パルス磁石を用いた真空複屈折の探索 I

はんしん
樊星, 上岡修星, 稲田聡明, 山崎高幸[A], 難波俊雄[A], 浅井祥仁,
吉岡孝高, 大間知潤子, 五神真

東大理, 東大素セ[A]

日本物理学会第71回年次大会 @東北学院大学
2016/3/22

連続講演での内容

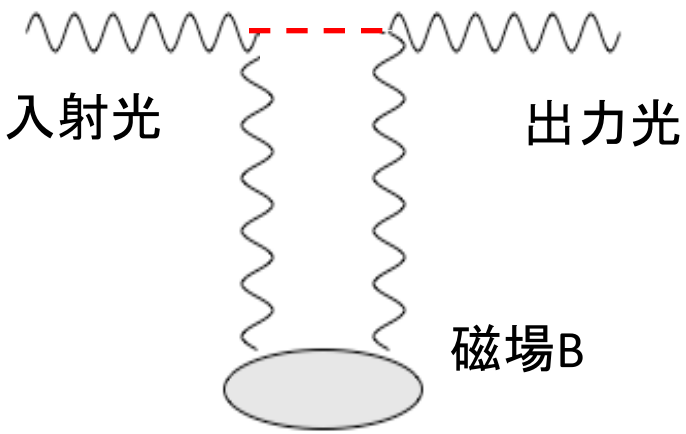
- 本トーク
  - 真空複屈折とその探索手法
  - 新たな装置とその評価
  - 実験デザイン

- 次のトーク
  - 実験に向けた装置開発
  - 現状報告

真空複屈折

また、Axionのような
未知粒子からの寄与も大きい

Axionなど



- 場の量子論では、真空を飛ぶ光は仮想電子対などに絶えず対生成・対消滅している

- そこに磁場を印加すると仮想電子対を通じて真空が分極し、光は磁場に並行・垂直な屈折率に差$\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$を感じる。この現象を真空複屈折という。

$$= k_{CM} B^2$$

(QED理論値 $k_{CM}=4.0\times10^{-24}[T^{-2}]$)

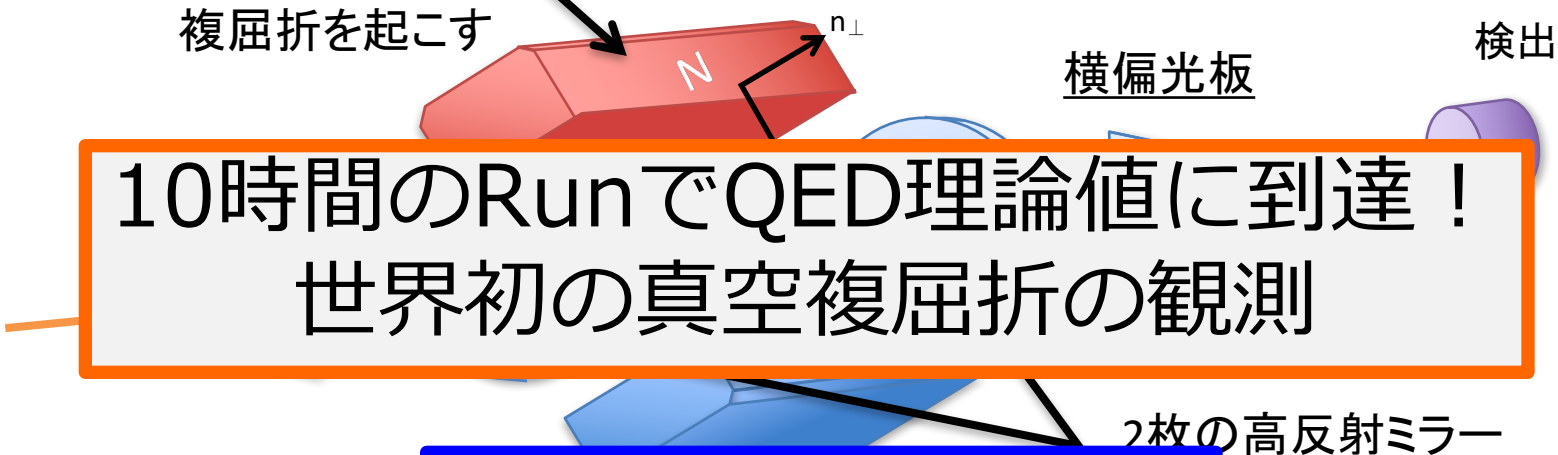
- 世界中で様々なグループが観測を試み、QED理論値まであとfactor 20と迫るが、未だ観測されてない。

