

Guided lockを用いた Fabry-Perot共振器のlock acquisition

和泉究 (東大天文)

TAMA300のFabry-Perot共振器のlock acquisition改善

★動機

従来のサーボでは速さの大きい鏡を止められない。
($1.4 \mu\text{m/s}$ 以上)

=>Guided lockを用いて鏡を減速させる。

★目標

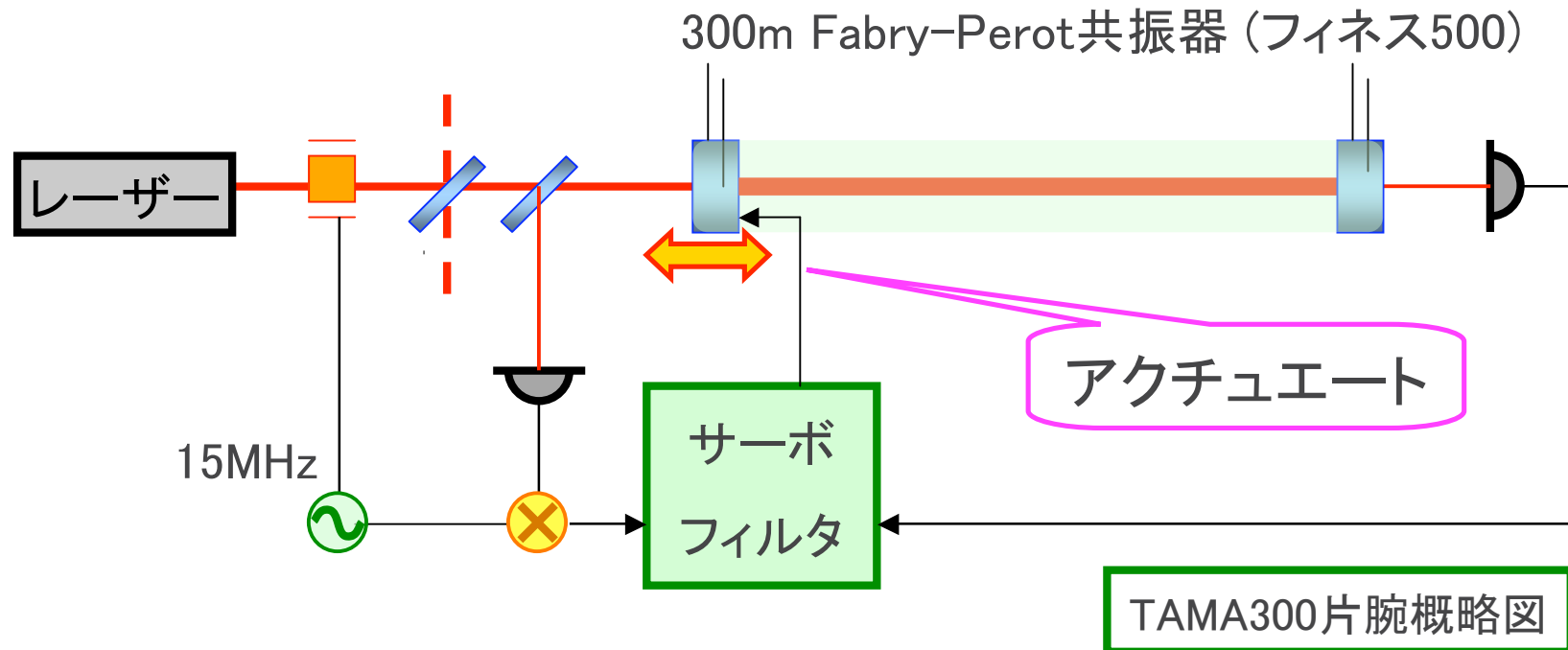
従来のサーボよりも素早いlock acquisitionの達成

Lock acquisition: 低周波($<1\text{Hz}$)で変動する鏡の
相対変位、相対速度をゼロにする。

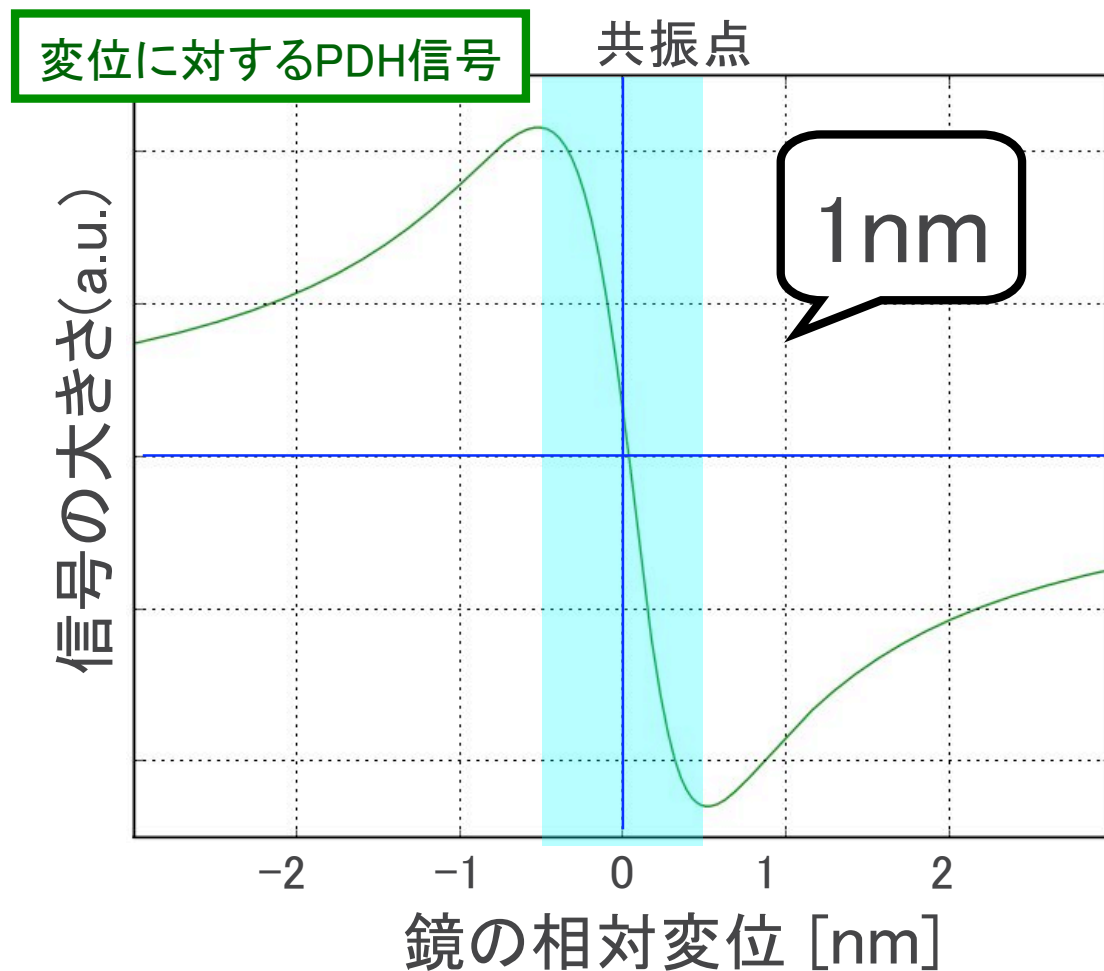
★引き込みの流れ

Pound Drever Hall法による信号取得

