

光周波数コムレーザーを利用した アライメントモニターの開発

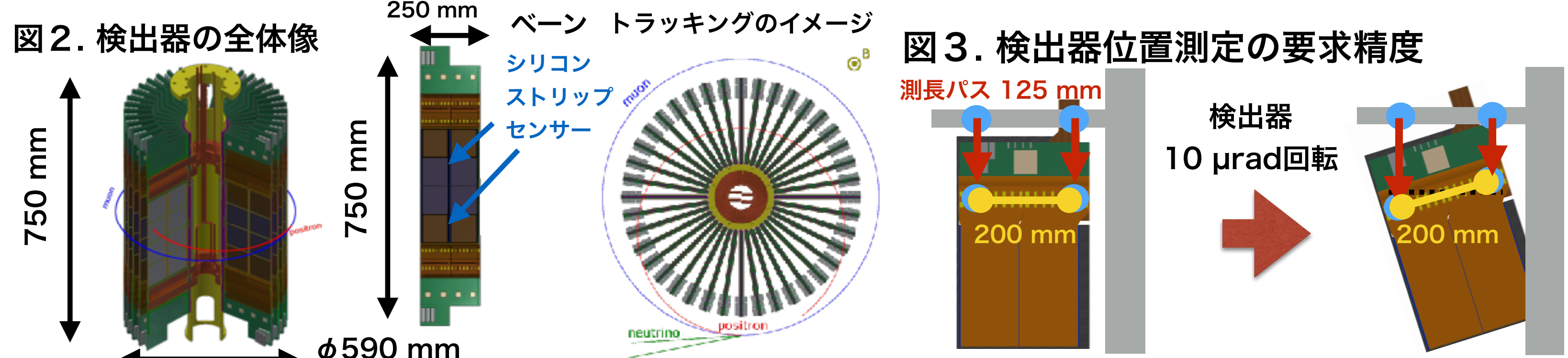
安田浩昌^A, 伊藤拓実^A, 川越清以^A, 久米達哉^B, 齊藤直人^C, 佐藤優太郎^C,
末原大幹^A, 高増潔^D, 堤裕樹^A, 東城順治^A, 西村昇一郎, 三部勉^C, 山中隆志^E,
吉岡瑞樹^E, 他 J-PARC muon g-2/EDM Collaboration
東大理^A, 九大理^A, KEK機械工セ^B, KEK素核研^C, 東大工^D, 九大RCAP^E

Introduction

■J-PARC（大強度陽子加速器施設）におけるミュオンビームライン（H-Line）にて、ミュオンの双極子モーメントの精密測定が計画されている（図1）。

■本実験では、ミュオンの崩壊によって放出される陽電子の飛跡をシリコンストリップセンサーが内蔵された陽電子飛跡検出器で読み出すことで、ミュオンのスピン方向を測定する（図2）。