われわれもこの競争に参戦する

探索手法

パルス磁石
強力な磁場を速い繰り返しで打つ
目標値 B=20T, L=0.8m, f_{rep}=6Hz

強力な磁場で
複屈折を起こす



横偏光板

検出器

10時間のRunでQED理論値に到達！
世界初の真空複屈折の観測

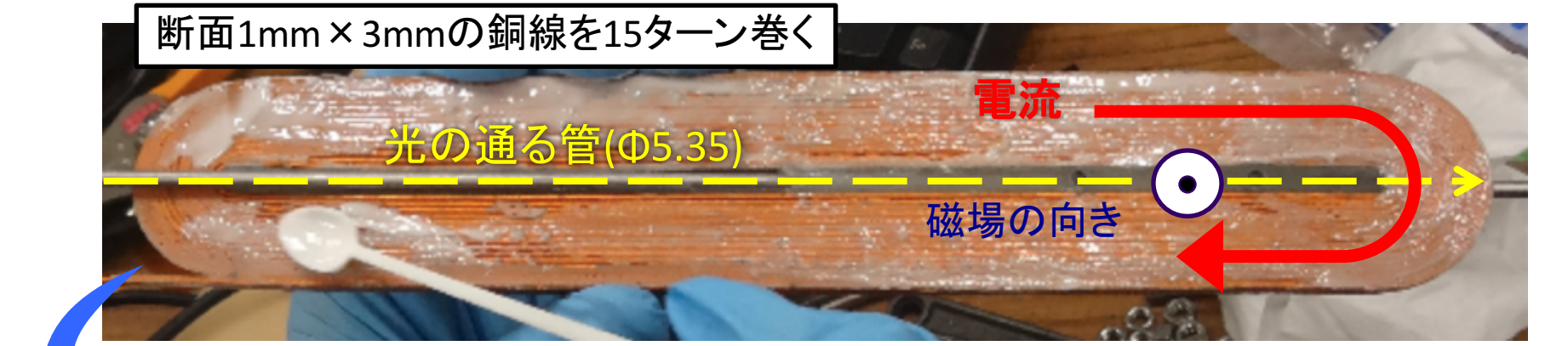
2枚の高反射ミラー

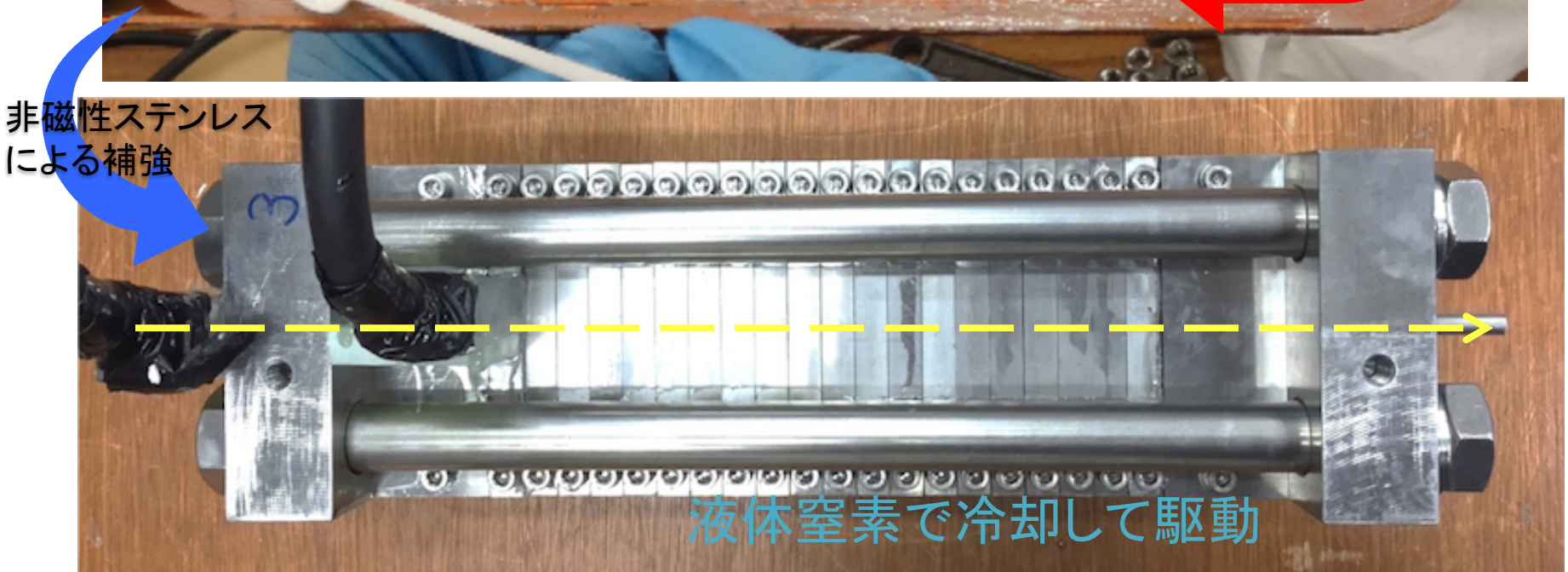
自発共鳴型Fabry-Pérot共振器
磁石と組み合わせた安定駆動がカギ
目標値 F=300,000

