

京大極限補償光学： 極安定環境を目指した恒温槽の開発

松尾太郎、夏目典明、木野勝(京大)、
京大惑星探査装置グループ

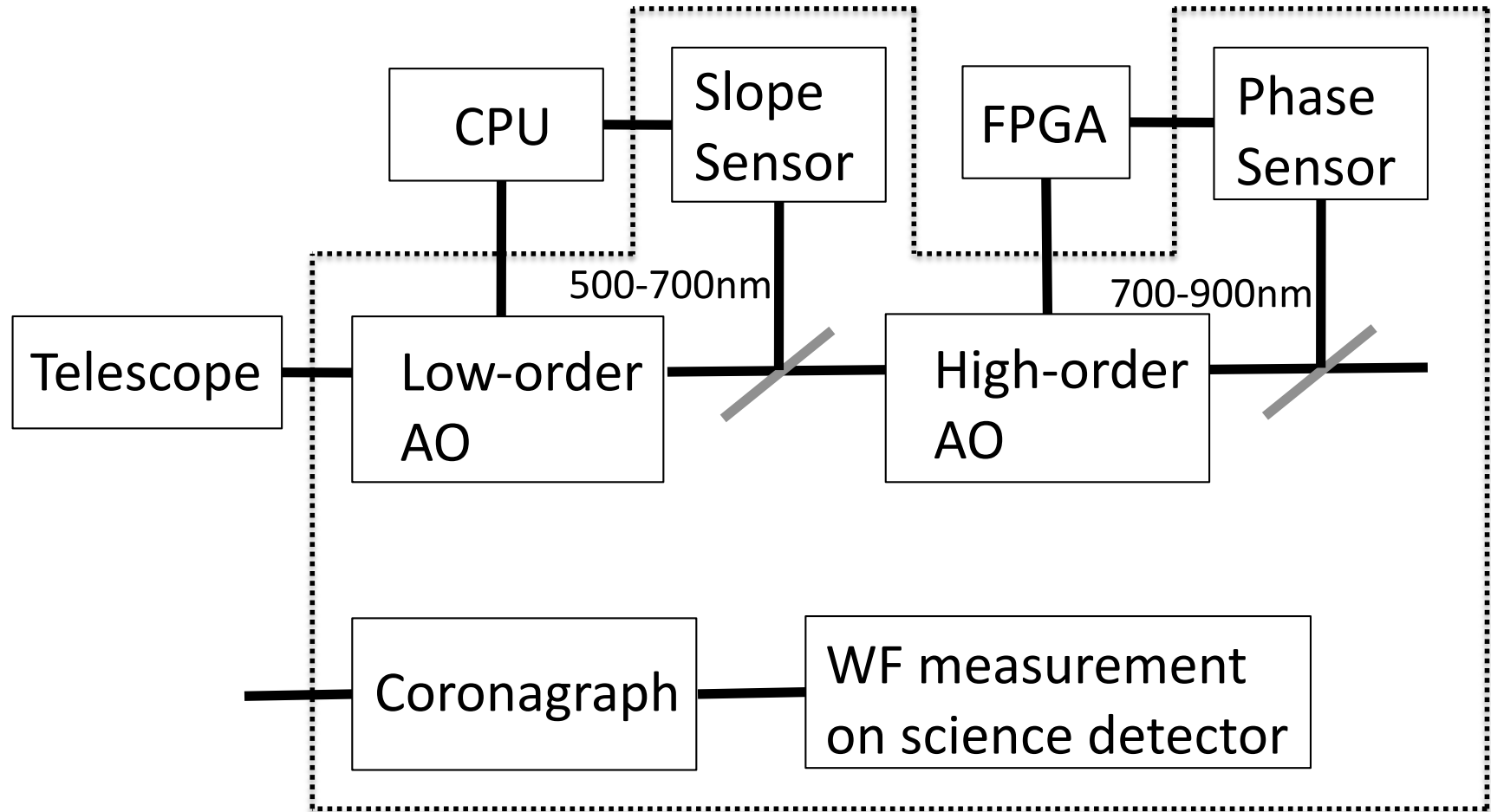
京大3.8m補償光学装置： 極安定環境を目指した恒温槽の開発



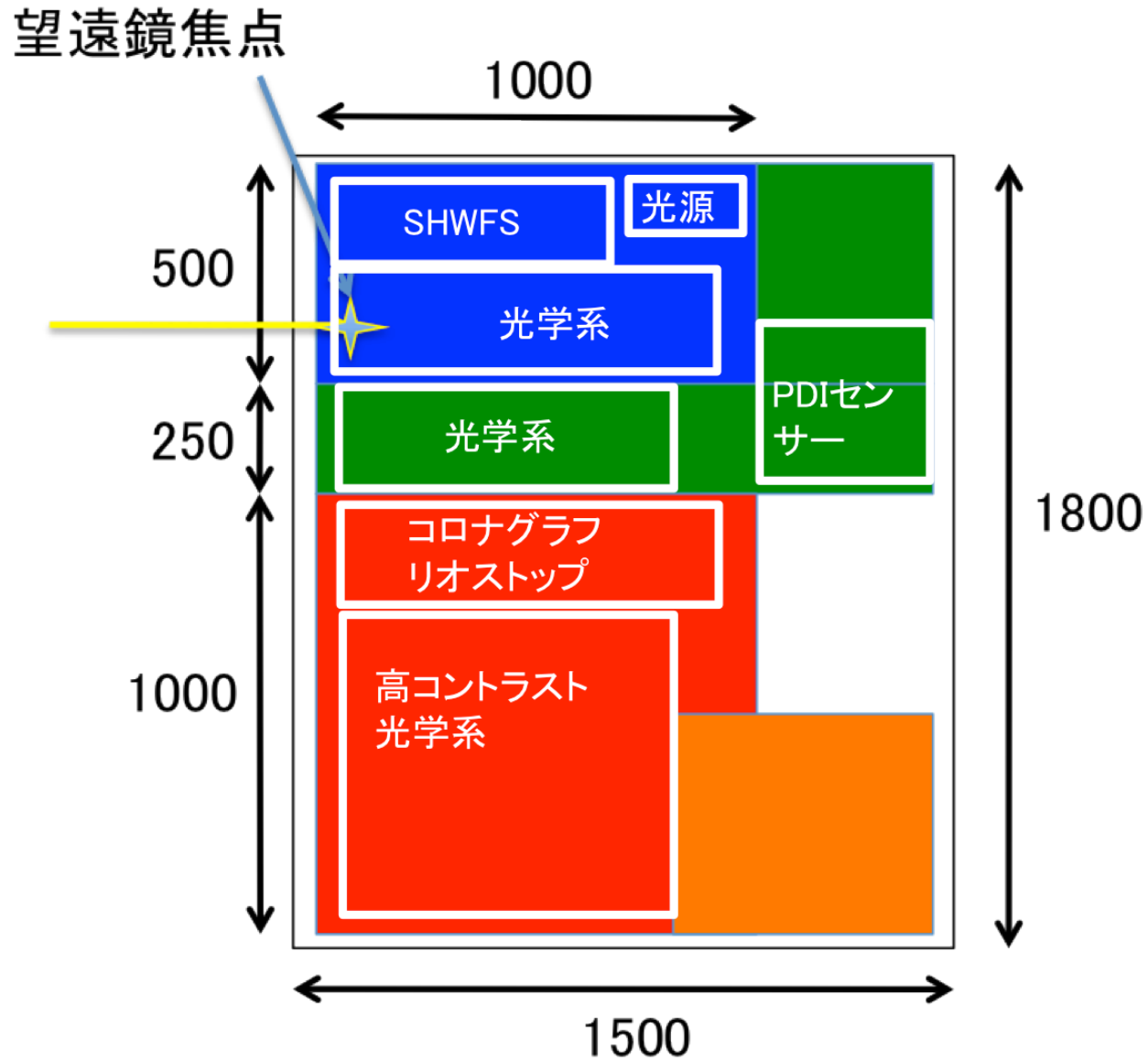
紹介する恒温槽は使用しません

松尾太郎、夏目典明、木野勝、
京大惑星探査装置グループ

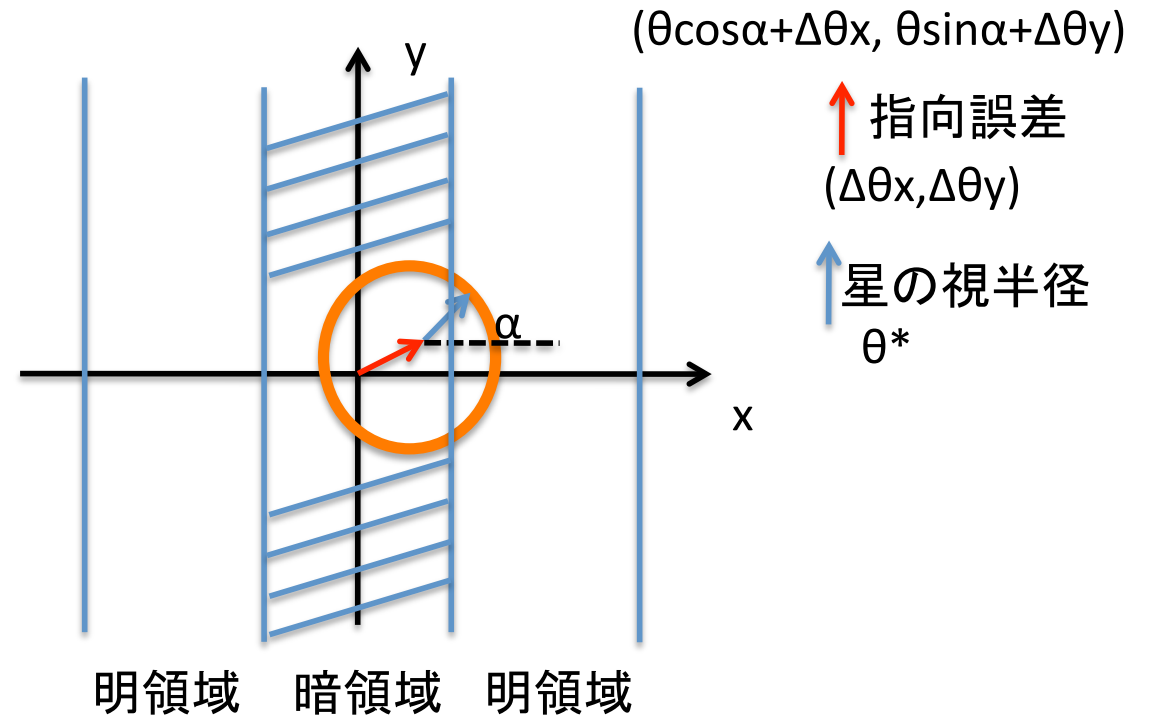
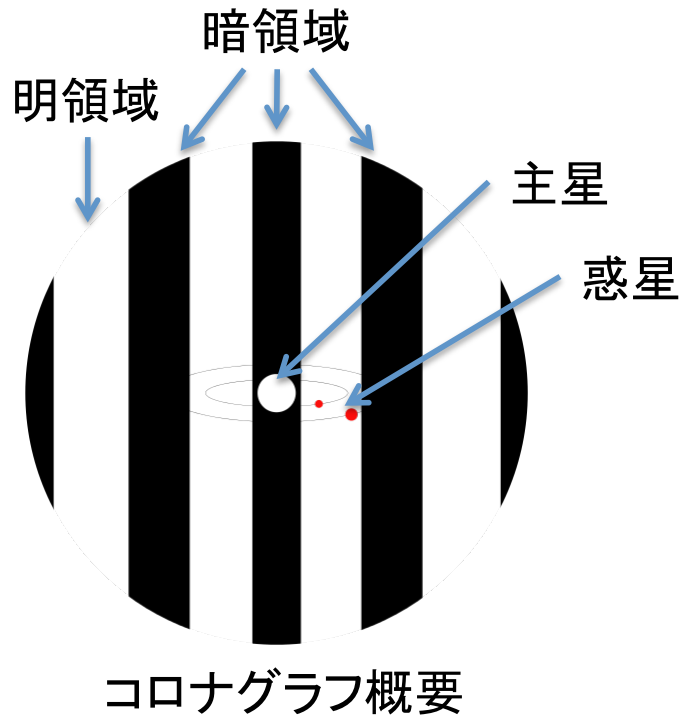
概念図



光学系配置



要求仕様の導出



恒星の全フラックスに対するリーク量

$$f = \frac{1}{F_*} \int_{disk} T(\theta, \alpha) B_* d\Omega = \frac{1}{F_*} \int_{disk} \sin^2 \left(\frac{\pi b}{\lambda} (\theta \cos \alpha + \Delta \theta_x) \right) B_* d\Omega$$

