

位相・振幅同時計測器

○山本広大、松尾太郎、木野 勝(京都大学)、今田大皓(筑波大学)

0. 概要: 導入

光学素子の形状測定や補償光学において、波面測定は重要である。高精度(1/20λ)、高空間周波数(差し渡し32素子)、高頻度(>1kHz)の波面測定を行う場合、波面の幾何形状を計測するよりも、位相を直接測定出来る方が有利になる。また、強度分布(ムラ)が測定出来れば、波面の情報量が増す。今回、形状(位相)と同時に強度情報を得られる波面センサを新たに提案する。

1. 波面センサ

波面センサ(wave-front sensor: WFS); 光学素子の形状計測や補償光学装置に用いられる。波面の**形状(位相)**と**振幅(強度)分布**を測定する。

	波面形状計測方式のバリエーション	振幅分布計測
	<p>A. 幾何形状計測</p> <p>模式図 計測対象の波面 → 波面形状(傾斜) 理想的な波面 → </p> <p>測定 理想的な波面に対する形状を計測する。 傾斜計測: シャックハルトマンセンサ (SHWFS) 曲率計測: 曲率センサ (CWFS)</p>	<p>振幅分布計測</p> <p>測定波面の(強度)振幅分布を測定する。 • 光学素子の反射率測定。 • 補償光学(adaptive optics: AO)では、位相情報と組み合わせることで、より高精度の波面補償が行える。</p>
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 補償光学装置への搭載実績がある。 大きな(>λ)形状変化も測定出来る。 	<p>ツェルニケセンサは位相(形状)と(強度)振幅を同時に測定可能だが、位相変調を与える機構が必要だった。↓</p>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 直接の形状計測は出来ない(傾斜→形状は1階積分、曲率→形状は2階積分が必要) → 誤差伝搬が発生 AND 高速化が困難 	<p>高頻度でリアルタイムな位相・振幅同時計測波面センサを新たに提案する。</p>
	<p>B. 位相計測</p> <p>模式図 計測対象の波面 → 位相差φ 理想的な波面 → </p> <p>理想的な波面に対する波面の進み/遅れ(位相差)を直接計測する。 ツェルニケセンサ(ZWFS), 点回折干渉計(PDI WFS)</p>	

2. r-ZWFS & paPDIWFS

入射波面(被検光)の位相分布、振幅分布を測定する。

$A(1+\epsilon)e^{i\phi}$
ε: 振幅変動, エラー
φ: 位相変動, エラー

Zernike 波面センサー概念図

出射瞳面(検出面)
像面
入射瞳面
強度分布

PSFコアのみに位相変調。
例)アクトチュエータ

各位相差での瞳面像
位相変調: 0
 $A^2(1+\epsilon^2+2\epsilon+\phi^2)$
位相変調: π
 $A^2(1+\epsilon^2-2\epsilon+\phi^2)$
位相変調: π/2
 $A^2(1+\epsilon^2+2\phi+\phi^2)$
位相変調: -π/2
 $A^2(1+\epsilon^2-2\phi+\phi^2)$

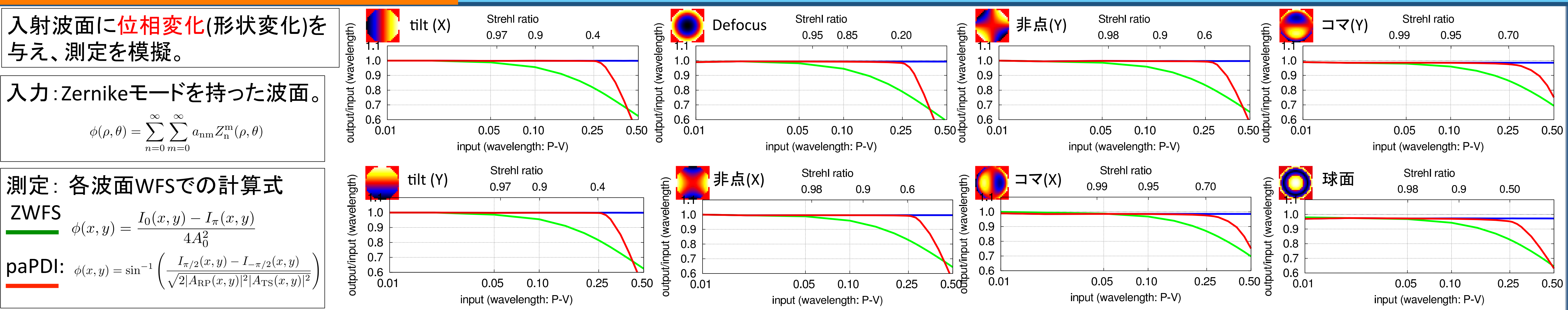
リアルタイム-ツェルニケ WFS (r-ZWFS)