しかし現在、①強力な磁場が出せないこと②安定したFP共振器の共振器維持がネックとなり、感度が伸び悩んでいる

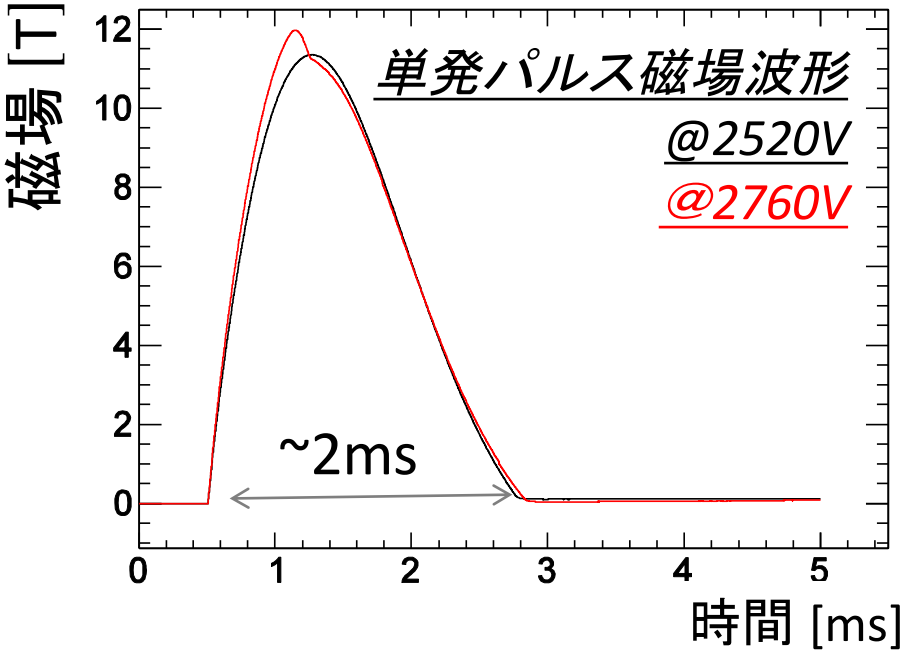
パルス磁石

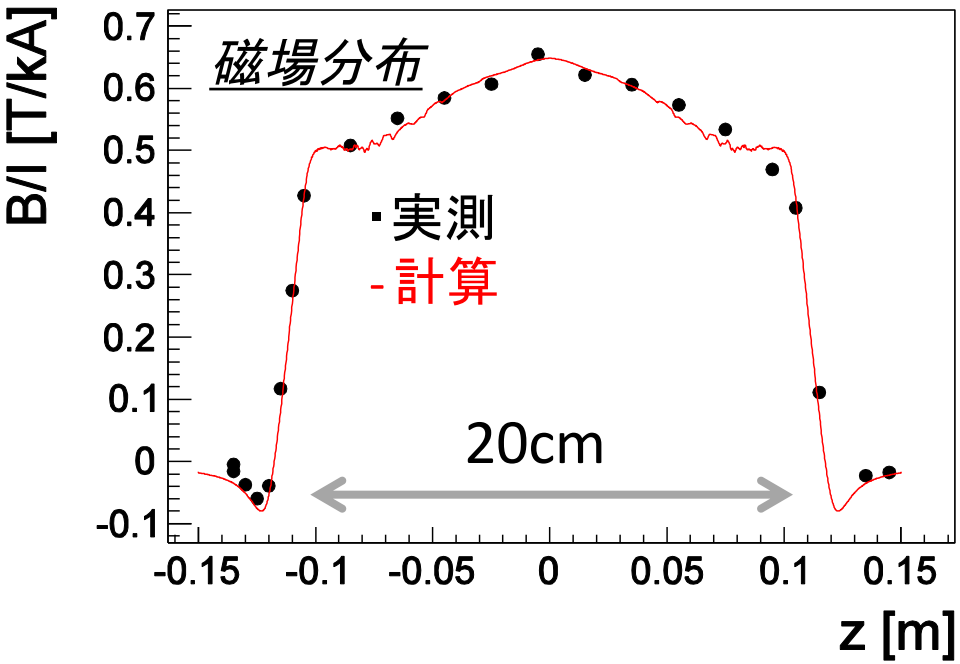
- 軸方向に長い高速繰り返しパルス磁石を東大物性研・東北大金研と共同で開発中(19pAM-11, 12)





性能評価



