S. Nozaki, (Univ. of the Ryukyus)

慣性核融合における半影法を用いた中性子画像再構成法の改良

野崎真也*　有川安信** 井上裕晶**藤岡慎介**金城篤史***

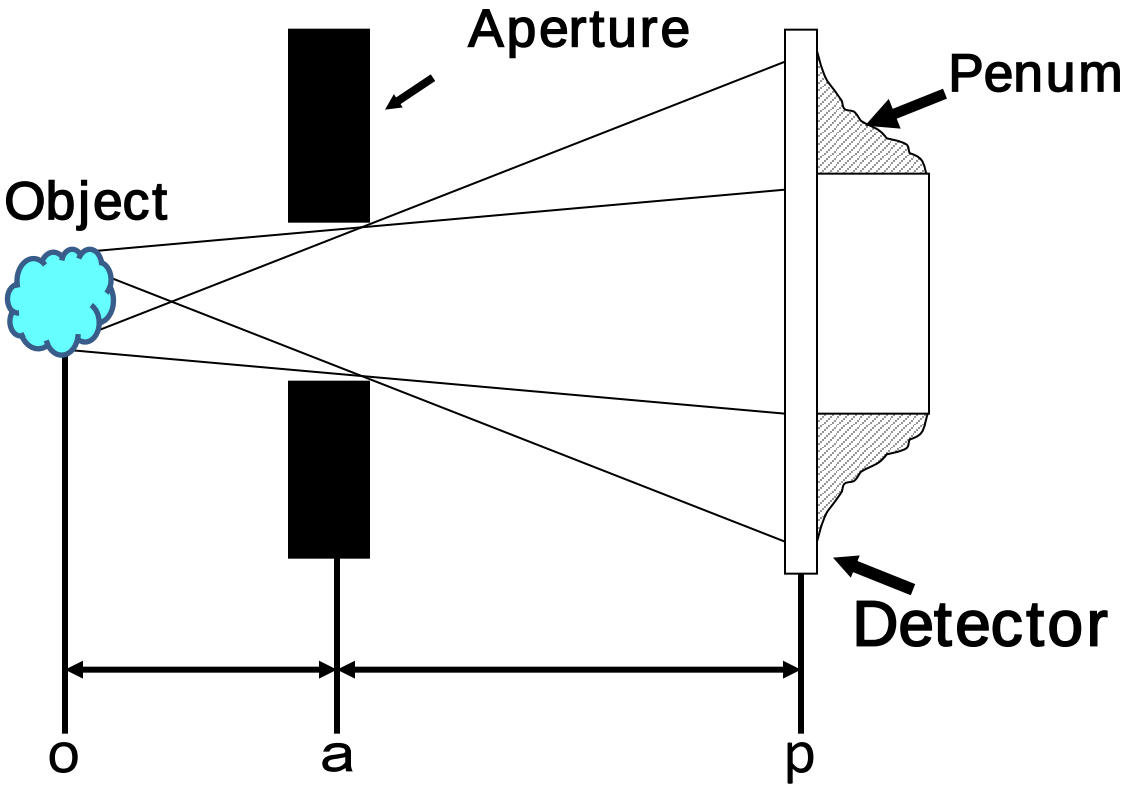
*琉球大学工学部
**大阪大学レーザーエネルギー学センター
***東北学院大学　教養学部　情報科学科

2013年9月5-6日　核融合科学研究所・画像計測研究会2013

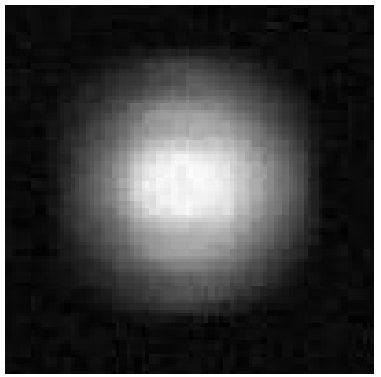
Outline

- 半影法の原理および画像再構成と高速点火（ノイズの問題）
- Space-invariantなPSFにおける画像再構成法
  - Heuristic methodによる画像再構成
  - Principal Component Analysis による画像再構成
- Space-variantなPSFにおける画像再構成法（中性子の測定）
  - Space-variantなPSFによる再構成の難易度
  - アパーチャの改良
  - **Reconstruction method based on the heuristic method**
  - **高速化および効率化**

半影部分に被写体の空間情報が含まれる



半影像



アパーチャの応答関数が**等方的であれば**:

$$P(r) = \iint A(r - r') \cdot O(r')dr'$$

$$p = a * o + n$$

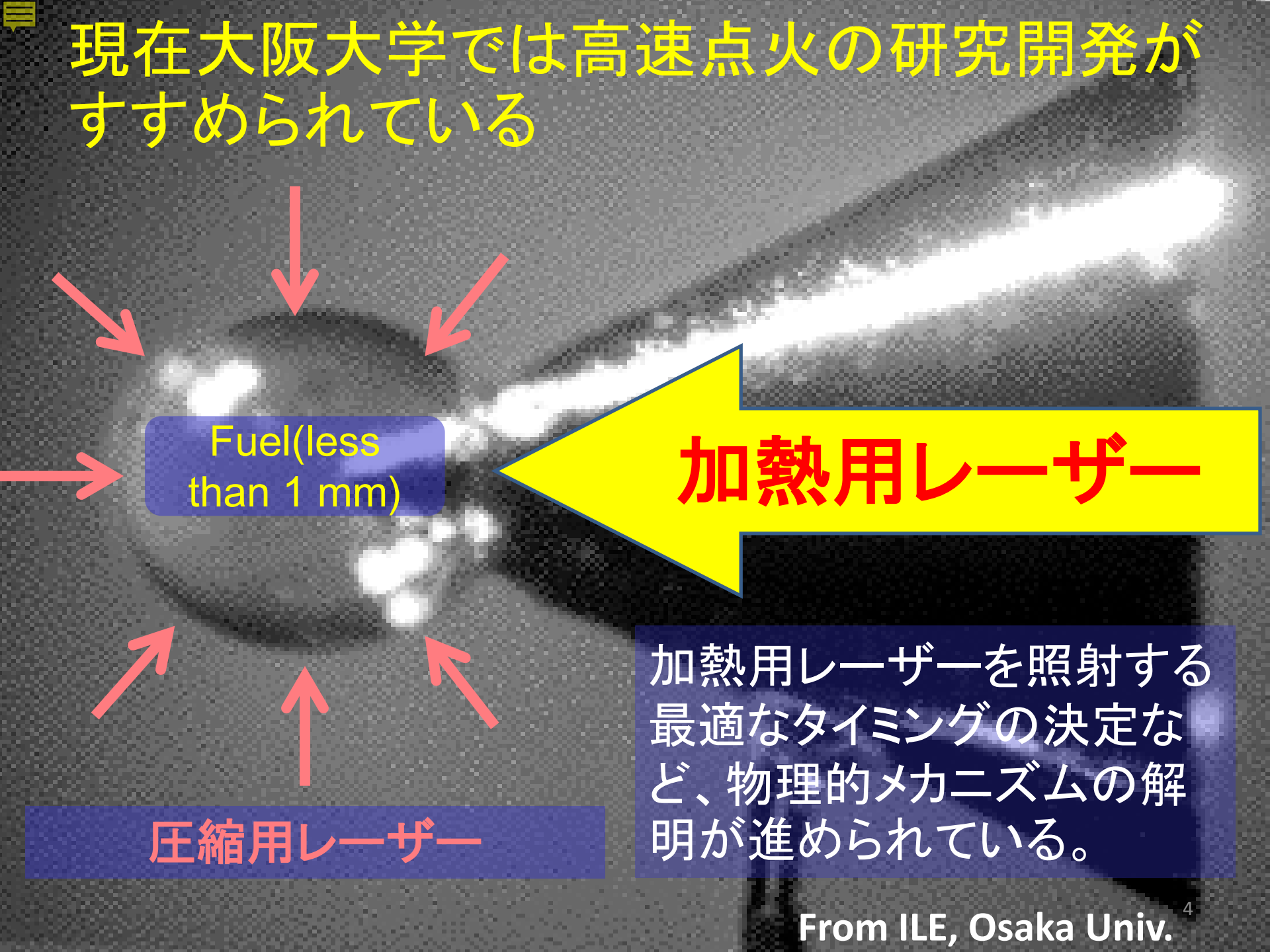
***o*:object　*a*:aperture**

***n*: noise**

＊:convolution

逆畳み込みの計算により再生像を求めることができる

現在大阪大学では高速点火の研究開発がすすめられている



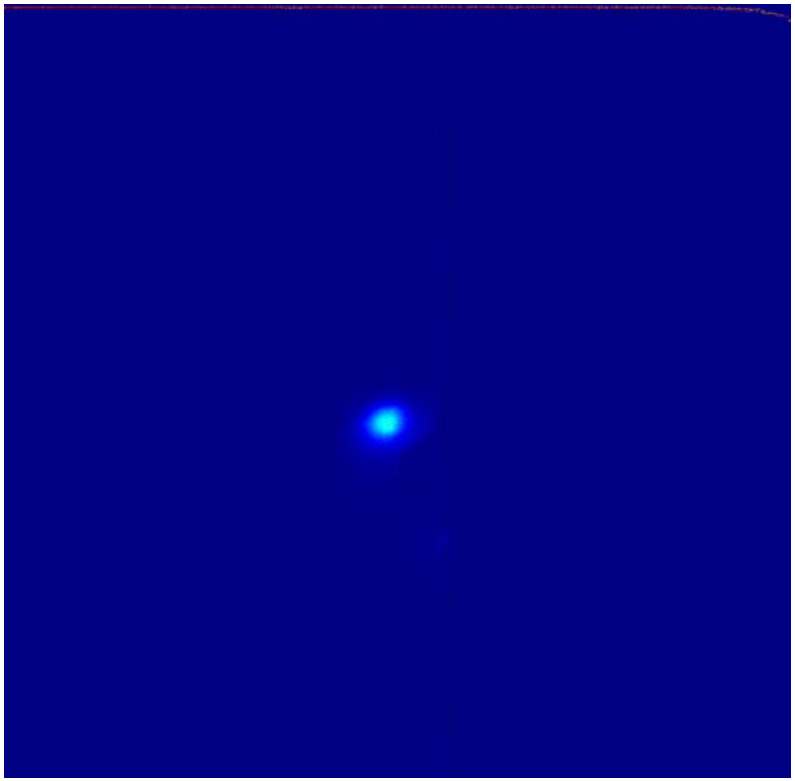
加熱用レーザーを照射する最適なタイミングの決定など、物理的メカニズムの解明が進められている。

From ILE, Osaka Univ.

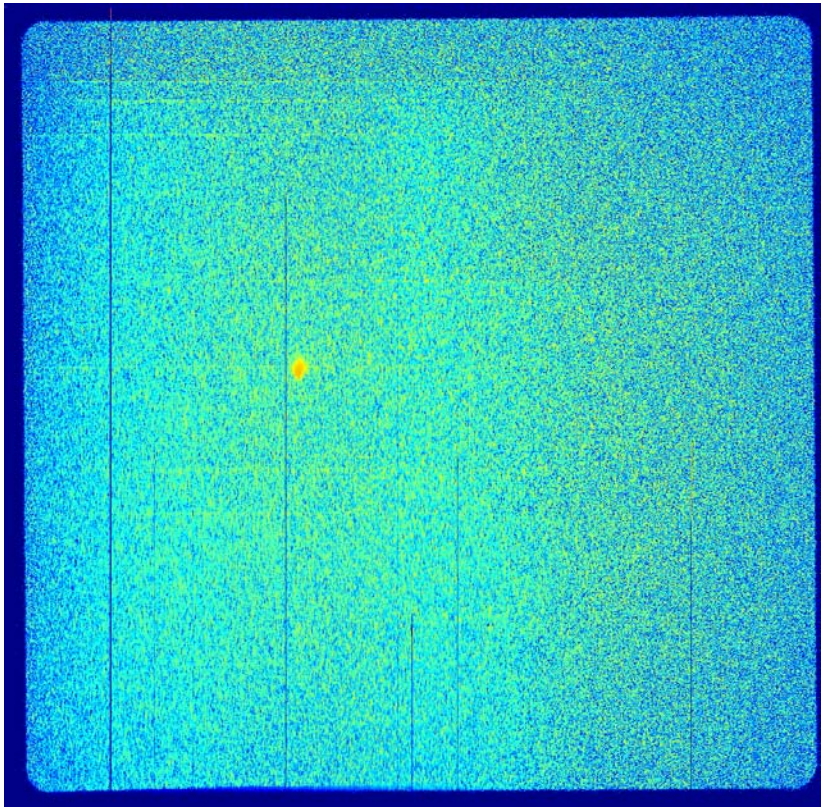
ターゲット部分のノイズに加えて、加熱用レーザーによるspeckleなノイズが印加

