

重力波検出器とその制御

道村唯太

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻

坪野研究室 博士課程1年

今回の目的

- 重力波の分野の「制御」
と
先端で研究されている「制御」
がどう違うかの情報交換

坪野研究室

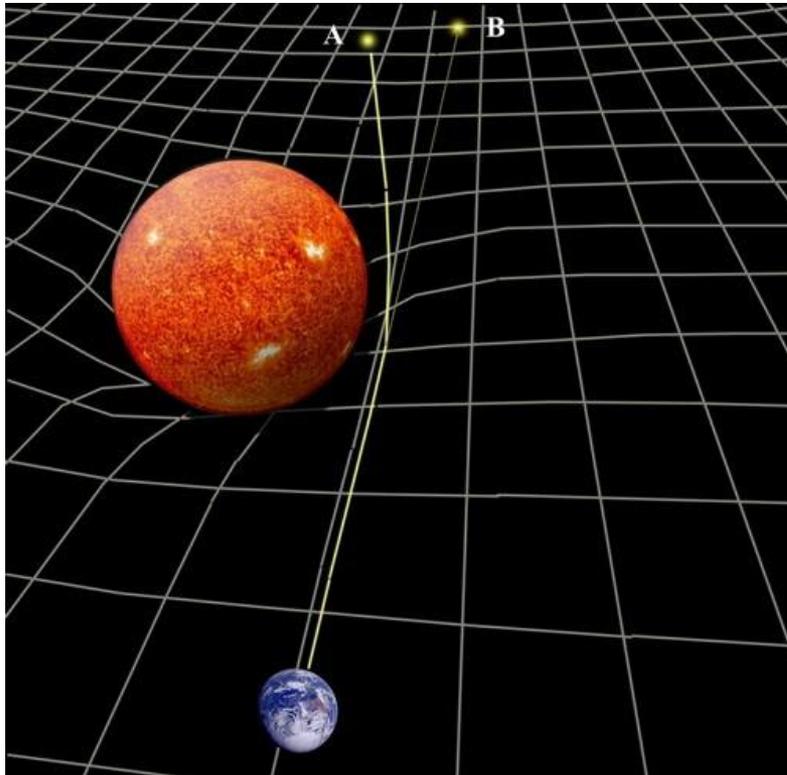
- 所属: 理学系研究科 物理学専攻
- 居室: 本郷 理学部1号館 604号室
- 研究分野: 重力・相対論実験
 - 重力波検出器の開発
KAGRA、DECIGO、TOBA
 - 重力逆二乗則の検証
余剰次元の探査
 - 光速の等方性検証
Lorentz不変性の破れの探査
 - 巨視的量子現象を捉える
マクロな物体がSchrödingerの猫状態に
 - 超高安定化レーザー光源の開発
光格子時計等への適用