被検光 L1 L2 (45°) 透過側
1/4波長板
サブアパーチャ板 (45°)
反射側
今田発表参照
ワイヤグリッドピンホール-PBS
ピンホール径 φ = 2λ/D (ZWFS)
λ/D (PDI)

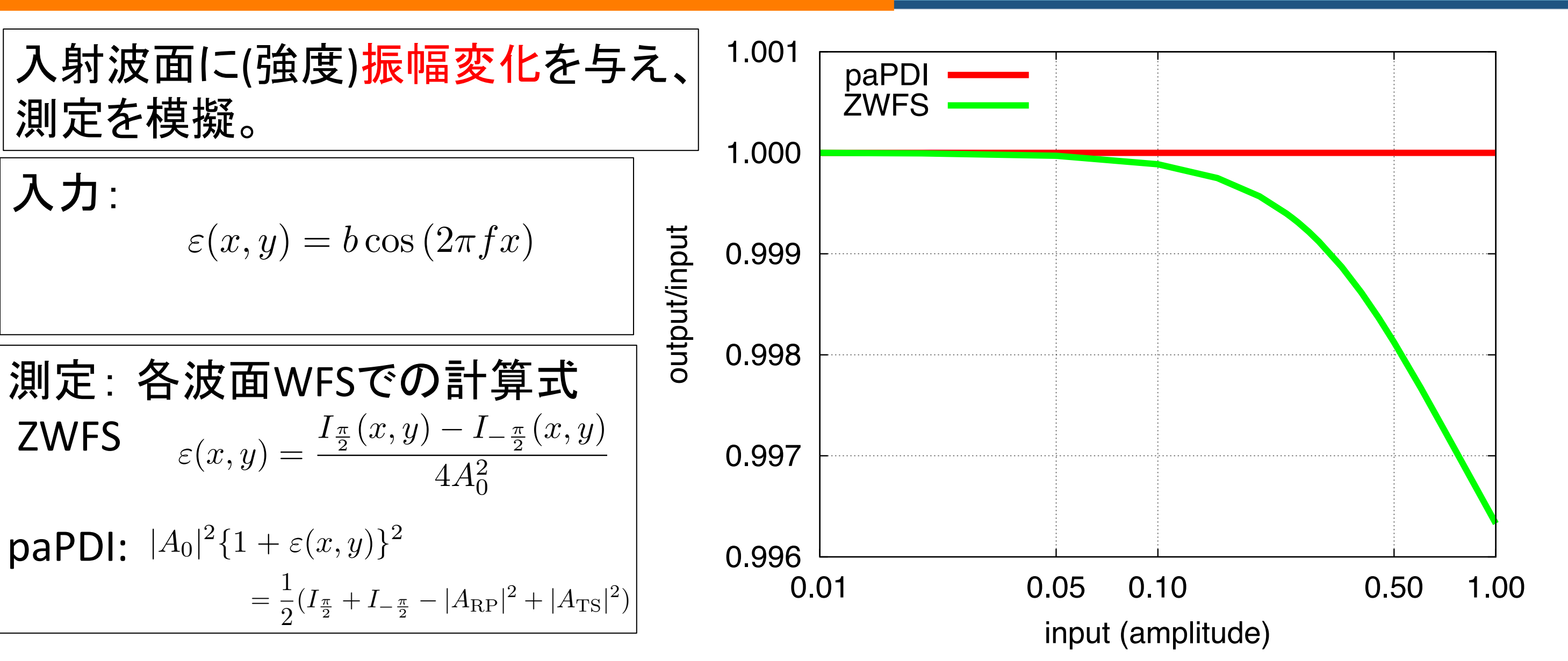
位相振幅同時測定PDI WFS (paPDIWFS)