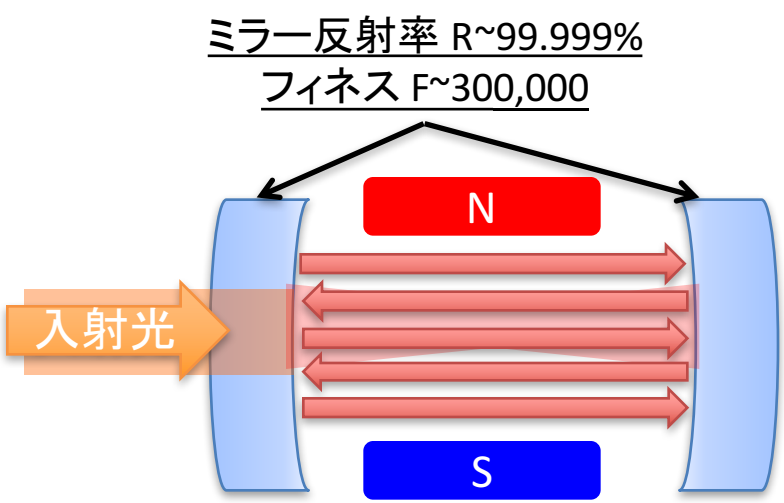


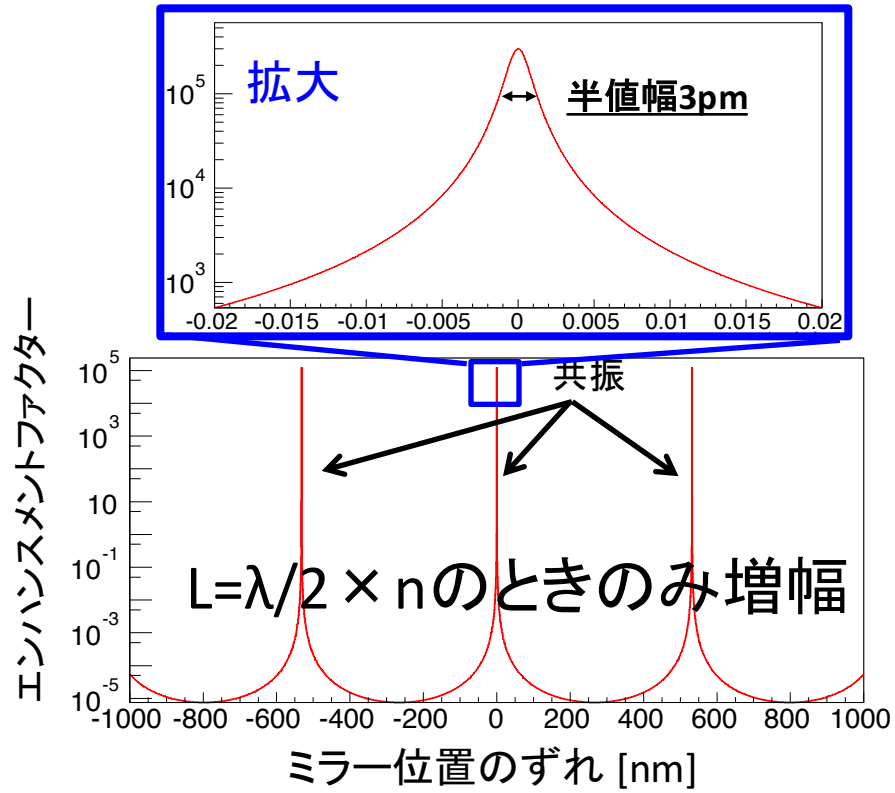
- 現状単発で12Tまで発生可能。コイルの強度でリミットされている
- 光軸方向20cmにわたり広く磁場を発生できる。
- 高速繰り返し運転も実現しており~7T, 0.2Hzで4台同時に駆動した。従来のパルス磁石のおよそ100倍の繰り返しレート

