

The background features a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered in the corners. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

加藤智也

立教大学4年

マイクロ同軸ケーブルの放射線 耐性

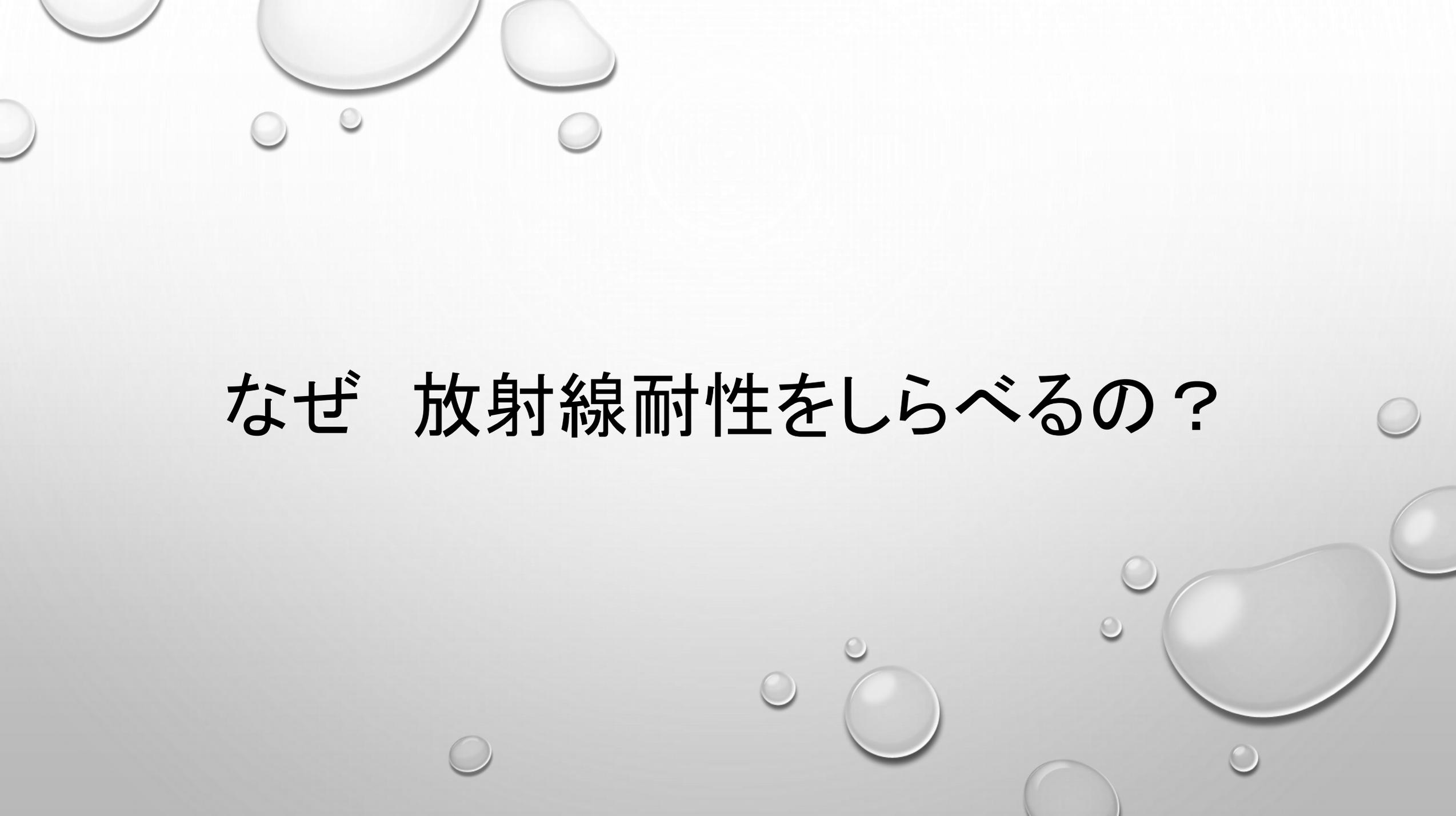
と伝送性能について

ゴール

- マイクロ同軸ケーブルはsPHENIXの放射線に
耐えられる？ OR 耐えられない？

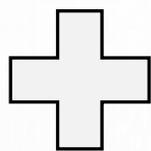
GOAL

- マイクロ同軸ケーブルはsPHENIXの放射線に
耐えられる？ OR 耐えられない？
- マイクロ同軸ケーブルの伝送性能

The background features a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across the surface. A faint, circular, textured pattern is visible in the upper center of the image.