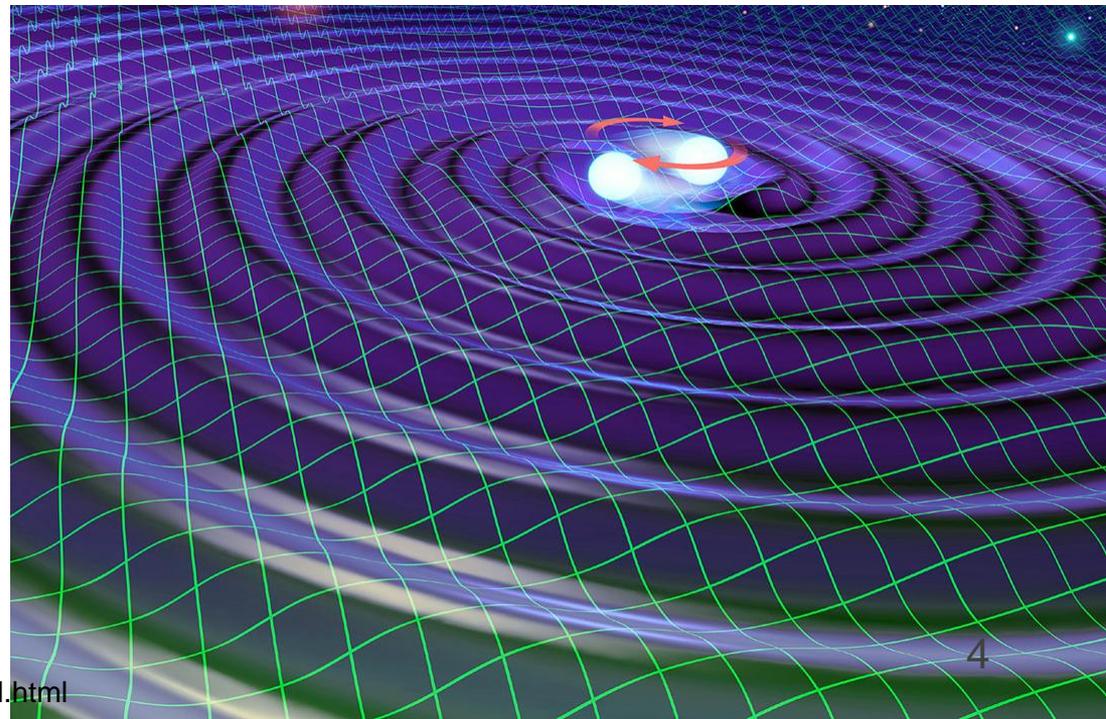
坪野公夫教授

重力波とは

- 光速で伝播する時空の歪み
- Einsteinが一般相対性理論から予言
- まだ誰も直接検出に成功していない
空間の歪みが 10^{-21} と非常に小さい

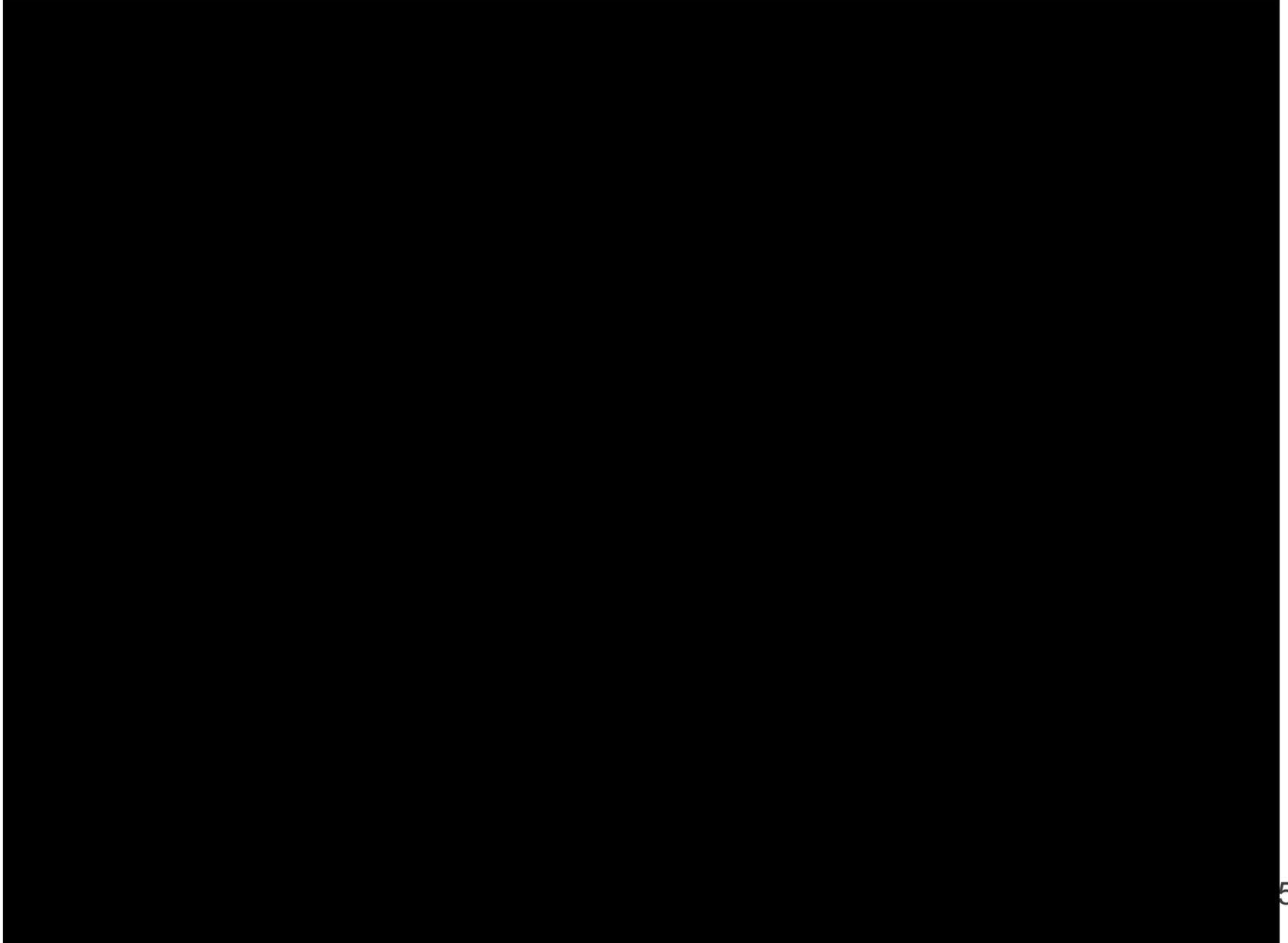


CG/KAGAYA



動画

CG/KAGAYA

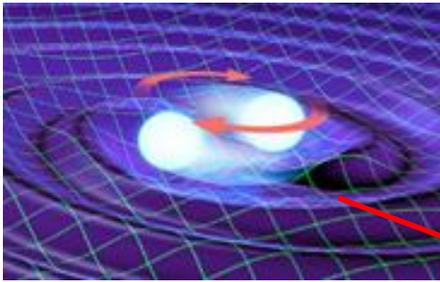


重力波天文学

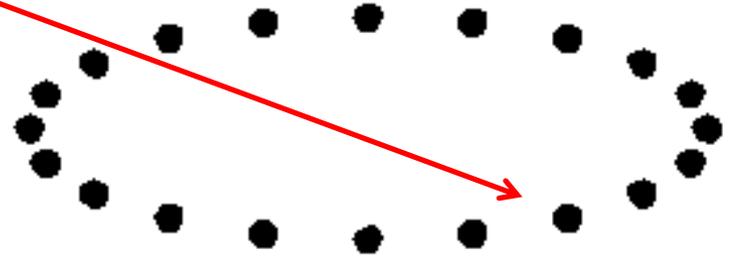
- 主な重力波源
 - 連星中性子星の合体
 - ブラックホール連星の合体
 - 超新星爆発
 - 初期宇宙・インフレーション
- 「光」では見えないものが見える
 - 重力波天文学の創成

