

時間領域における単一光子の波動関数の直接測定

岡崎巧実*1 小川和久*1 富田章久*1 小林弘和*2 中西俊博*3

*1 北海道大学大学院 情報科学研究科 *2 高知工科大学 システム工学群 *3 京都大学大学院 工学研究科



研究背景

単一光子の時間-周波数領域の自由度

大きい情報容量 & ファイバネットワークとの相性
→ 時間領域の自由度が近年の量子情報技術で注目

B. P. Williams, et al. PRL **118**, 050501 (2017).

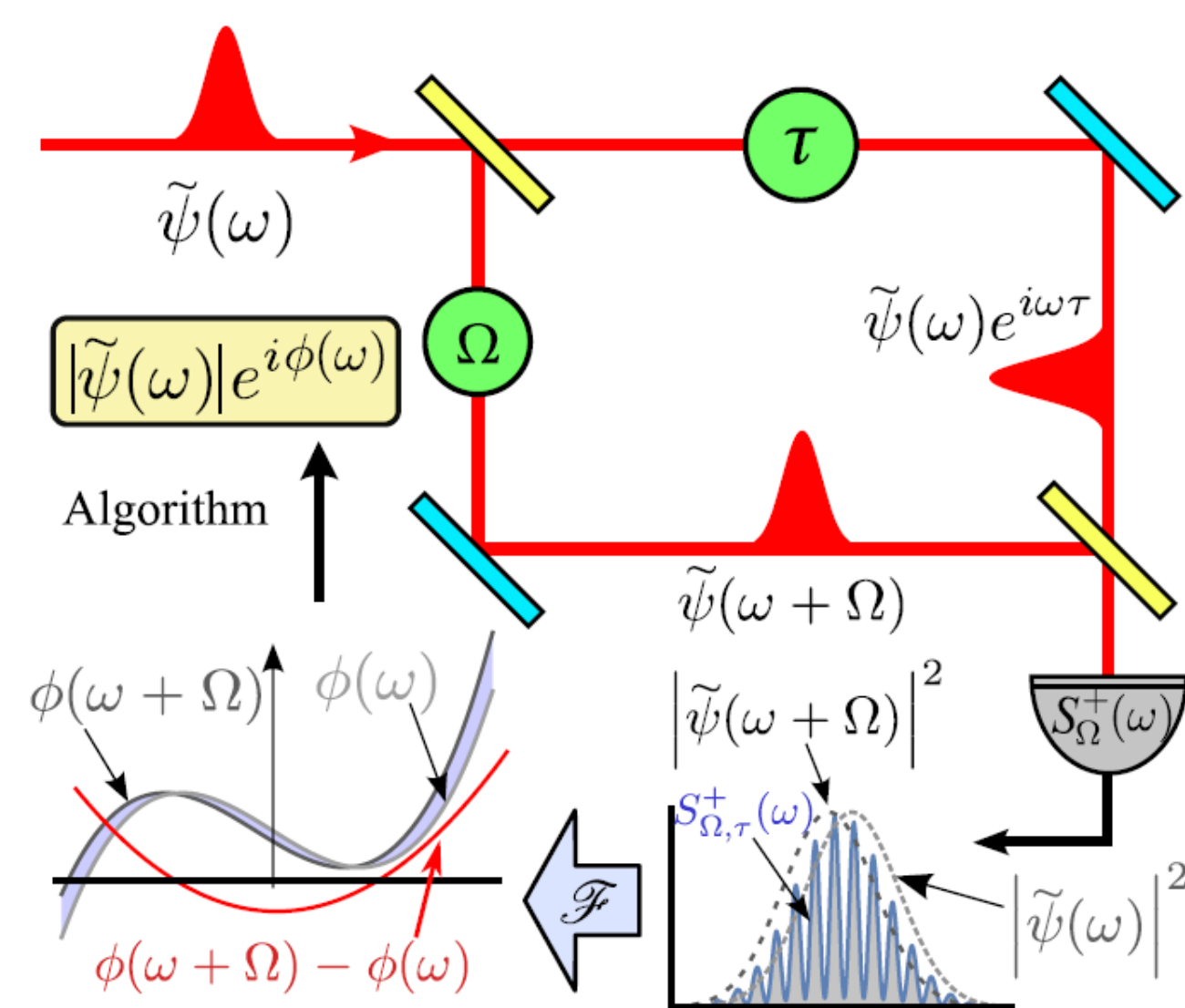


従来の測定手法

課題 { 非線形光学効果の利用