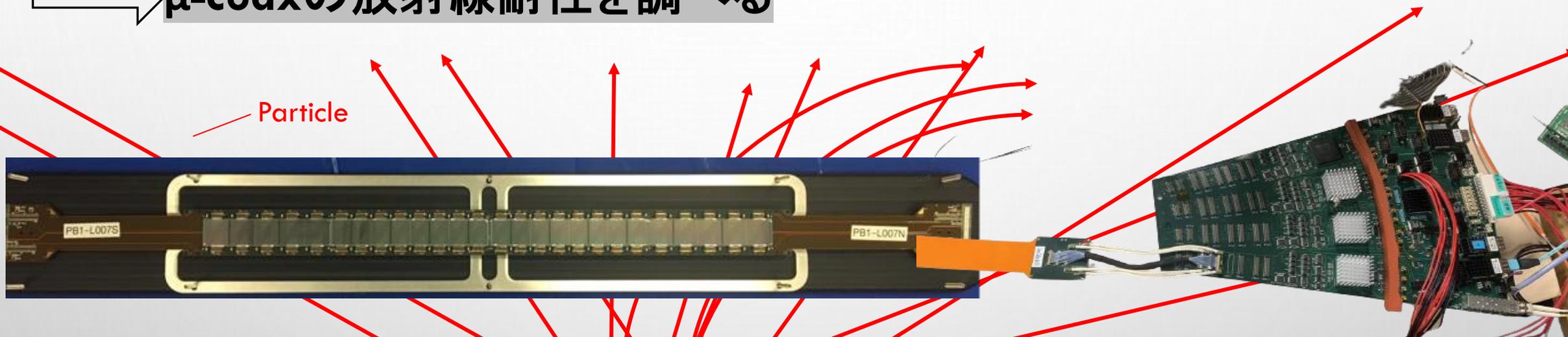
なぜ 放射線耐性をしらべるの？

沢山の粒子(放射線)が出る



装置に放射線ダメージ

μ-coaxの放射線耐性を調べる



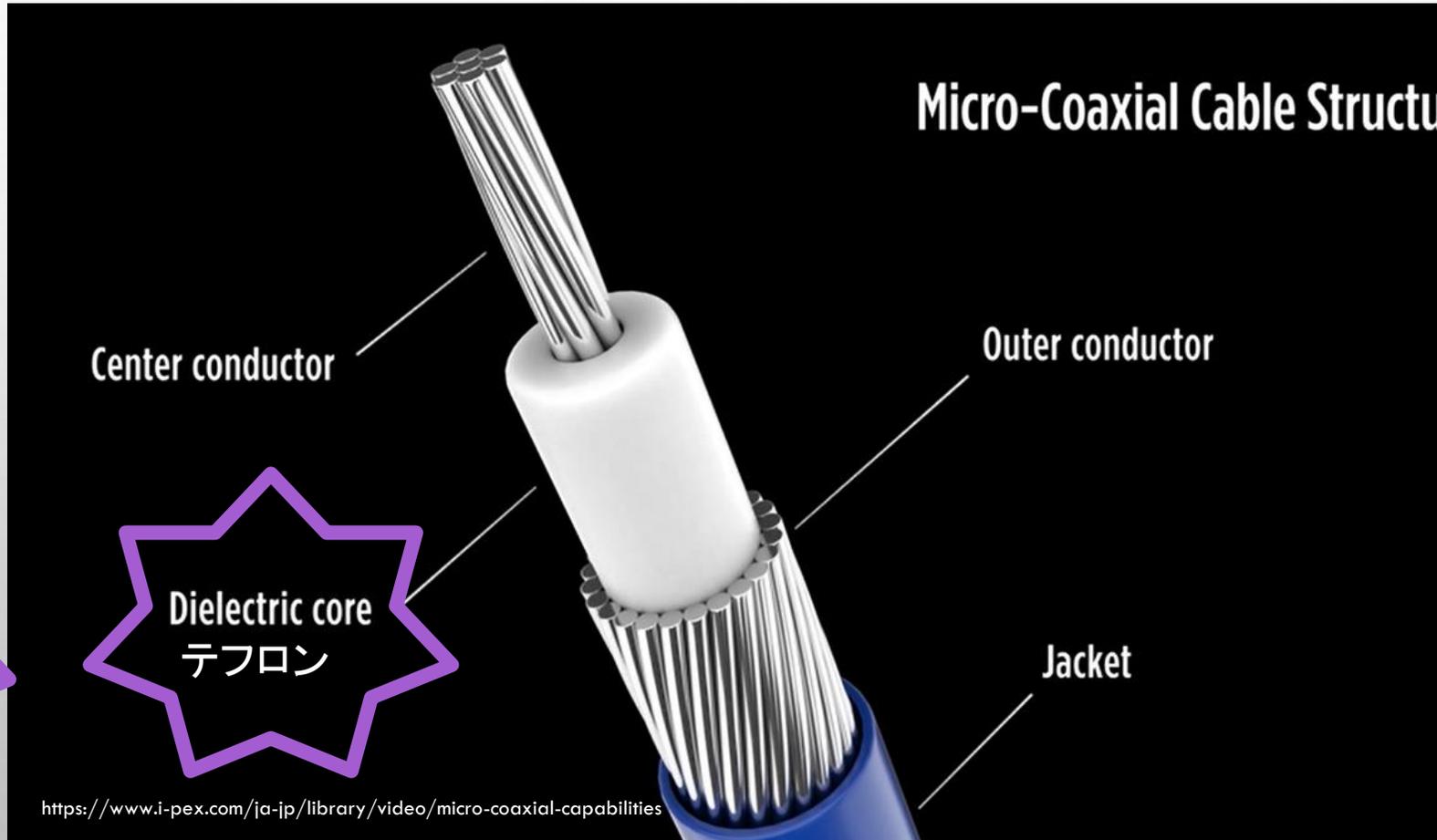
Au

collision

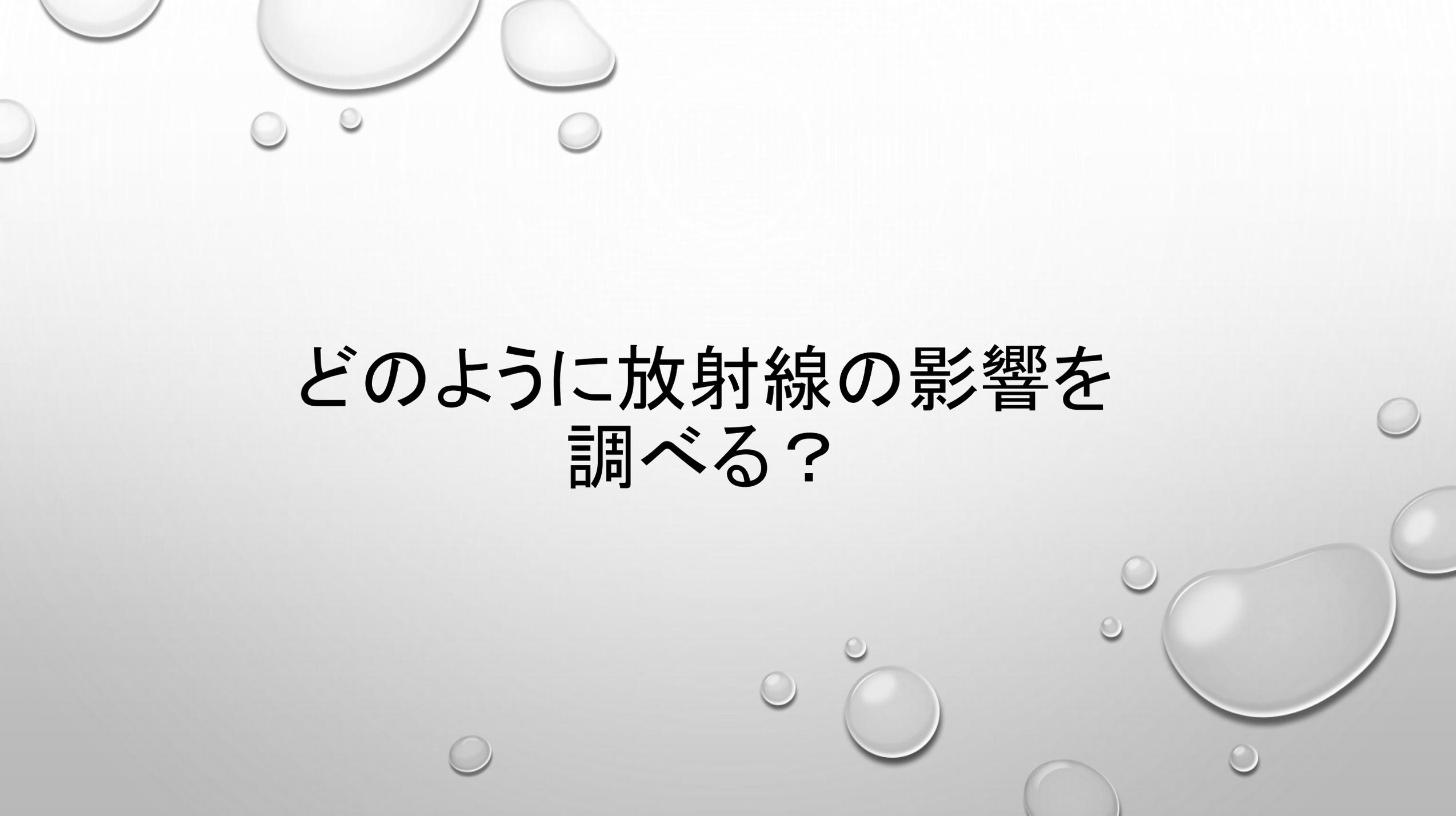
Au

なぜ マイクロ同軸ケーブルだけ？

マイクロ同軸ケーブルの構造について



放射線
に弱い

The background of the slide is a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

どのように放射線の影響を
調べる？

どうやってしらべるの？

- 放射線を照射したマイクロ同軸ケーブル

- 通常のマイクロ同軸ケーブル



2つの比較を行った

どうやって放射線耐性を調べる？

- ① 通常時の伝送性能を測る。
- ② RANSを使って中性子照射。
- ③照射後の伝送性能を測る。

どうやって放射線耐性を調べる？

- ① 通常時の伝送性能を測る。
- ② RANSを使って中性子照射。
- ③照射後の伝送性能を測る。

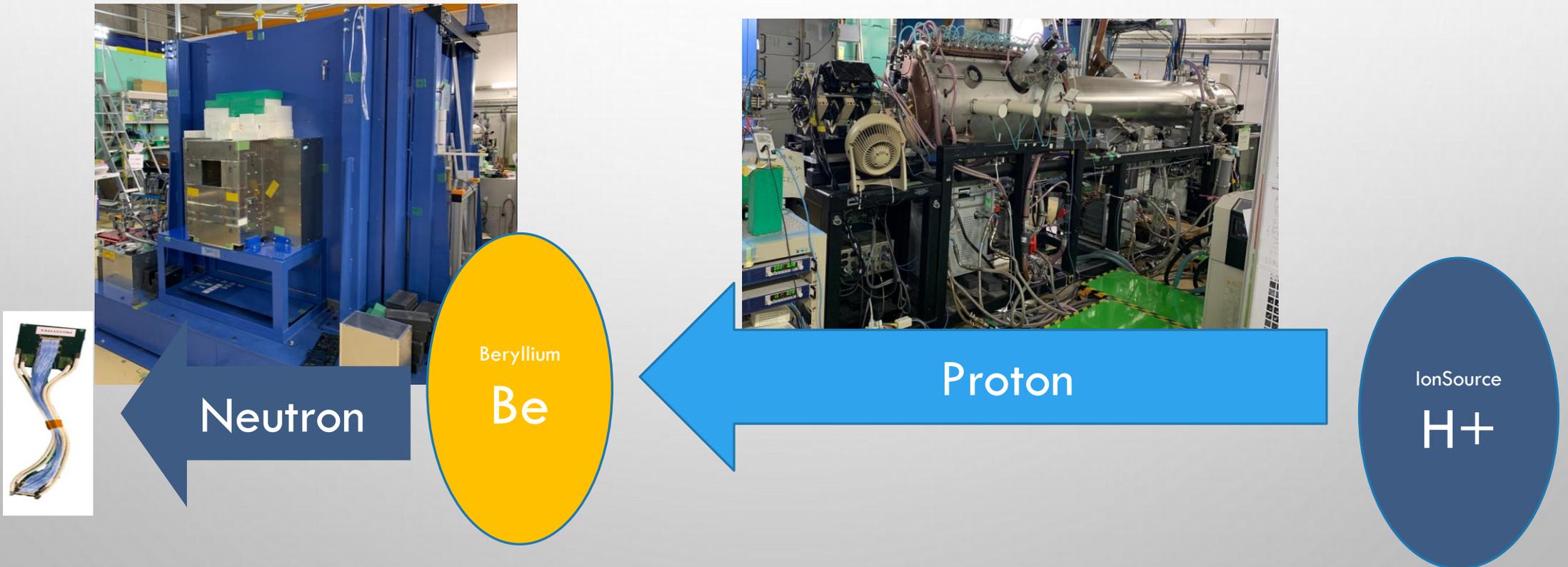
どうやって放射線耐性を調べる？

- ① 通常時の伝送性能を測る。
- ② RANSを使って中性子照射。
- ③照射後の伝送性能を測る。

RANSでの中性子照射

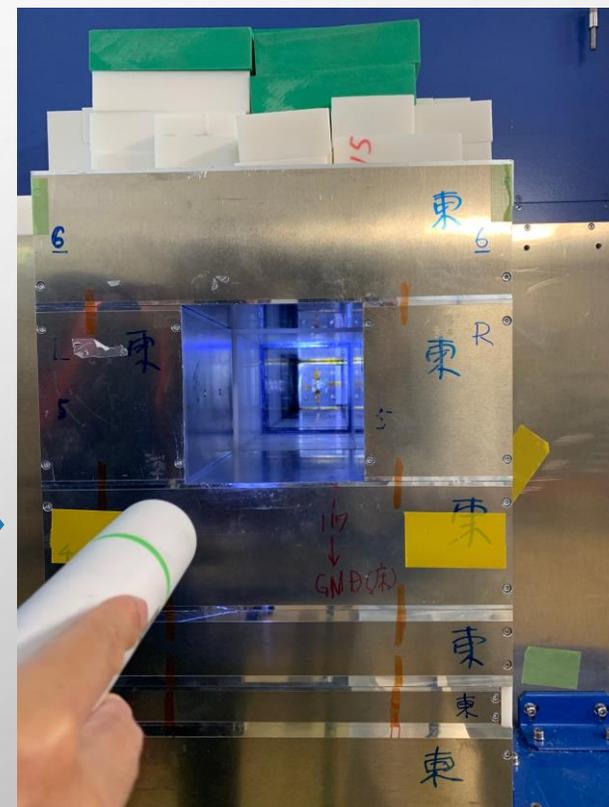
RANS?

- RANSとは理化学研究所にある中性子照射システムのこと



手順

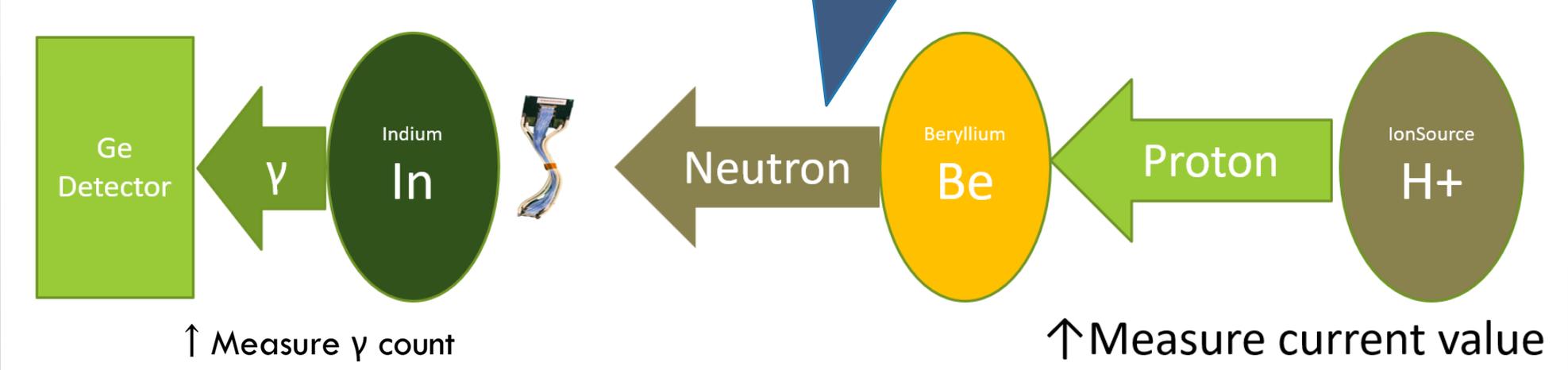
- ① μ -coaxのハーネスを3つ準備。(1時間照射用、2時間、3時間用)
- ②箱に入れる
- ③ビームラインに入れる ④中性子照射開始