被検光 L1 L2 (0°) 透過側
1/4波長板
サブアパーチャ板 (45°)
反射側
ワイヤグリッドピンホール-PBS
ピンホール径 φ = λ/D (paPDI)

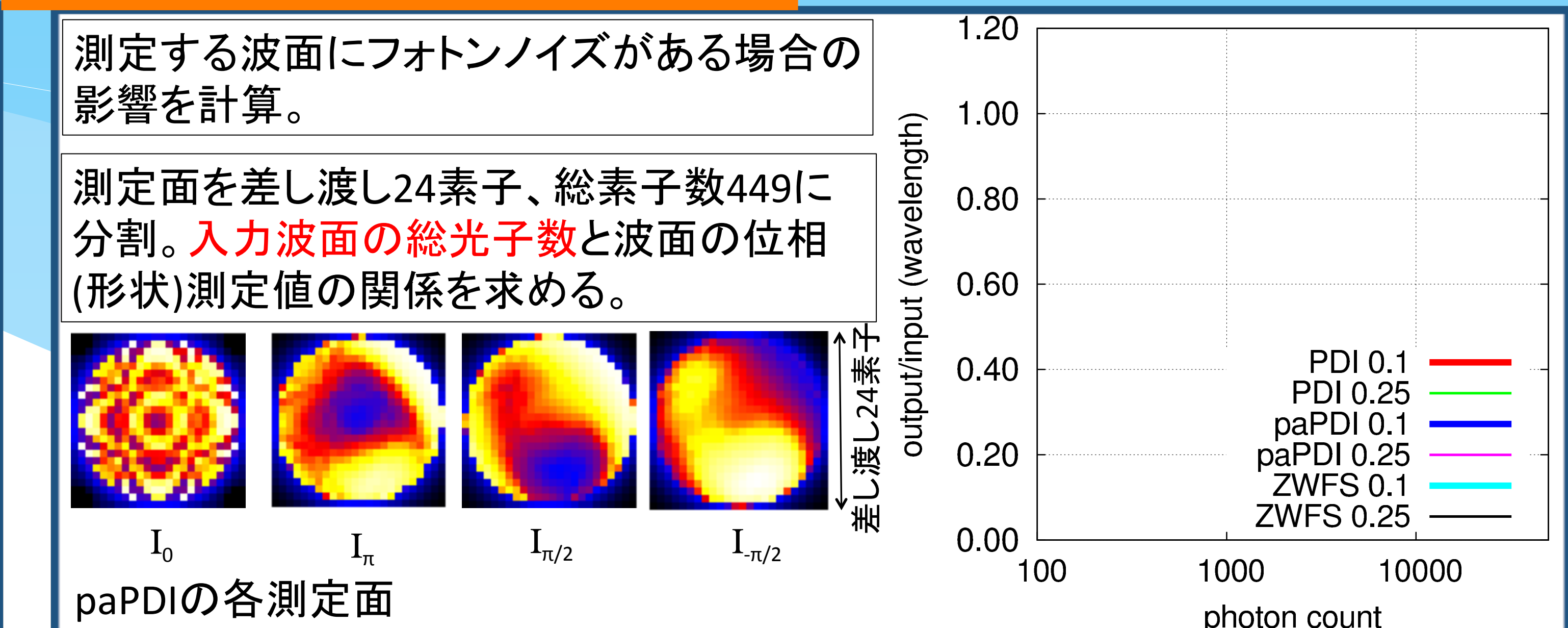
3.a 位相測定性能シミュレーション



3.b 振幅測定性能シミュレーション



3.c フォトンノイズの影響



4. まとめ

位相変調の機構が必要ない、リアルタイム位相・振幅同時測定方式の波面センサを提案した。

	位相測定レンジ(P-V)	測定可能なStrehl比	振幅測定	光子ノイズの影響	特色
ZWFS	$\pm\lambda/10, \pm\pi/5$	>90%	<<1	ほぼ無し	簡単な計算で位相・振幅を導出出来る。
paPDI	$\pm\lambda/4, \pm\pi/2$	>40%	制限無し		ピンホールによる整形のため低Strehl比でも測定出来る。