重力波検出の原理

- 重力波が来ると物体間の距離が変わる
→ レーザー干渉計で測る

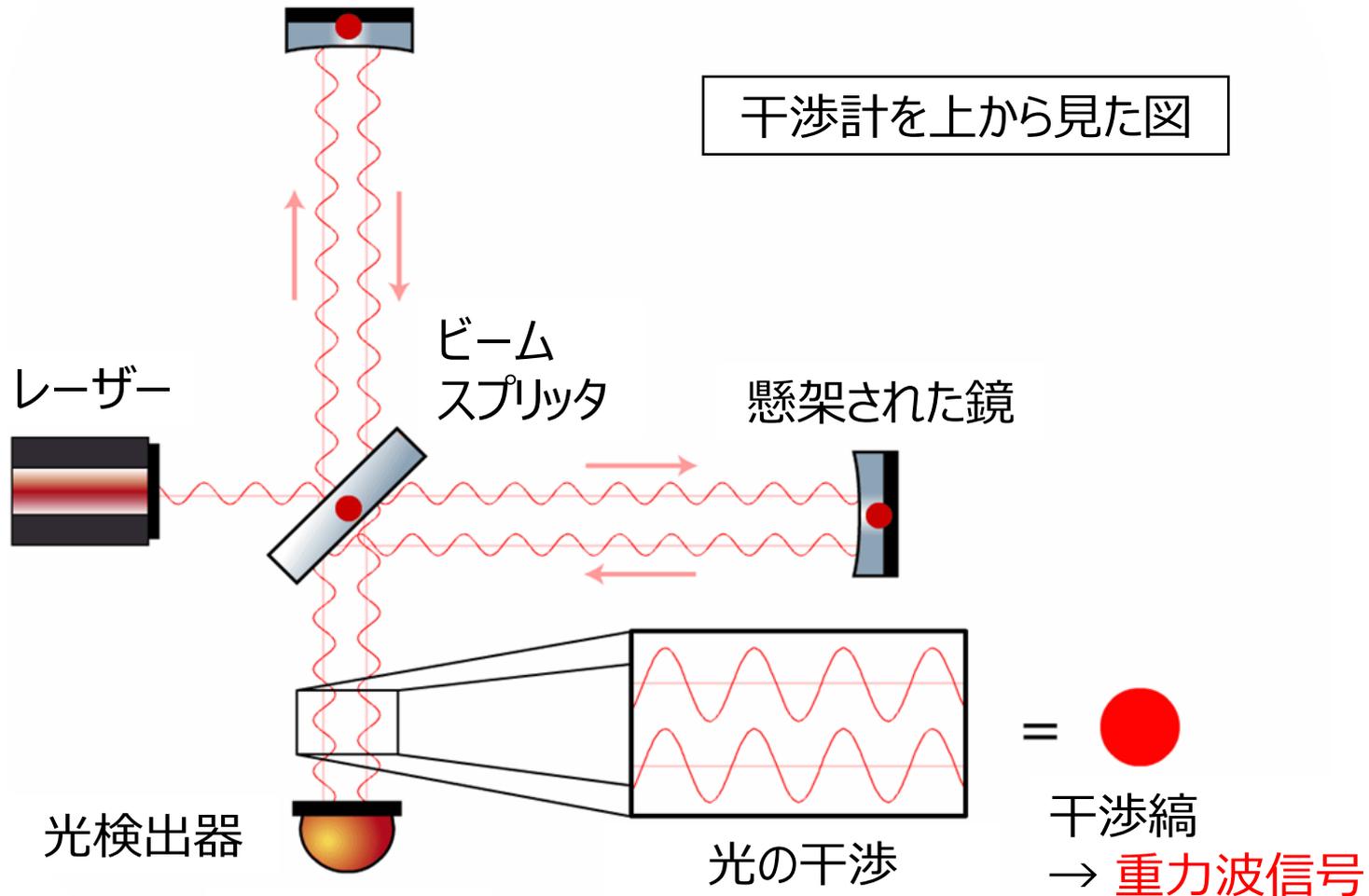


重力波



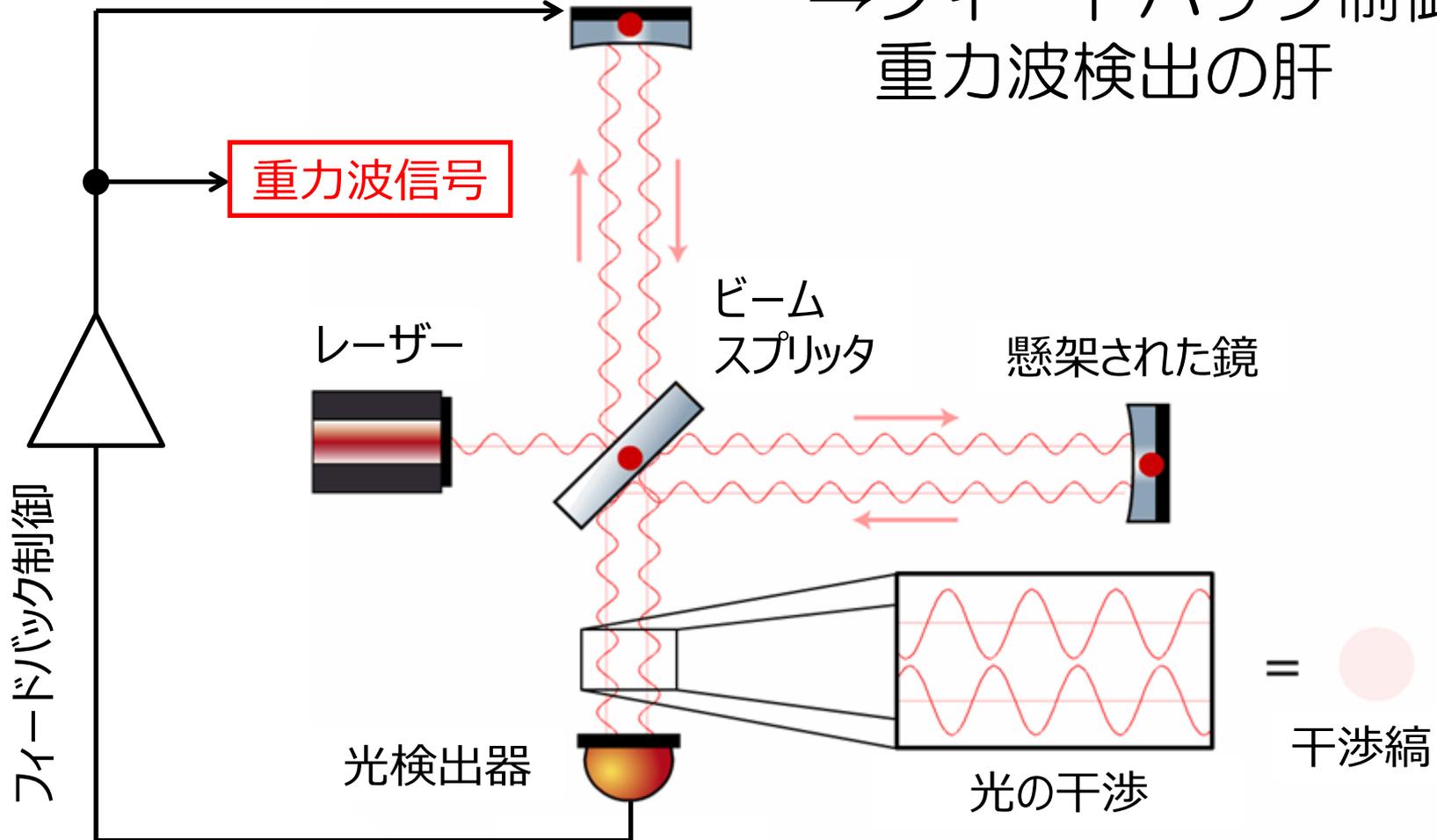
レーザー干渉計型重力波検出器

- Michelson干渉計が基本



レーザー干渉計の制御

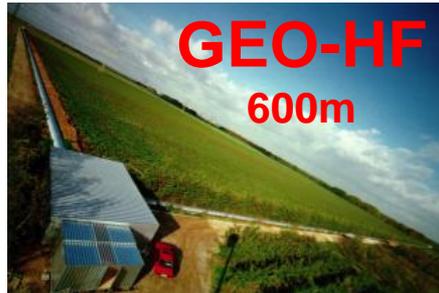
- 干渉縞が変化しないよう鏡の位置を制御