例：ピンホールカメラで得られた像

加熱用レーザーなし

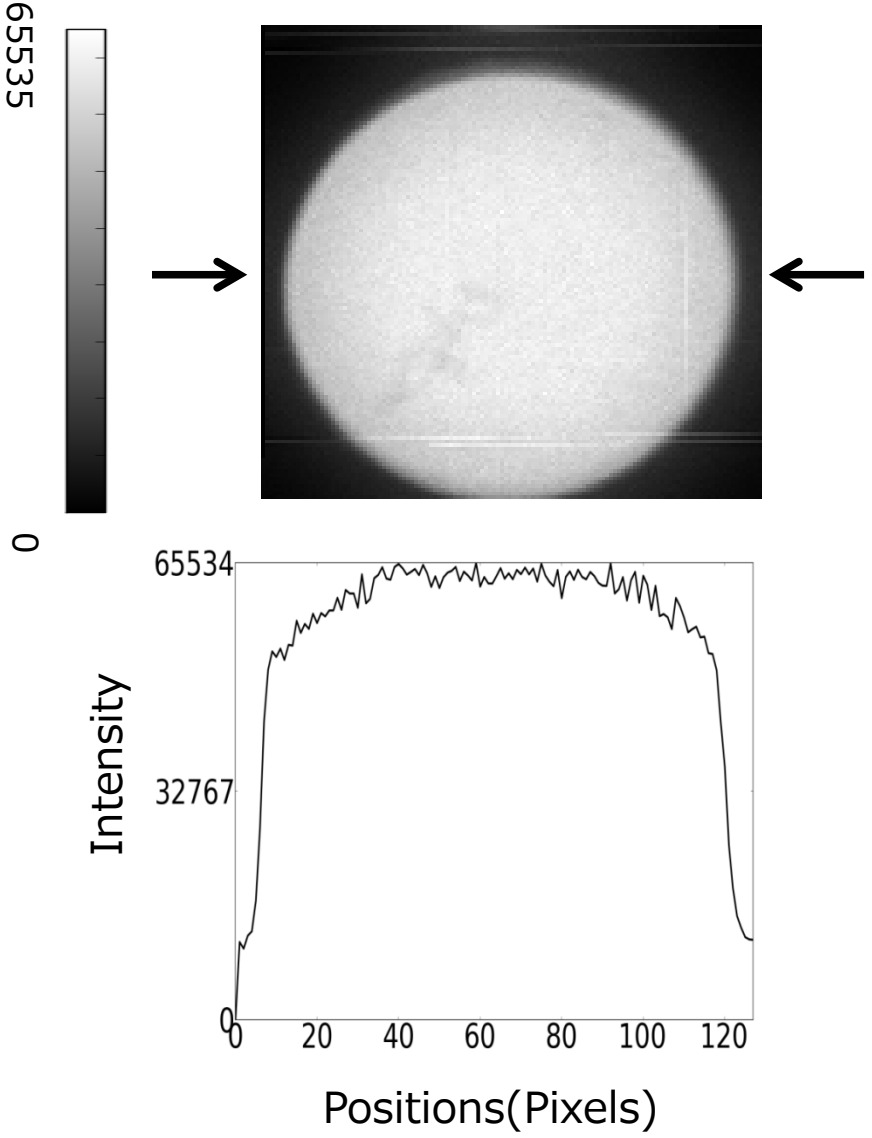


加熱用レーザーあり

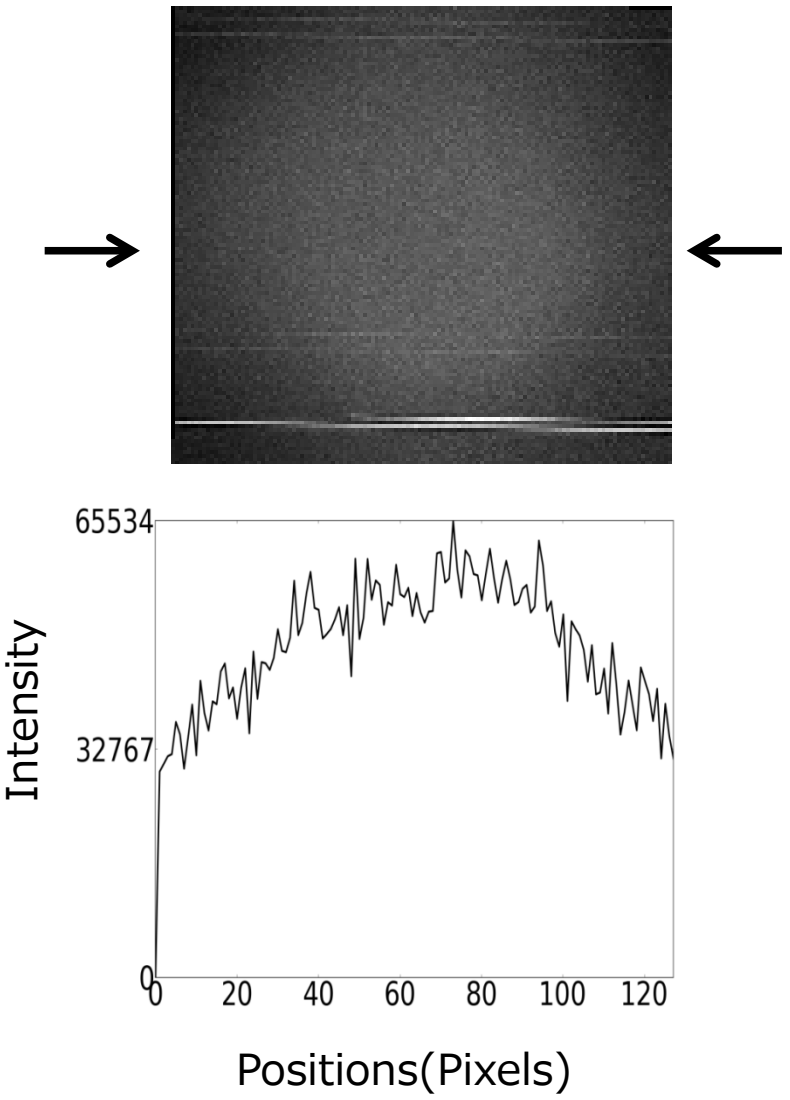


from ILE, Osaka Univ.

Penumbral images from ILE



Without the heating laser



With the heating laser

Outline

- 半影法の原理および画像再構成と高速点火（ノイズの問題）
- **Space-invariantなPSFにおける画像再構成法**
  - **Heuristic methodによる画像再構成**
  - **Principal Component Analysis による画像再構成**
- Space-variantなPSFにおける画像再構成法（中性子の測定）
  - Space-variantなPSFによる再構成の難易度
  - アパーチャの改良
  - **Reconstruction method based on the heuristic method**
  - **高速化および効率化**