=>鏡をアクチュエートして共振状態に引き込む



狭い領域でしか変位情報が得られない。



☆メリット

高感度

☆デメリット

1nm程度の領域でのみ
変位情報が得られる。

これまでの問題点

限られた領域では鏡を止めることができない。

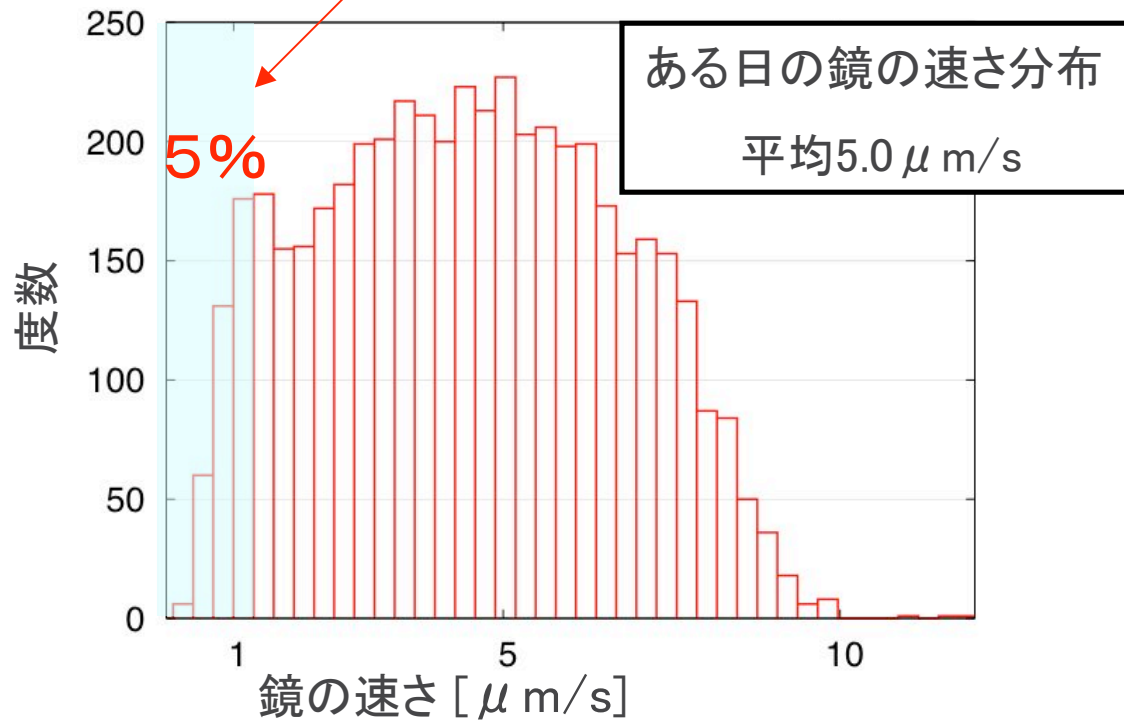
鏡の運動エネルギー

$$\frac{1}{2}mv^2 \leq FL$$

アクチュエータが与えられる最大仕事

$$v \leq 1.4[\mu\text{m/s}]$$

止めることのできる
速さの上限



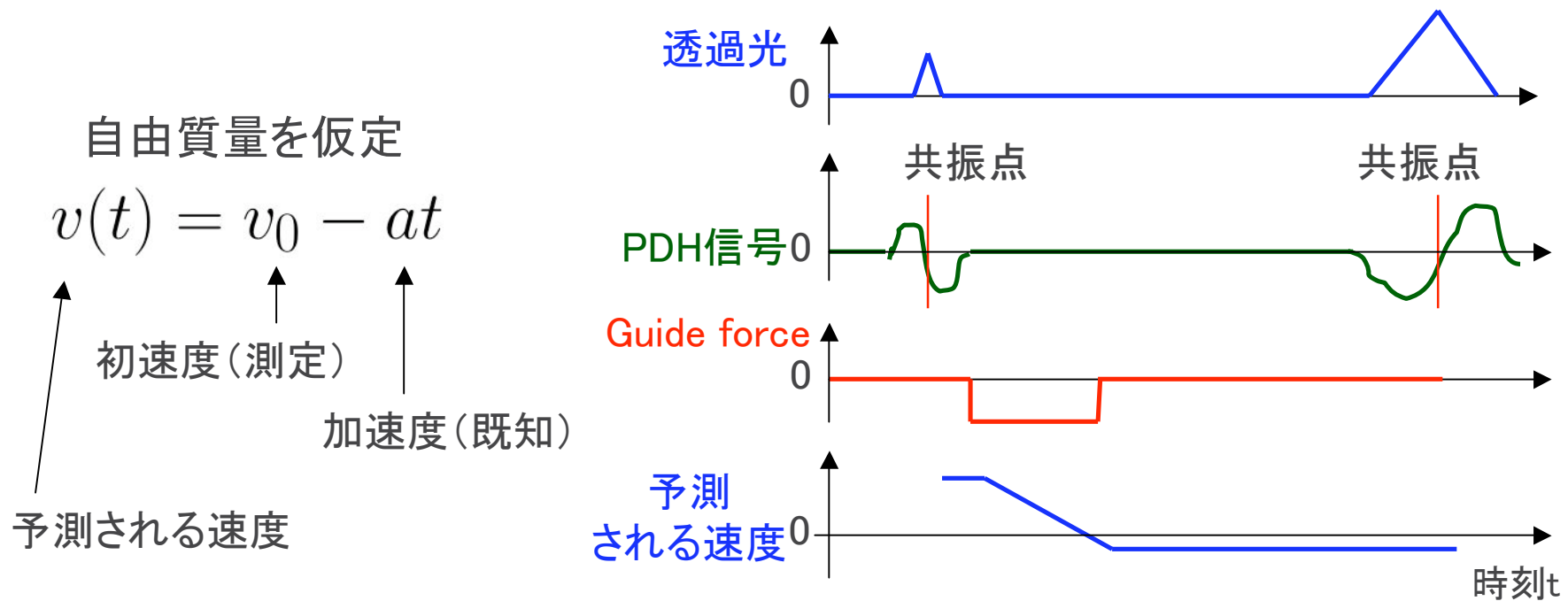
v : 鏡の速さ
 m : 鏡の質量 1[kg]
 F : アクチュエータ最大の力
 1.0×10^{-3} [N]
 L : 制御領域 1.0[nm]

Guided lockとは(1)