→フィードバック制御が重力波検出の肝



世界の重力波検出器

- 「第2世代干渉計」が各地で建設中
- 約5年後観測開始予定 重力波の初検出

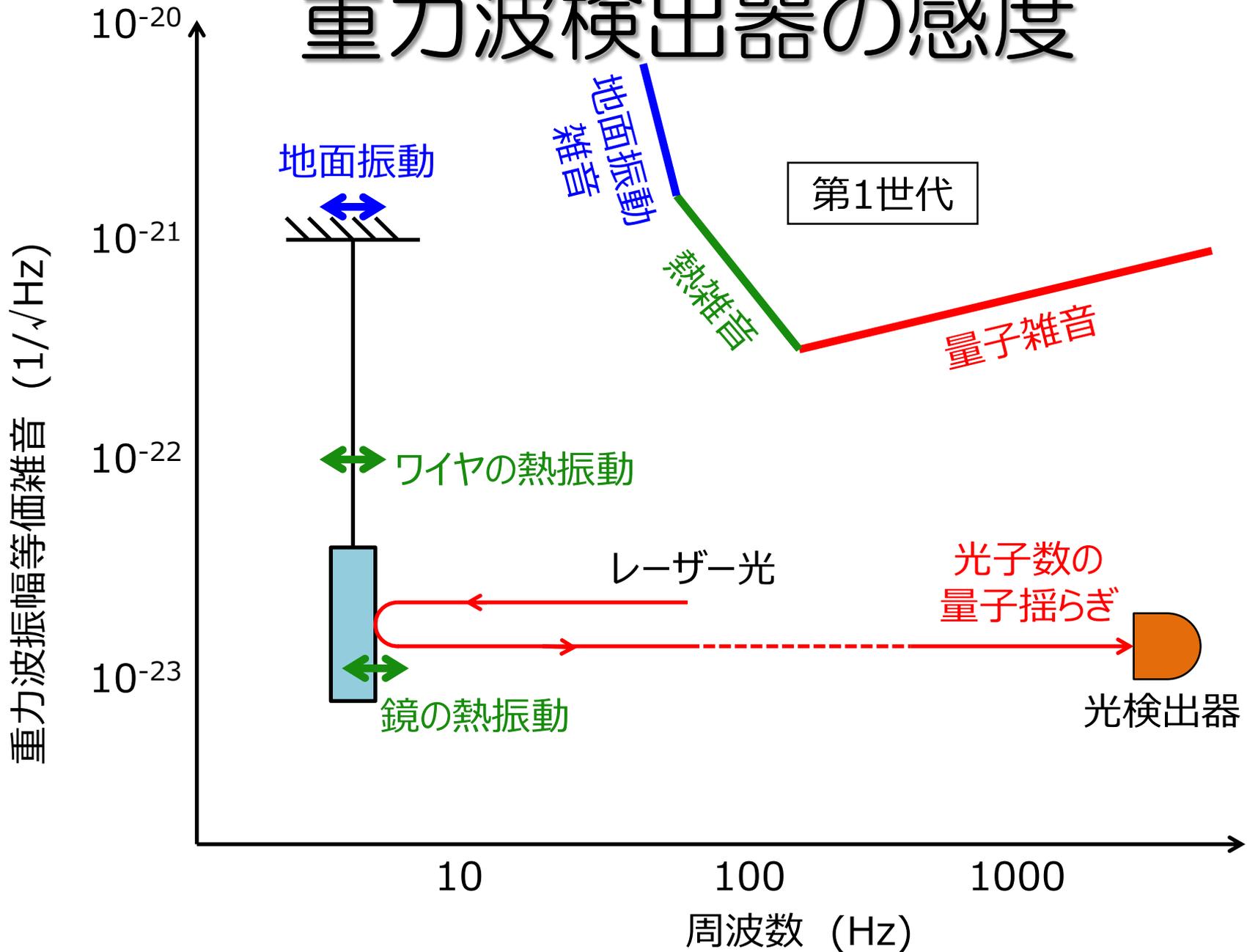
aLIGO 4km



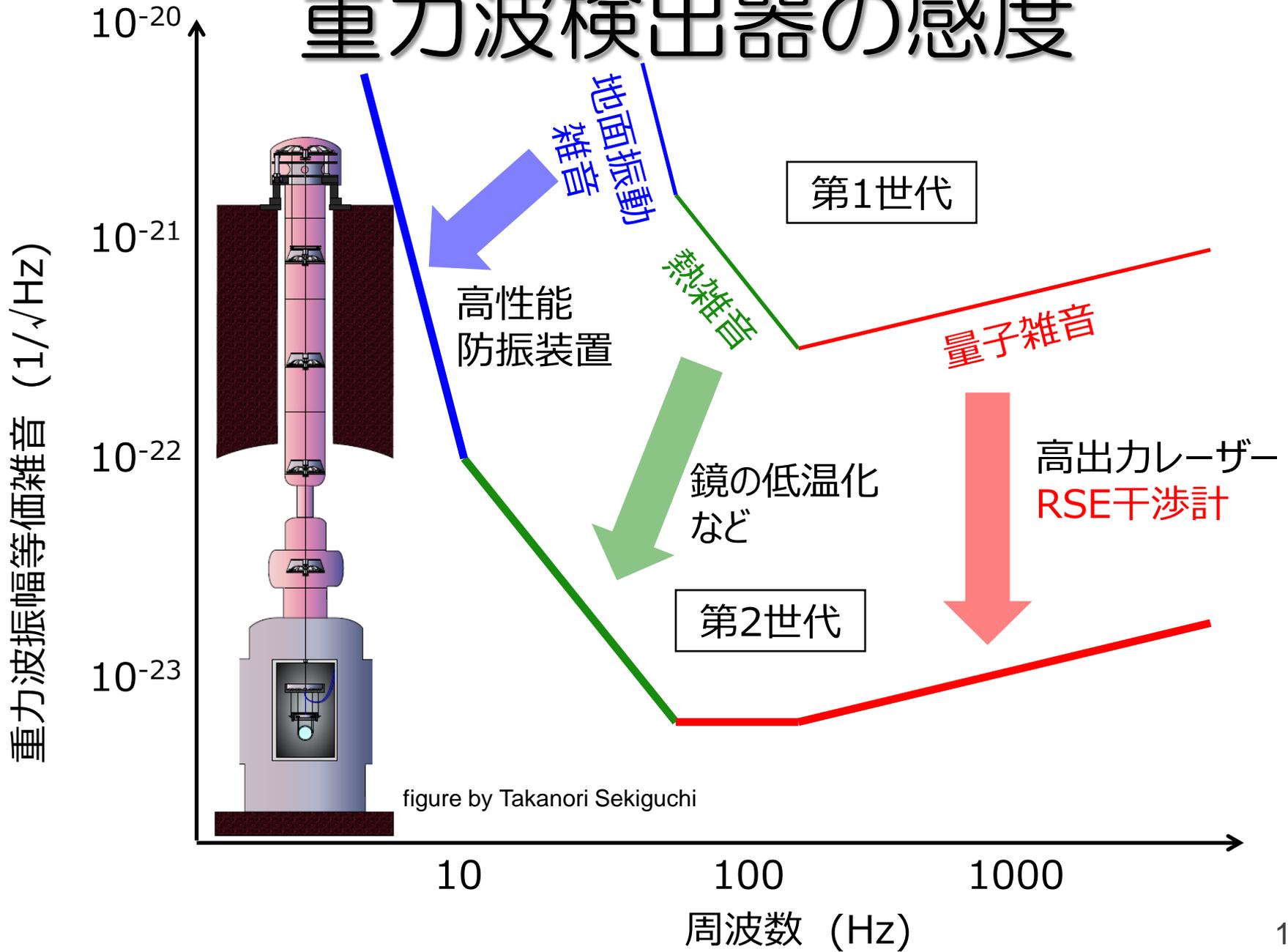
InDIGO



重力波検出器の感度

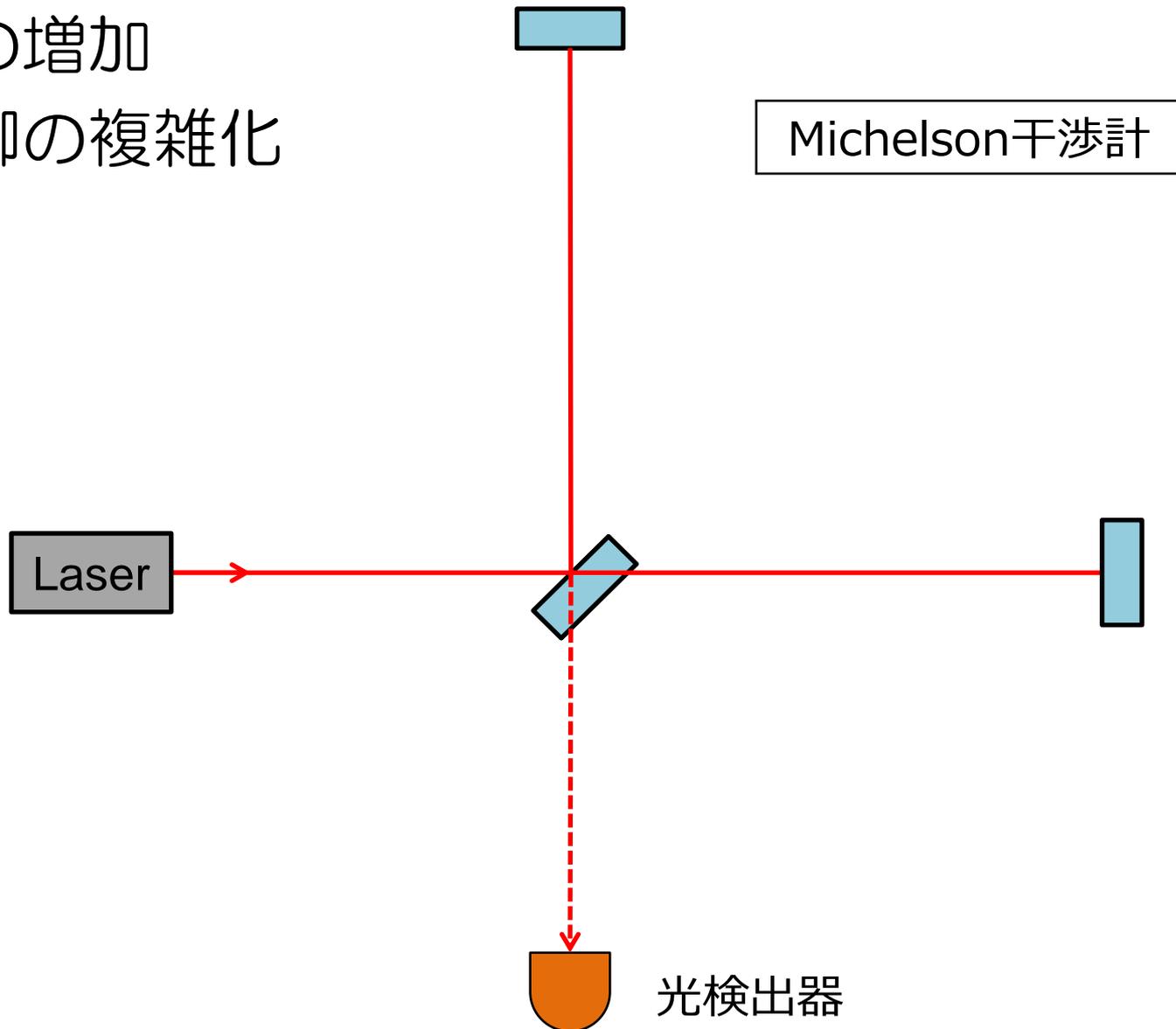


重力波検出器の感度