外部参照光の利用

解決 → 線形光学素子の利用
自己参照光との干渉
A. Davis et al. PRL **121**, 083602 (2018).

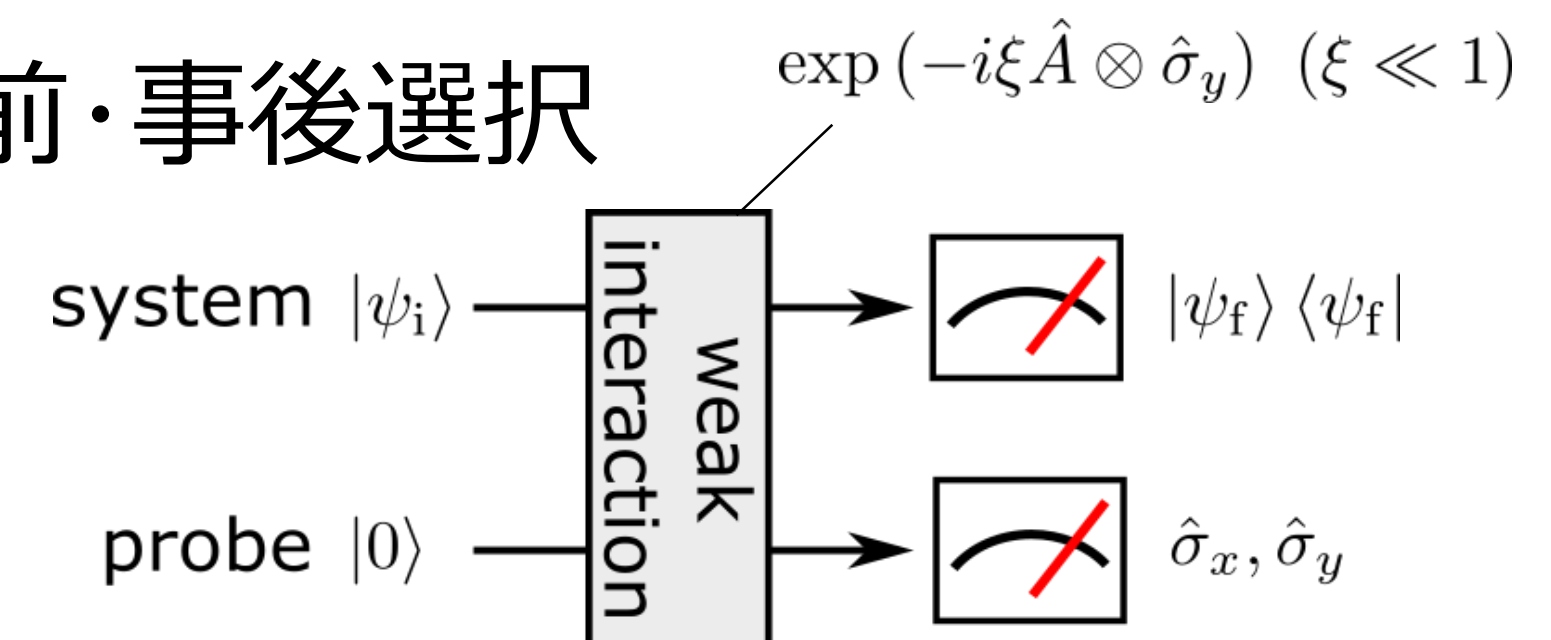
ただし... **数値計算が必要**



弱測定による波動関数の直接測定

弱測定：弱い相互作用と事前・事後選択

$$\text{弱値 } \langle \hat{A} \rangle_w := \frac{\langle \psi_f | \hat{A} | \psi_i \rangle}{\langle \psi_f | \psi_i \rangle}$$