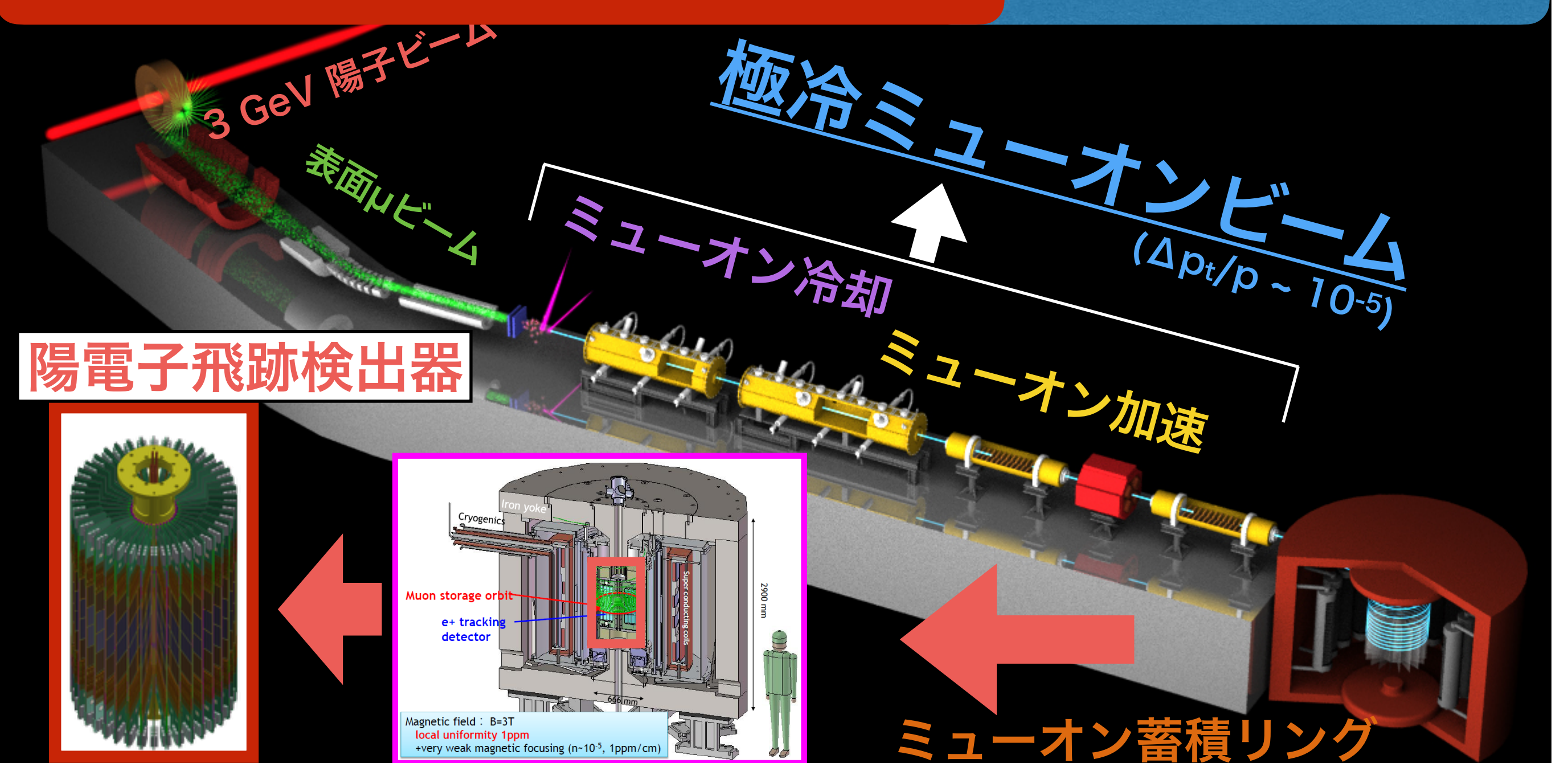
■電気双極子モーメント（EDM）を目標精度で測定するためには、検出器角度を10 μrad以内に抑える必要がある。このために、**検出器位置を1 μm精度で測定する必要がある**（図3）。



目標：1 μm精度の検出器アライメントモニターを開発

図1. J-PARCにおけるミュオンの精密測定

GOAL @ J-PARC E34
異常磁気モーメント(g-2) : 精度 0.1 ppm → SMの検証(3.7σ@BNL)
電気双極子モーメント(EDM) : 感度 10⁻²¹ e・cm → CPの破れの探索



Method

方法：光周波数コムレーザー + 光路長掃引式干渉計

■光周波数コムレーザー（光コム）は、パルス幅がフェムト秒の櫛状の周波数構造を持つパルスレーザーである。**安定した繰り返し周波数 f_{rep} を得られることに着目**（図4）。

■本干渉計は、光路長を掃引することで干渉縞を発生させる（図5）。二つの干渉縞間の長さを測定することで、基準(Origin)から標的(Target)までの**絶対距離を測定できる**。