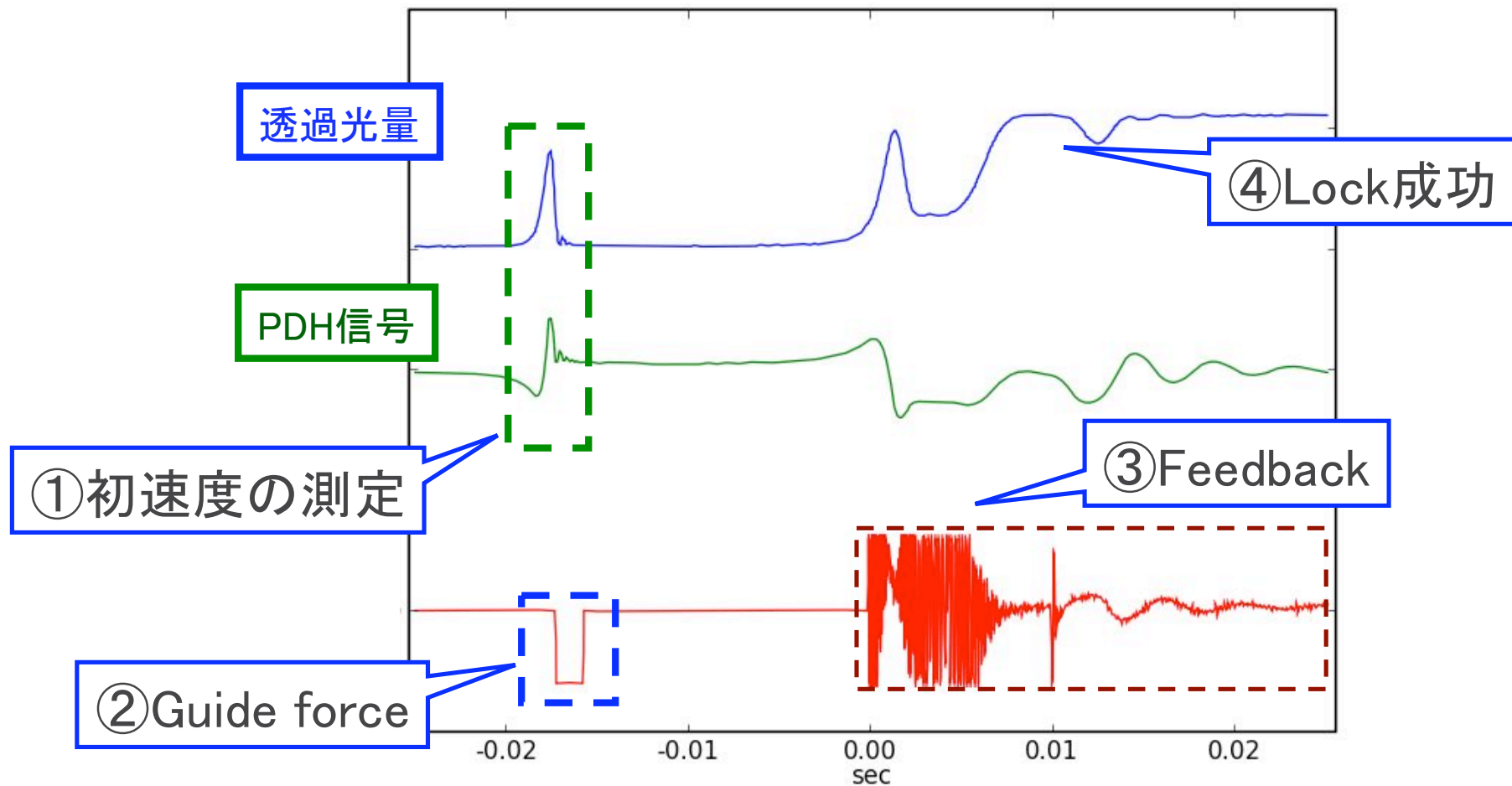
変位信号が得られない領域で鏡をアクチュエートし、減速させる制御方法 (Jordan Camp, et al, 1995)