始状態と終状態を適切に選ぶことで波動関数に比例
例： $\hat{A} = |x\rangle\langle x|$, $|\psi_f\rangle = |p=0\rangle$ のとき $\langle \hat{A} \rangle_w \propto \psi_i(x)$

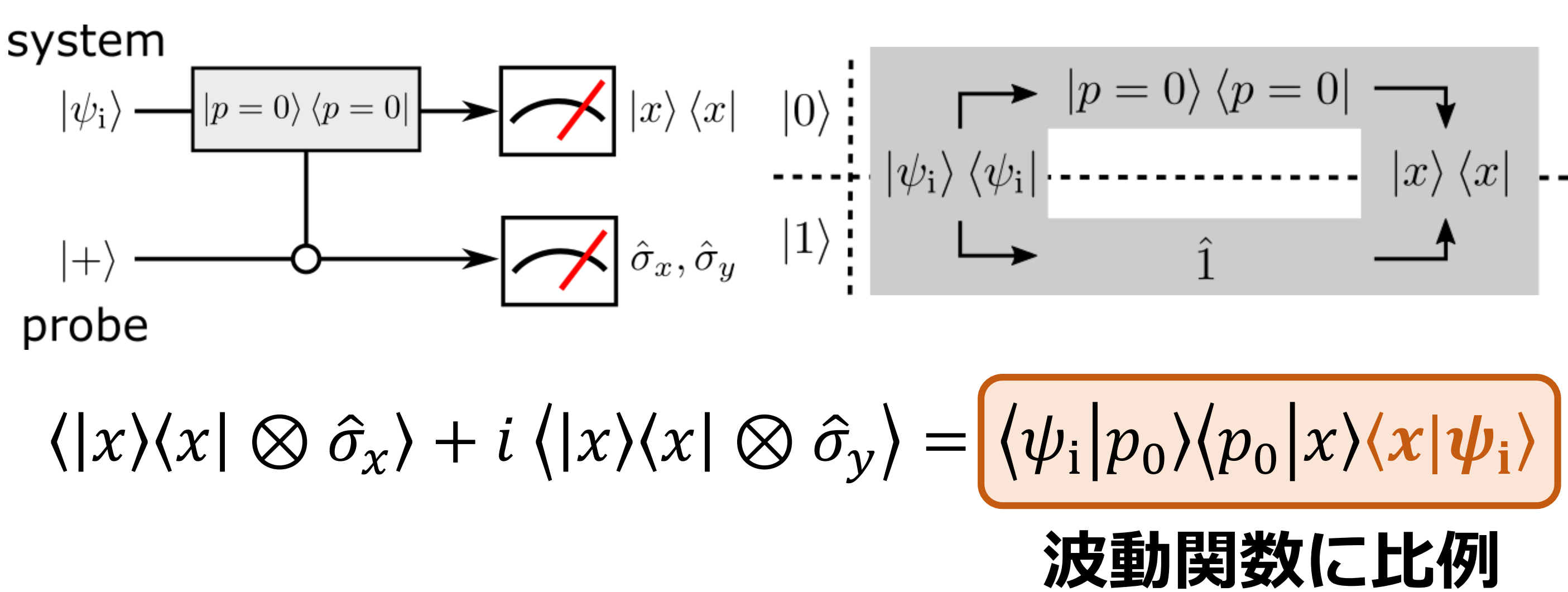
波動関数に比例した値が測定結果に直接出現

- 単一のセットアップ
 - **数値計算の必要無し**
 - **測定誤差が大きい**
- 解決 → 弱測定を用いない弱値取得法
K. Ogawa, et al. arXiv: 1809.10393.