F*: 全フラックス量、b: シア量、T: コロナグラフの透過率、B*: 恒星の輝度分布

要求仕様

○ 極限補償光学に由来する波面エラーによるコントラストの劣化

	可変形鏡素子数	フレームレート	コントラスト
#1	1000	5kHz	2×10^{-6}
#2	4000	20kHz	1×10^{-7}

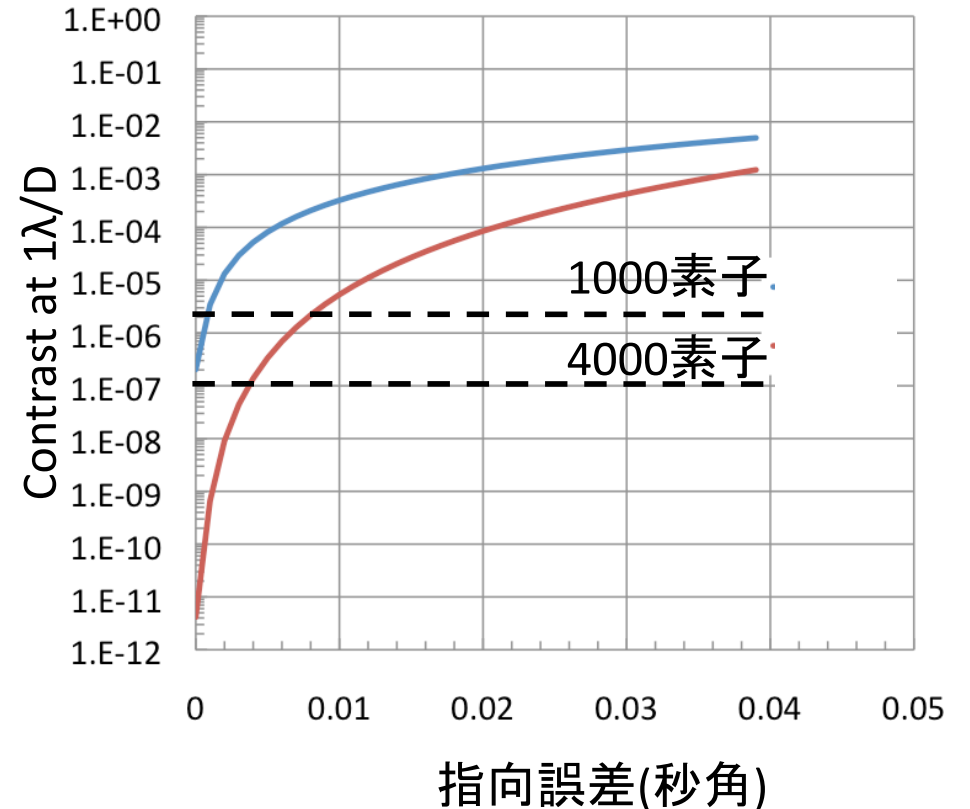
○ コロナグラフへ入射する許容可能な指向誤差:

#1では、8mas

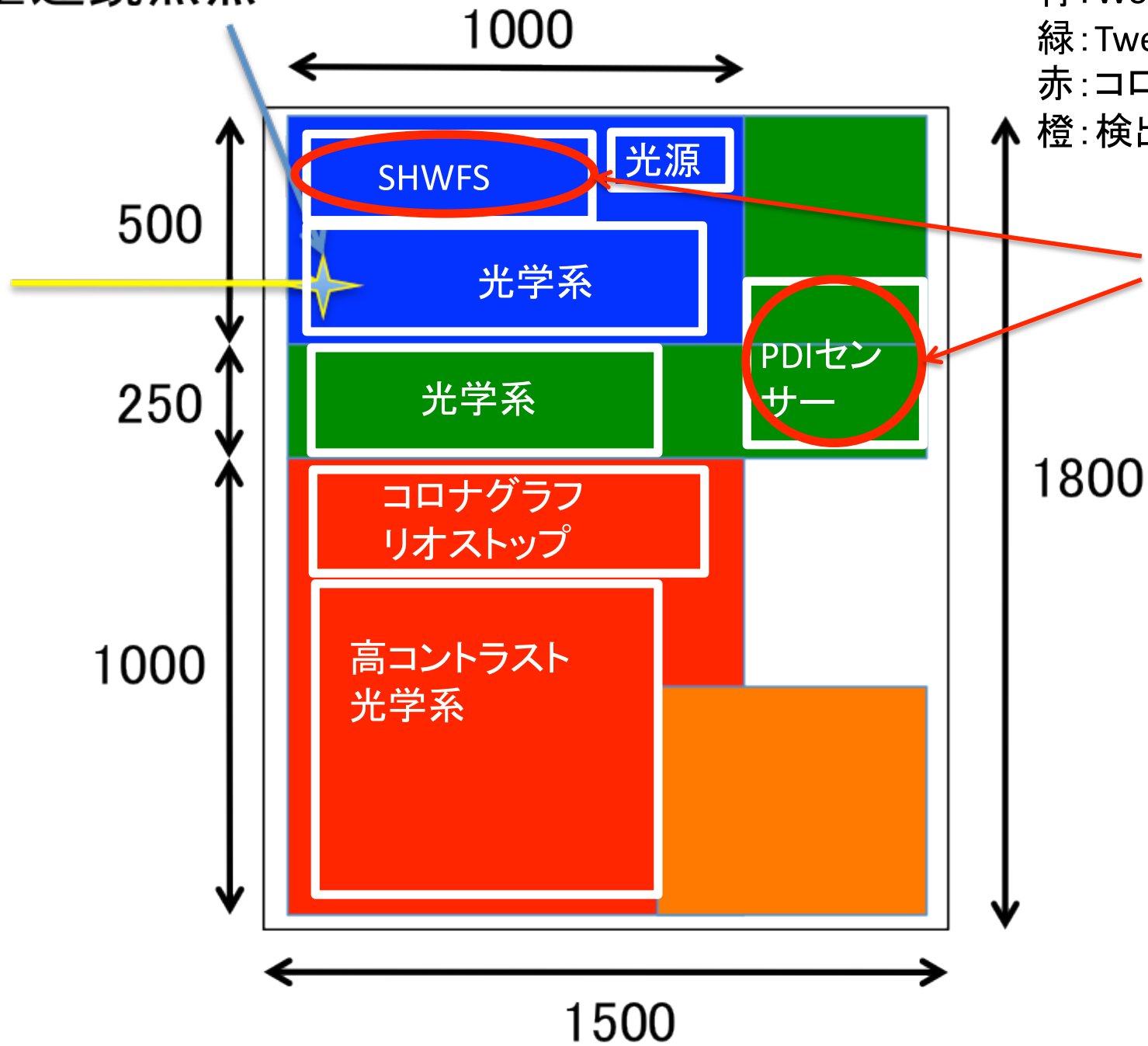
#2では、4mas

→ 200mm高のマウントアルミ ($2.3 \times 10^{-5}/K$) を採用する場合、5mKの温度ムラで10mas。

青: 透過率が \sin^2 のコロナグラフ
赤: 透過率が \sin^4 のコロナグラフ

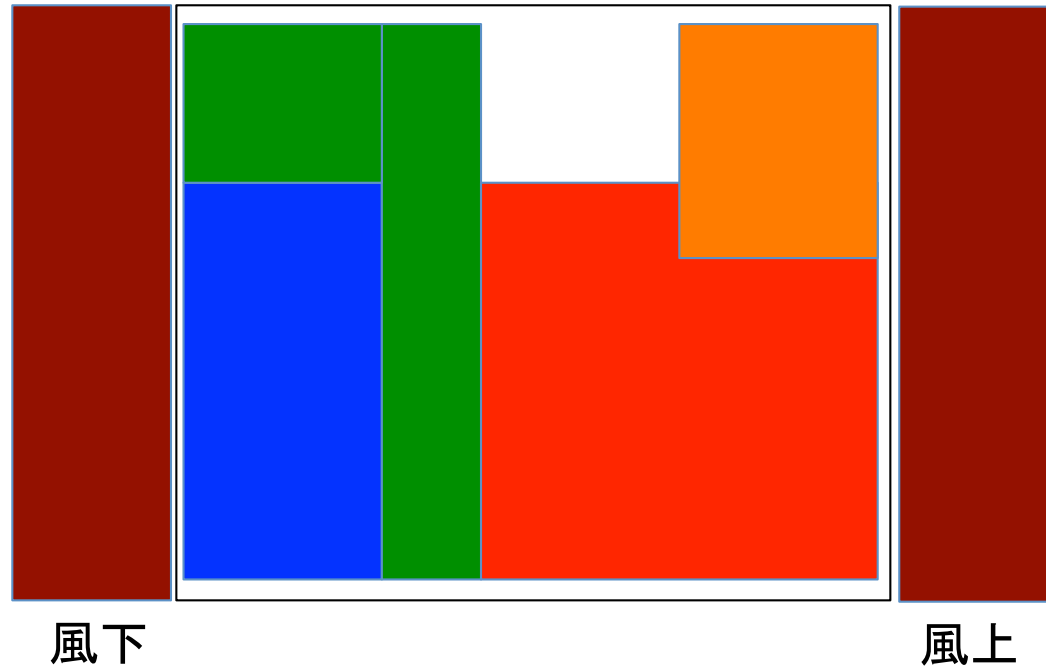


望遠鏡焦点

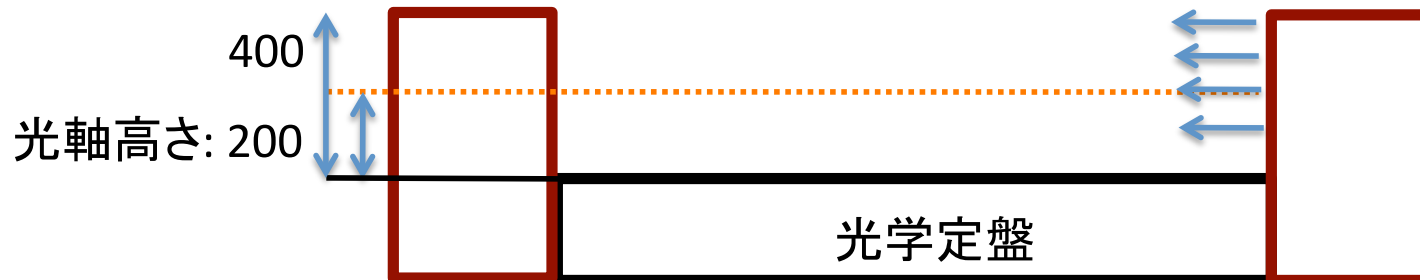