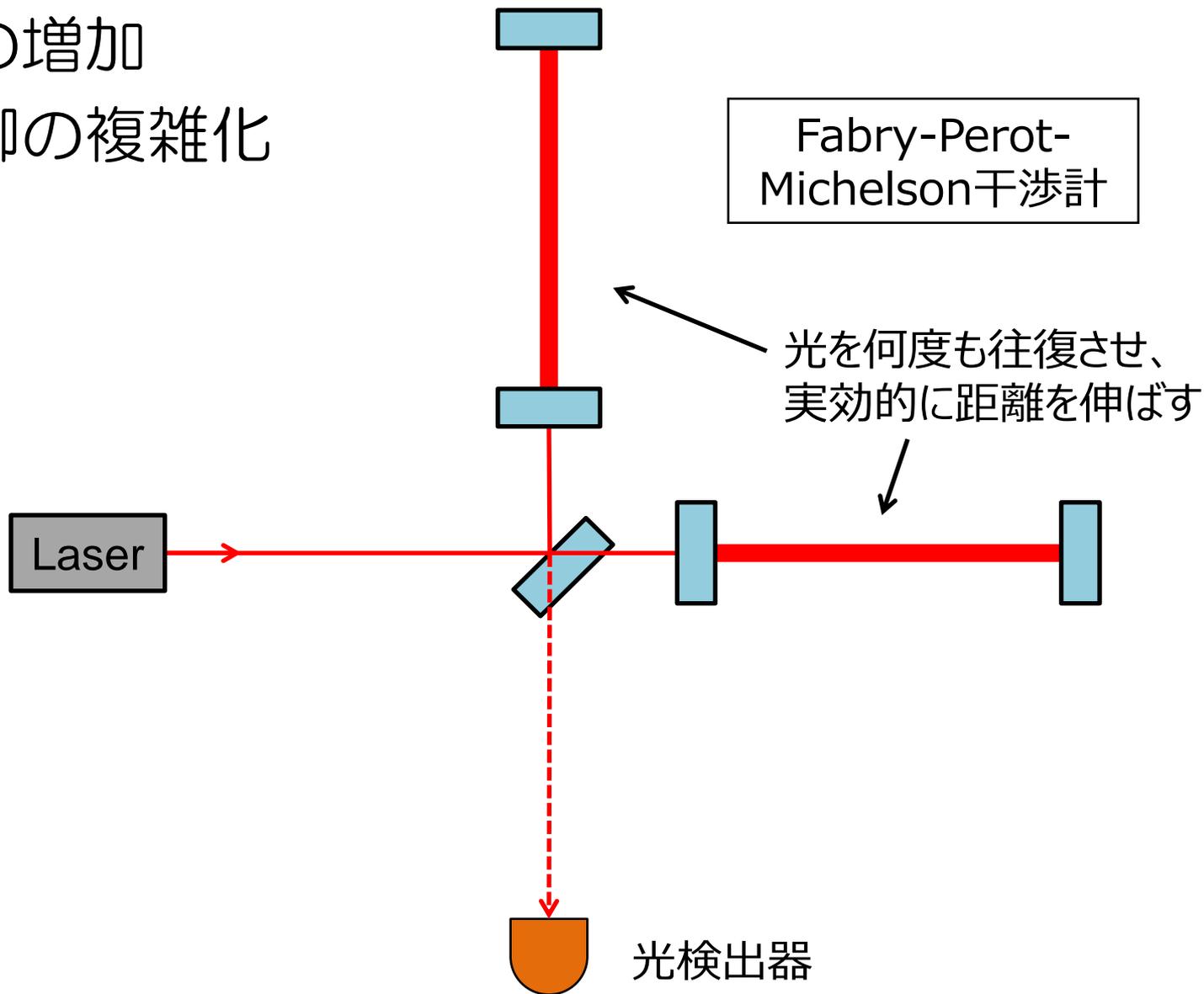
RSE干渉計

- 鏡の増加
- 制御の複雑化



RSE干渉計

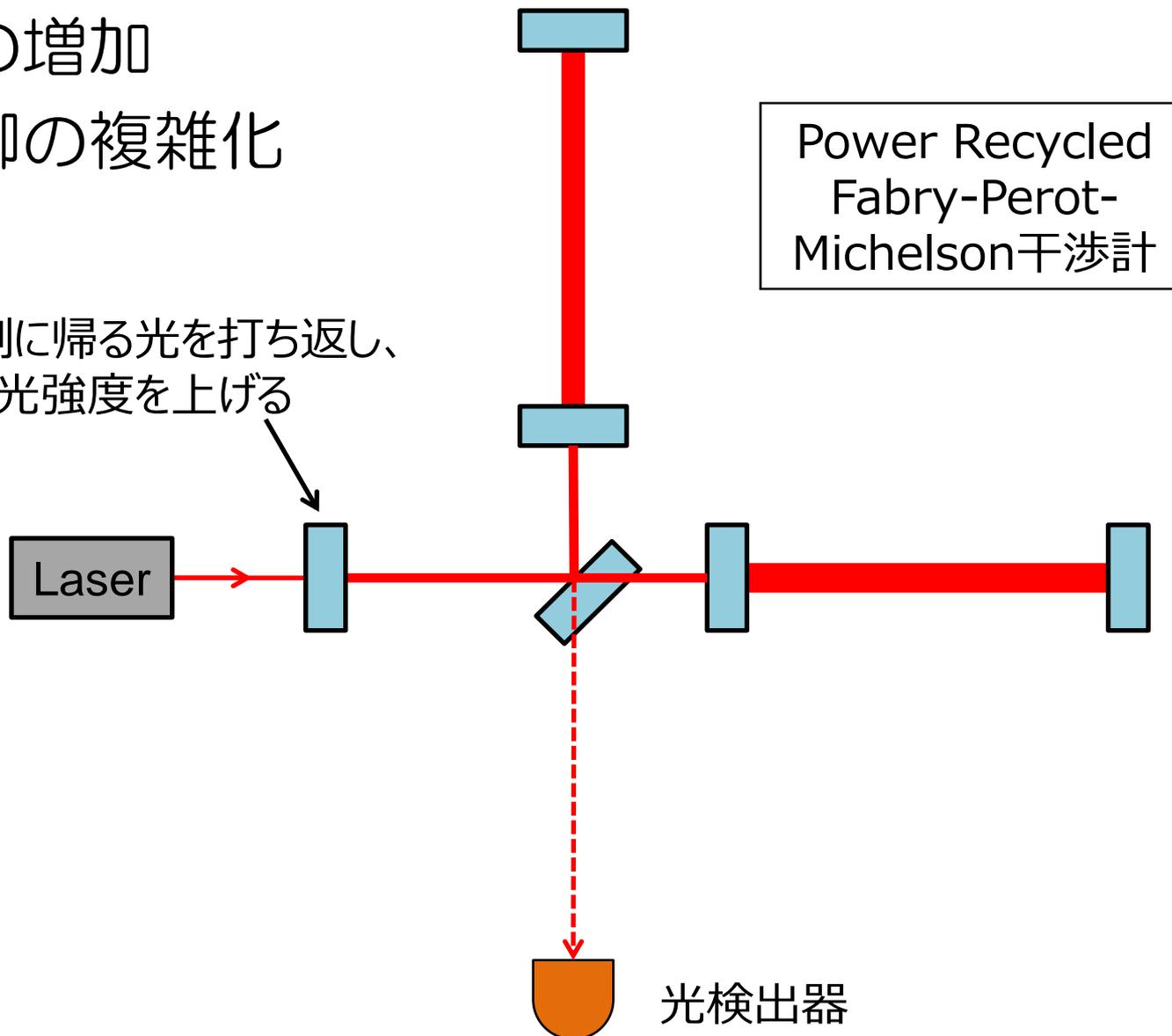
- 鏡の増加
- 制御の複雑化



RSE干渉計

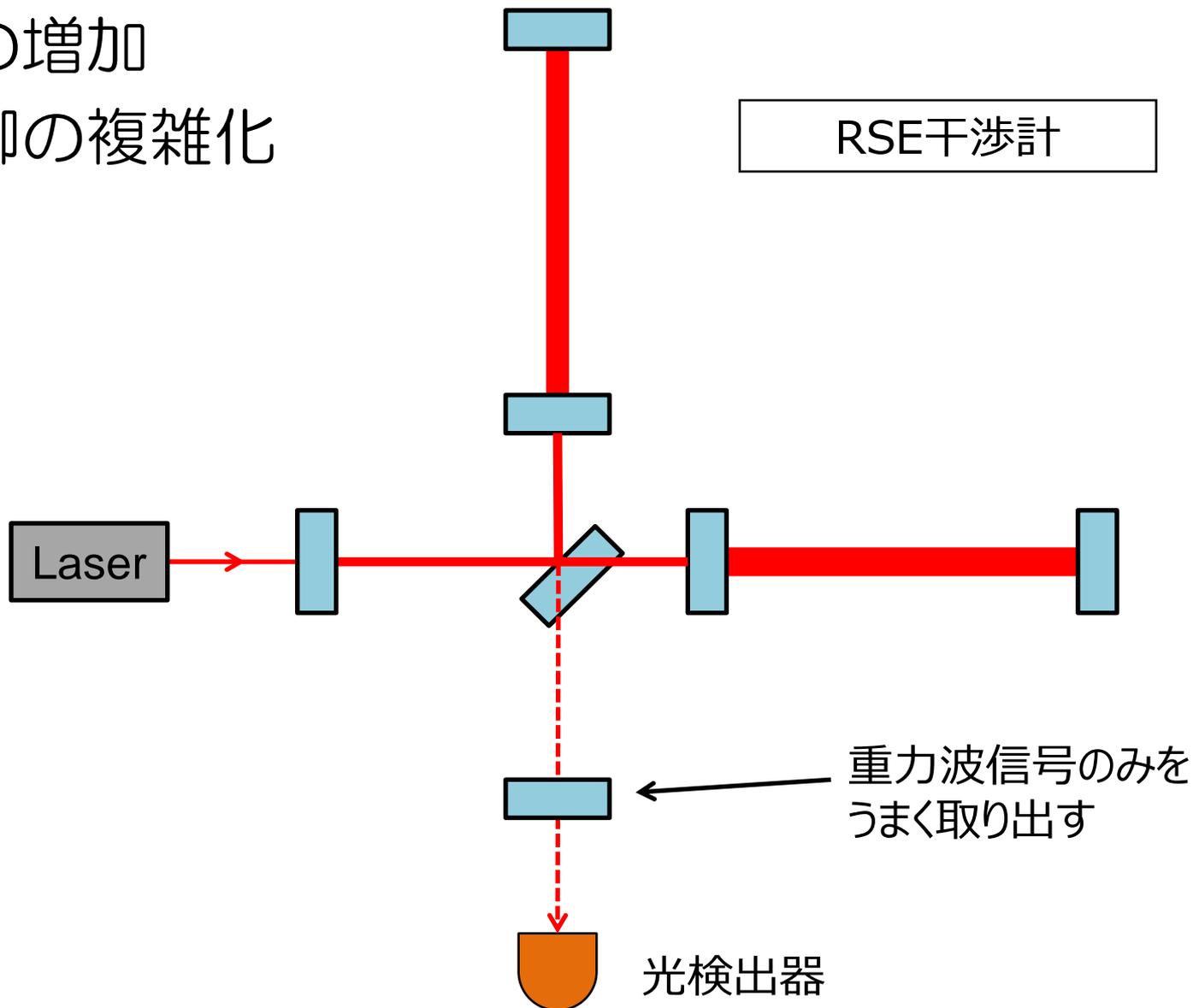
- 鏡の増加
- 制御の複雑化

レーザー側に帰る光を打ち返し、
実効的に光強度を上げる