図4. 光周波数コムレーザーの特徴

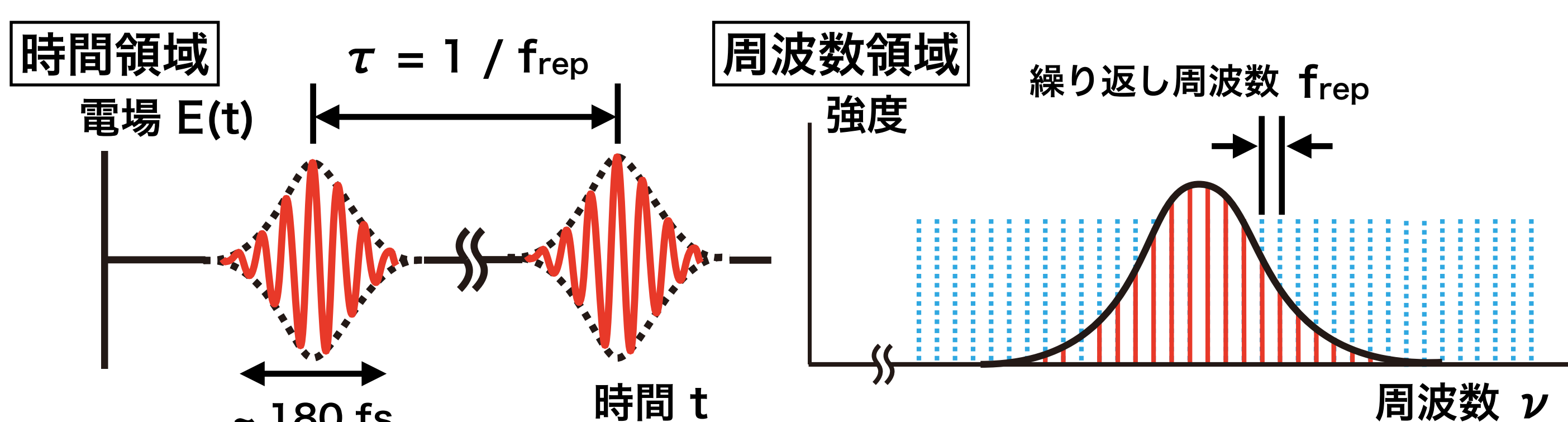
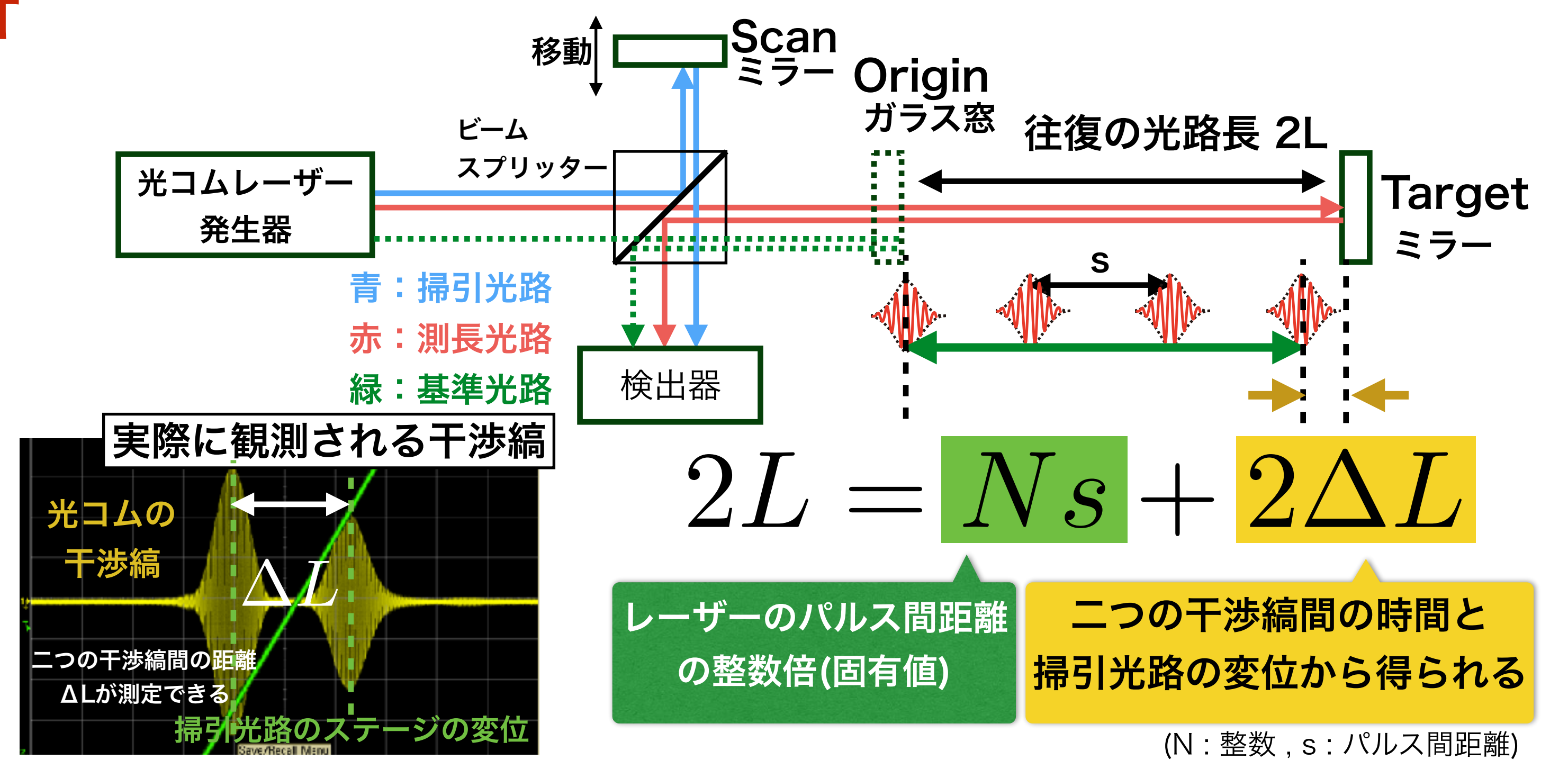