恒温槽コンセプト

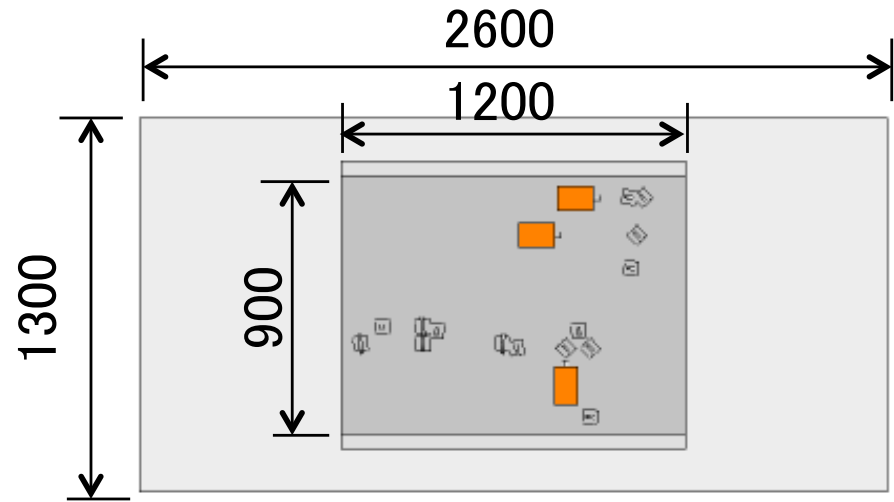
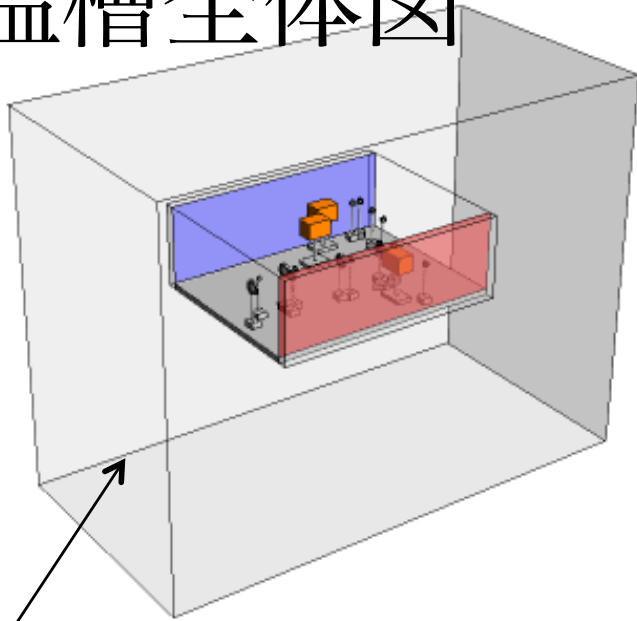
- 熱源を風下に集中。
- 温度一定の風で熱を除去。



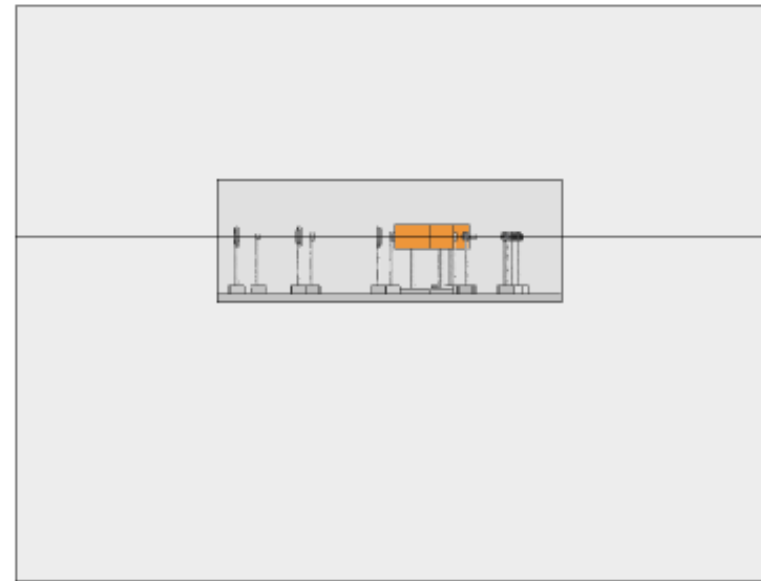
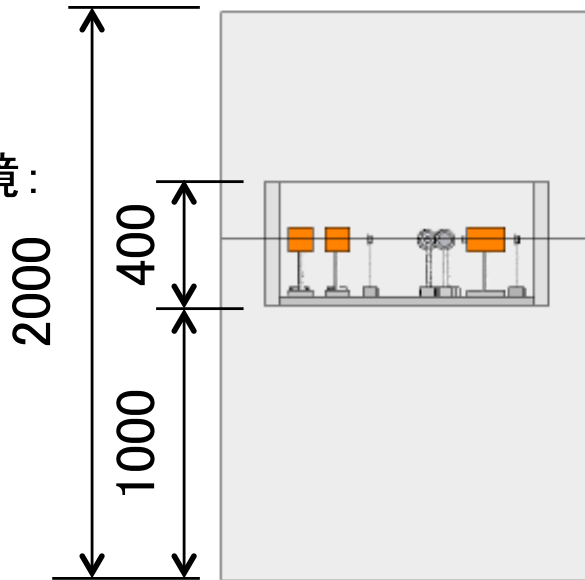
青 : Woofer光学系
緑 : Tweeter光学系
赤 : コロナグラフ光学系
橙 : 検出器