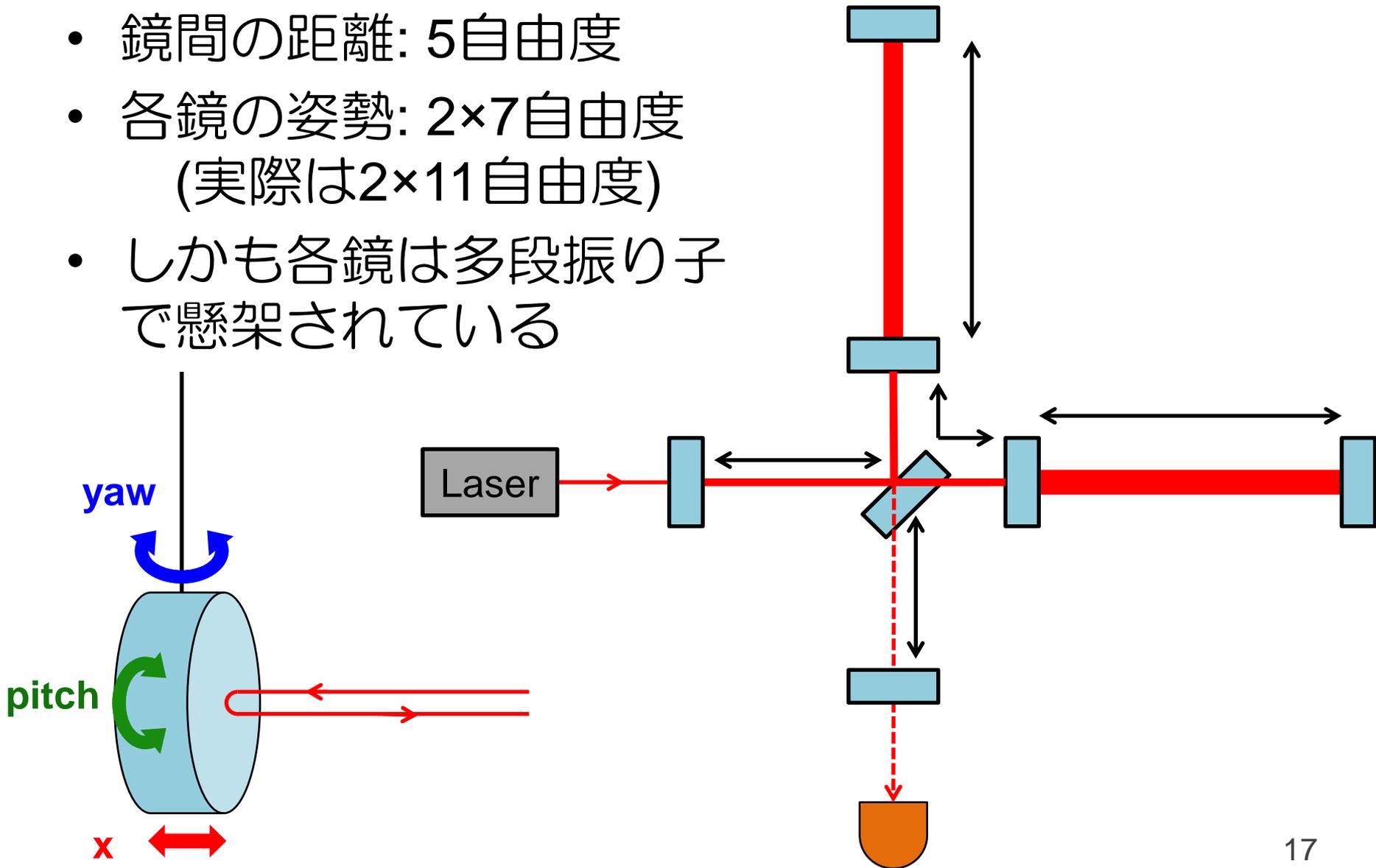
RSE干渉計

- 鏡の増加
- 制御の複雑化



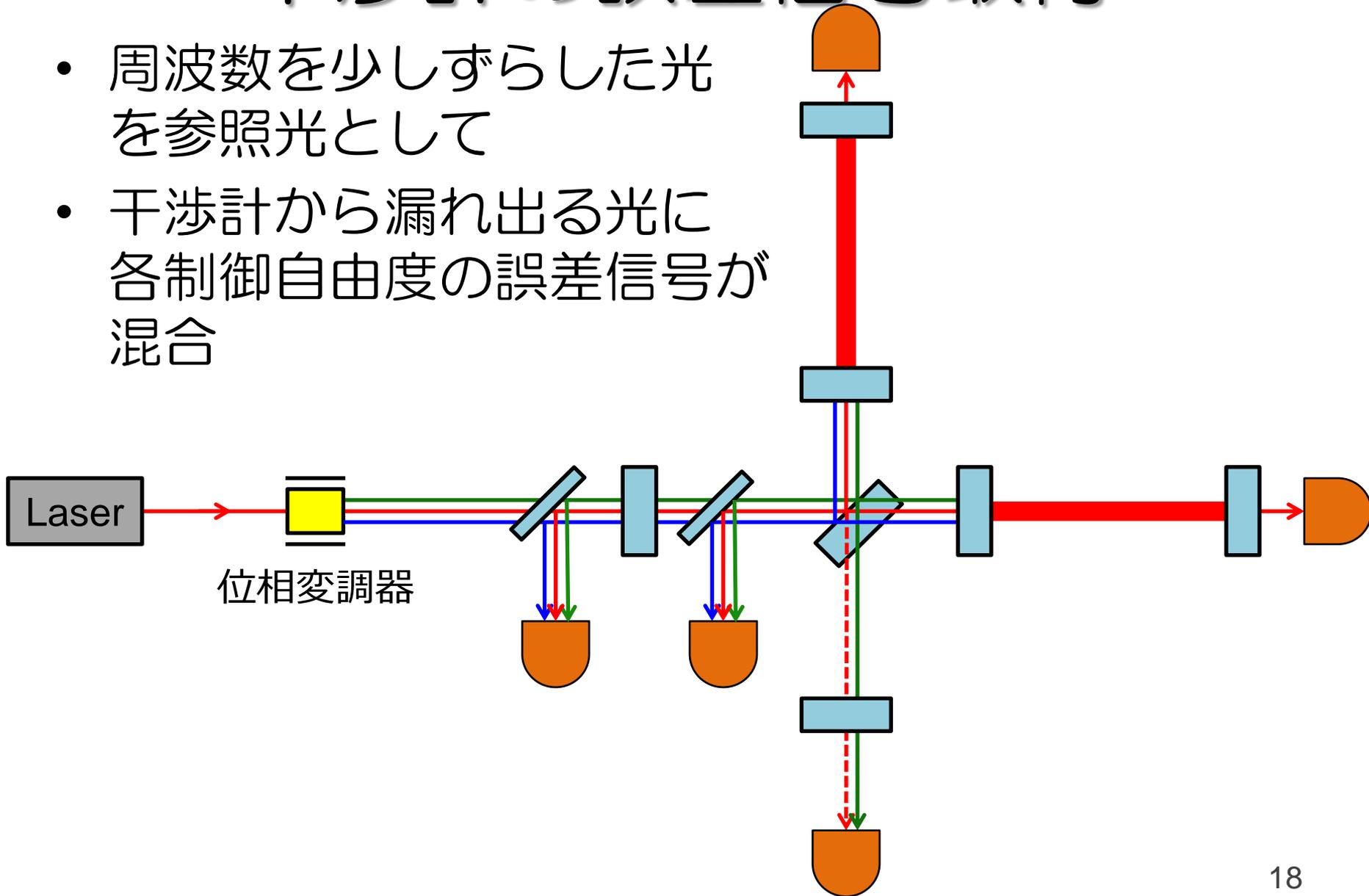
RSE干渉計の制御自由度

- 鏡間の距離: 5自由度
- 各鏡の姿勢: 2×7 自由度
(実際は 2×11 自由度)
- しかも各鏡は多段振り子で懸架されている



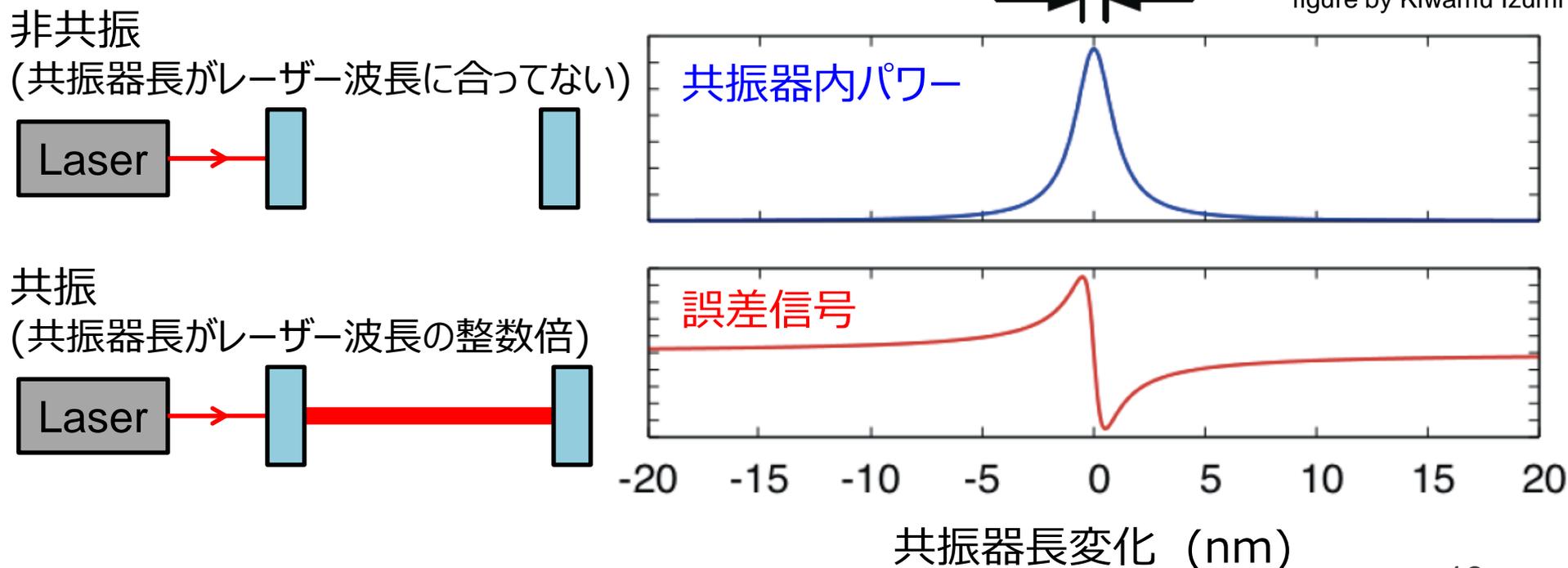
干渉計の誤差信号取得

- 周波数を少しずらした光を参照光として