研究目的 弱測定を用いずに、時間領域で単一光子の波動関数を直接測定

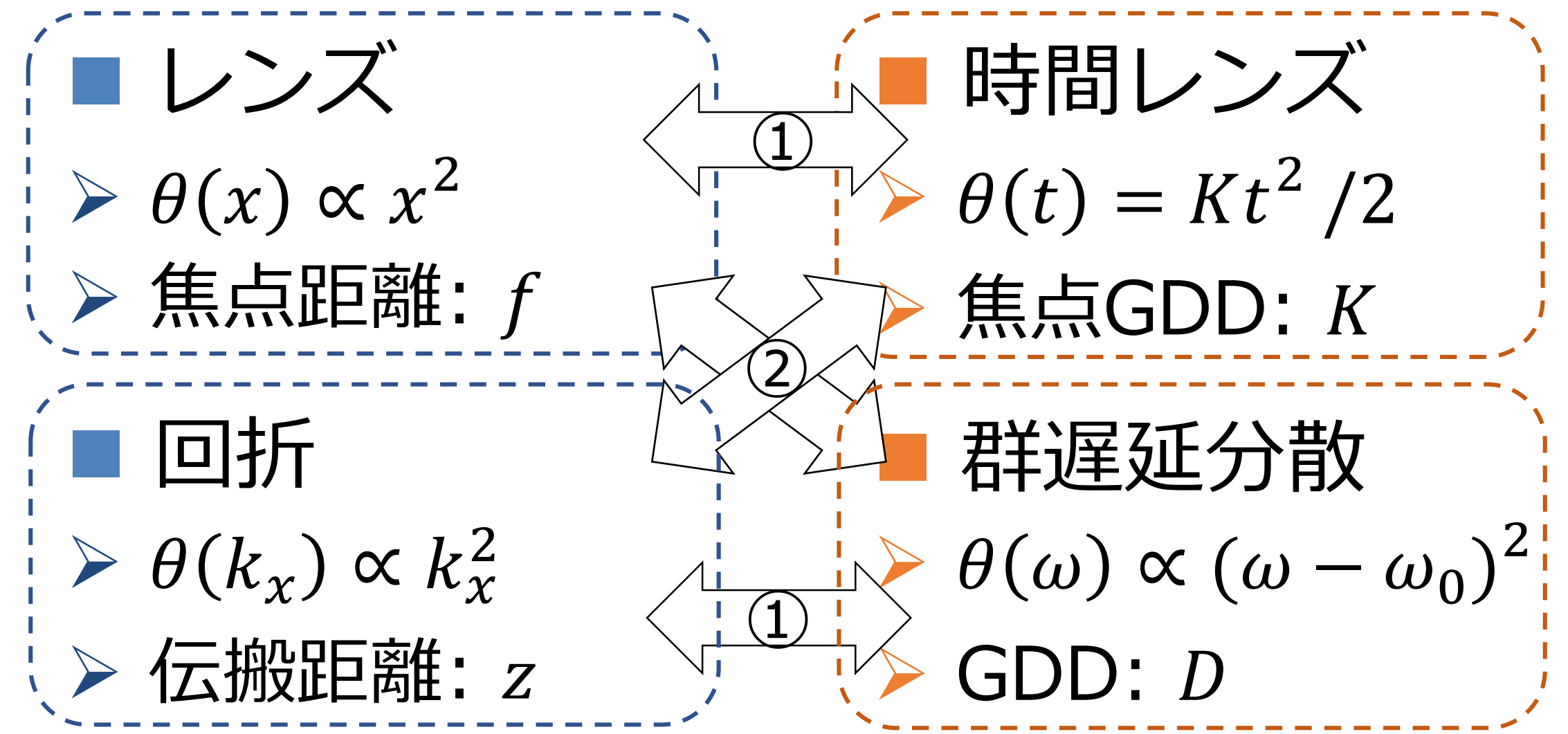
原理

弱測定を用いない波動関数の直接測定

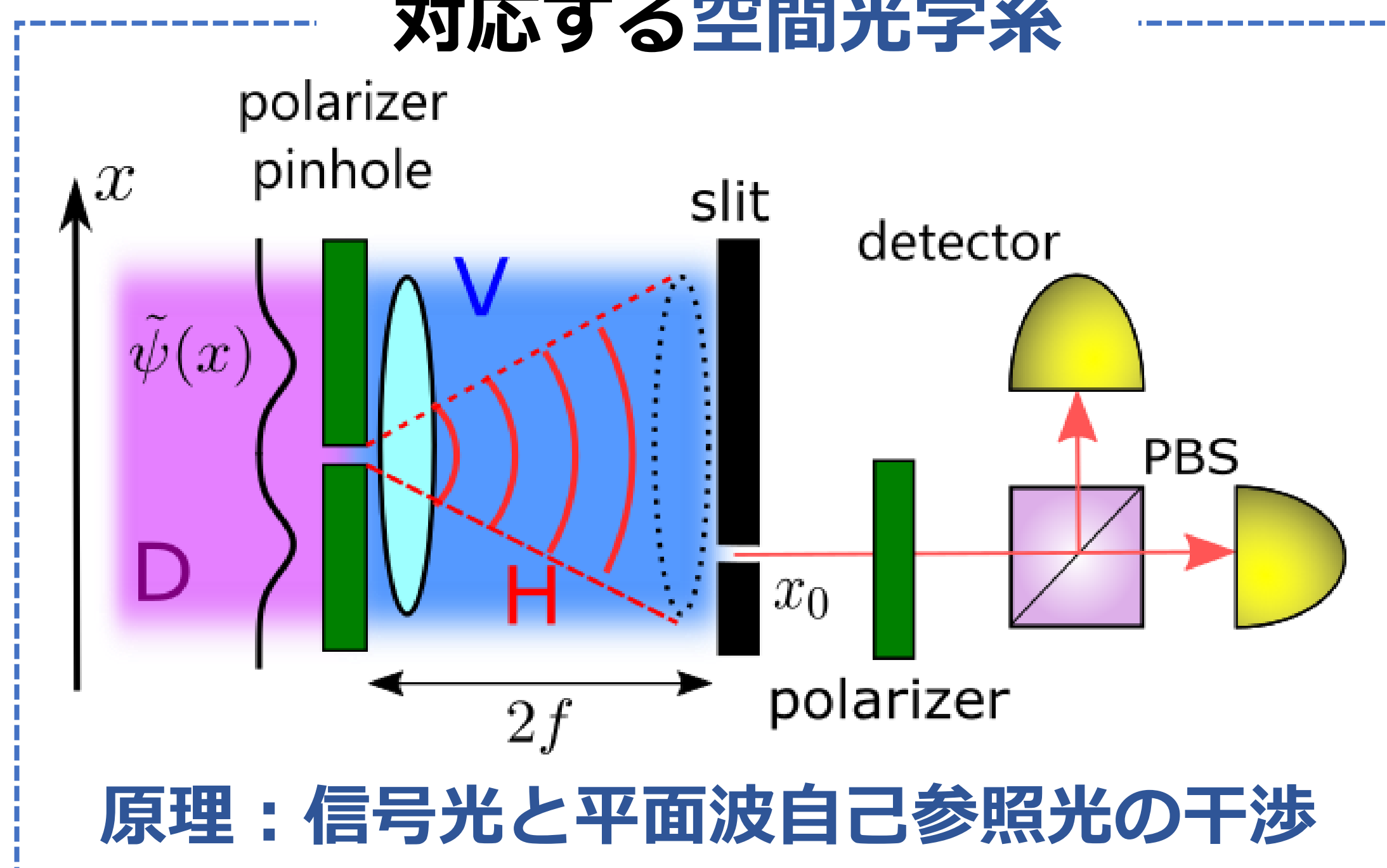


空間時間アナロジ

R. Salem, et al. Adv. Opt. Photon. **5**, 274 (2013).