図5. 光路長掃引式干渉計



実験：ゲージブロックを利用した校正測定

■利便性のためにファイバーエタロンを使用し、**パルス間隔を5 m から250 mmに圧縮している**。

■しかし、エタロンの透過特性が未知なため、校正する必要がある。

■**0.03 μmで校正されている長さ基準**を利用し、繰り返し周波数を校正する。

図6. ファイバーエタロンの役割

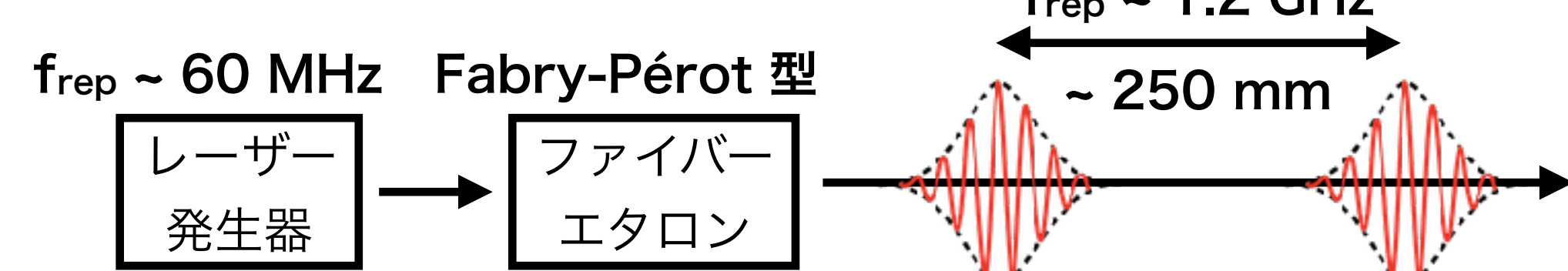
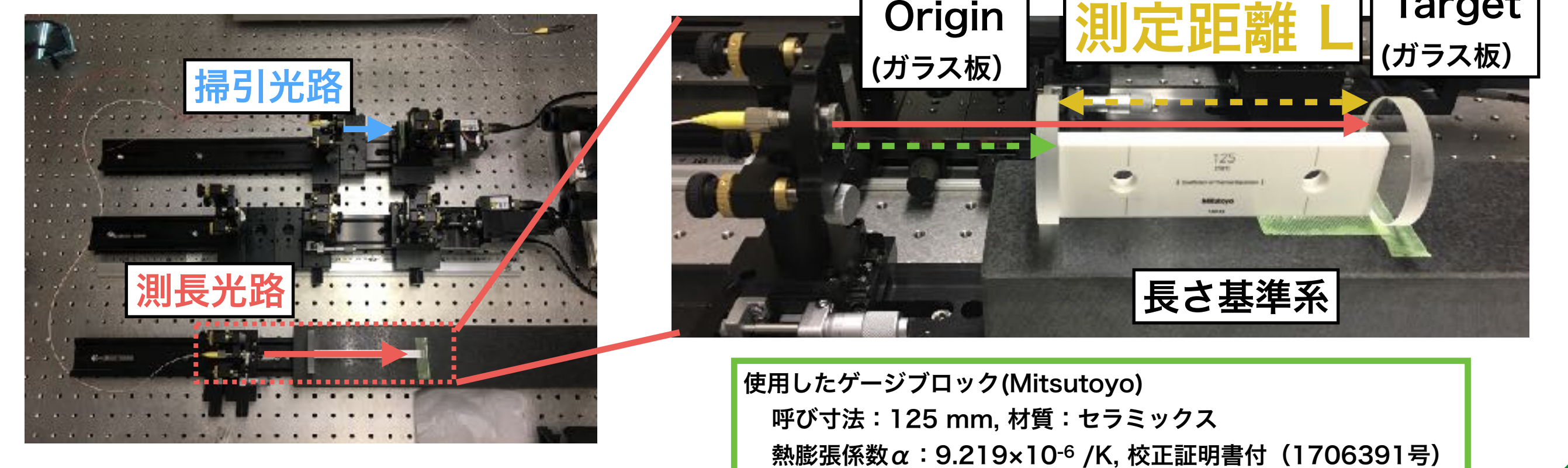