- 干渉計から漏れ出る光に各制御自由度の誤差信号が混合



誤差信号の線形レンジ

- $\sim 1 \text{ nm}$ と非常に狭い (cf. 地面振動は $\sim 1 \text{ }\mu\text{m}$)
- 各鏡の位置が運良く線形レンジに入らないと制御できない
→ 非常に低確率

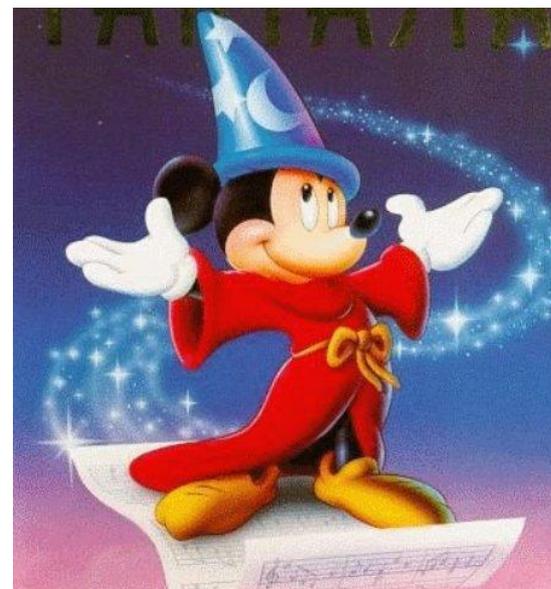
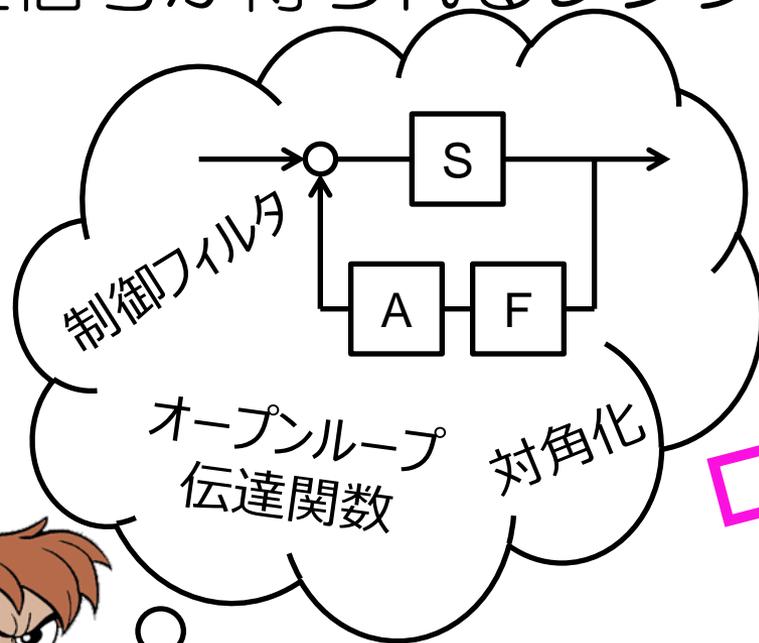


