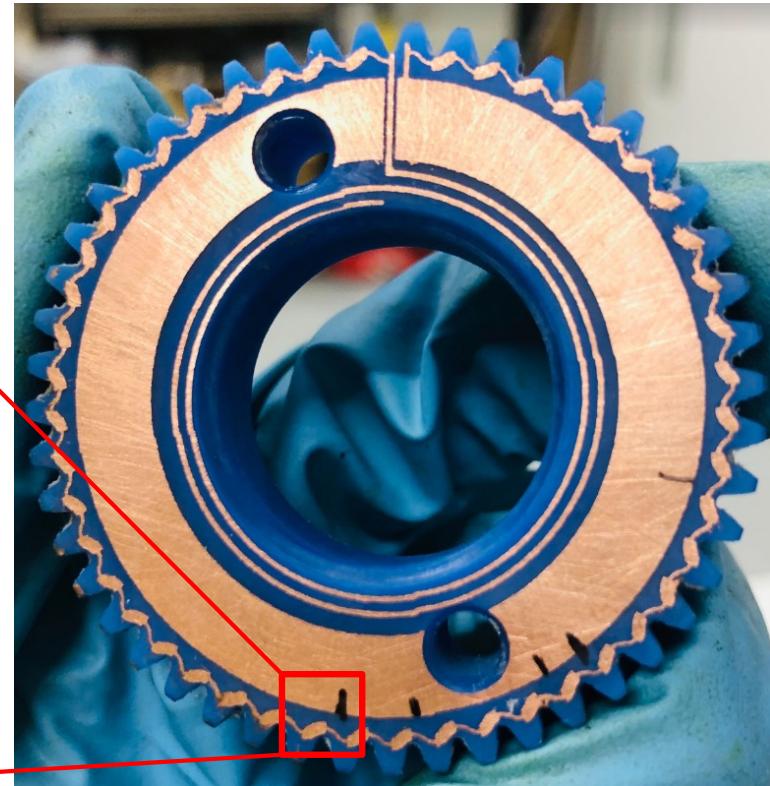
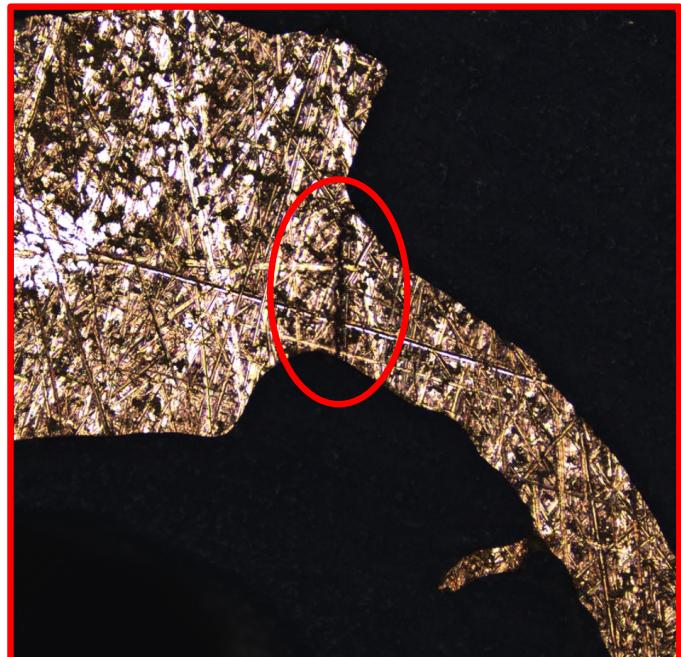
運転試験結果