照射した中性子量の見積もり

見積もり方

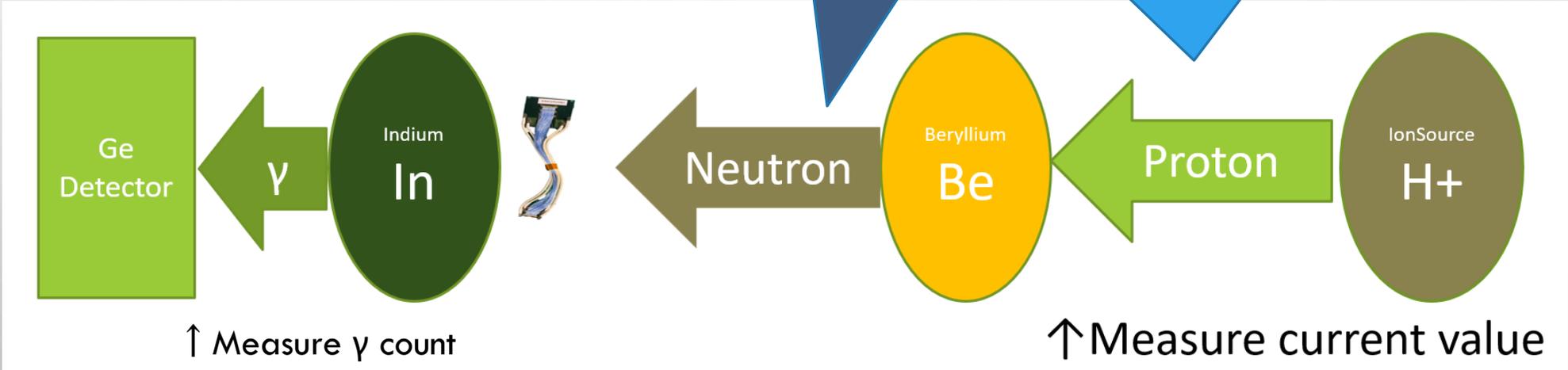
中性子は直接測れない



見積もり方

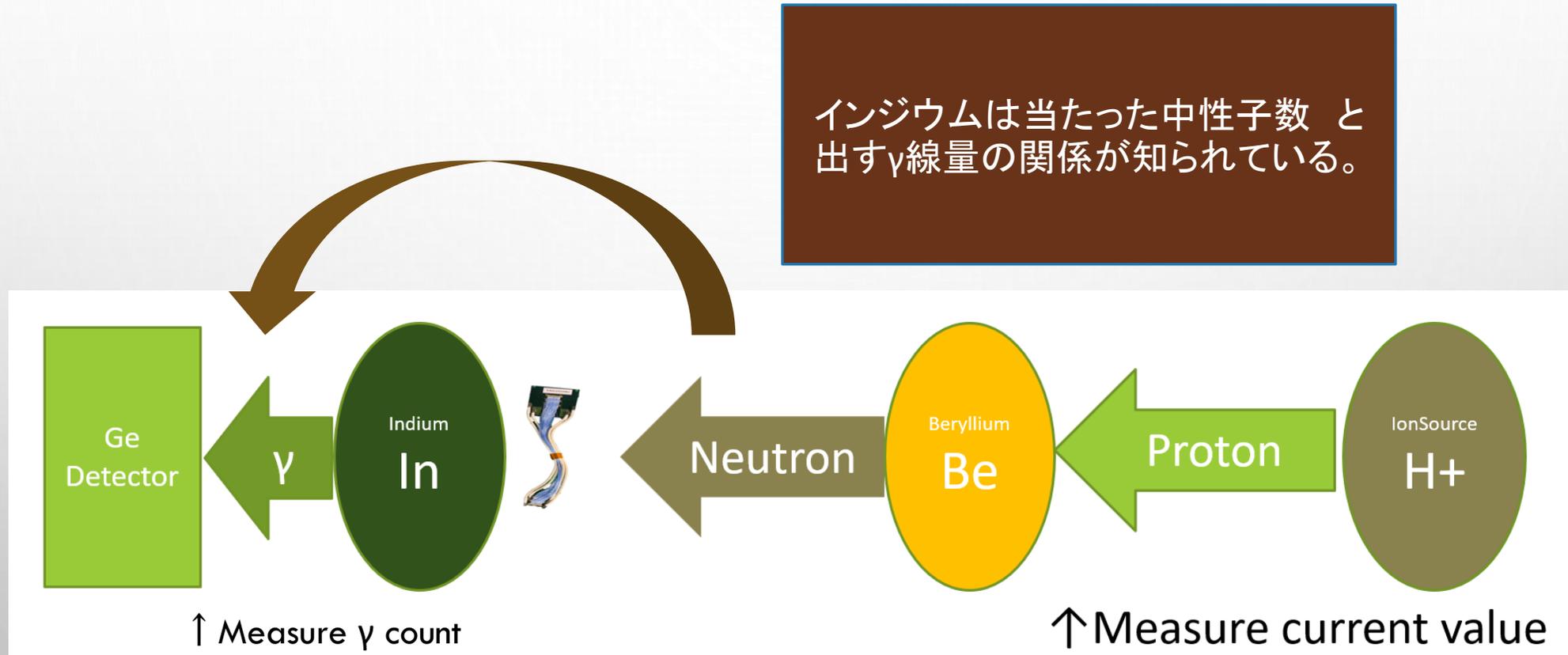
中性子は直接測れない

陽子ビームの全電荷から間
接的に中性子を推定する。



見積もり方

インジウムは当たった中性子数と出す γ 線量の関係が知られている。

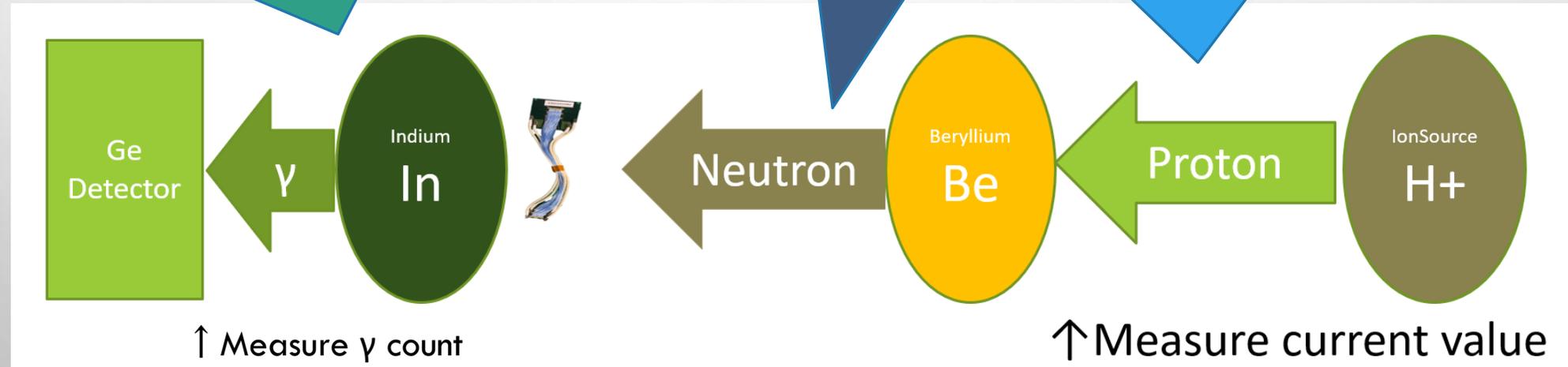


見積もり方

中性子は以下から算出される。
1.陽子線の電荷
2.インジウム箔からのガンマ線放出

中性子は直接測れない

陽子ビームの全電荷から間
接的に中性子を推定する。



↑ Measure γ count

↑ Measure current value

| | Number of protons | Number of γ rays | number of neutrons(Neq) |
|------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| RANSで過去に測定されたデータ | Known | known | Calculate 5.4E+11 |
| 私 | Measured | | Goal |

Number of protons is known from charge of proton beam

Number of protons = time \times (average I) / e

e = 1.62E-19

Number of γ rays that measured by Ge detector

Neq is the equivalent flux of 1 meV neutrons

RANSで過去に測定されたデータ: Courtesy of Ms. Hats
Juntendo University

| | protons | | neutrons | |
|------------------|----------|---|----------|---|
| Existing | 3.59E+17 | | 5.47E+11 | |
| μ-Coax 1 hour | 8.39E+17 |  ratio | 12.4E+11 |  ratio |
| 2 hours | 17.2E+17 | | 26.3E+11 | |
| 3 hours | 26.1E+17 | | 39.9E+11 | |

中性子量

| | protons | neutrons |
|------------------|----------|----------|
| sPHENIX | | 1.5E+11 |
| M-Coax 1 hour | 8.39E+17 | 12.4E+11 |
| 2 hours | 17.2E+17 | 26.3E+11 |
| 3 hours | 26.1E+17 | 39.9E+11 |

照射した中性子量 > SPHENIXで想定される量

どうやって放射線耐性を調べる？

- ① 通常時の伝送性能を測る。
- ② RANSを使って中性子照射。
- ③ 照射後の伝送性能を測る。

高速伝送性能測定 結果

測定項目

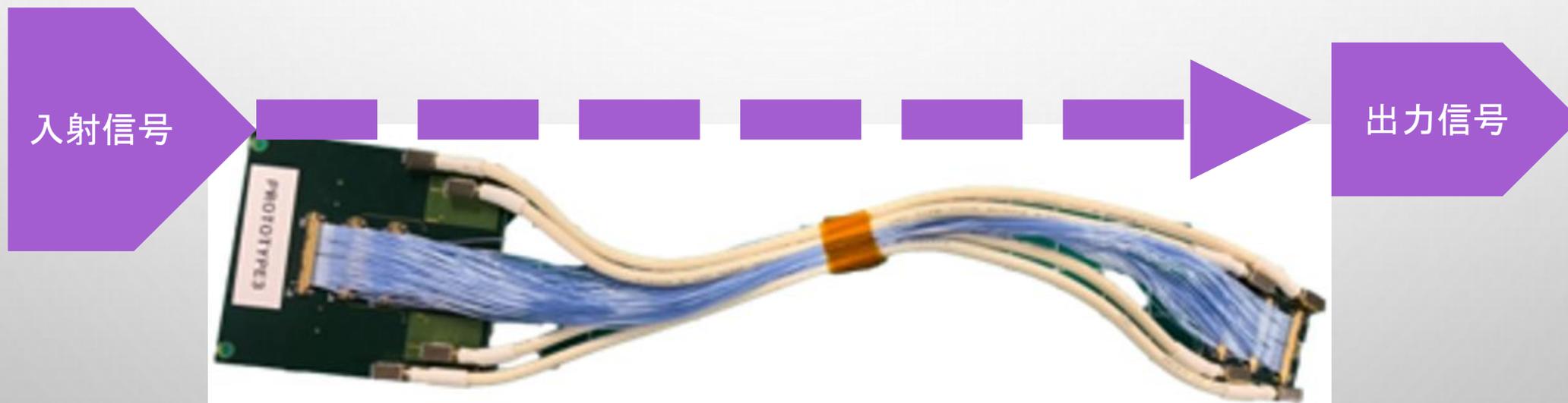
- Sパラメータ: 信号減衰はどれぐらい?
- アイパターンによる 信号品質の評価
- TDR測定: 特性インピーダンスをみる