Fabry-Pérot共振器

- 二枚ミラーで光を反射させ、磁石の相互作用長をエンハンス
- しかしミラー間距離が波長ときちんと合っていないとエンハンスされない

現在の最高性能R=99.999%ミラーを使用予定



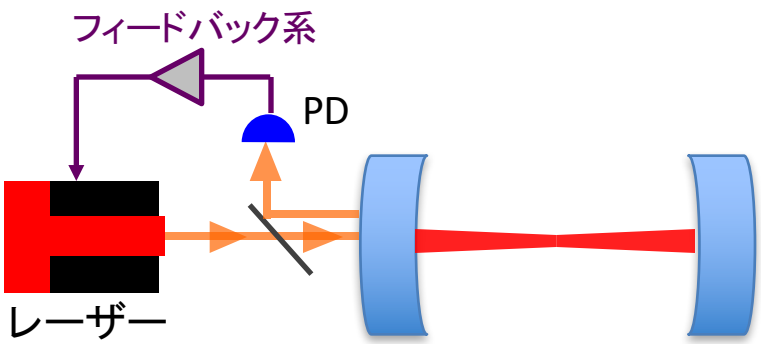


→波長にフィードバックし、精密な制御をする

フィードバック制御の方法

★従来の方法

共振器の反射光から共振の情報を抽出しレーザー光にフィードバック



デバイスの応答限界からフィードバック系の帯域はせいぜい100kHz程度