Estimation(Reconstruction) using Heuristic method

Updated by Heuristic method

$$\hat{O} * A = \hat{P}$$

minimize

$$O * A + n = P$$

$\hat{O}$: estimated object

O : original object

Heuristic method

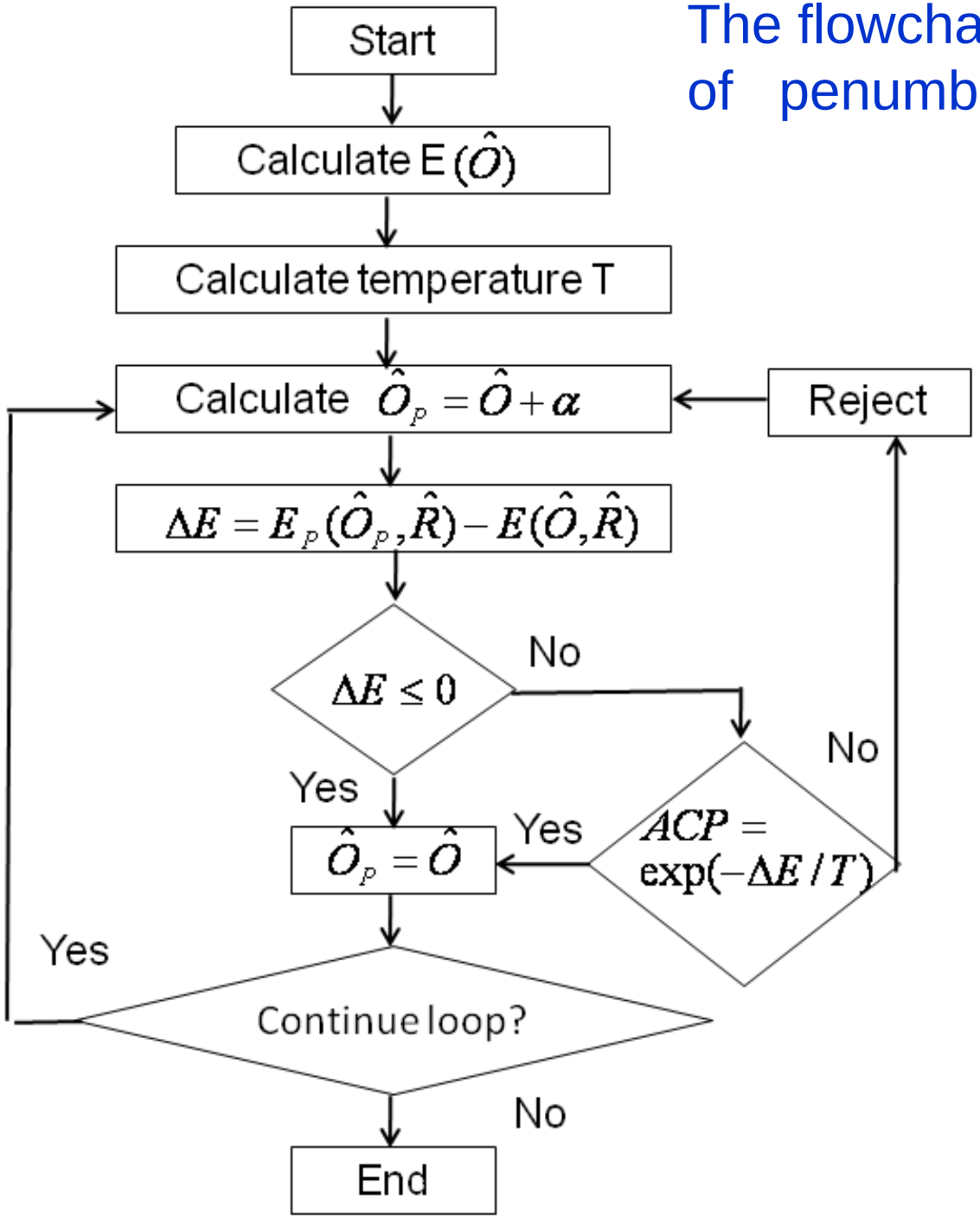
Minimization of cost function

$$E(\hat{O}) = \left\| P(r) - \hat{P}(r) \right\|^2 + \lambda \left\| L \cdot \hat{O} \right\|^2$$

λ : parameter of smoothness

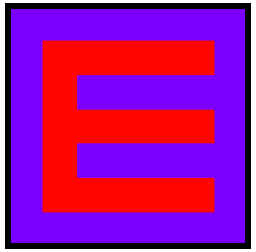
In order to estimate optimum $\hat{O}$ which minimize the cost function, SA（Simulated Annealing） is effective as reconstruction method.

The flowchart of reconstruction of penumbral images.

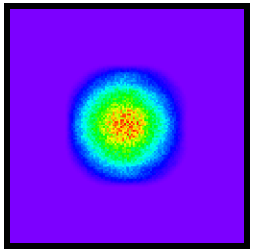


In many experiments, PSF is not known or known with some error, yielding an erroneous result.

An example:



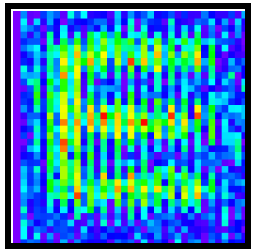
Original image (35 x 35pixels)



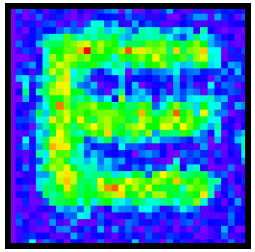
Penumbral image included noise (SNR=20 [dB])

It can be seen that only a small error in PSF results in an erroneous reconstruction.

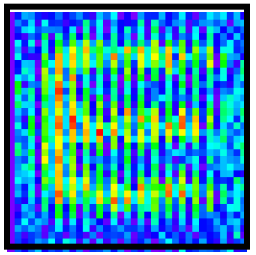
Reconstructed images by the Wiener filter with different PSF(Δ R : error of PSF)



R=19 (ΔR=-5%)



R=20 (ΔR=0)