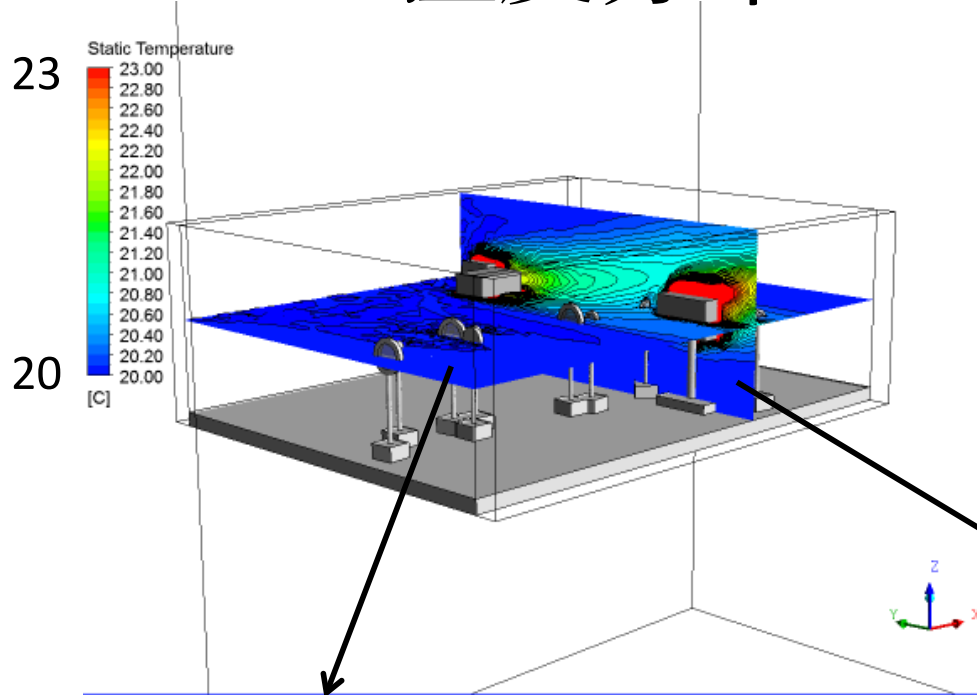
シミュレーションで用いた 恒温槽全体図



周囲壁面：
断熱壁
岡山温度環境：
0 - 30 °C



温度分布シミュレーション



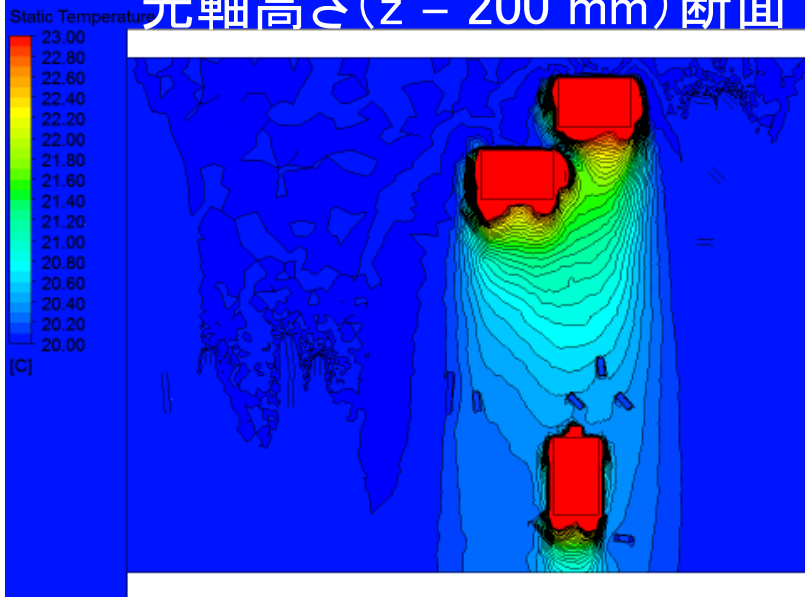
○条件:

- 保持温度20度。カメラ温度35度。
- 風速0.1m/s。
- 温度分布

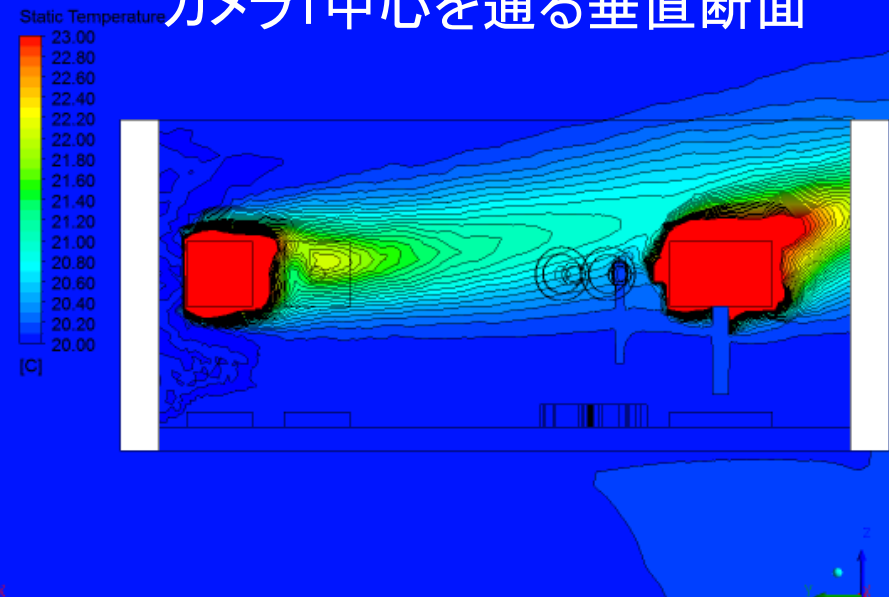
○温度のムラは風下に集中。

→ 熱源を風下に置く事で温度の保持可能。

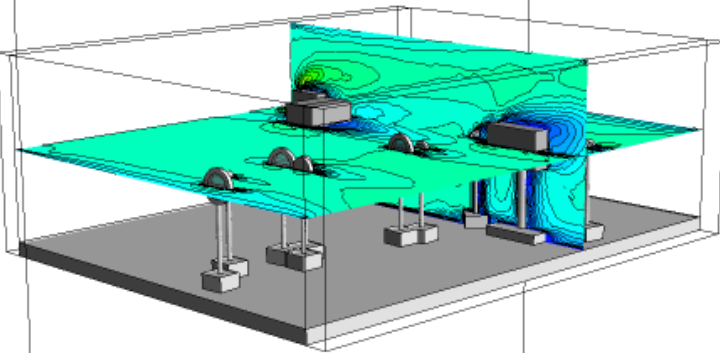
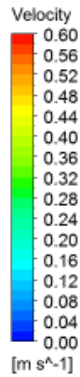
光軸高さ(z = 200 mm)断面



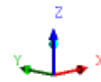
カメラ1中心を通る垂直断面



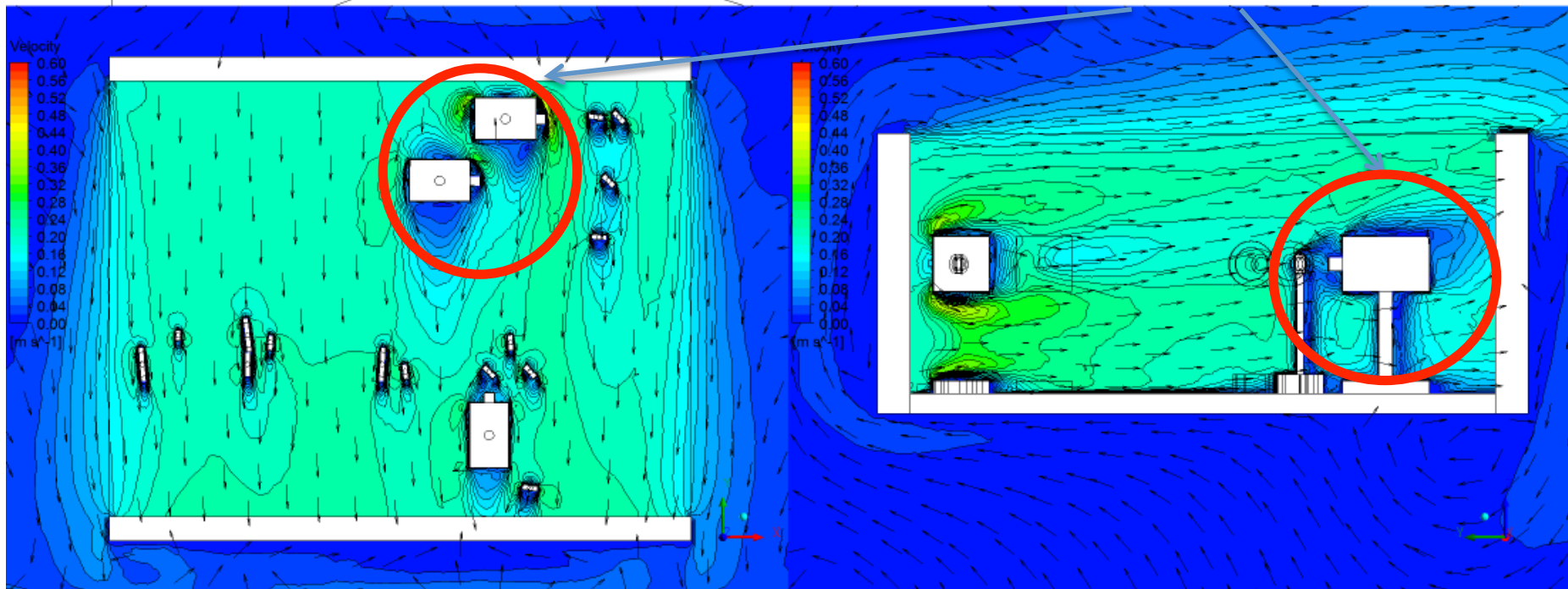
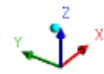
風速シミュレーション



- 光学素子、カメラのない所では、
風は風上から風下へ層流。
- カメラ周りでは風向、風速が乱される。
→波面の劣化。



物のすぐ近くは気流が乱される



波面計測試験

○目的:

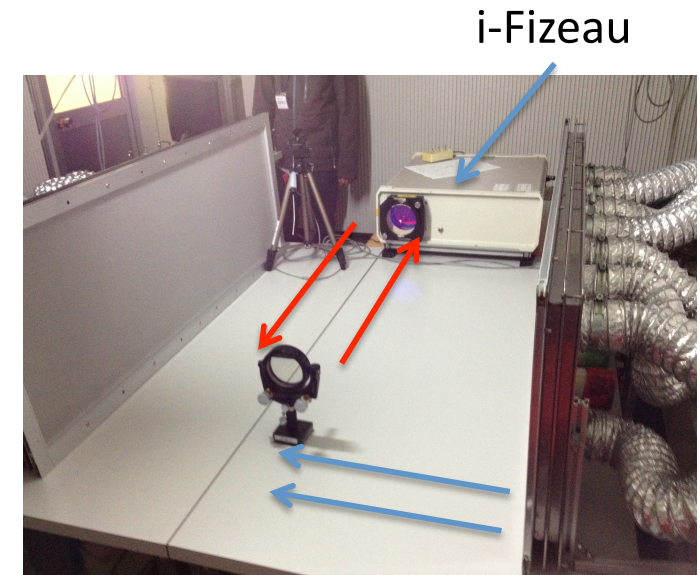
乱流の発生による波面の乱れの評価。

○概要:

日本スピンドル社(尼崎市)の恒温槽で波面の揺らぎを計測。

○方法:

恒温槽内部に置かれた平面鏡($\phi 80$)に i-Fizeau から出た平行光を当て、その光路で発生する波面揺らぎを積分値として評価。



風下

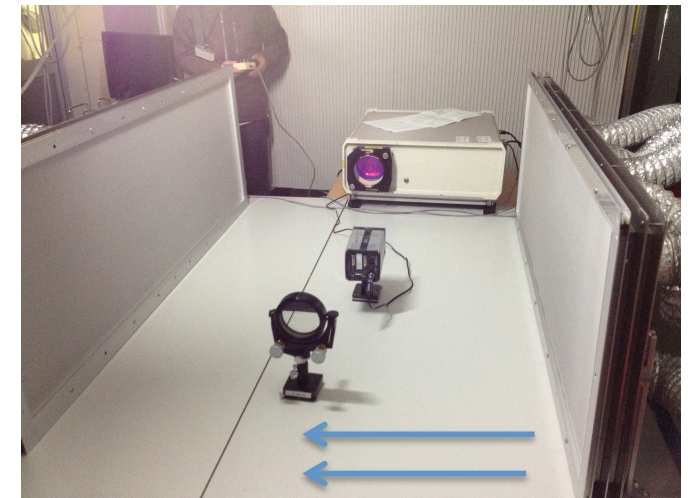
風上

実験風景

環境

○風速、物体(カメラ)あり・なし、熱源(カメラON・OFF)あり・なしで環境を変えてデータを取得。

データ番号	風速 (m/s)	物体	熱源
1	0.1	なし	なし
2	0.3	なし	なし
3	0.1	あり	なし
4	0.3	あり	なし
5	0.1	あり	あり
6	0.3	あり	あり