図7. 校正系のセットアップ



Result & Discussion

■繰り返し周波数の校正值

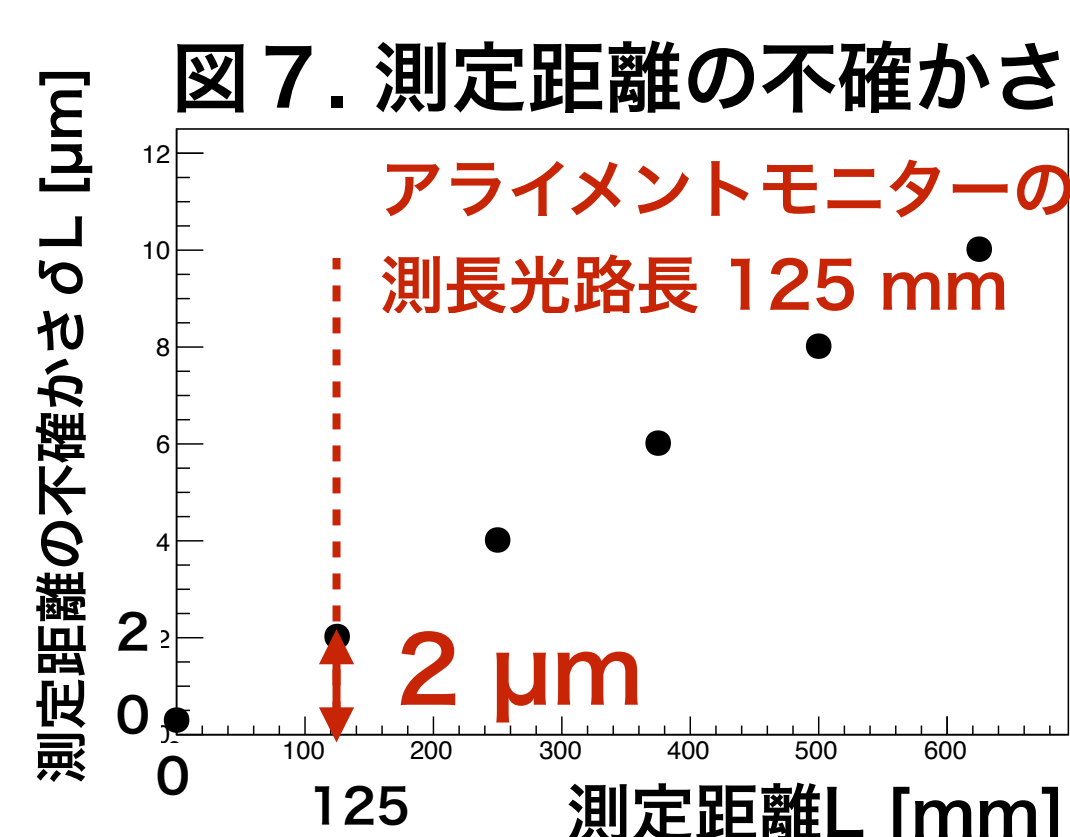
$$f_{eta} = 1.199765 \pm 1.9 \times 10^{-5} \text{ GHz}$$

表1. 測定距離の不確かさ要因

不確かさ要因	各不確かさ	f_{eta} 不確かさ [GHz]	寄与率 [%]
長さ基準系	寸法差幅	0.03 μm	< 0.2
LGB	校正不確かさ	0.017 μm	< 0.1
	熱膨張係数	0.008 μm	< 0.1
	測定温度	0.2 μm	1.1%
セットアップ再現性		1.9 μm	96.1%
	空気屈折率 n_{air}	0.9×10^{-6}	1.1×10^{-6}
	干渉縞間の距離 ΔL	0.3 μm	2.9×10^{-6}
合計		1.9×10^{-5}	(100%)