速度と変位は与えたガイドフォースから計算

=>そのためには共振点通過時の速度(初速度)を測定する必要



ガイドフォースを与えたのち従来のfeedback制御でlockに引き込む

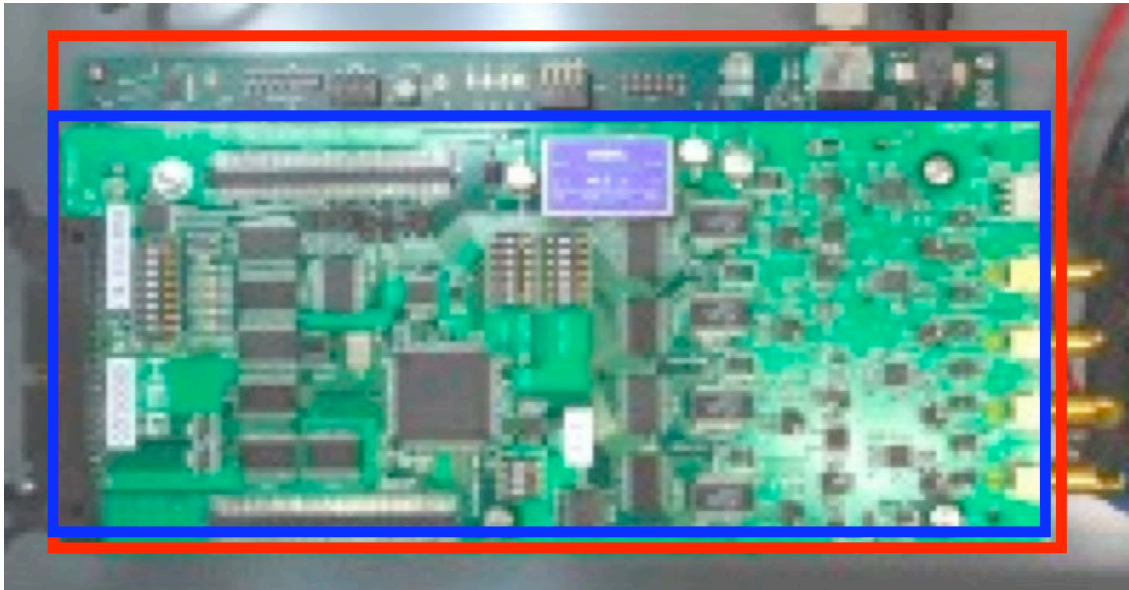


デジタルフィルタを用いてguided lockを実現。

- Guided lockに必要な作業 –
- ・数値の記憶
 - ・数値計算
 - ・条件判断

デジタル処理が有効

Digital Signal Processor(DSP) + 入出力ボード

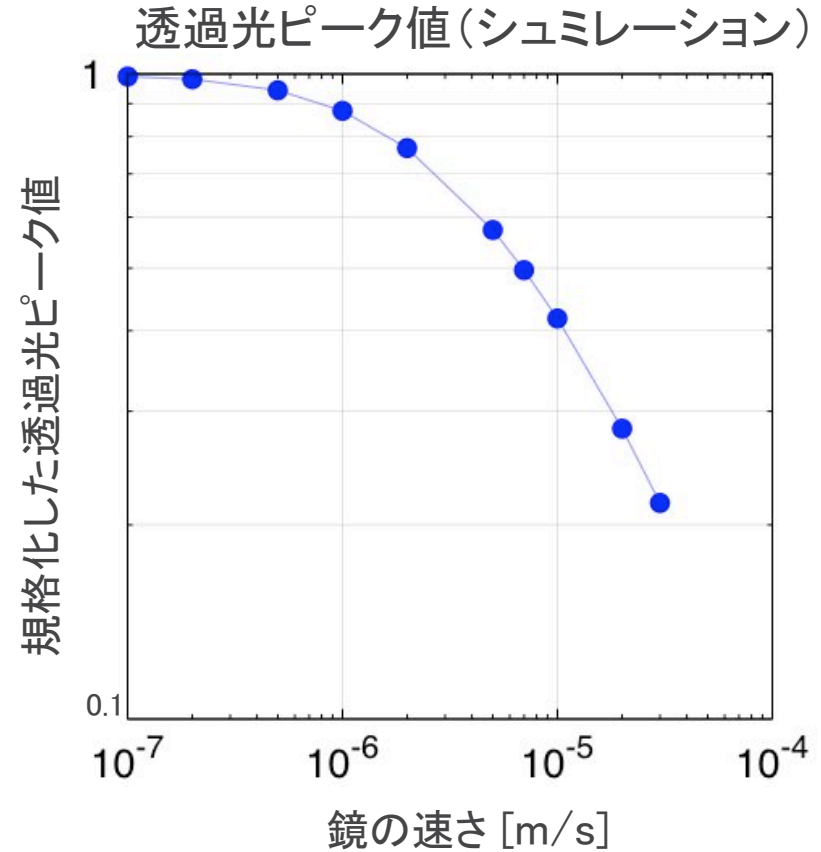
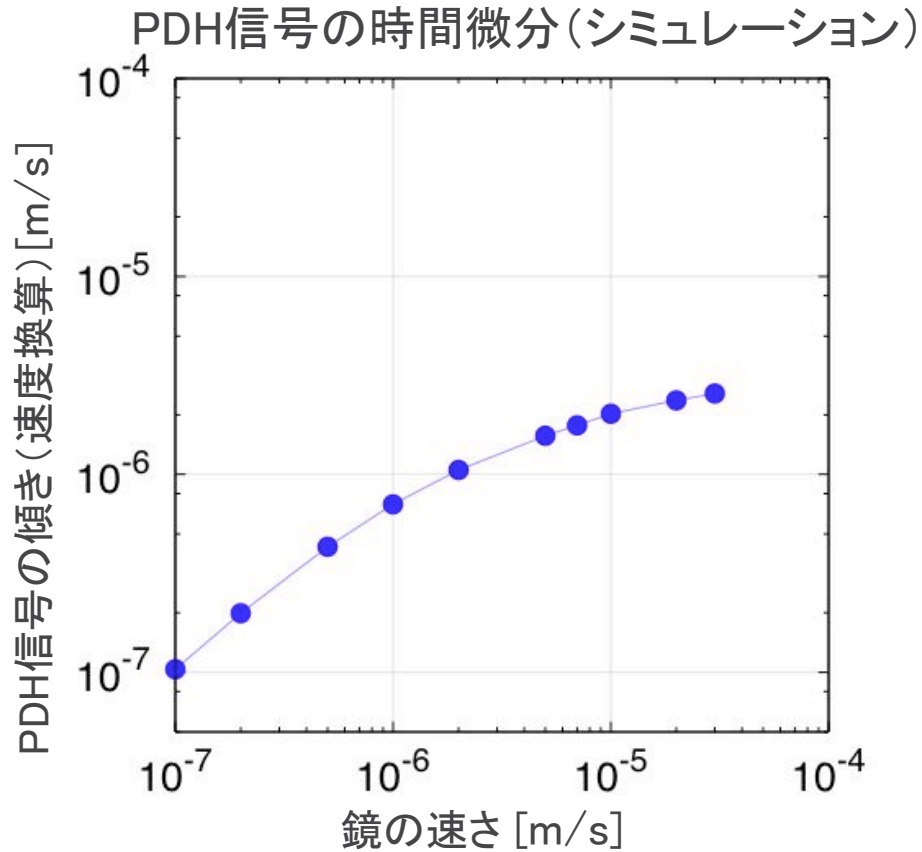


TI社 TMS320C6713 DSK
CPUクロック 225MHz
浮動小数点演算器

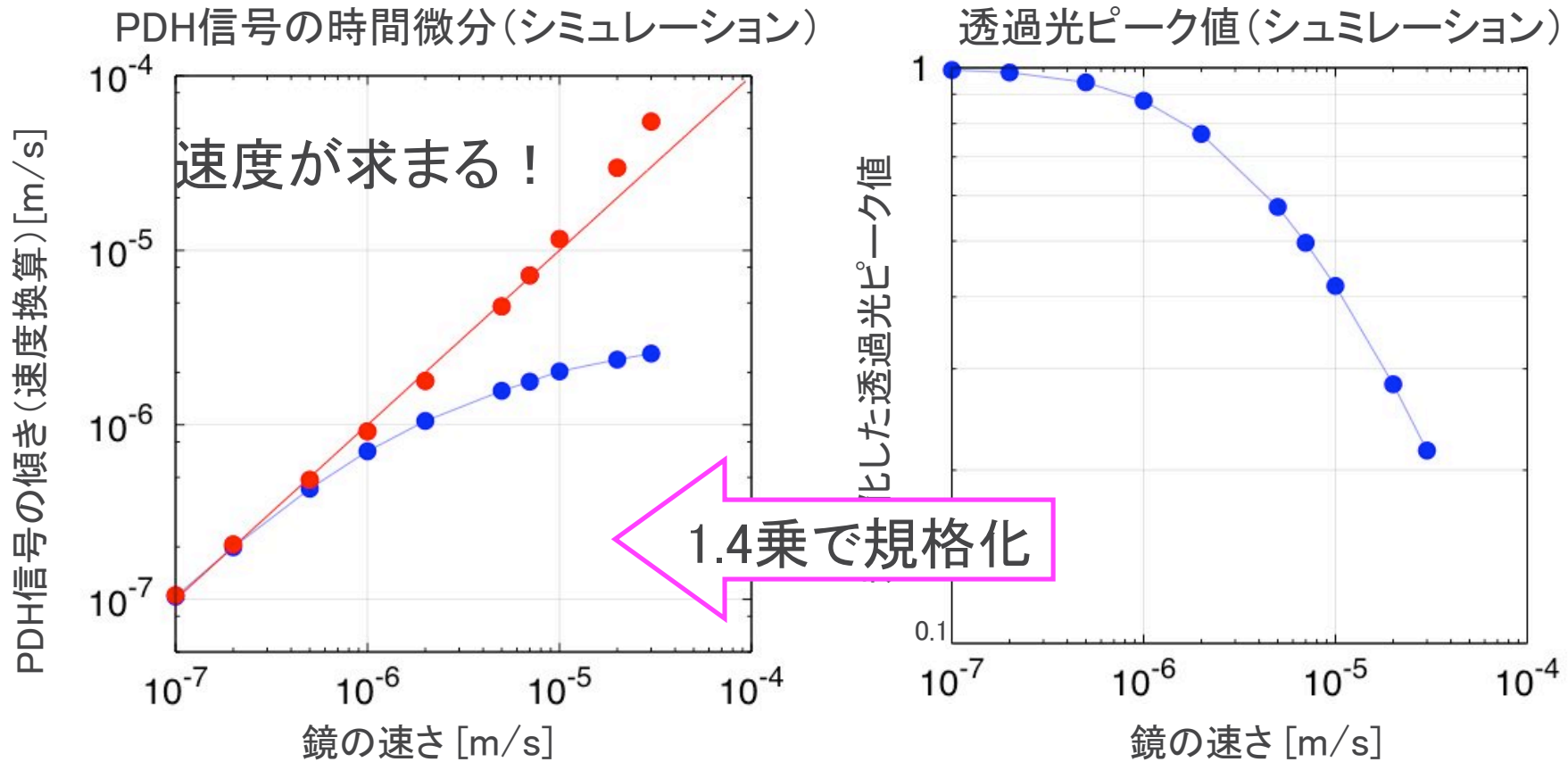
平塚エンジニアリング社
DSK6713IF/AI2
DSK6713IF/AO2
16bit A/D
最大500kHzサンプリング
4ch-ADC 4ch-DAC