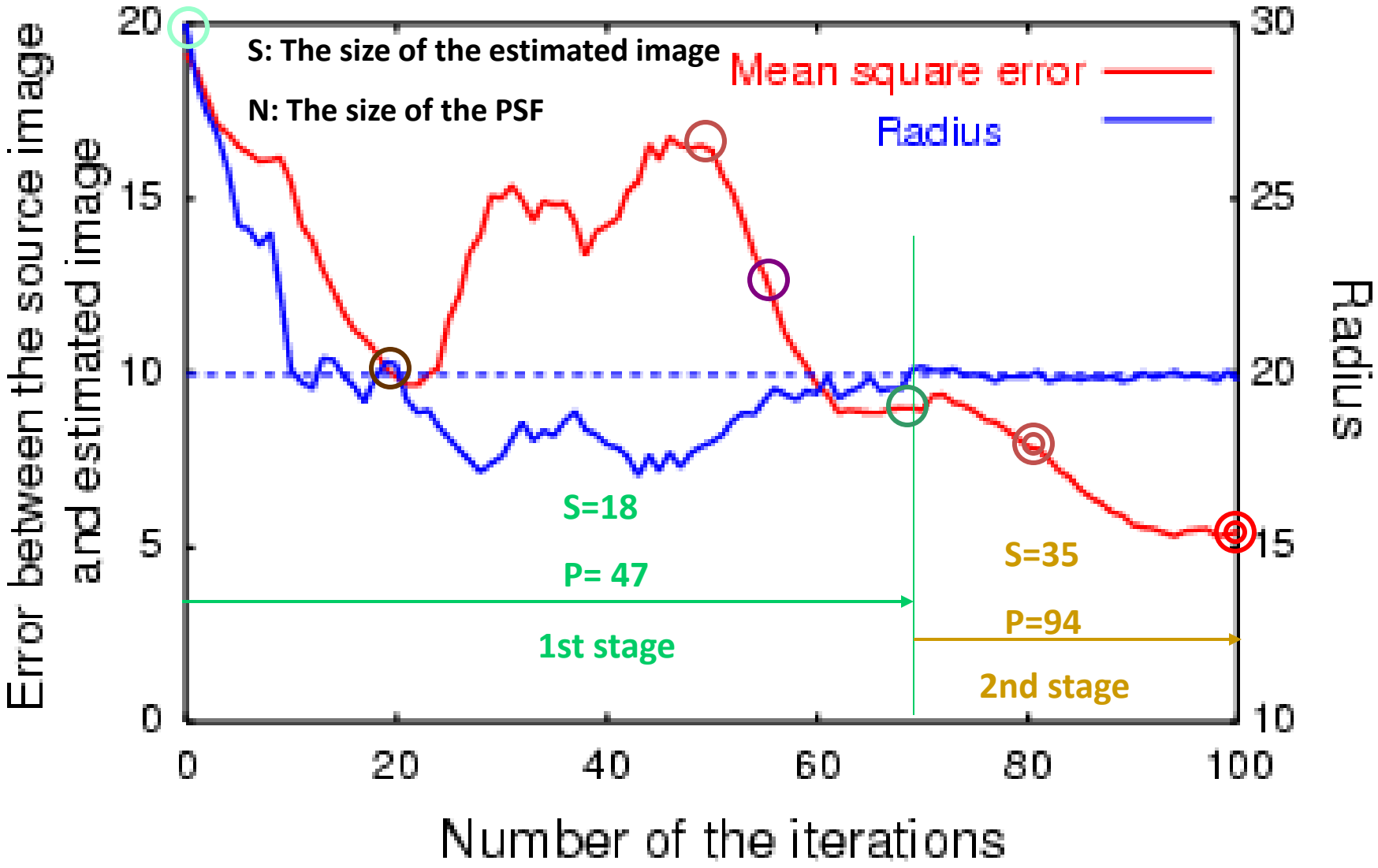
R=21 (ΔR=+5%)

Thus it is necessary to deconvolve o from p alone, which is known as a blind deconvolution problem.

Computer simulation

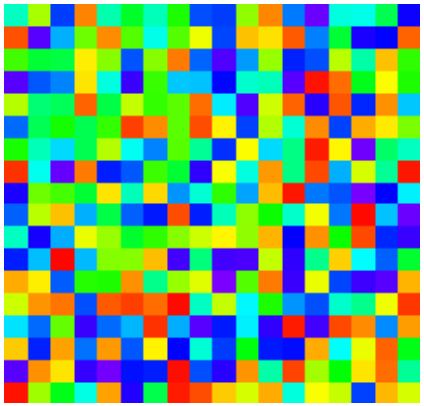
Both of the radius and the source image is exactly estimated

S. Nozaki, (Univ. of the Ryukyus)



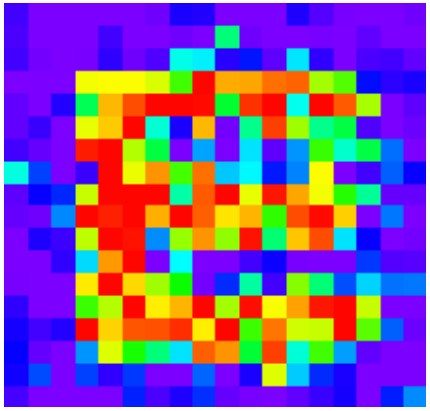
The estimated images in the 1st stage

(Number of the iterations: 0-70)

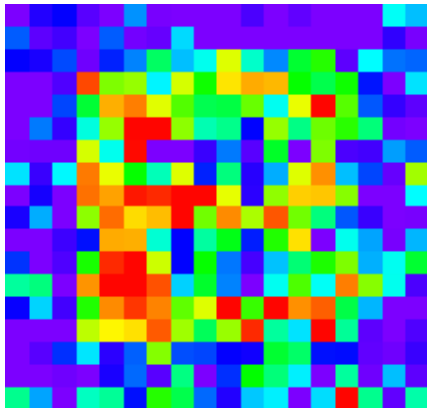


Number of the iteration

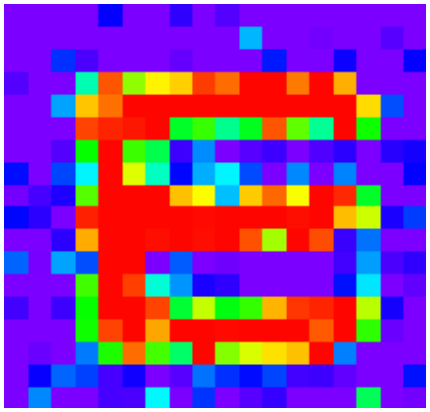
t=0



t=20



t=50



t=55

t=70

The estimated images in the 2nd stage

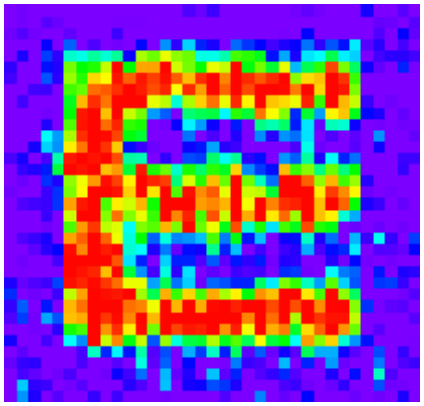
(Number of the iterations: 71-100)

S. Nozaki, (Univ. of the Ryukyus)

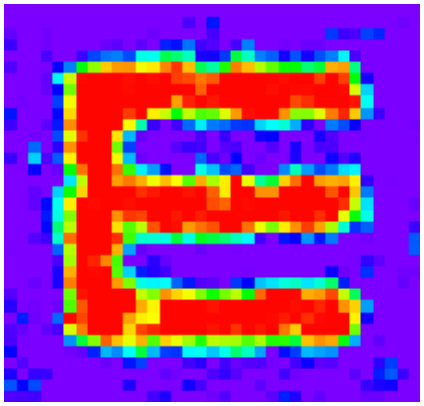
The blind reconstructed image by the proposed method is much better than that by the Wiener filter, which is not a blind reconstruction).