Sパラメータ

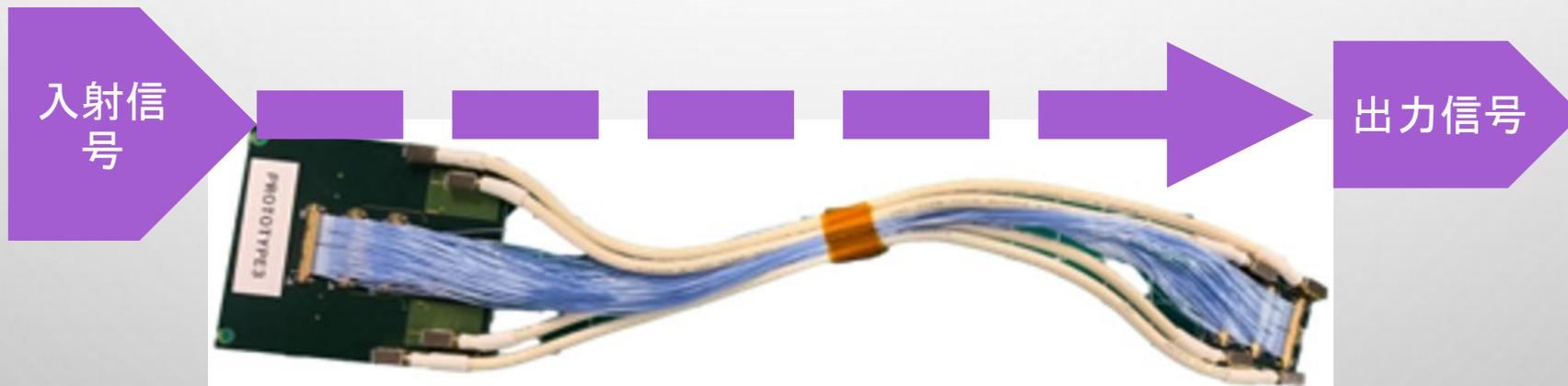
Sパラメータとは

$$S\text{パラ} = \frac{\text{出力信号}}{\text{入射信号}}$$

$$S/\text{パラ} = \frac{\text{出力信号}}{\text{入射信号}}$$



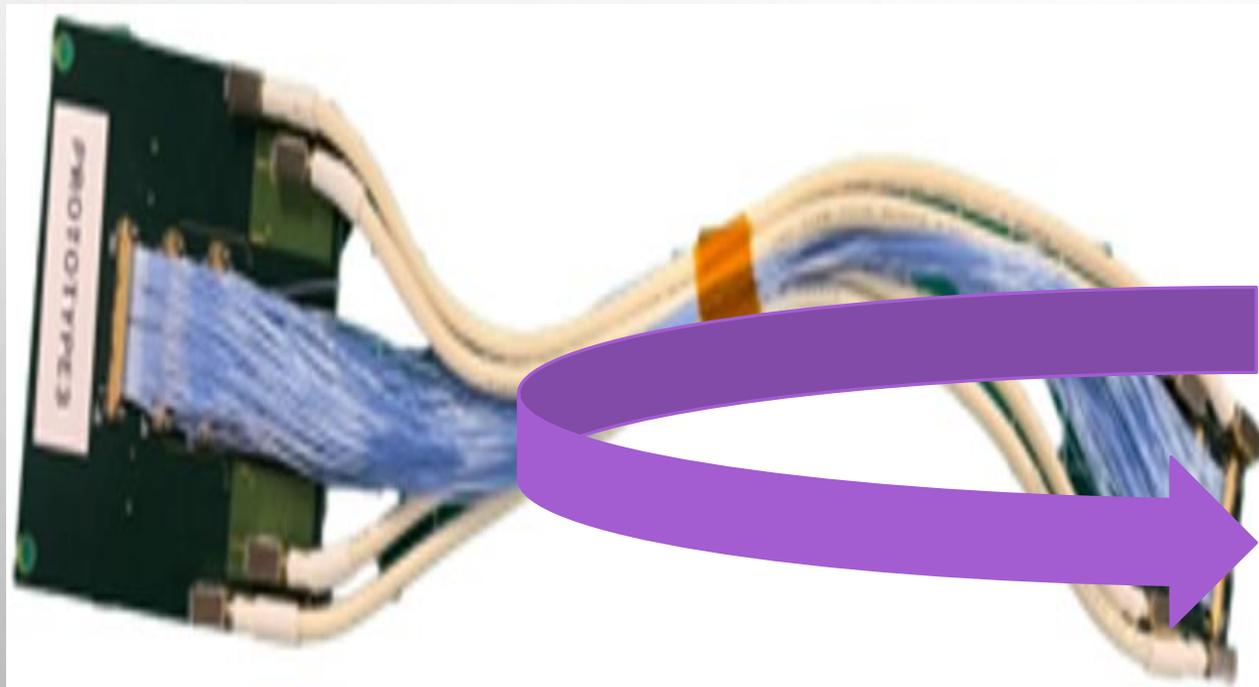
$$S\text{パラ} = \frac{\text{出力信号}}{\text{入射信号}} = \text{信号減衰}$$



$$S\text{パラ} = \frac{\text{出力信号}}{\text{入射信号}} = \text{反射損失}$$



$$S\text{パラ} = \frac{\text{出力信号}}{\text{入射信号}} = \text{反射損失}$$

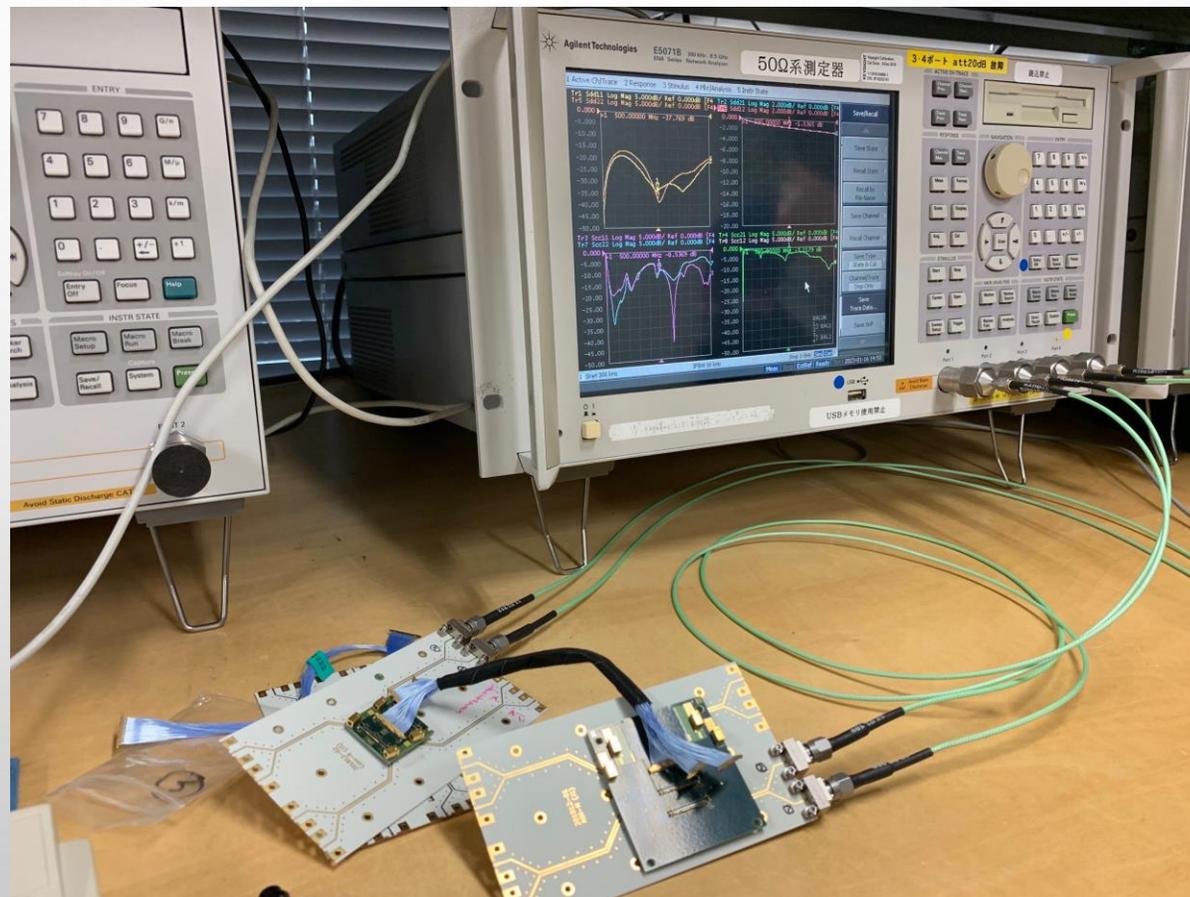


入射信号

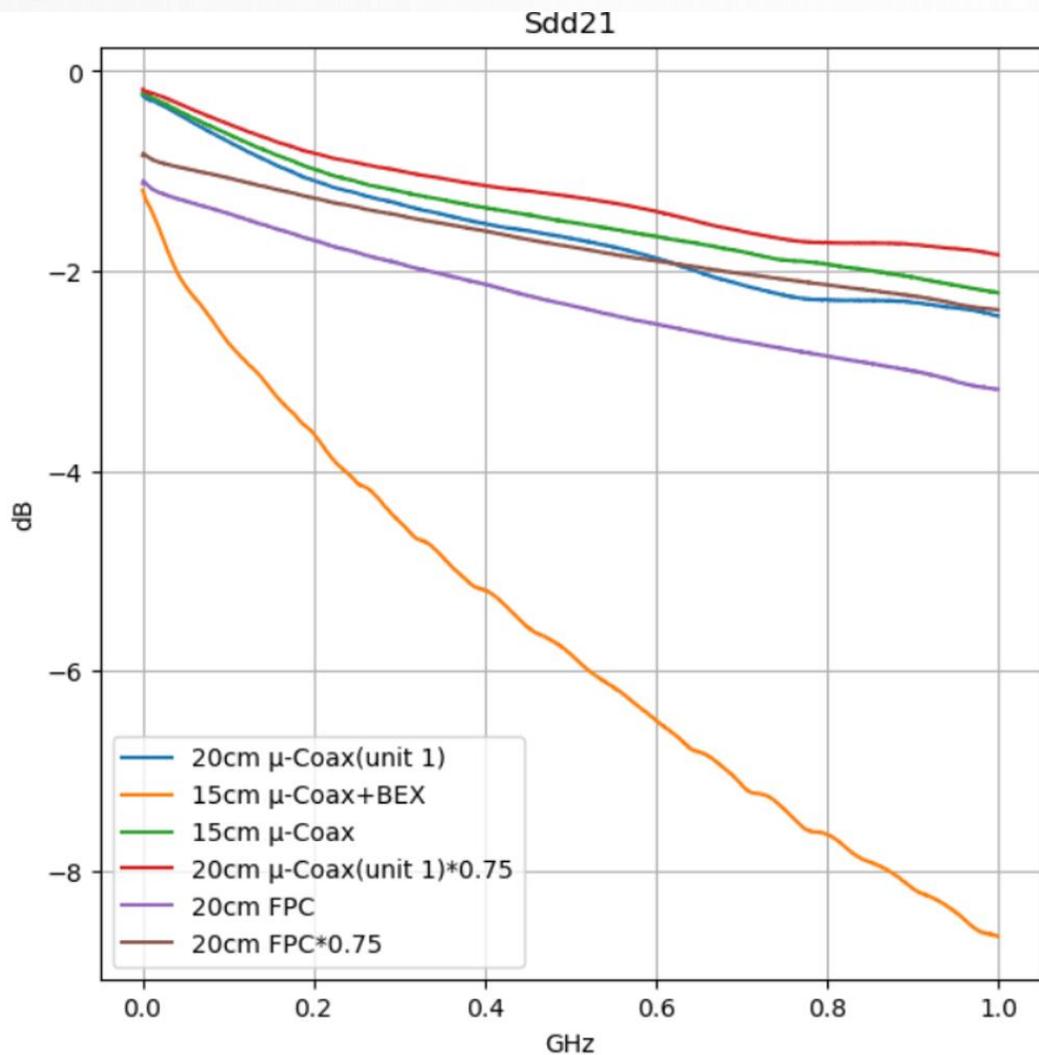
出力信号

Sdd22

測定のセットアップ



通常時の信号減衰



良い



- 縦軸: $DB = 20\text{LOG}10(S)$
- 横軸: テスト信号の周波数

悪い

試作機の違い

表 5.3-1 マイクロ同軸ケーブル製作会社の違い←

| モデル名 | ジャケット | | GND | | 絶縁体 | | 信号線 | | 抵抗値[Ω/km] |
|------|-------|-------------|----------------------------|-------|-----|-------|----------------------------|-------|---------------|
| | 材質 | 径[mm] | 材質 | 径[mm] | 材質 | 径[mm] | 材質 | 径[mm] | |
| XSLX | PFA | 0.22(0.023) | Tinned Copper alloy | 0.02 | PFA | 0.134 | Silver plated copper alloy | 0.06 | Max.12,500 |
| UX-2 | PFA | 0.24±0.01 | Silver plated copper alloy | 0.025 | PFA | 0.14 | Ag plated Cu alloy | 0.06 | Max. 10,000 ← |

試作機1号

試作機2号

試作機1号

古い

試作機2号

今

0.2GHZの信号減衰

表 5.3-2 0.2GHz での信号減衰

| | Sdd21[dB] | Sdd12[dB] | mean of insertion loss[dB] | 減衰率 [%] | 減衰率 per15cm[%] | 減衰率 per15cm[%] |
|------------------------------|-----------|-----------|----------------------------|---------|----------------|----------------|
| μ -coax15cm(試作機 2号) | -0.98 | -1.00 | -0.99 | 10.77 | 10.77 | 10.77 |
| μ -coax20cm(試作機1号) | -1.09 | -1.10 | -1.09 | 11.83 | 8.87 | 8.87 |
| FPC20cm | -1.69 | -1.69 | -1.69 | 17.70 | 13.27 | 13.27 |
| BEX+ μ -coax15cm(試作機 2号) | -3.62 | -3.65 | -3.64 | 34.22 | | |