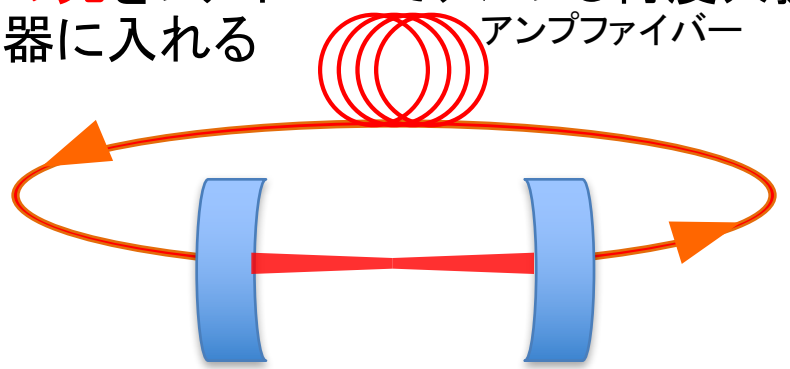
実際に、F=650,000の共振器をこの方法で制御した報告がなされている

★自発共鳴式の方法

2015年9月に提案

Uesugi et. al.: arXiv: 1509.05840

共振器から漏れ出る光=共振周波数の光をファイバーでアンプし再度共振器に入れる

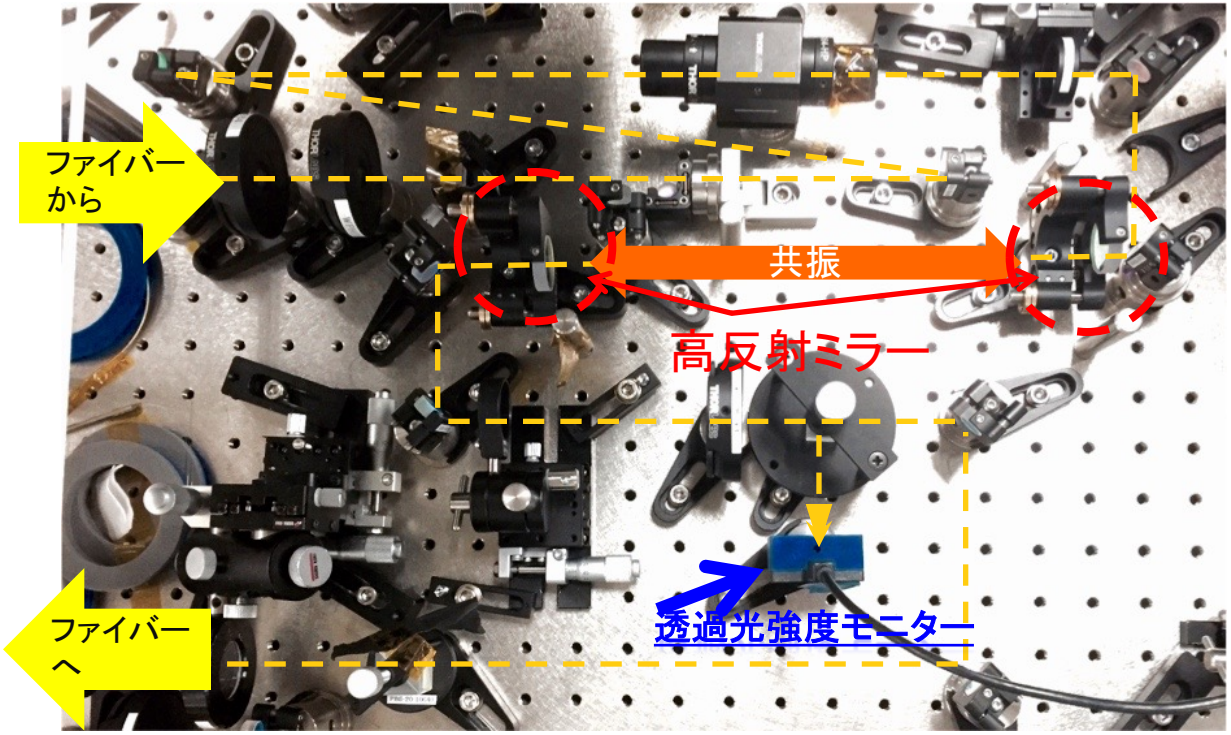


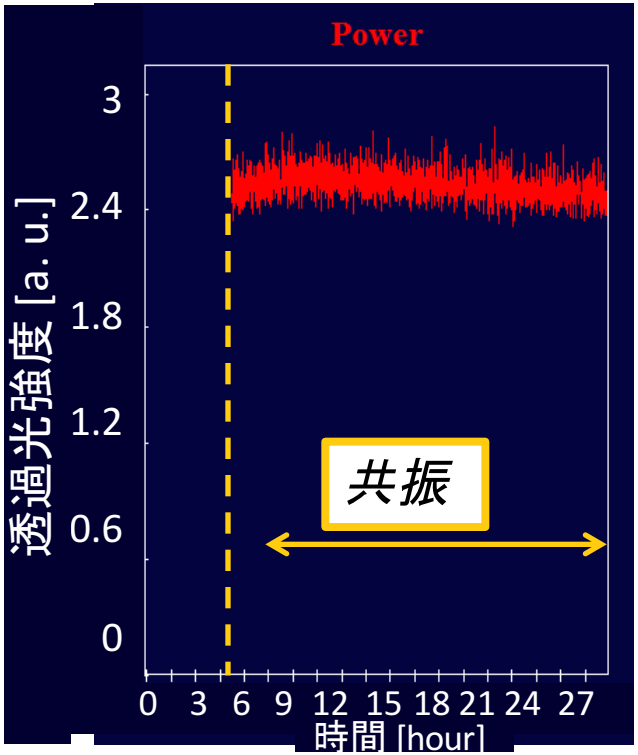
フィードバック系の帯域は光路一周の長さで決まるので、GHz程度になる