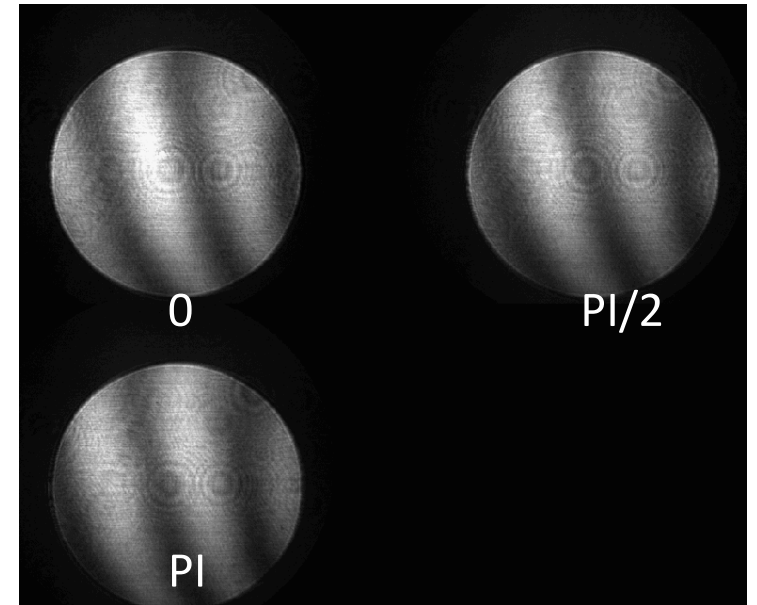
風下

実験風景

風上

データリダクション

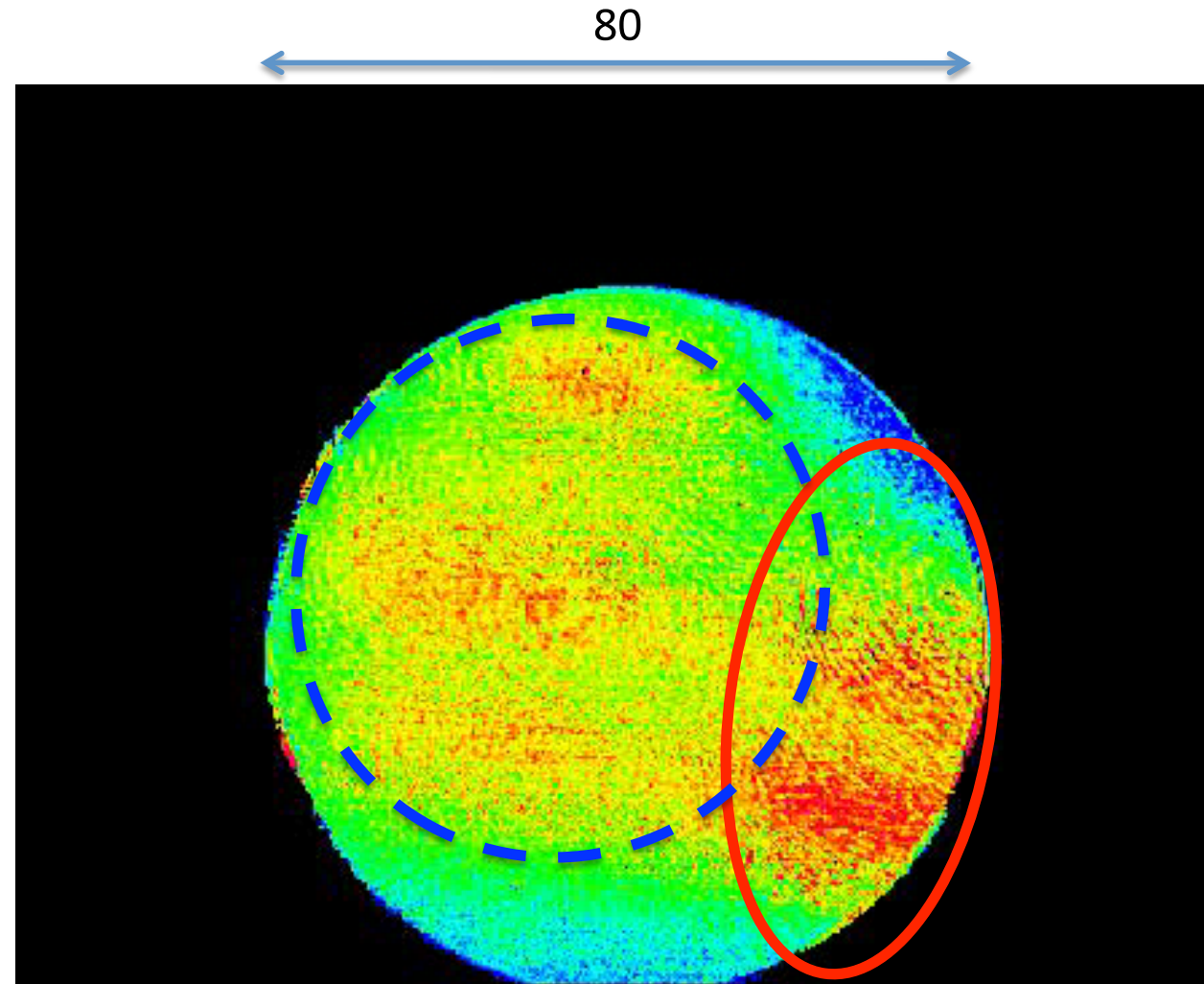
- 計測方式:
偏光を用いて参照光と被計測光の位相差を0, π , $\pi/2$ つけた3つの干渉像を同時取得。
- フレームレート:
30Hz
- データ制約:
Tip/Tiltは除去。
平面鏡の歪みは除去。
(振動は同時取得により除去されている)