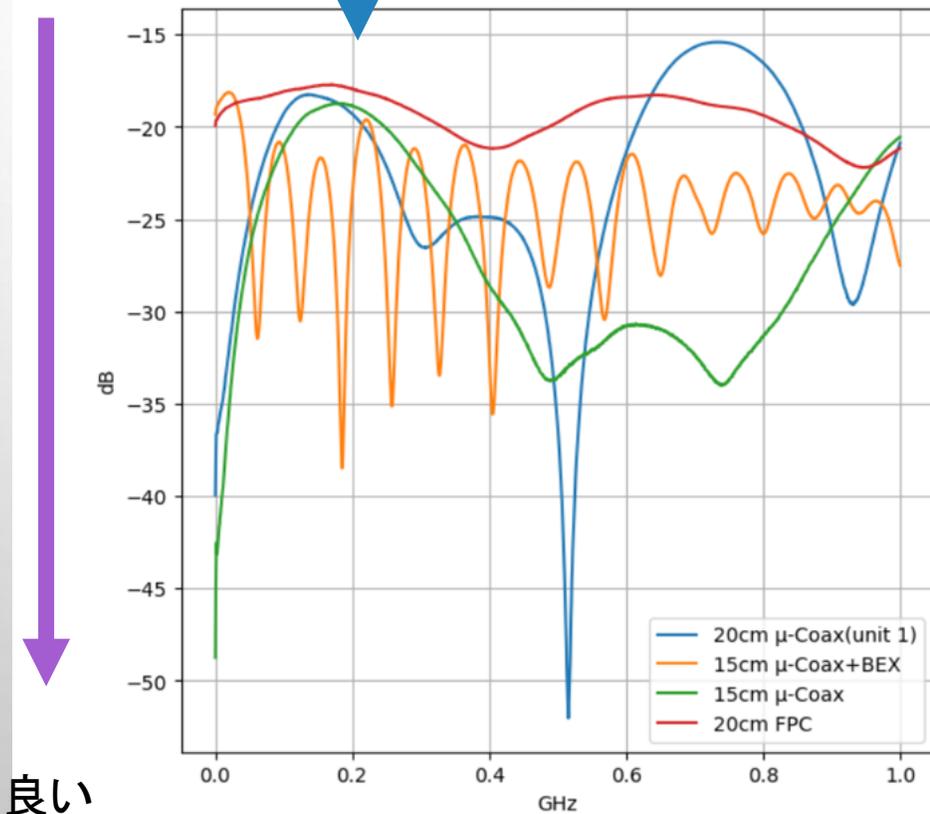
- マイクロ(2号機)はFPCより15CMあたり2.5% 減衰が少ない

BEX+まいくろ(2号機)は34.22%信号を失う。

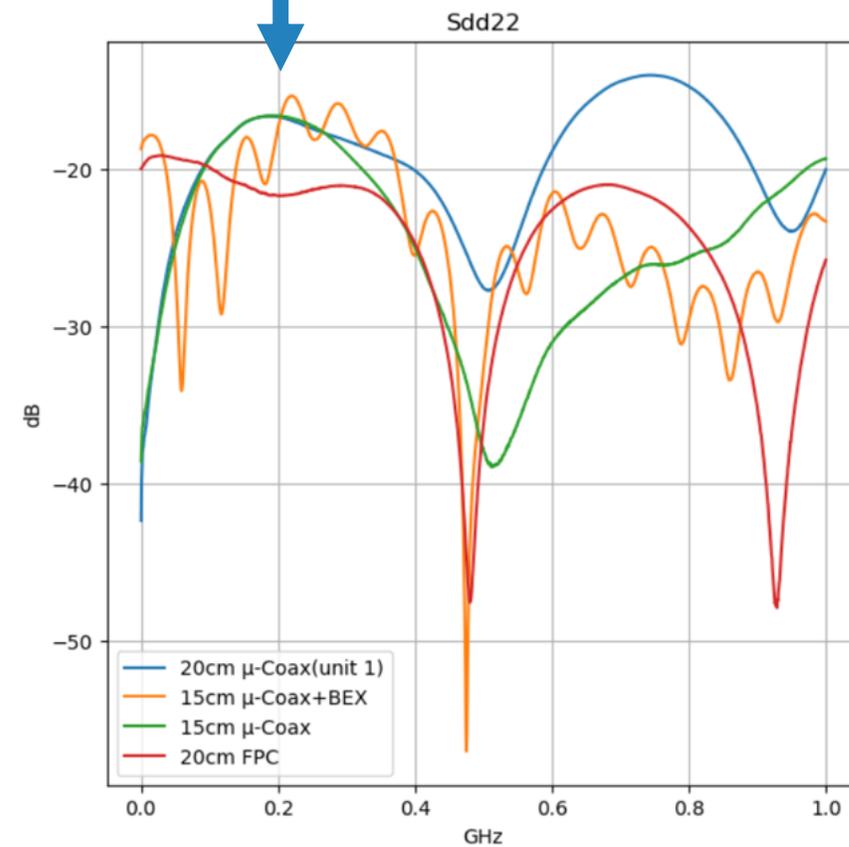
反射損失

- 0.2GHZはどれも山にある

悪い



良い



なぜ反射はおきるの？

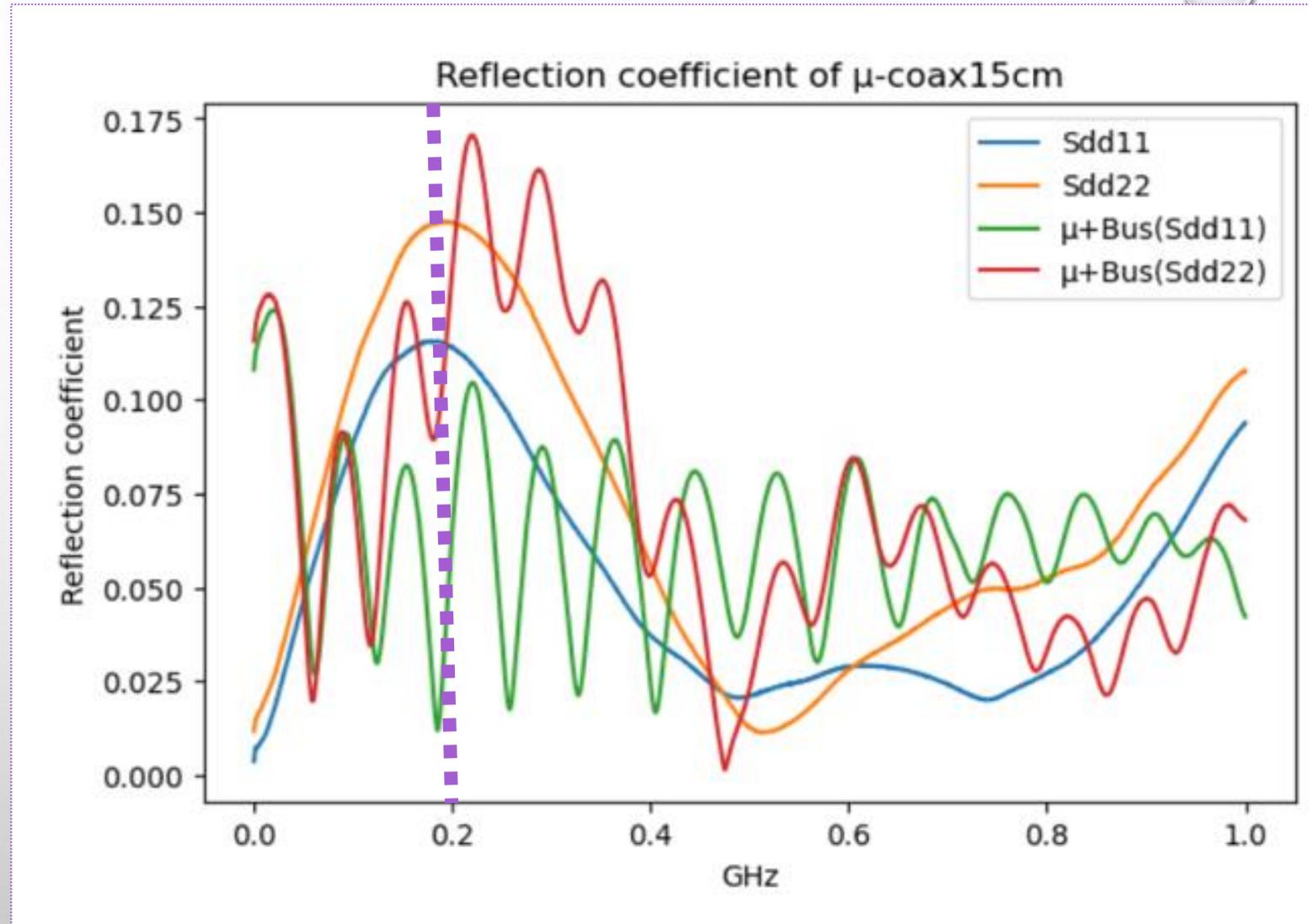
主要な原因：インピーダンス整合がとれていない

反射係数R、終端抵抗Zに入射した信号の電圧,反射した信号の電圧(出力)は、特性インピーダンスZ0とすると、

$$R = \frac{\text{出力(反射)信号の電圧}}{\text{入射信号の電圧}} = \frac{\text{終端抵抗} + \text{特性インピーダンス}}{\text{終端抵抗} - \text{特性インピーダンス}}$$

どれぐらい反射する？

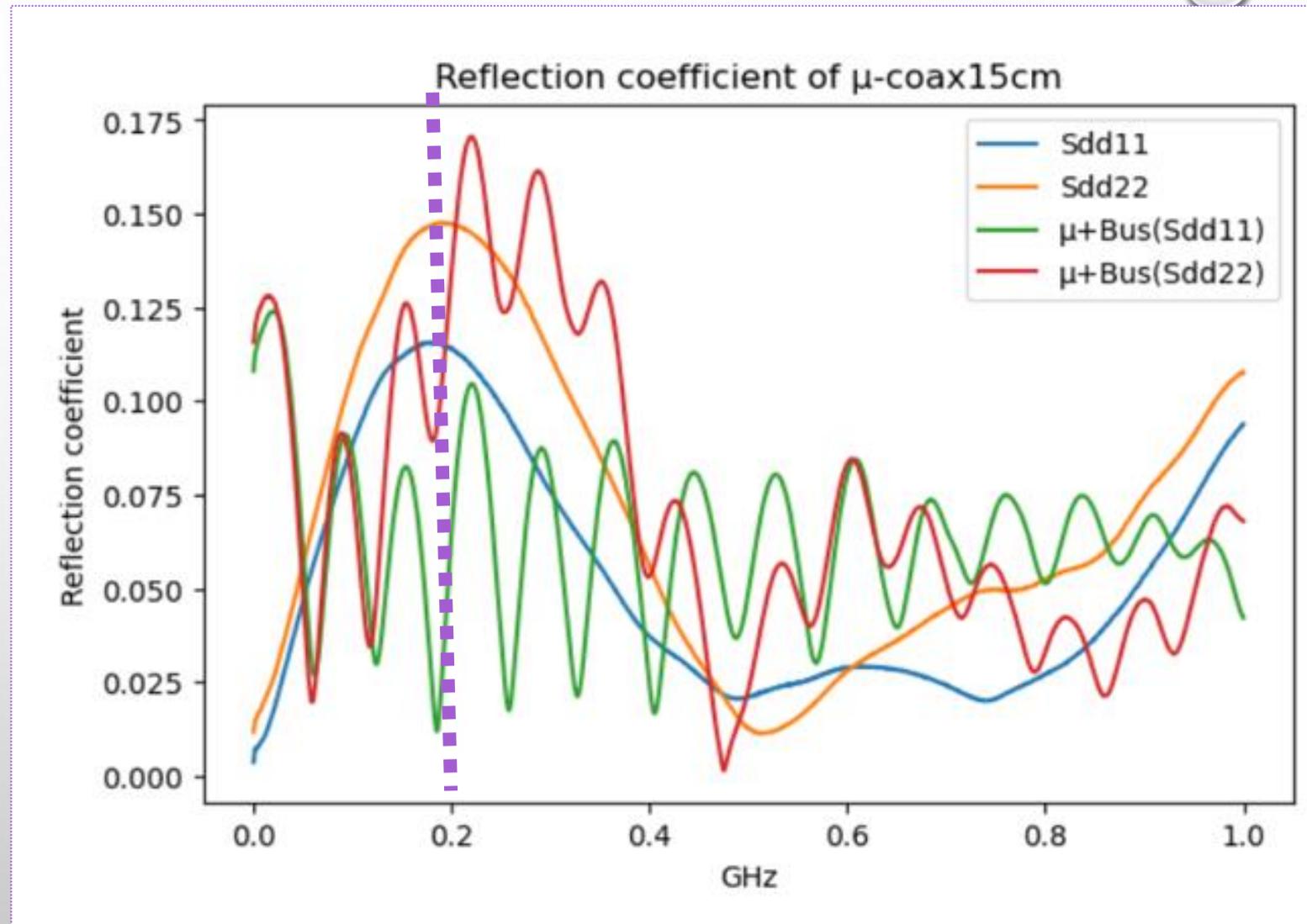
- 入力信号を1としたとき、どれぐらい反射したかを表す。
- 最大で15%は反射する。