PDH信号を時間微分して初速度を求める。

Cavity poleなどの効果から速いものほど速度推定を誤る

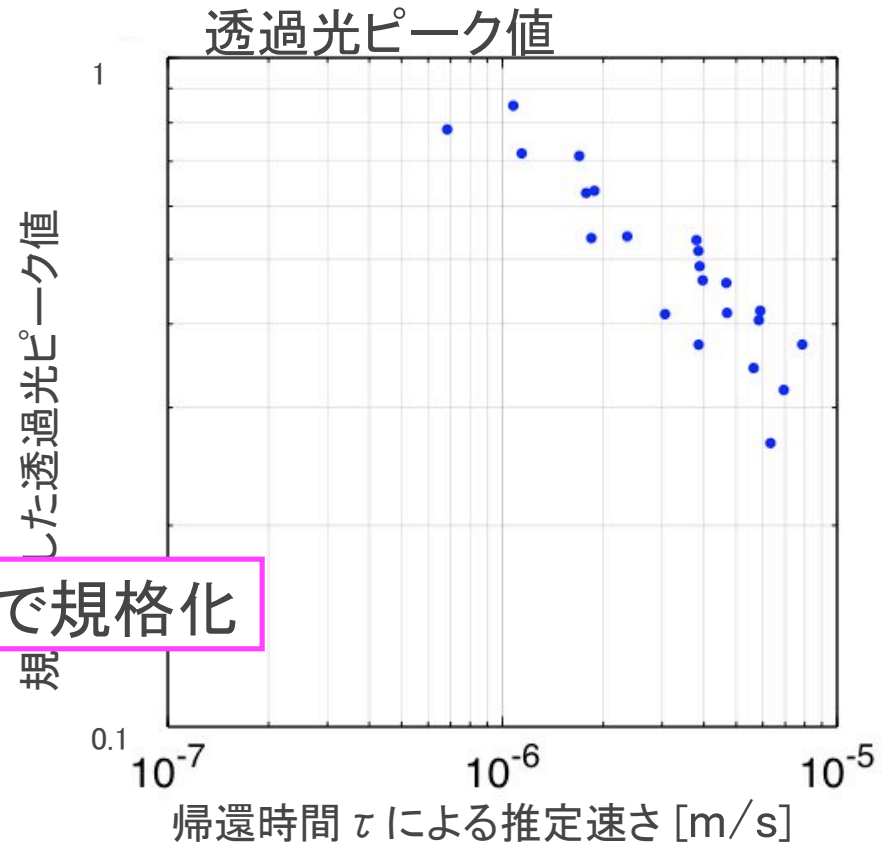
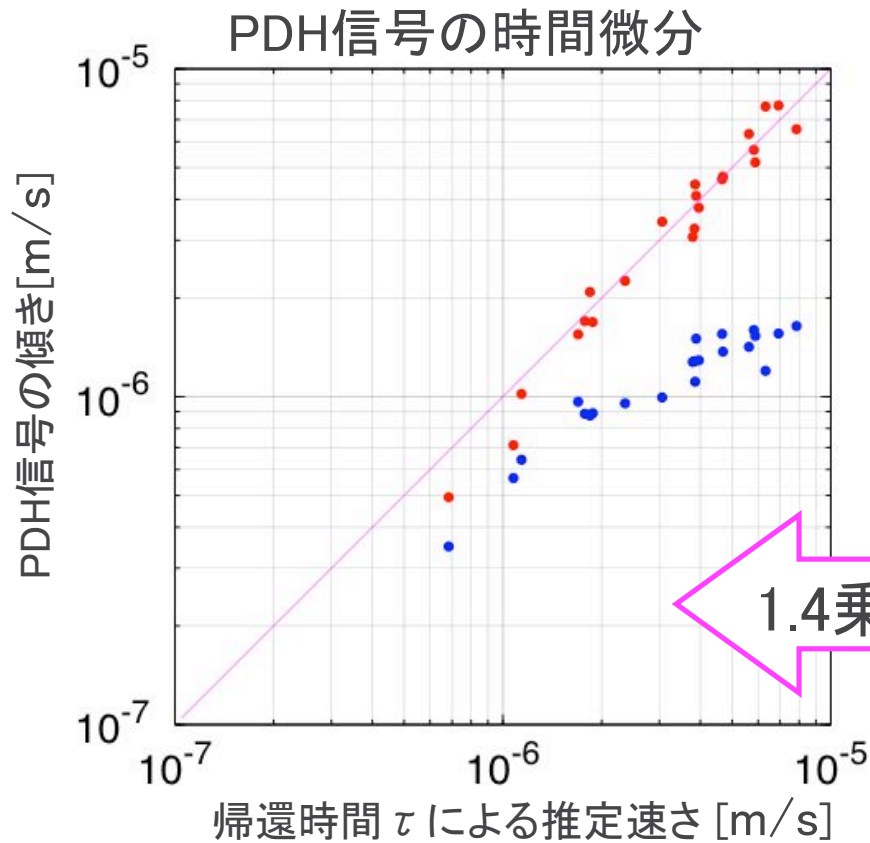