計測画面

データの考察

- 赤の箇所(平面鏡の歪みが大きい)は除いてデータを評価。
- 3つの干渉像の強度が異なるため、縞(青の点線)が残存。



平面鏡の歪みが大きく、
歪み量の除去が難しい所

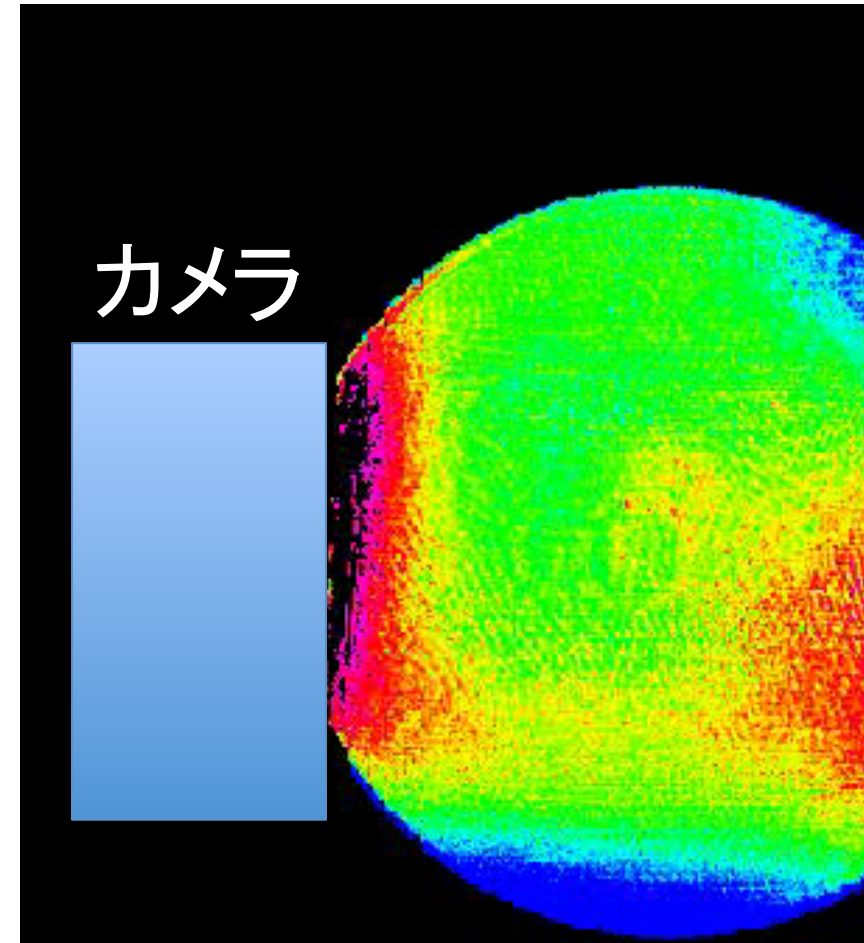
結果1

- データセット #5
 - 風速 0.1m/s、カメラあり、熱源なし
- 考察
 - 波面が乱される領域はカメラから10mmの距離で限定的。
 - シミュレーション結果と範囲においてほぼ一致

風の向き



カメラ



青: π 、緑:0、黒: $-\pi$

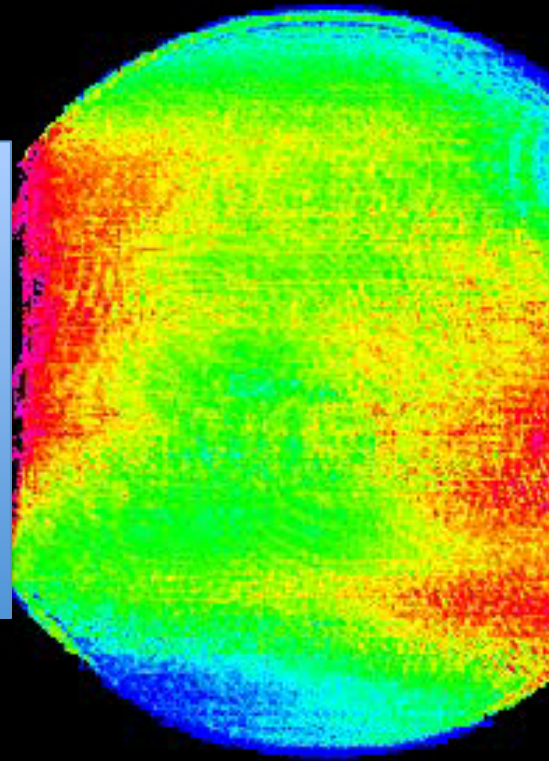
結果2

- データセット #4
 - 風速 0.1m/s、カメラあり、熱源なし
- 考察
 - 風速0.1m/sの場合とほぼ同じ結果。
 - 風速が大きくなることによる影響なし

風の向き



カメラ



青: π 、緑:0、黒: $-\pi$

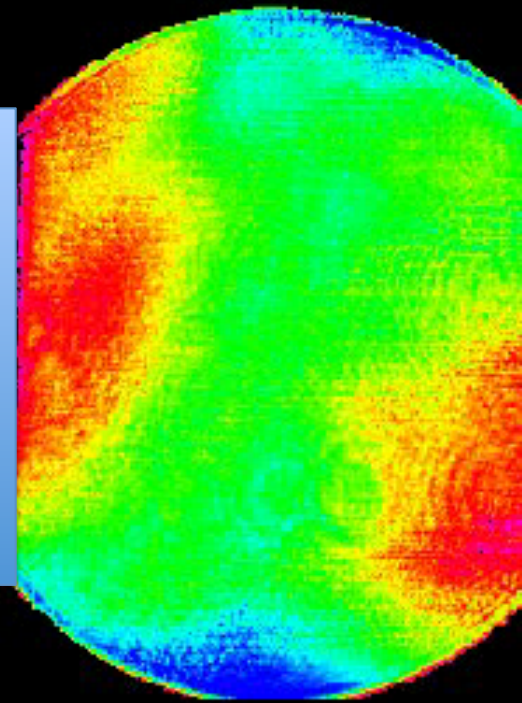
結果3

- データセット #3
 - 風速 0.1m/s、カメラあり、熱源あり
- 考察
 - 波面乱れの範囲は平面鏡全体に拡大。

風の向き



カメラ



青: π 、緑: 0、黒: $-\pi$

結果まとめ

データ番号	風速 (m/s)	物体	熱源	波面揺らぎ (rms)	要求仕様	備考
1	0.1	なし	なし	$< \lambda/20$	○	
2	0.3	なし	なし	$< \lambda/20$	○	
3	0.1	あり	なし	$\sim \lambda/18$	○	カメラから10mm以遠のデータを使用
4	0.3	あり	なし	$\sim \lambda/18$	○	カメラから10mm以遠のデータを使用
5	0.1	あり	あり	$\sim \lambda/8$	x	カメラから10mm以遠のデータを使用
6	0.3	あり	あり	$\sim \lambda/8$	x	カメラから10mm以遠のデータを使用

まとめと今後

- まとめ
 - 熱源を取り除くための風を用いた恒温槽装置で波面の揺らぎを計測。
 - 熱源のある環境では、カメラ(センサー)周辺で揺らぎが大きく、要求仕様の $\lambda/20$ は満たさない。
- 今後
 - スペース技術を応用した、真空 + MLI + 水冷により光学系の温度を一定に保つ方式で検討を進める。