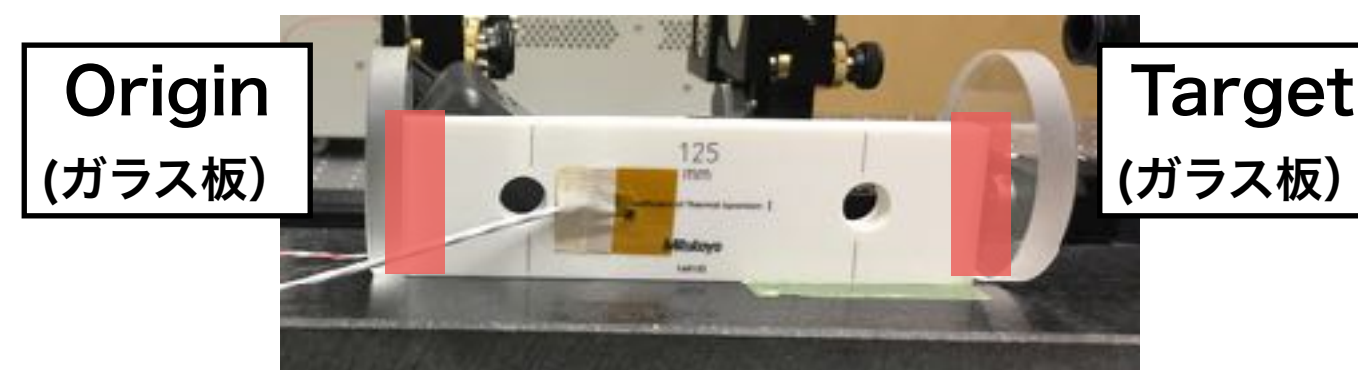
■校正における不確かさ（表1）をもとに、測定長さ精度を評価した（図7）。

■この結果、測長光路長125 mmに対して、**2 μmの不確かさ**であった。



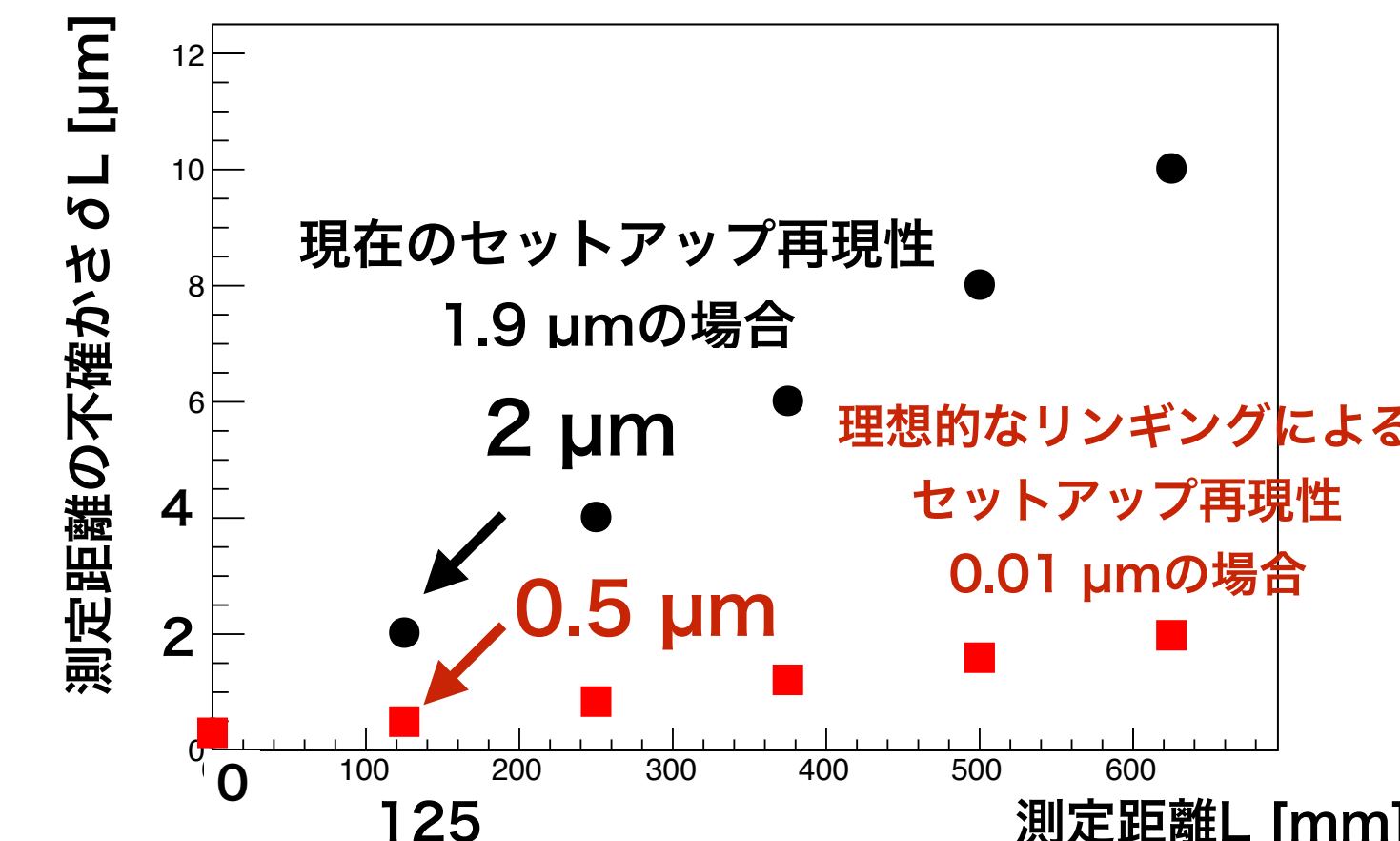
- 不確かさの主要因がセットアップ再現性に起因。リングング・環境・光軸のアライメントに依存。
- リングング（図8）の不確かさは0.01 μm程度に抑えられる^[1]。
- これらを改善することで、測長光路長125 mmで不確かさを0.5 μmに抑えられることが期待される（図9）。