PDH信号の微分値を透過光ピーク値で規格化することで速度が求まる。



速度推定試験の結果

実験的にも速度推定ができることが確かめられた。

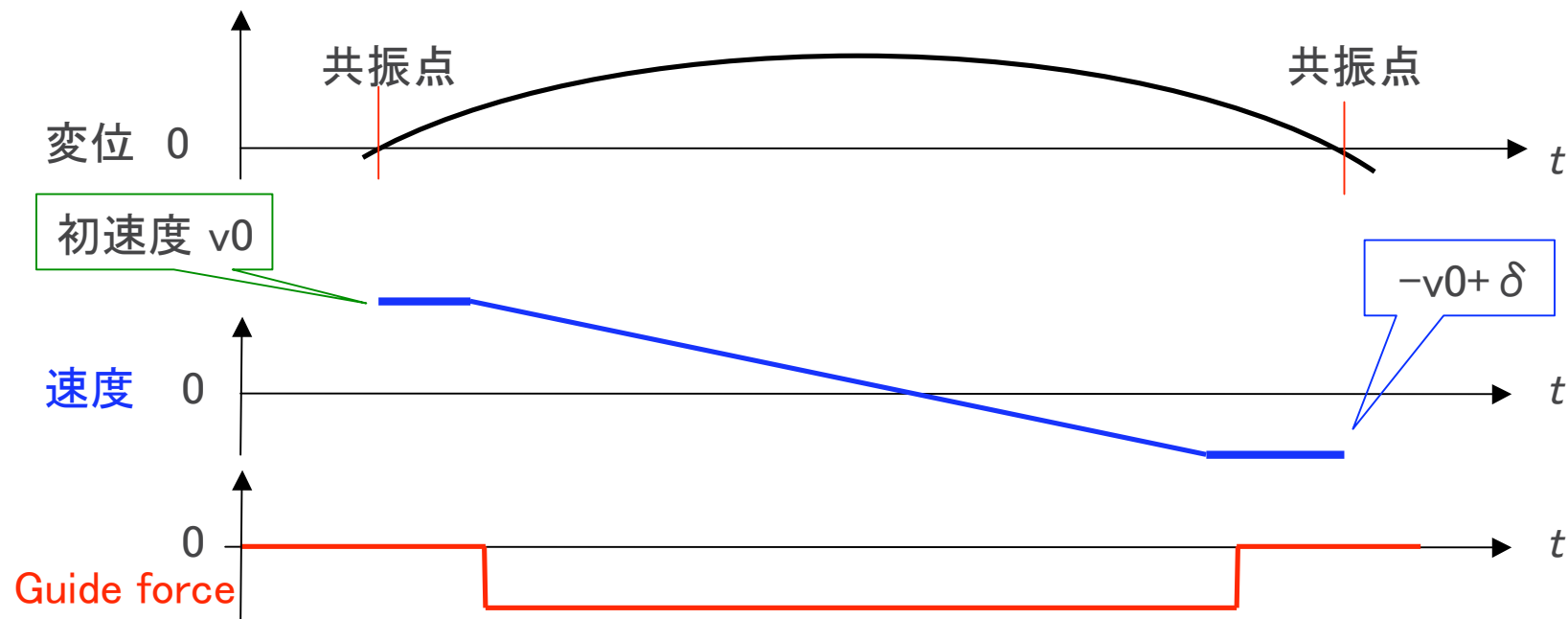


1.4乗で規格化

初速度推定法の精度評価実験

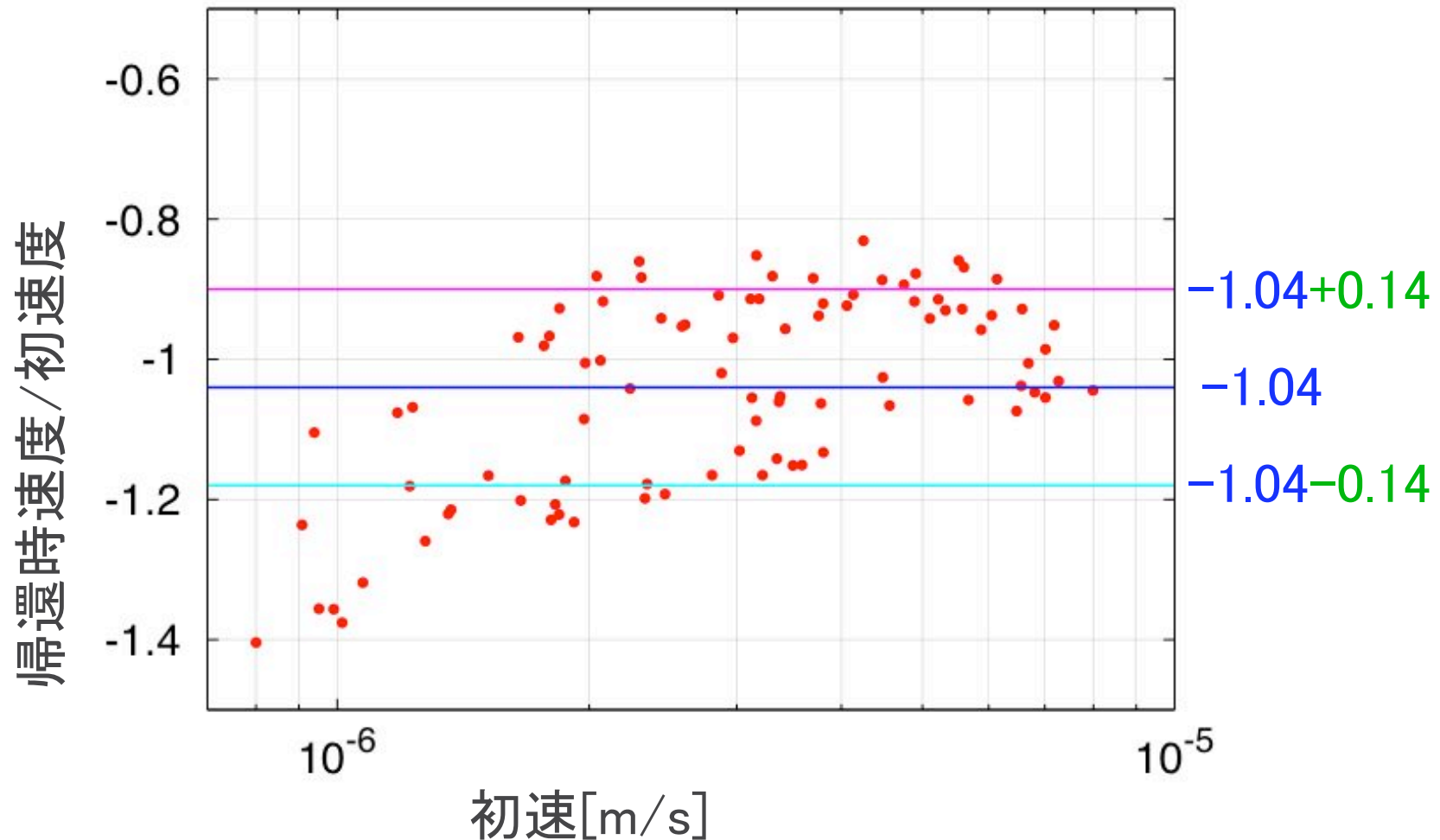
測定した初速度から、速度が $-v_0$ になるのに必要なガイドフォース時間を計算

実際に戻ってきた速度が $-v_0$ からどれだけずれたかで誤差を評価する。



初速度推定法の精度評価

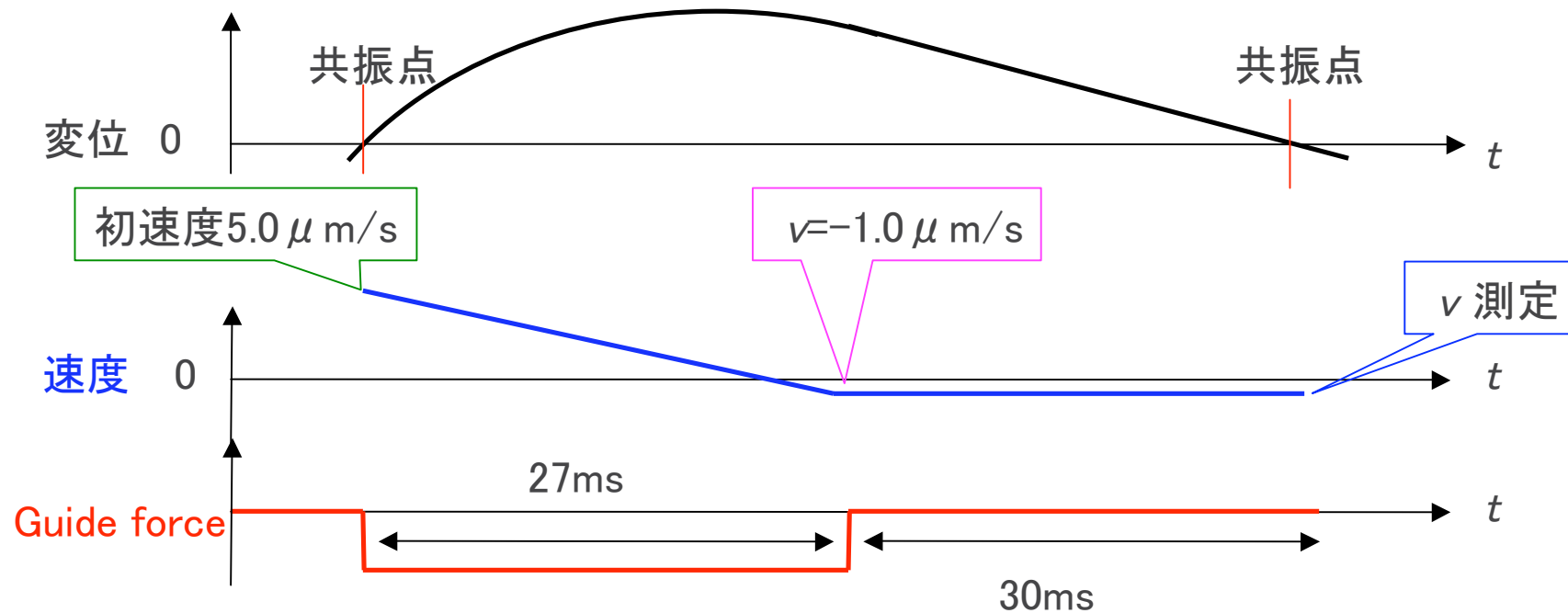
初速度の-1.04倍で帰還することが確認できた。
誤差はRMS振幅から14%と見積もった。