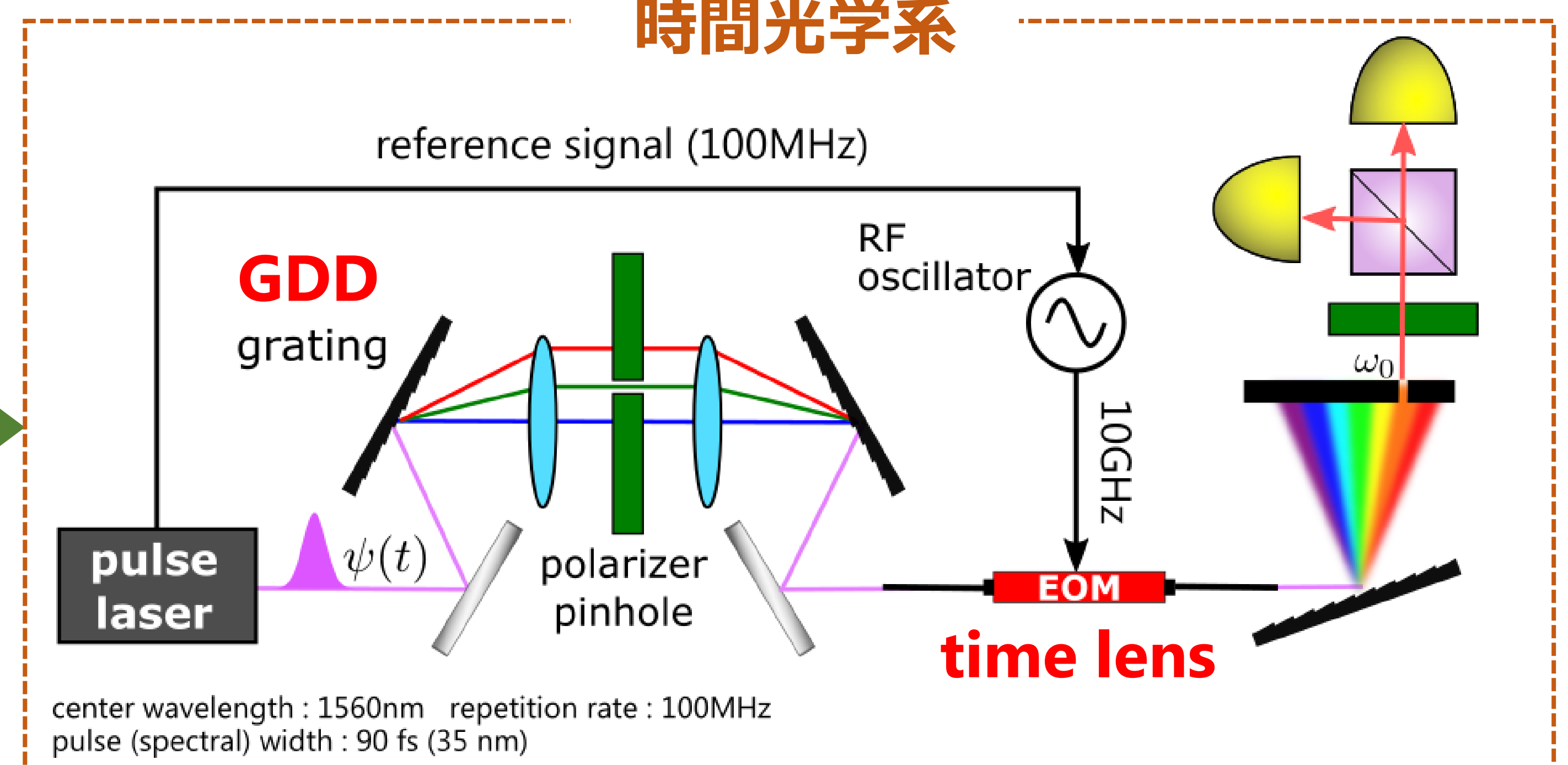


対応する空間光学系



素子の置き換え

時間光学系



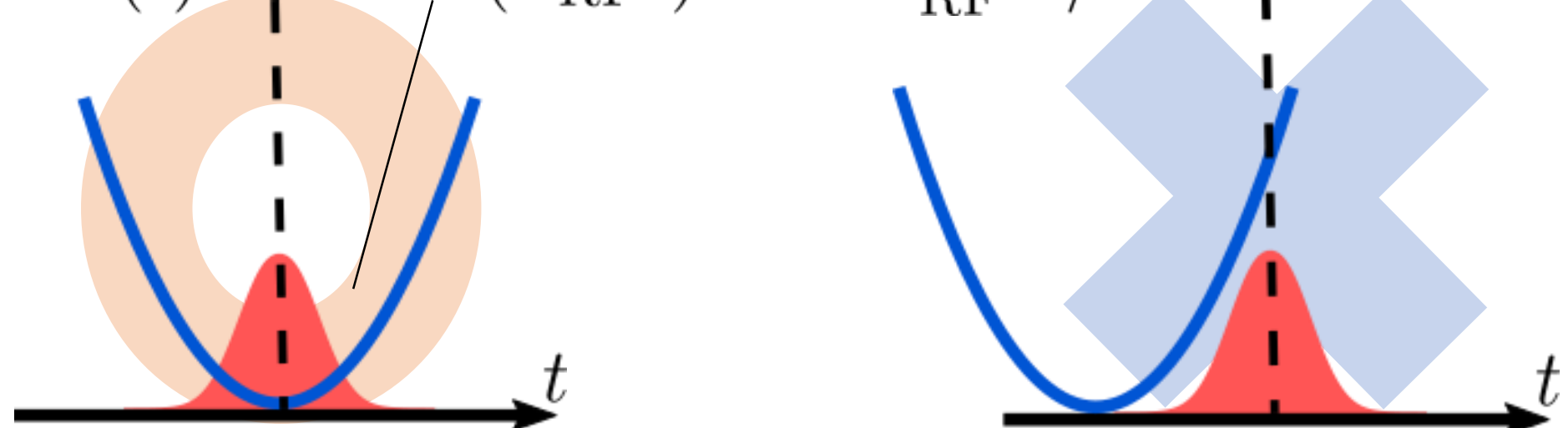
現状と今後

① 時間レンズの構築

時間レンズとしてEOMを使用

- 加えた電圧に応じて光の位相を変調
- 二次変調には交流の極値を利用
- ▷ **パルスと交流のピークを合わせる**