干渉計制御の困難性まとめ

- 制御自由度が多い
- 誤差信号の混合が大きく、対角化が困難
- 誤差信号が得られるレンジが狭い

干渉計制御の困難性まとめ

- 制御自由度が多い
- 誤差信号の混合が大きく、対角化が困難
- 誤差信号が得られるレンジが狭い

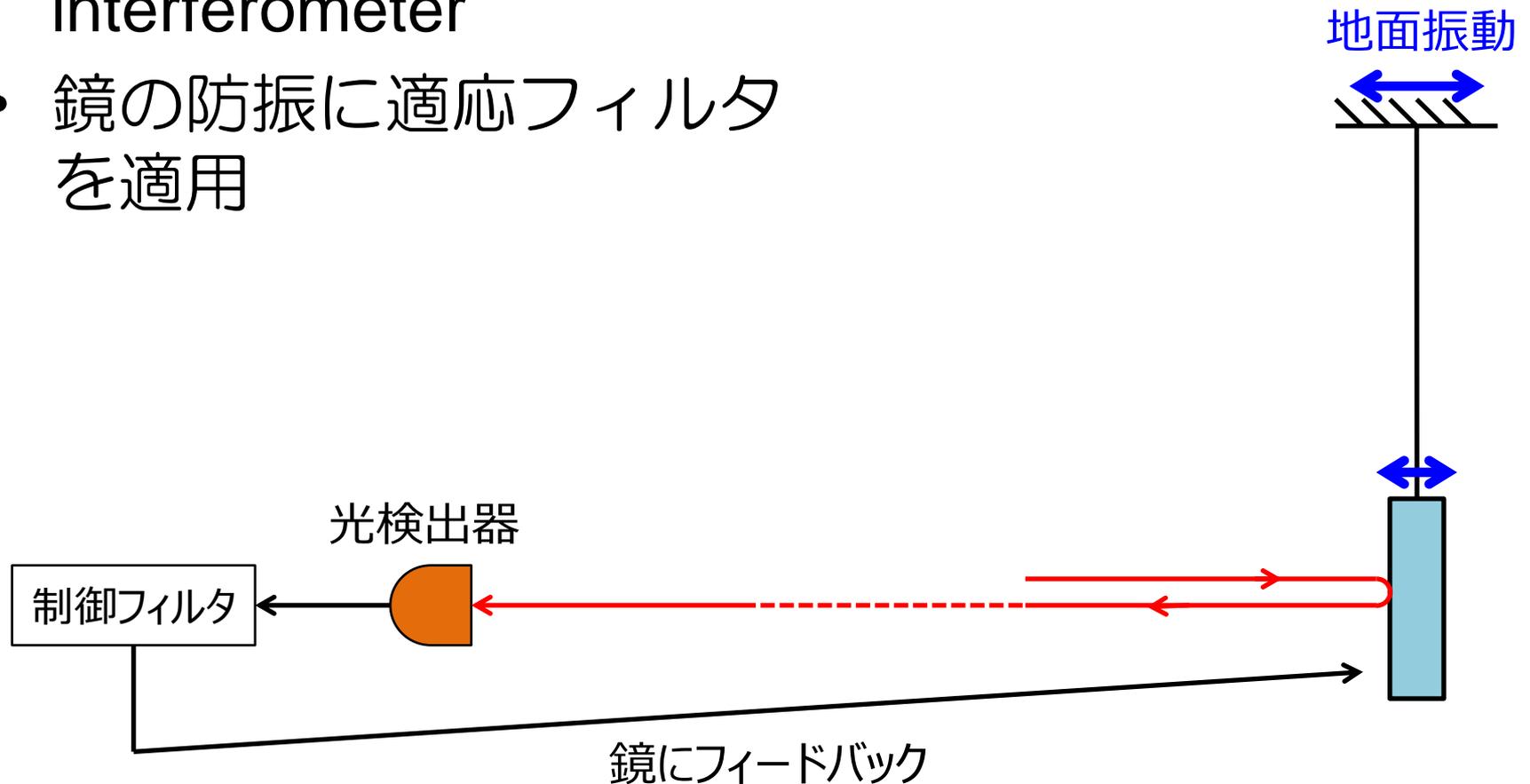


現代制御理論

古典制御理論

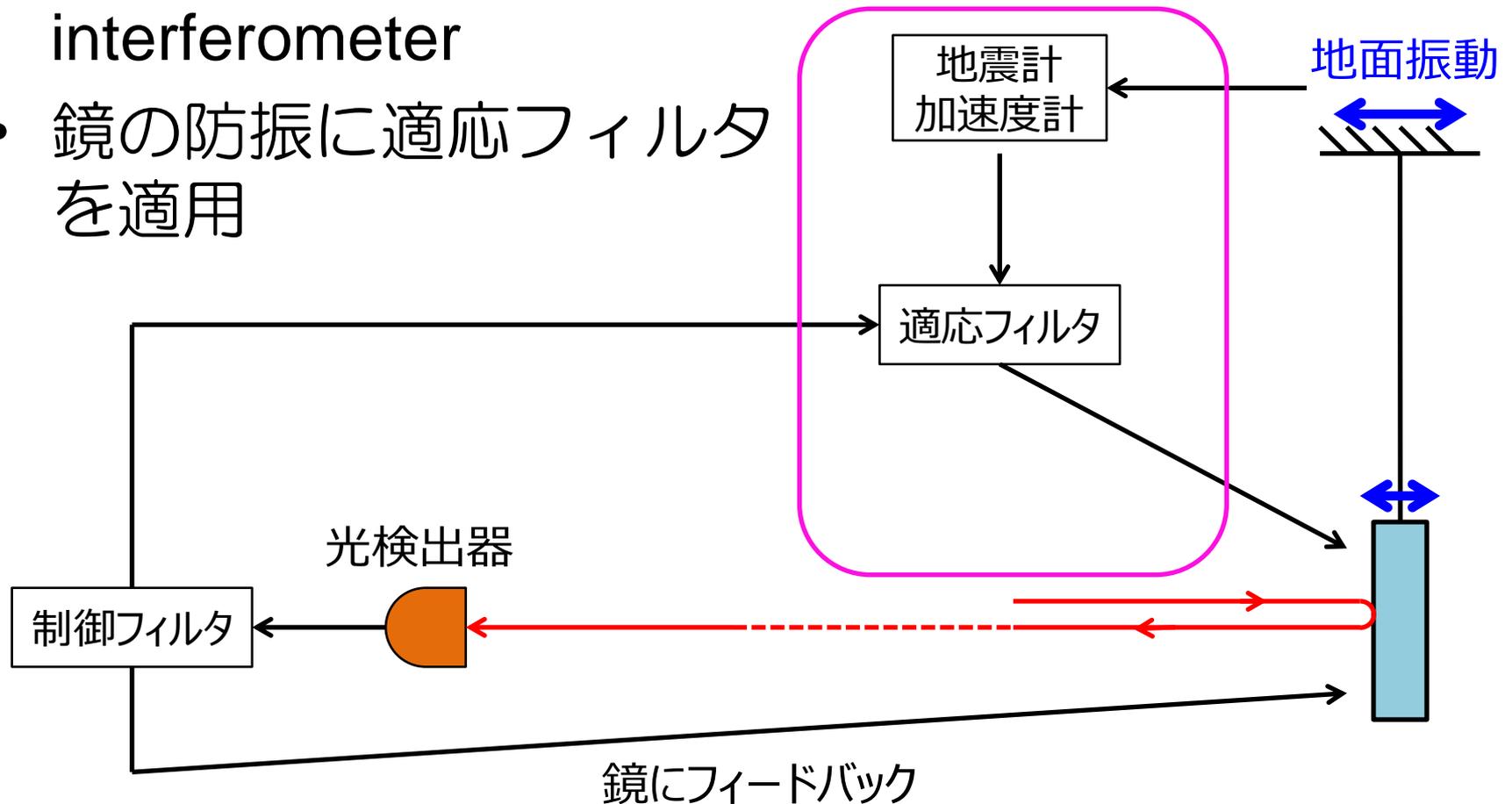
重力波分野での適用例

- J. C. Driggers+: Rev. Sci. Instrum **83**, 024501 (2012)
Active noise cancellation in a suspended interferometer
- 鏡の防振に適応フィルタを適用



重力波分野での適用例

- J. C. Driggers+: Rev. Sci. Instrum **83**, 024501 (2012)
Active noise cancellation in a suspended interferometer
- 鏡の防振に適応フィルタを適用



お話したいこと

- 干渉計制御の問題を現代的な制御理論は解決できるのか？ そもそもお門違いなのか？
- 干渉計制御以外にも応用できる場所はないか？
- 他の物理実験に应用されている例はないか？
(加速器実験など)
- 11月16日(金)の重力波研究交流会