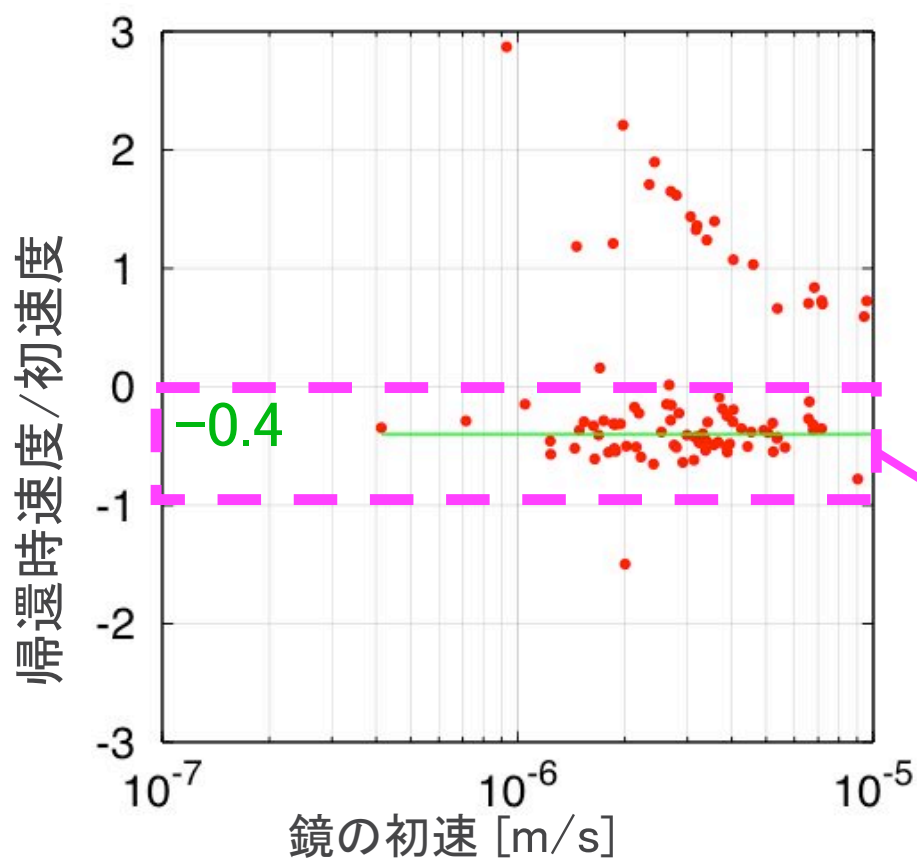
-0.2倍の速度まで減速させる。

★実験の流れ

測定された初速度が-0.2倍に減速されるまでガイドフォース
=>共振点に戻ってきた鏡の速度を測定



試行回数のうち70%は減速して帰還に成功



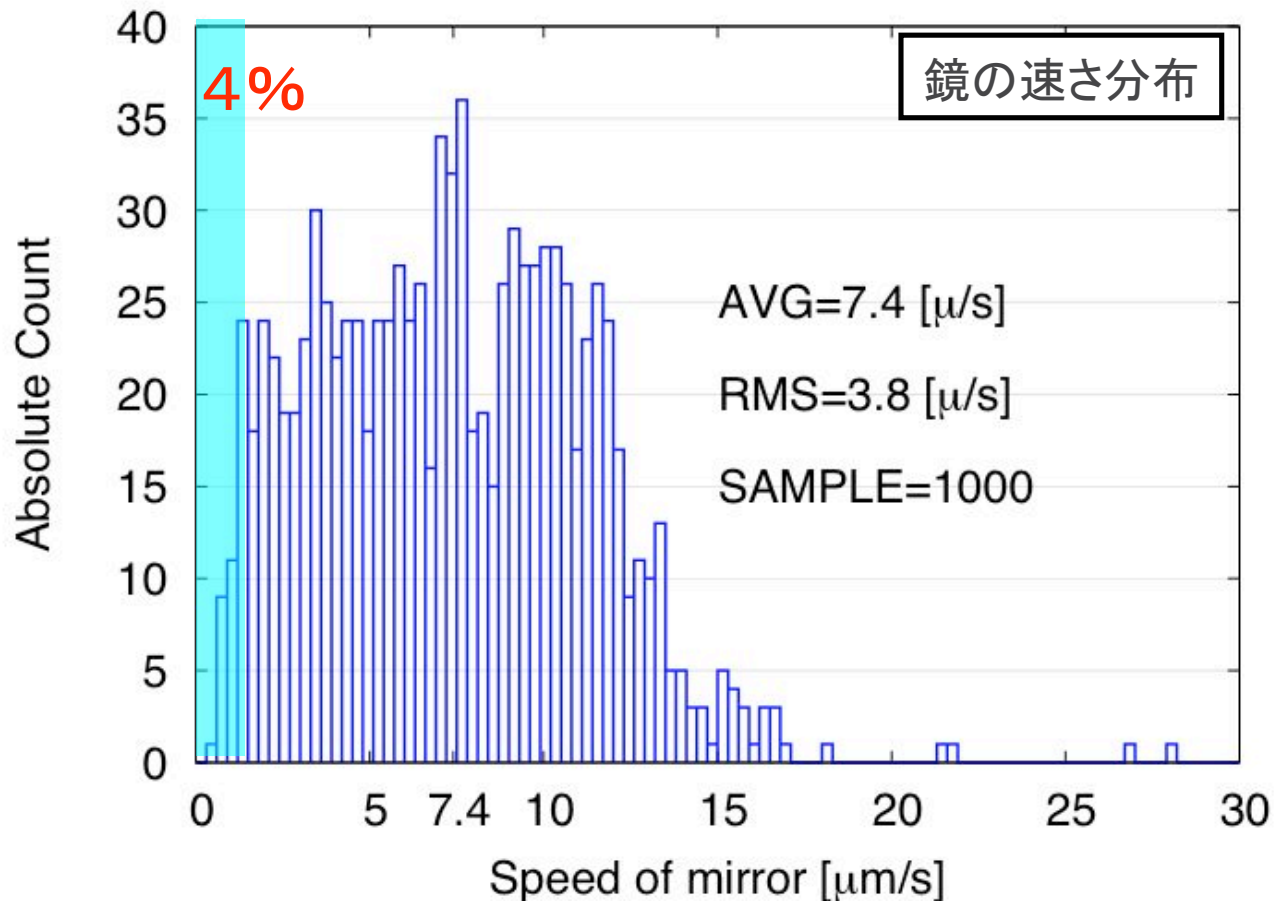
課題

減速率は予想の2倍の
-0.4となった。

現在原因の究明中

70%

Guided lockと従来のlock acquisitionを比較するに
さきだってこの日の鏡の速さ分布を測定

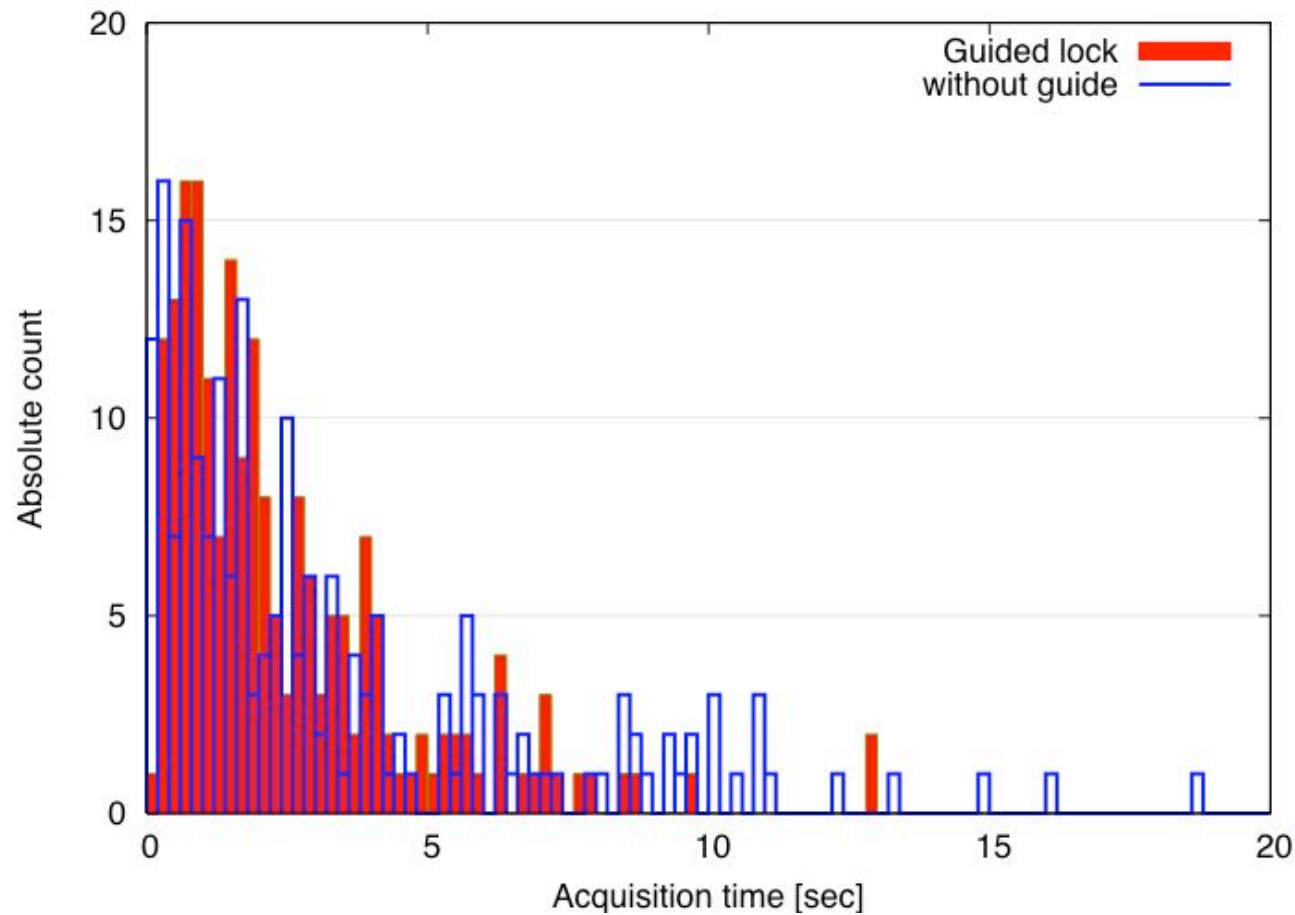


速さ $1.4 \mu / \text{s}$ 以下
は全体の4%

Lockにかかる時間(2)

従来のサーボよりも素早くlockできることを確認