Blind reconstruction

by the proposed method



t=80 ◎

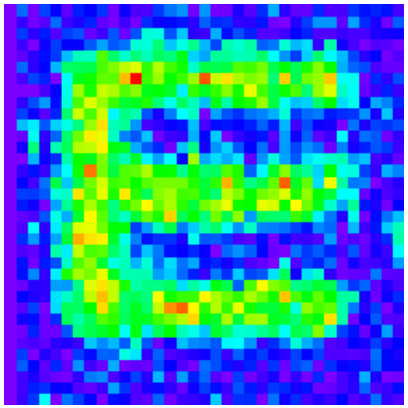


t=100 (Final result)◎

MSE=5.98

Non-Blind reconstruction

by the conventional method



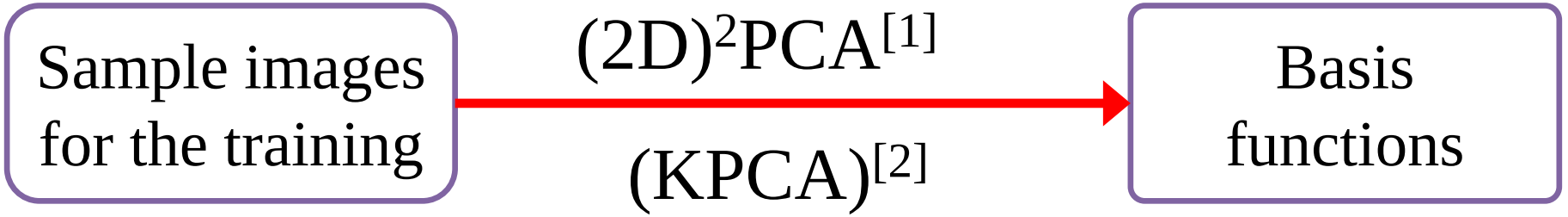
Reconstructed image by the Wiener filter

MSE=12.21

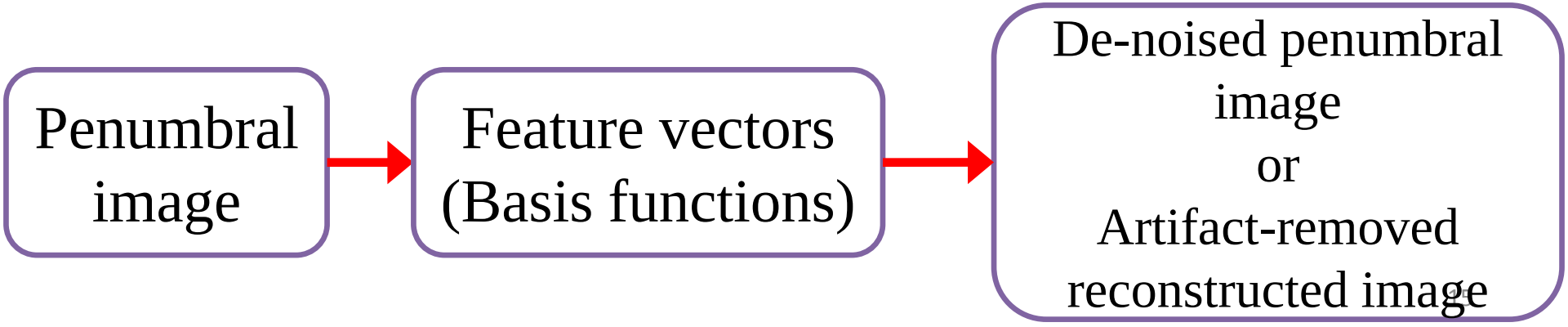
S. Nozaki, et al., *Rev. Sci. Instrum.,* (2002).

A process of the use of the PCA

Step1：Calculation of the basis function (**Learning**)



Step2：Removal of the noise in the penumbral images

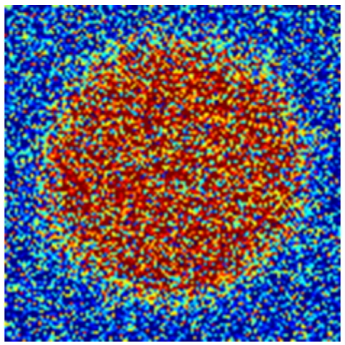


[1] Daoqiang Zhanga and Zhi-Hua Zhoua, Two-directional two-dimensional PCA for efficient face representation and recognition, *Neurocomputing*, (2005).

[2] S. Mika, et al., *Proceedings of the 1998 conference on Advances in neural information processing systems II*, (1999).

Am improvement of the reconstruction by the use of the PCA's

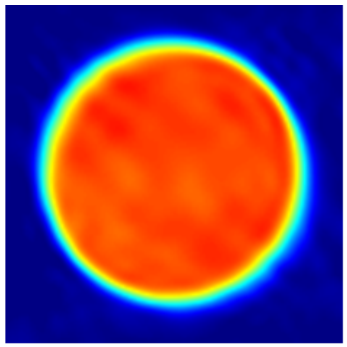
The noise in the penumbral image is removed with $(2D)^2PCA$ and the artifact in the reconstructed image is removed with Kernel PCA