- ✓ 開始8分で谷が一つに
- ✓ センサ回路における抵抗値の増加や断線を確認



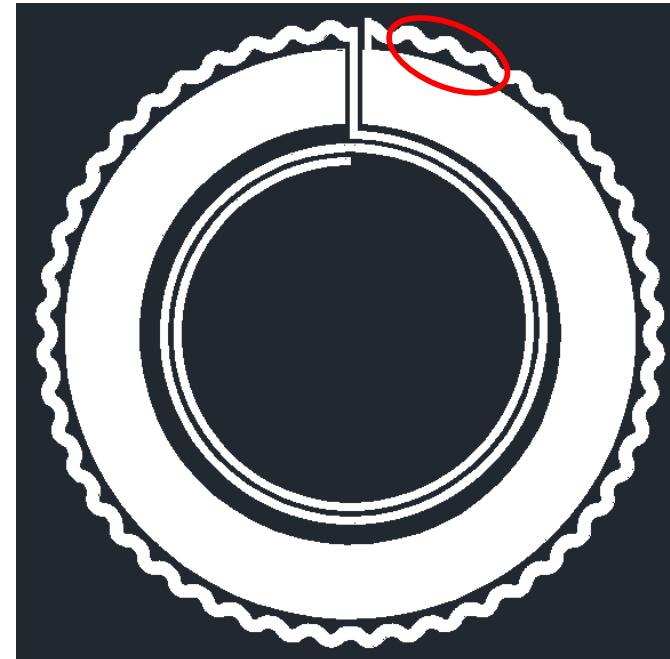
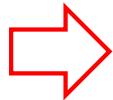
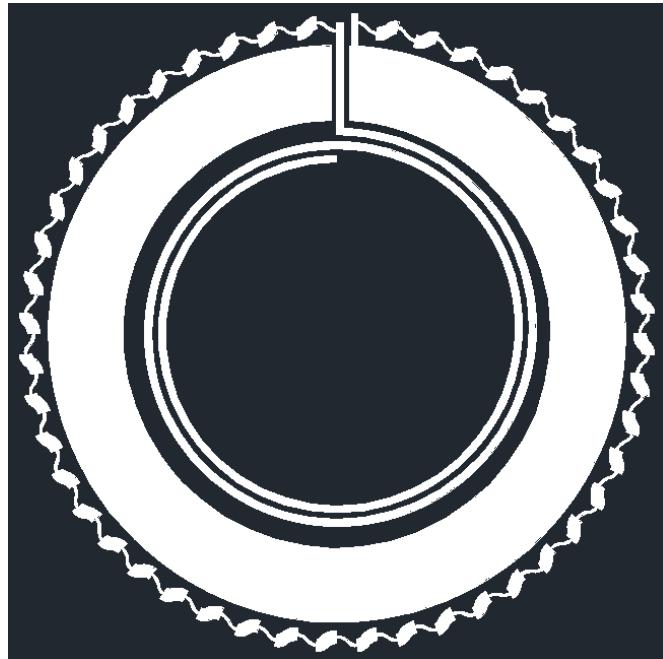
試験後の歯車(一例)

- 回路の細線部分に断線あり(右図黒線部)
 - センサの細線部と太線部の境界に多く発生
- 歯車き裂なし



回路の形状変更

- センサの細線部分をなくしたパターン
- センサ細線部の線幅が太線部と同じ線幅まで増加
 - 回路の応力集中をできるだけ抑制

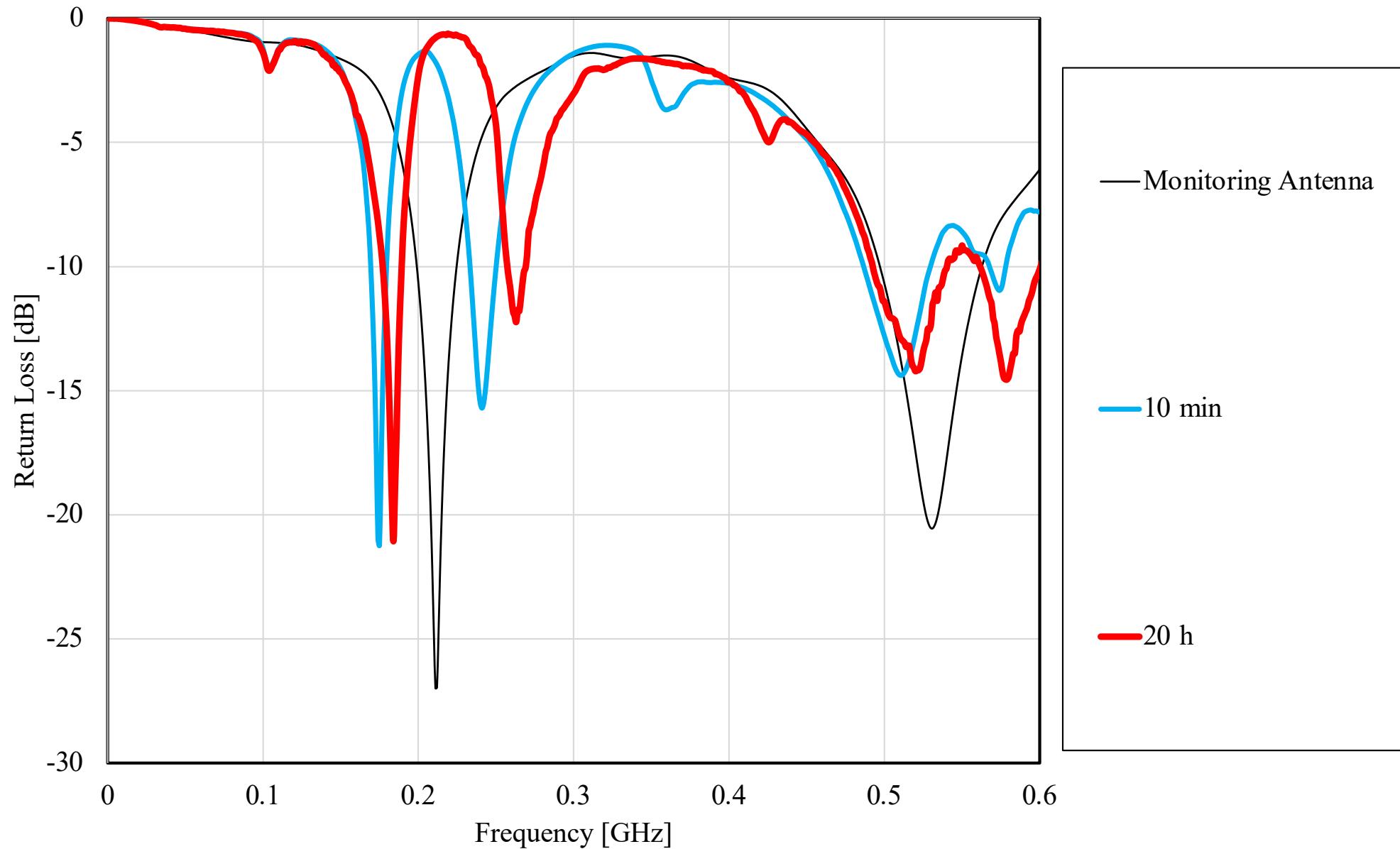


試験後の歯車 (3 Nm)