Lockに平均かかる時間が**3.3秒**から**2.5秒**に改善



①. 鏡の速さが $1.4 \mu\text{m/s}$ を越えると、鏡を止めることができない。

=> Guided lockを用いて減速させる。

②. PDH信号の微分値と透過光ピーク値を使った
初速度推定を行った。誤差は14%程度

④. -0.2倍の減速実験では、70%の試行が減速帰還に成功。

ただし減速率は-0.4倍となった。

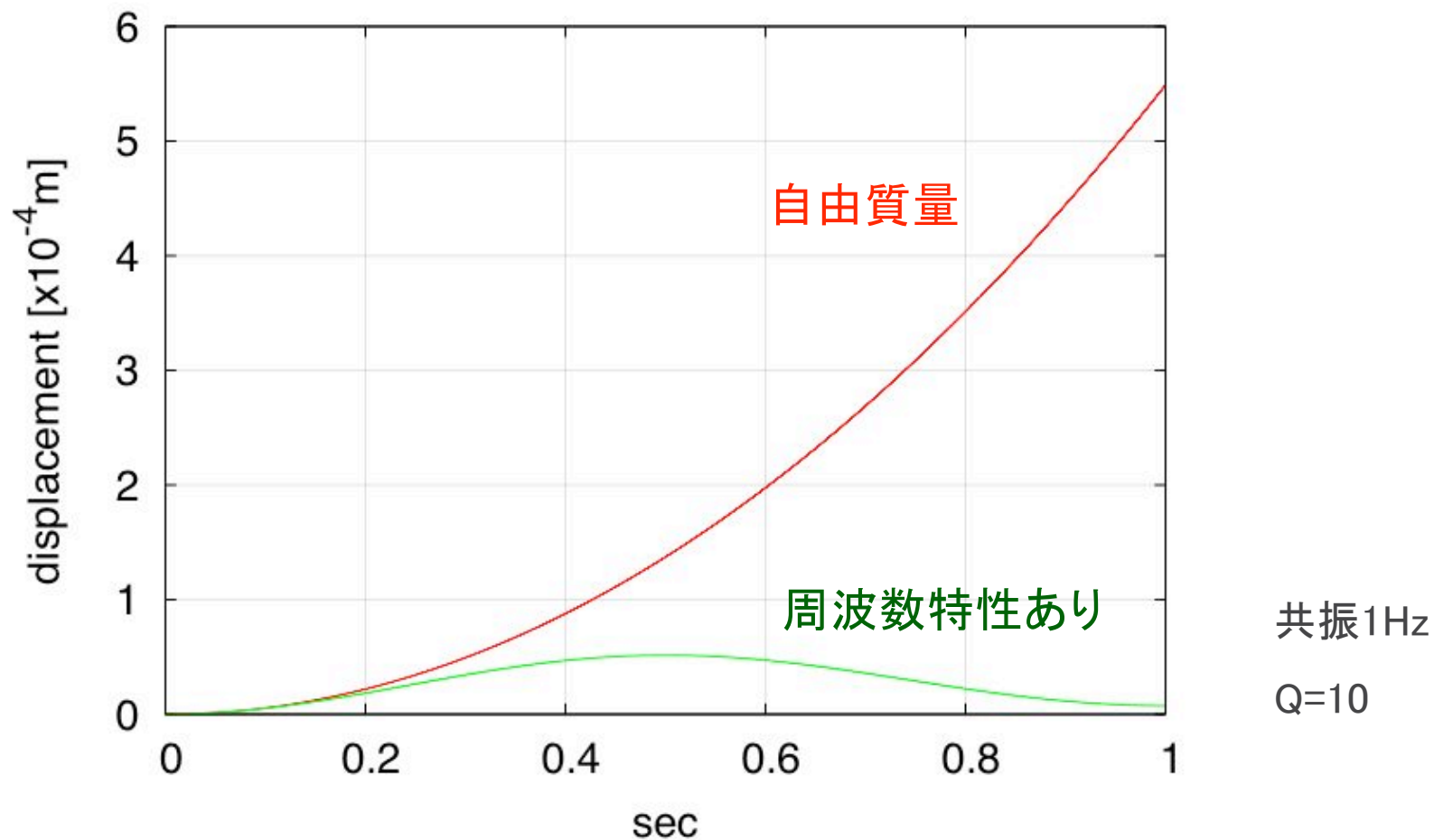
⑤. 従来のlock acquisitionよりも素早いlockを達成(3.5秒=>2.5秒)

--- 今後 ---

*減速失敗例の解析

*Power-recycled FPMIのlock改善

0.1秒以下1%未満の誤差で自由質量近似できる。



0.1秒以下では: $1 \mu\text{m/s}$ よりも1桁小さい