$$\theta(t) = A \cos(\omega_{RF}t) \rightarrow A\omega_{RF}^2 t^2 / 2$$



現状：参照信号と同期する発振器の手配

② 時間レンズの焦点GDD決定

時間レンズの焦点GDDを知らないと入れるべき分散の量が分からない

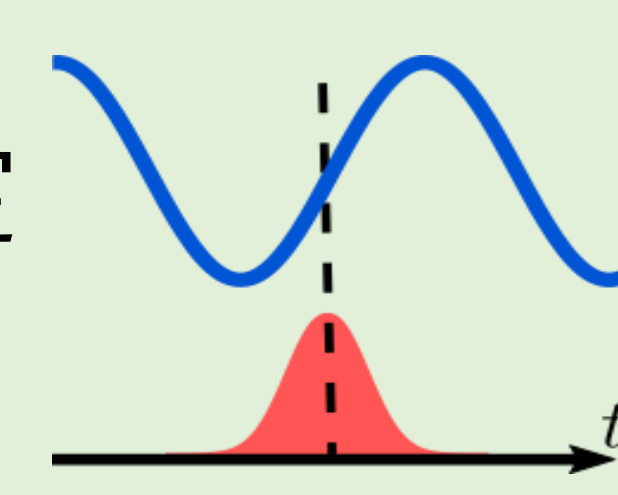
焦点GDDの決定方法：

① パルスへ時間的に一次の位相変調

$$\varphi(t) = A \sin(\omega_{RF}t) \approx A\omega_{RF}t$$

② 定数の周波数シフトを測定

$$\Delta\omega = \frac{d\varphi}{dt} = A\omega_{RF}$$



③ 測定系を構成

④ 複素振幅の測定

⑤ 単一光子の測定

複素振幅測定時の系をそのまま使用可能