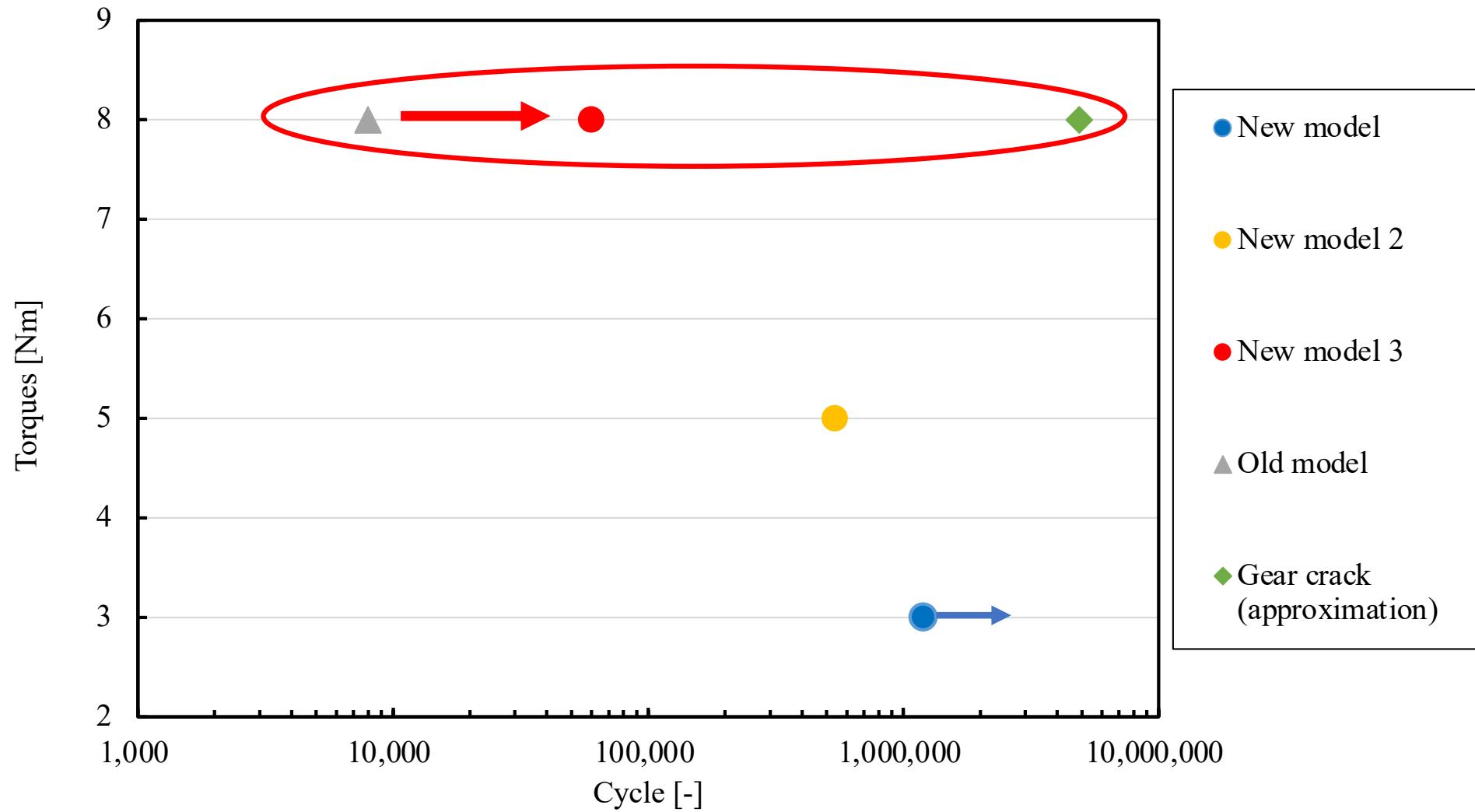
- 低トルクでの運転
- 歯車き裂なし
- 回路の断線なし



リターンロスの変化



T-N線図



結果

- ✓ フォトエッチングを用いたスマートプラスチックギヤの作製工程を開発
- ✓ 低負荷での運転によりセンサ部損傷は回避
 - ✓ リターンロスの谷の位置が変化
- ✓ 中・高負荷での運転において歯車き裂に起因しない回路の断線が発生

展望

- 歯車き裂に起因しない回路の断線が発生する詳細な原因の特定して改善
- 運転中のアンテナ特性変化の原因解明→科研費のテーマ