また、アクティブに光の周波数を制御する必要がなく、一度共振が外れても自発的に再度共振する

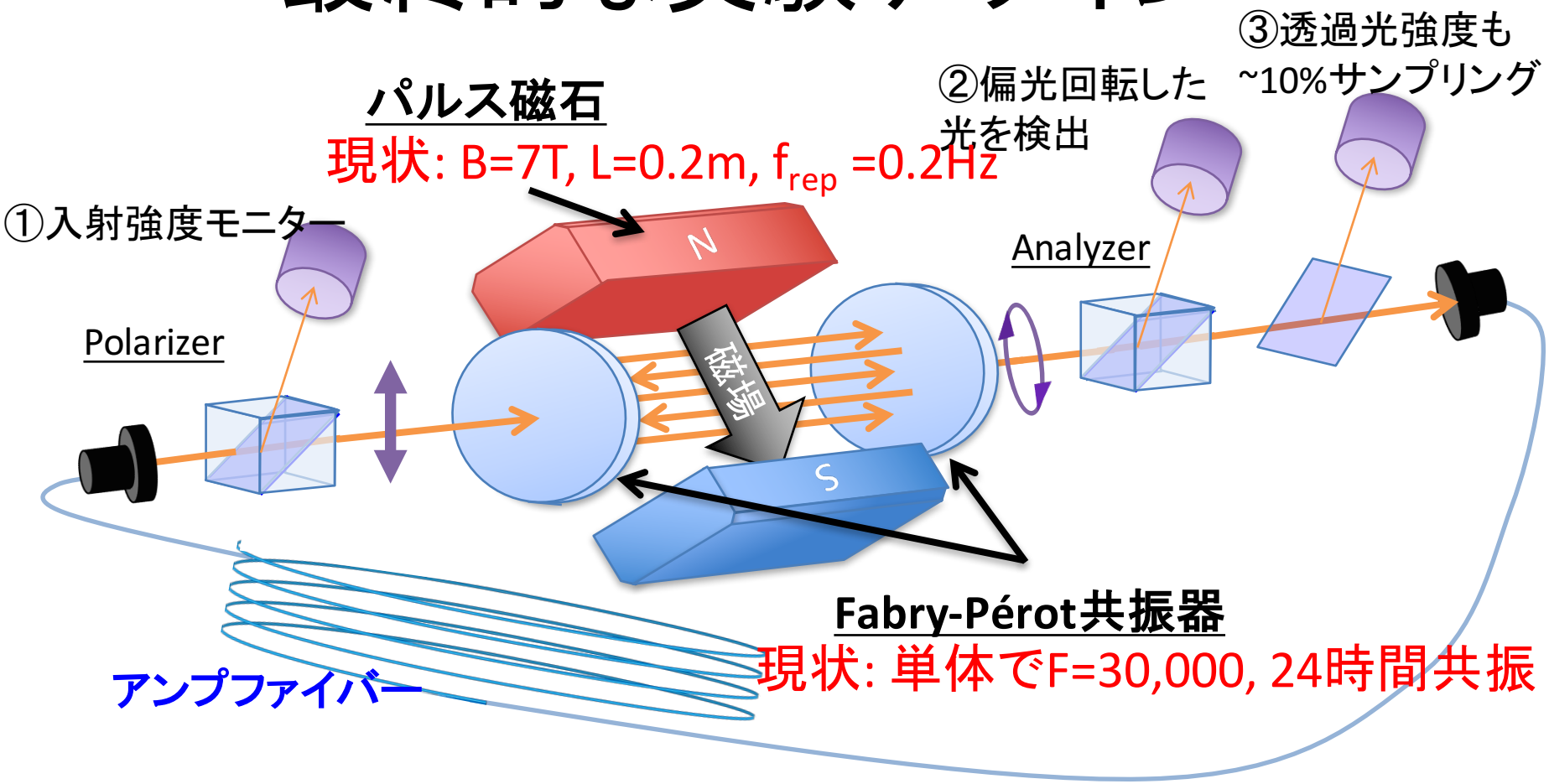
原理検証：磁石なしで組んでみる

- F=30,000, L=0.25mのプロトタイプ共振器（制御幅30pm）
- 透過光強度をモニターし、24時間発振確認
- 横で手を叩こうが定盤を叩こうが共振は破れない





最終的な実験デザイン



- 偏光板を平行に置き、大部分の偏光回転しない光をファイバーに戻す

このデザインに沿った複屈折の予備実験の話が
次のトークに続く