Penumbral Image

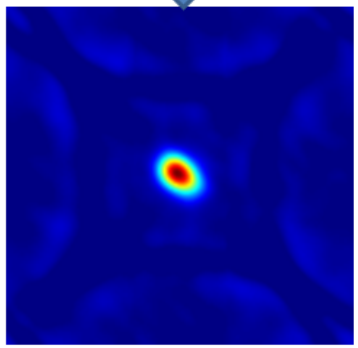
PCA

$(2D)^2PCA$



De-noised Penumbral image

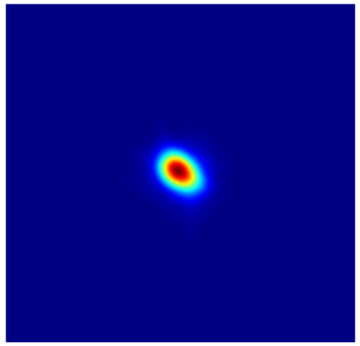
Wiener filter



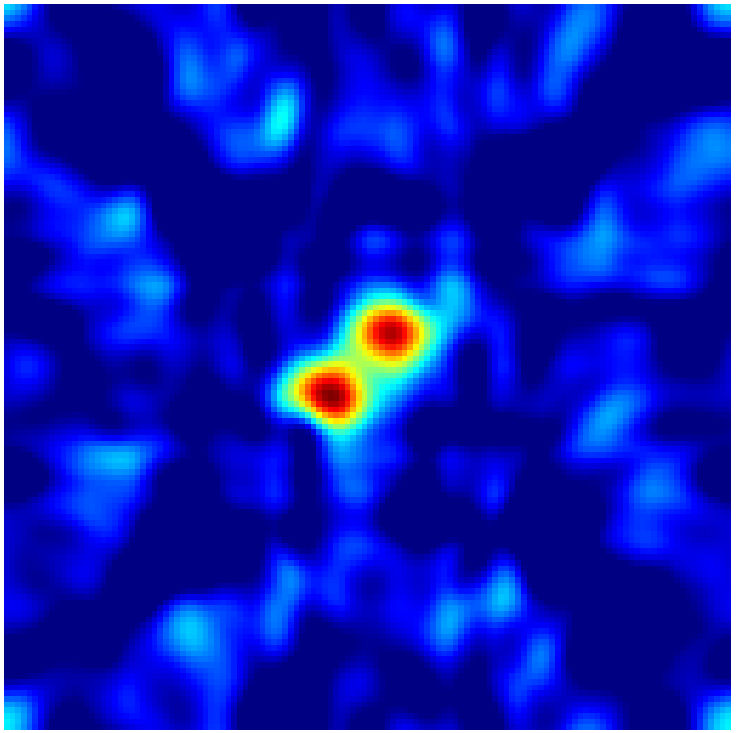
Reconstructed Image

PCA

KPCA

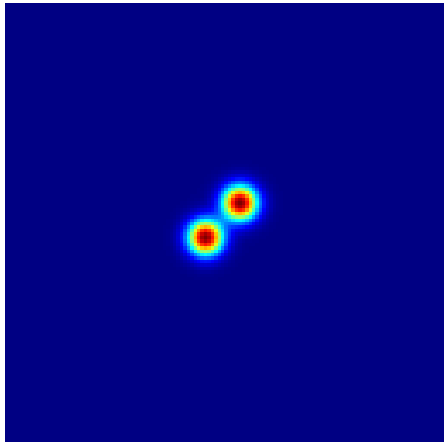


Finally obtained Reconstructed Image

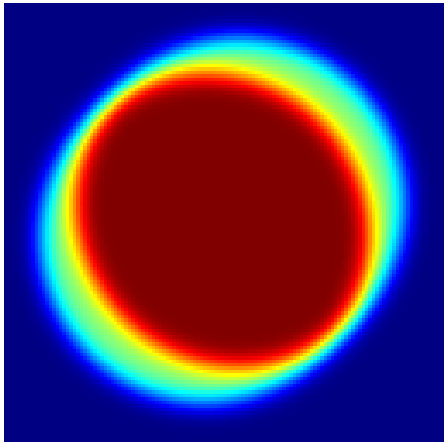


Computer simulations

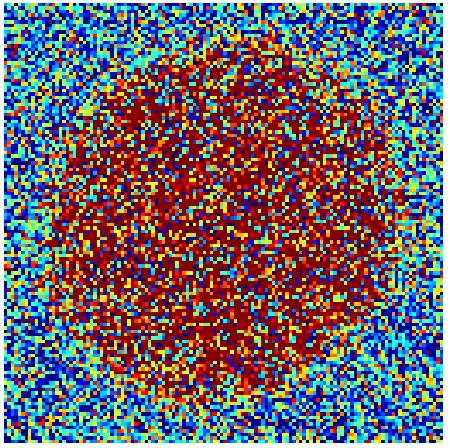
Phantom image



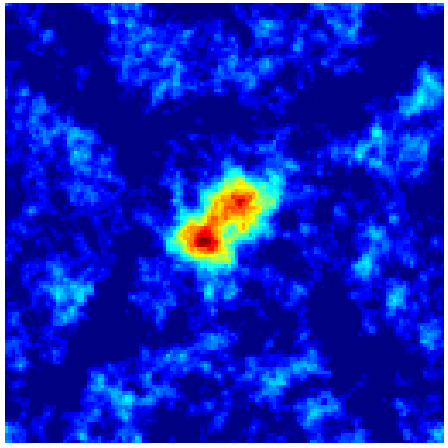
Penumbral images



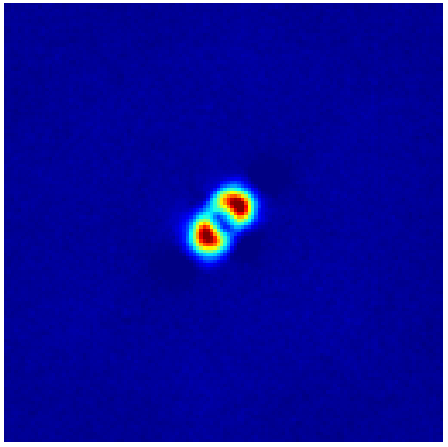
Noise-added penumbral image (S/N=3.5 [dB])



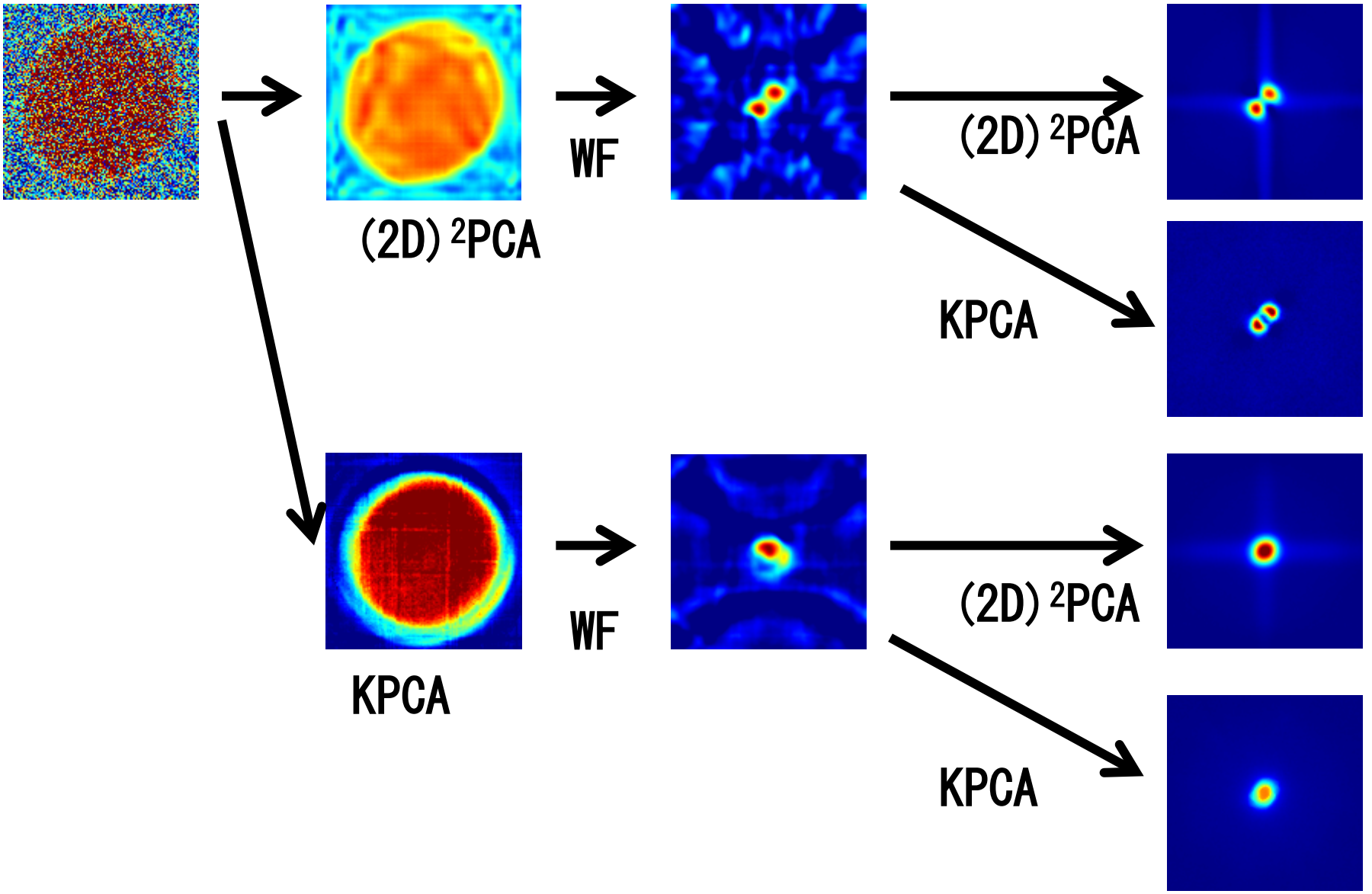
Reconstructed image by conventional deconvolution