どれぐらい反射する？

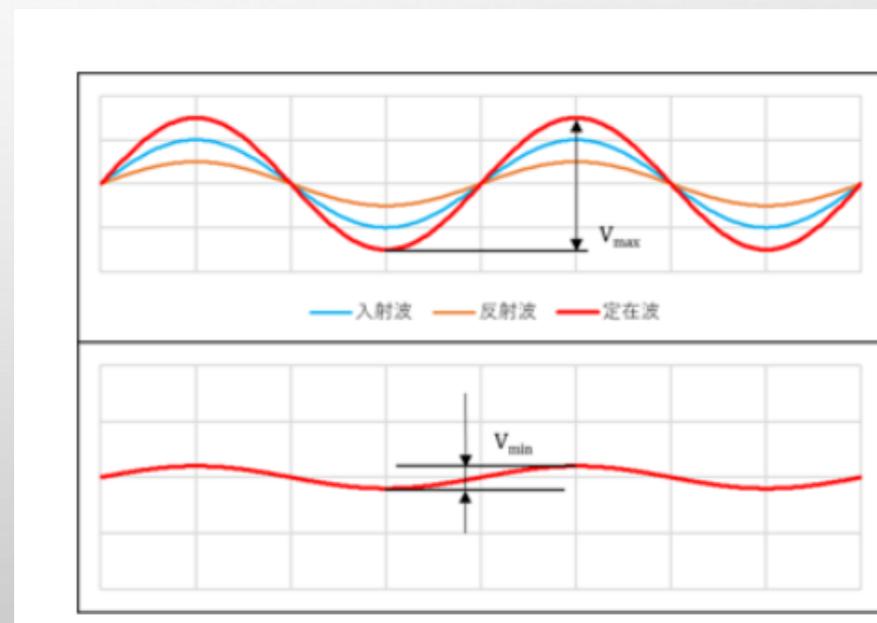
- 入力信号を1としたとき、どれぐらい反射したかを表す。
- 最大で15%は反射する。

15%は少ない？



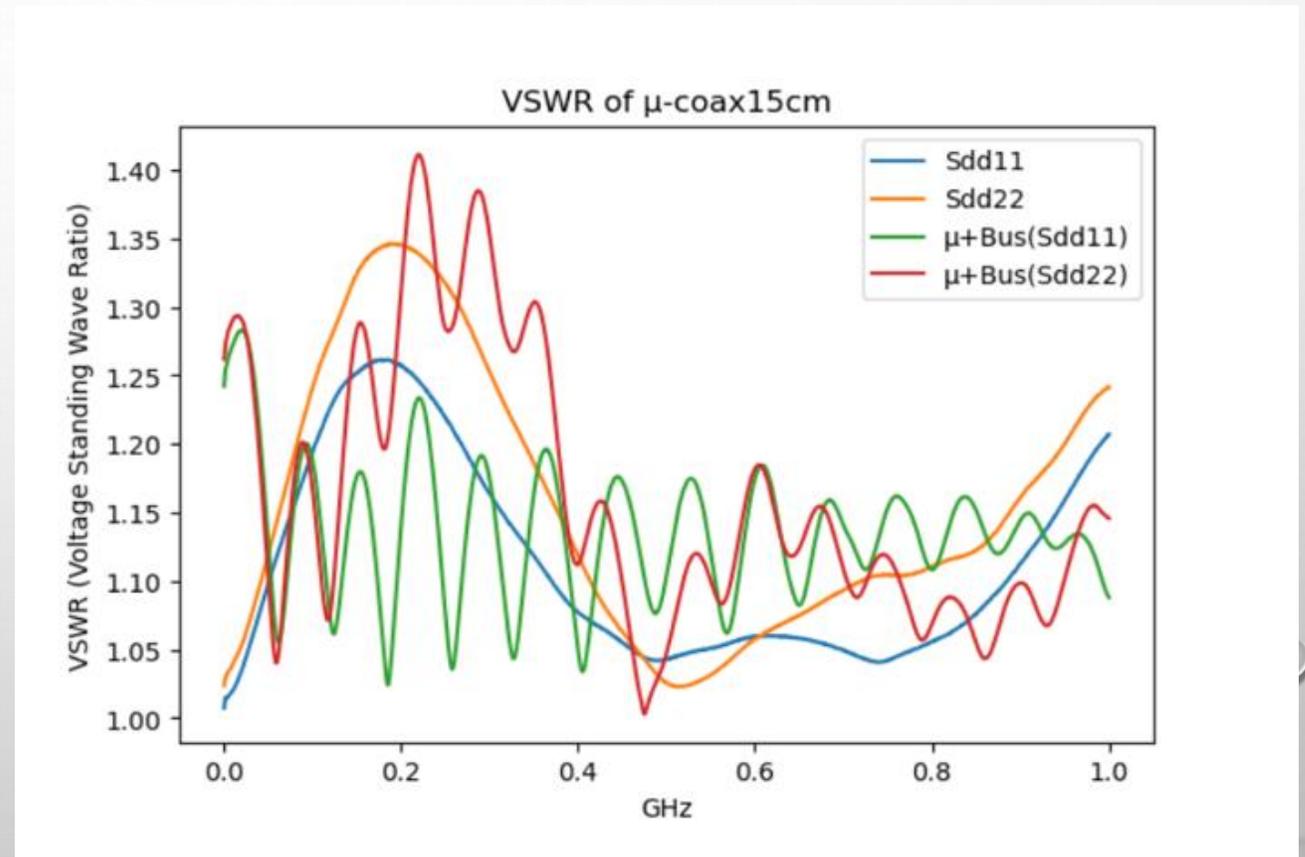
一般的な規格で評価する。

- VSWR : 回路上での反射のしやすさ。
- 定常波は進行波と反射波の干渉から生まれる。
- 定常波の最大電圧をVMAX、最小値VMINとすると、
- $VSWR = |V_{MAX}| / |V_{MIN}|$



VSWR

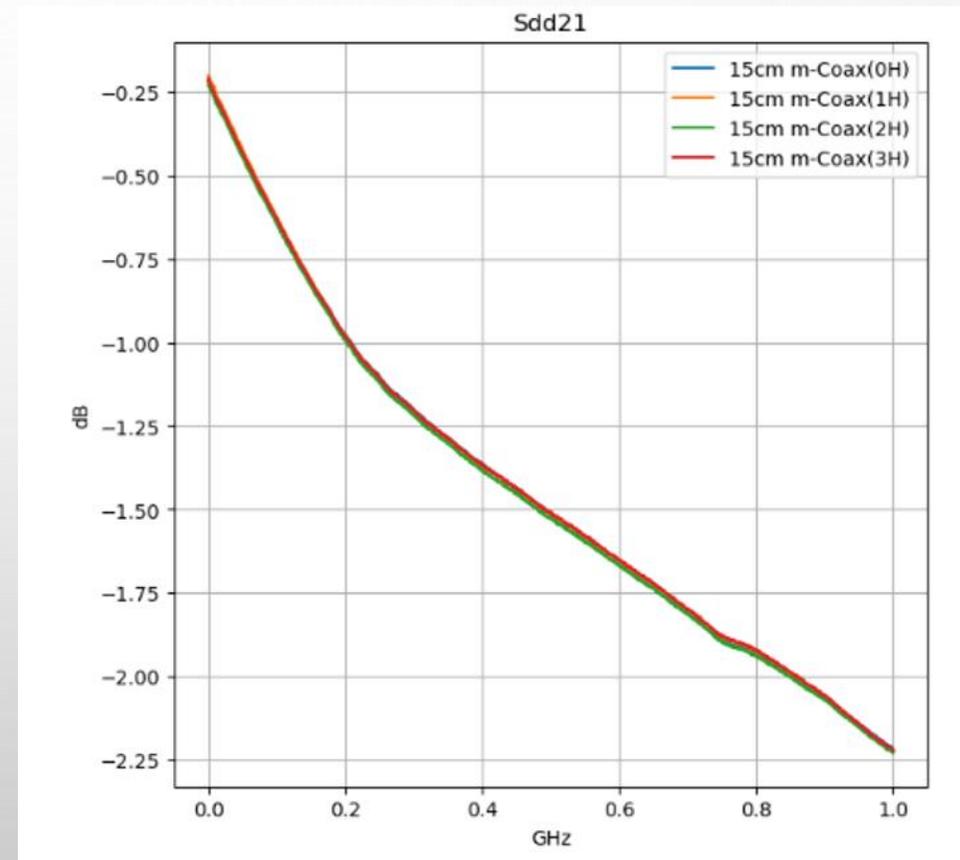
- 一般的に1.5以下が良いとされる。
- マイクロ同軸ケーブルの反射は良い



照射したらどう変わった？

信号減衰

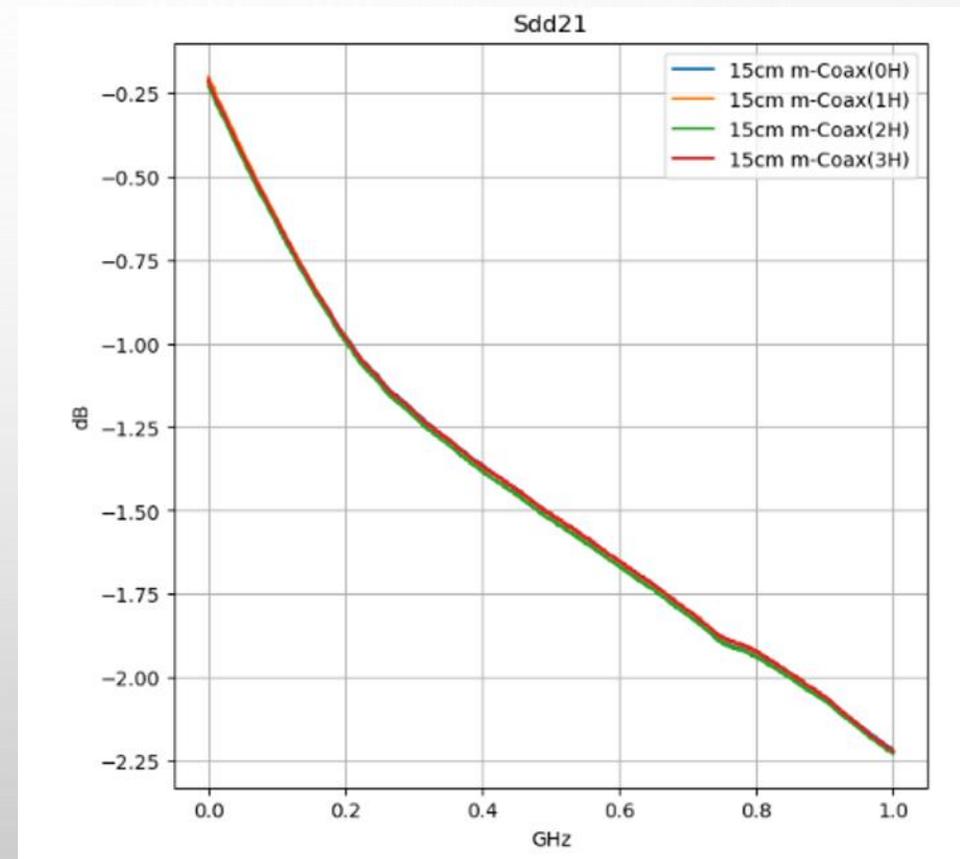
- 照射をしていないものを0Hとして、
- 中性子照射を行った1H,2H,3Hの比較結果