図8. ゲージブロックのリングング（密着）



[1]小須田哲雄, ブロックゲージの基礎と応用. 精密工学会誌, Vol. 79, No. 8, pp.743-749, 2013

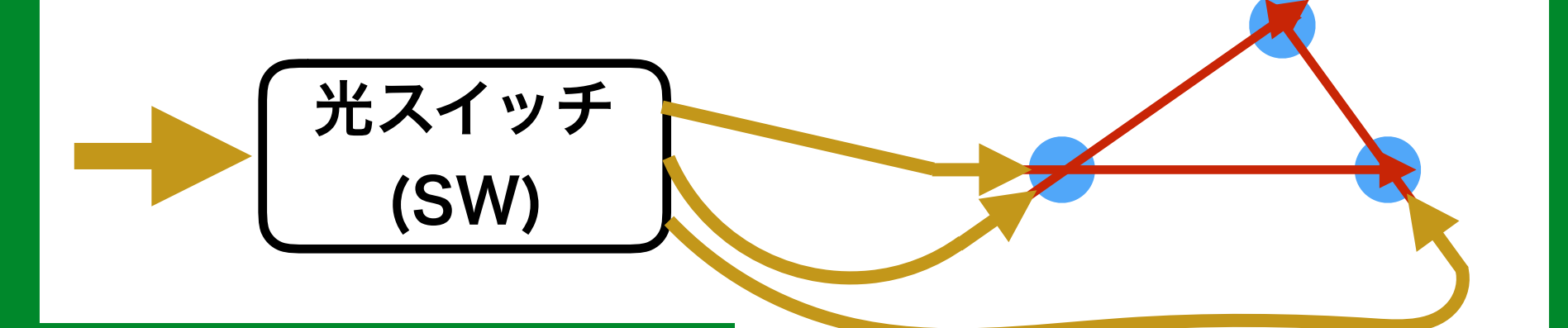
図9. 再現性向上による測定精度の向上



Prospect

- コンパクト化に向けたボールレンズを利用した干渉計の開発 複数方向のビームリフレクター 複数方向のビームコリメータ

- 3次元位置測定に向けたスイッチングを利用したマルチパス干渉計の開発



Summary

- ミュオン精密測定に向け1 μmの検出器位置を測定する必要がある。
- 光コムと光路長掃引を利用した検出器アライメントモニターを開発している。
- 校正測定の結果、125 mm光路で2 μmの不確かさであった。
- セットアップ再現性を改善することで目標の1 μm精度を達成できる。