信号減衰

- 照射をしていないものを0Hとして、
- 中性子照射を行った1H,2H,3Hの比較結果

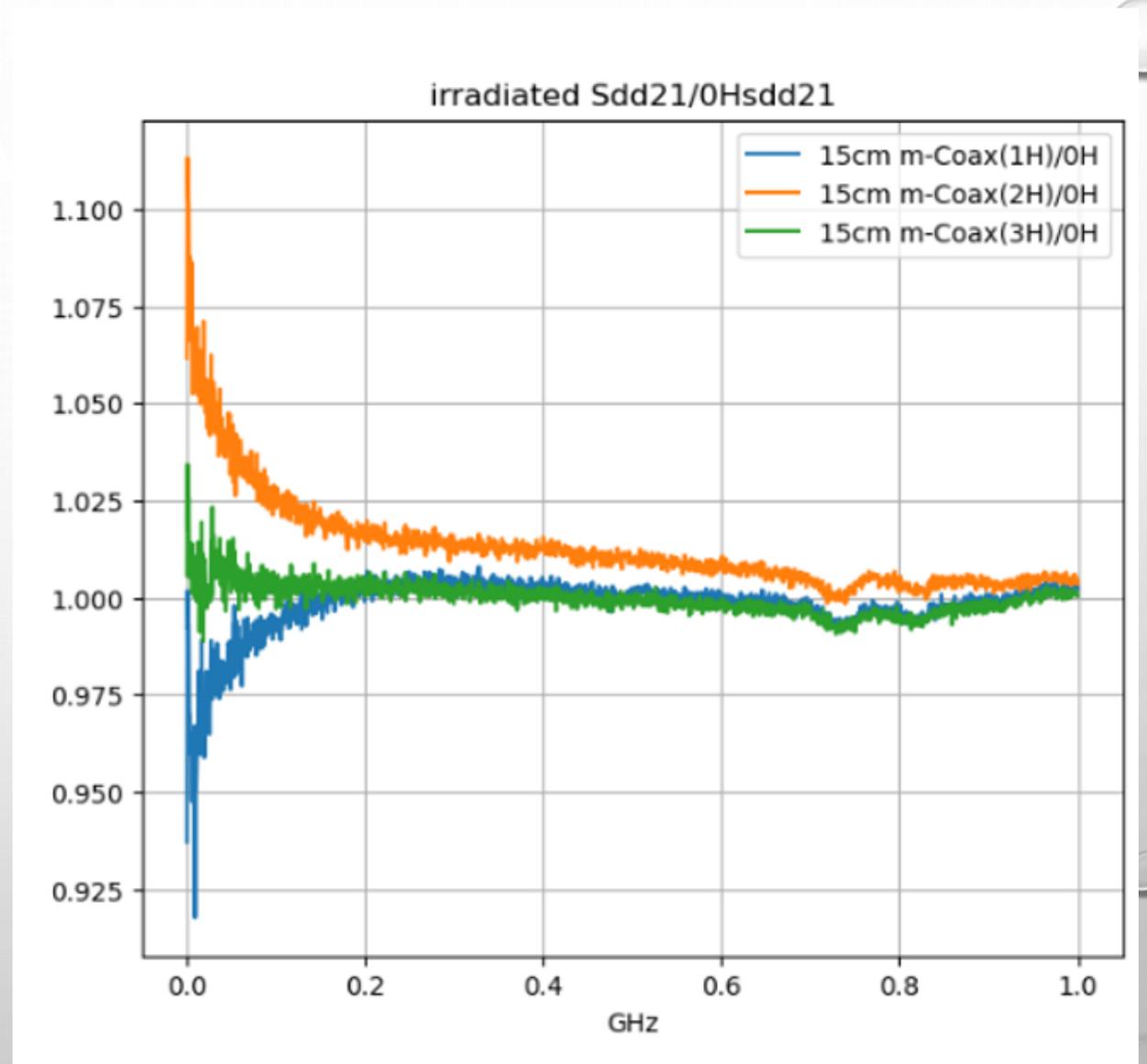
全く変わらない



変化率 =
照射済み / 照射していない

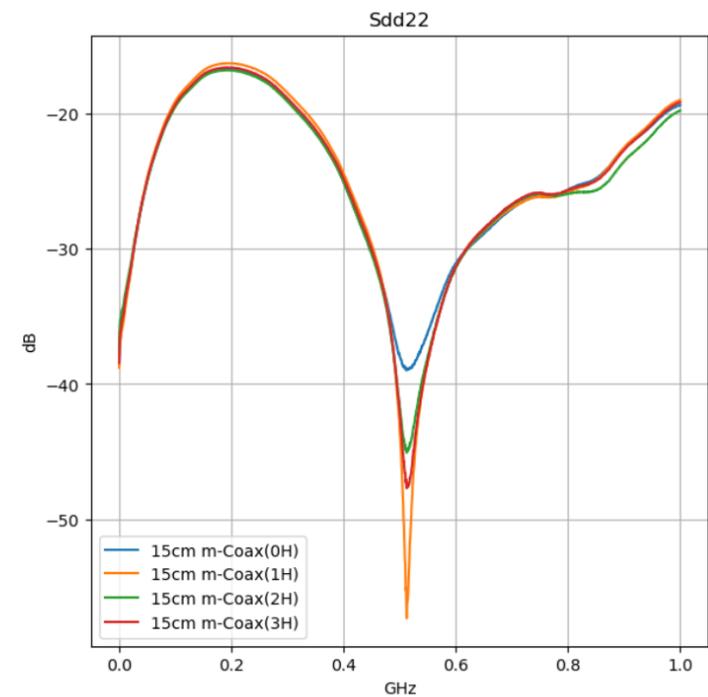
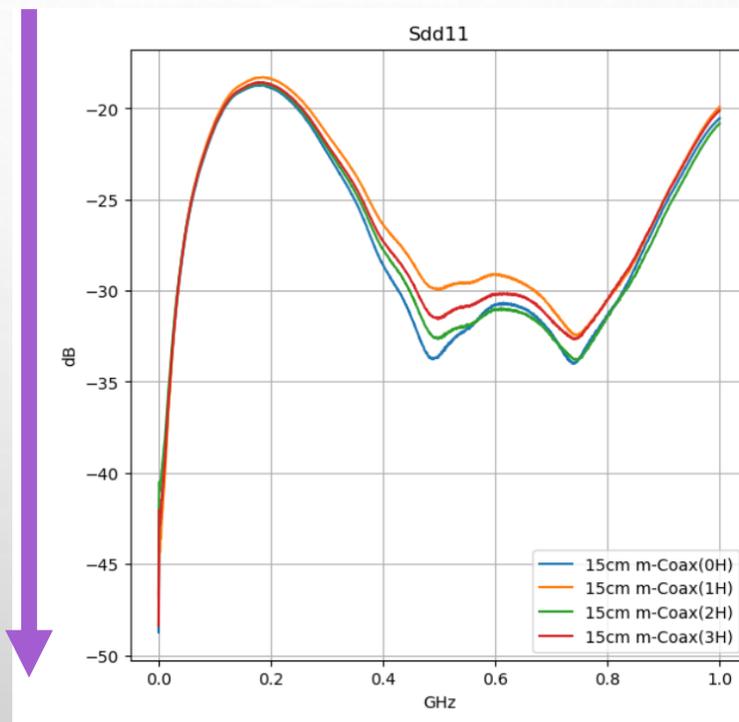
変化率の平均は $= 1 \pm 0.01$

やっぱり、全く変
わらない



反射損失の変化

悪い



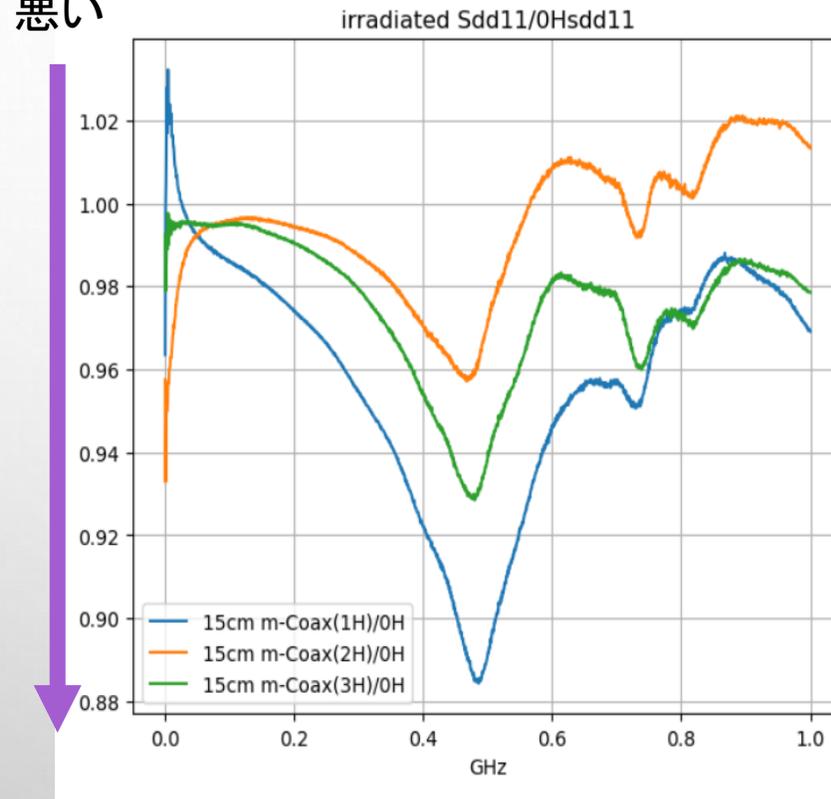
良い

0.2GHzは全く変わらな

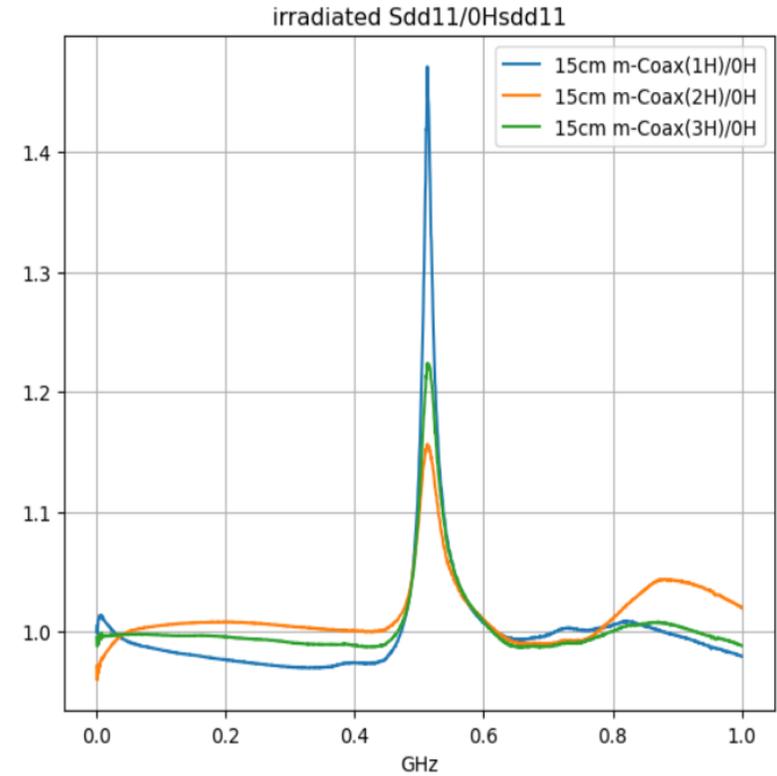
変化率 = 照射済み / 照射していない

- 中性子照射時間と変化率が比例しない
- また0.2GHzでは最大4%違う→影響はない

悪い



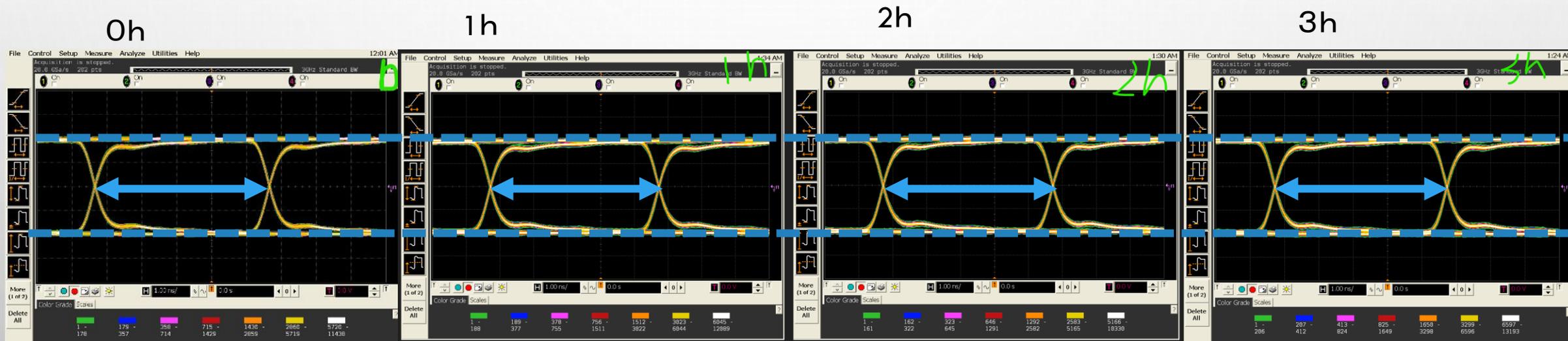
良い



アイパターンによる 信号品質の評価

- 1ビットごとに信号を切り出し重ねて作成する。
- アイパターンによる信号品質の評価はアイの高さと幅から視覚的に伝送データの波形に異常がないかが分かる。

アイダイアグラム: 視覚的に比較する



→全く変わらない

結論

マイクロ同軸ケーブルは
SPHENIXの放射線に耐えられる

TDR測定

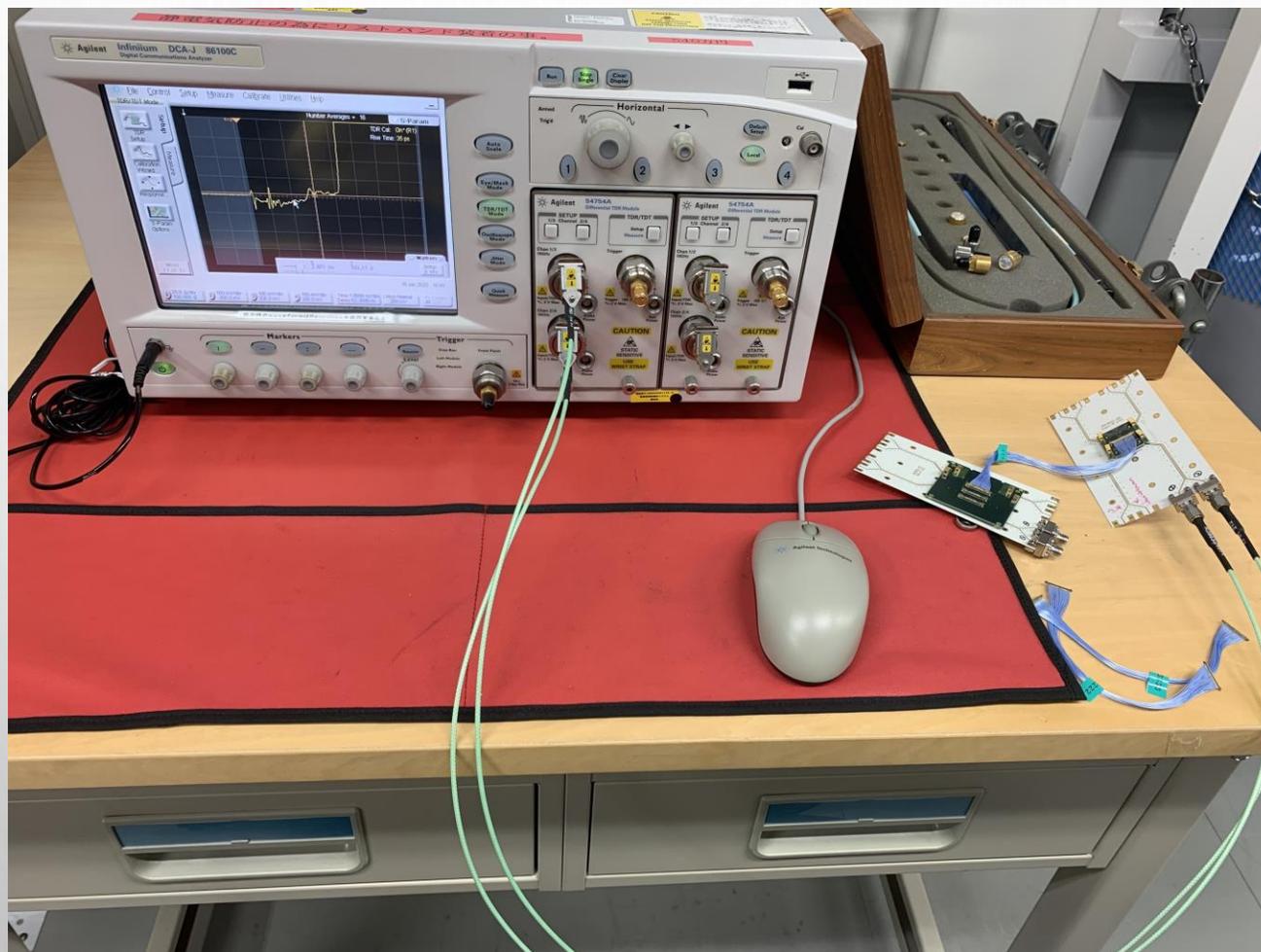
TDR測定とは？

- 1 高速パルスを入射する
- 2 入射波が反射する
- 3 $R = \frac{\text{出力(反射)信号の電圧}}{\text{入射信号の電圧}} = \frac{\text{終端抵抗} + \text{特性インピーダンス}}{\text{終端抵抗} - \text{特性インピーダンス}}$

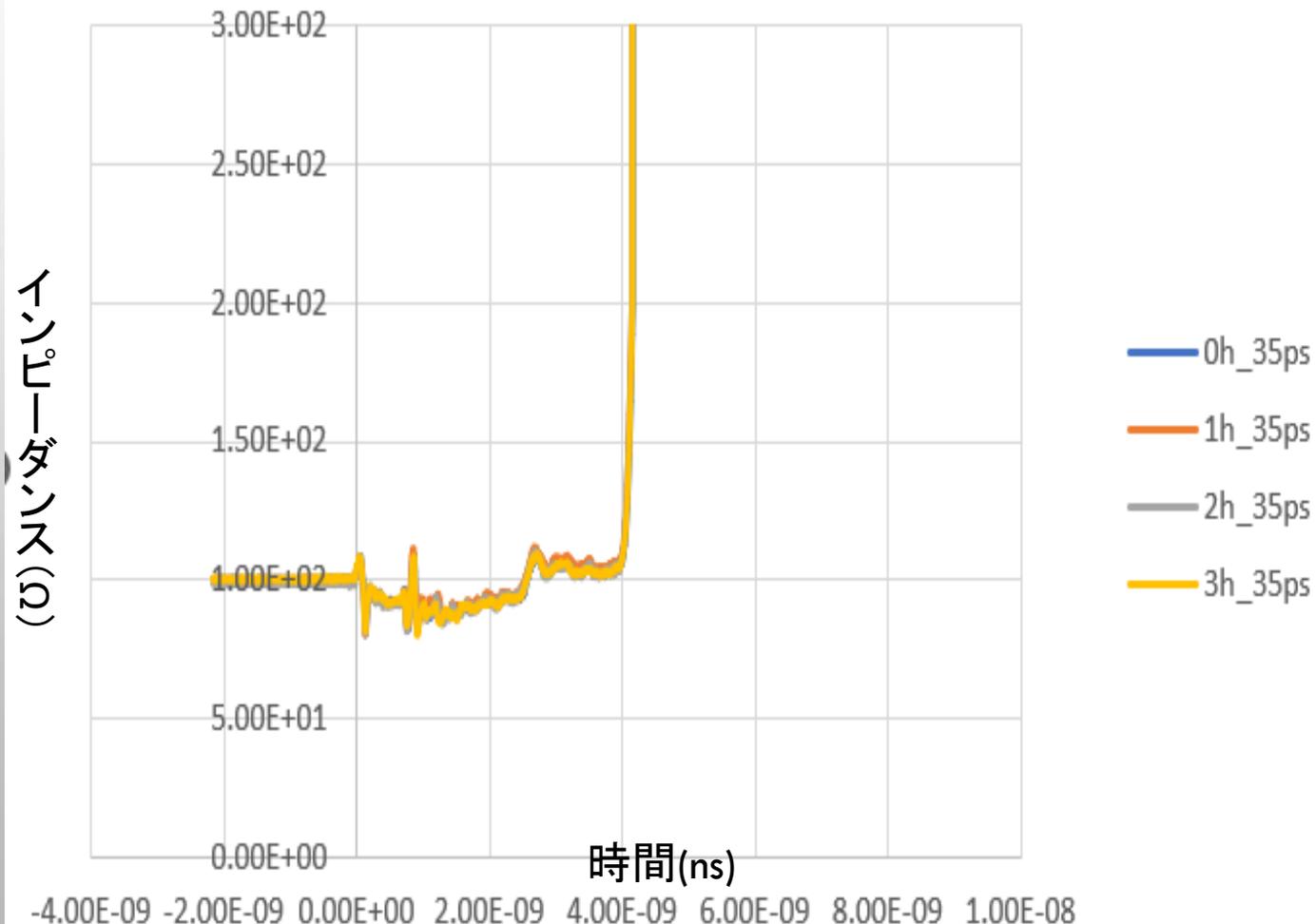
Sパラのリターンロスと同じことをやってる。

でもTDRは反射が起きた時間(位置)が分かる。ケーブル内部を細かく見れる。

測定のセットアップ



結果



立ち上がり時間800PSの信号を入射

縦軸は特性インピーダンス

100Ωが一番いい

横軸は反射した信号が返ってきた時間。

ケーブルの長さを表す。

ケーブルを進む信号の速さは光速の2/3倍よって $20 \times 10^9 \text{m/s}$

1nsでは、0.05m/ns

変化率 = 照射済み / 照射していない