Reconstructed image by the proposed method



Comparison of the combinations



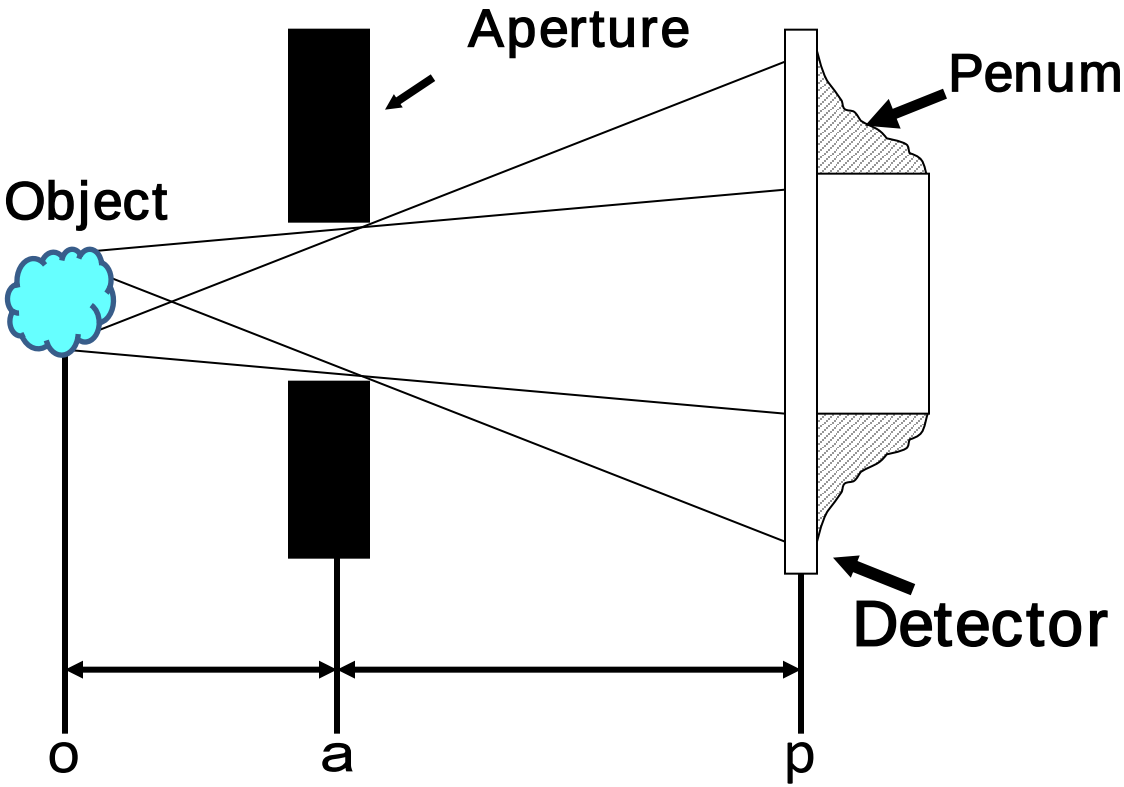
Reconstruction method	Mean squared error
$(2D)^2$PCA- Wiener filter- (2D)2PCA	2154
$(2D)^2$PCA- Wiener filter- KPCA	**1781**
KPCA- Wiener filter- $(2D)^2$ PCA	3153
KPCA- Wiener filter- KPCA	3198

S. Nozaki, et al., *The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems,* (2012).

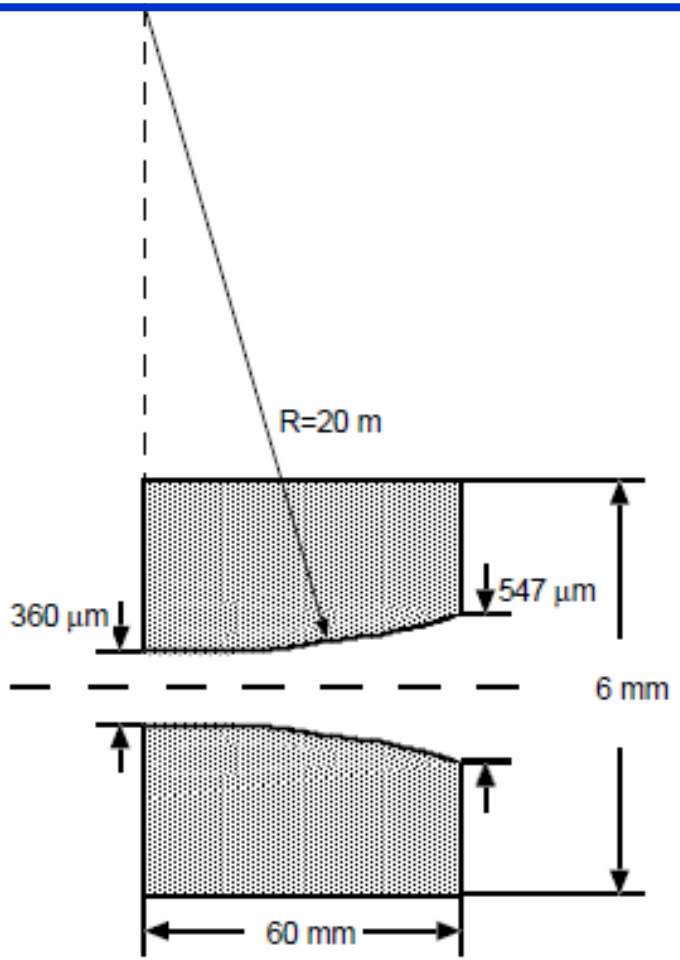
Outline

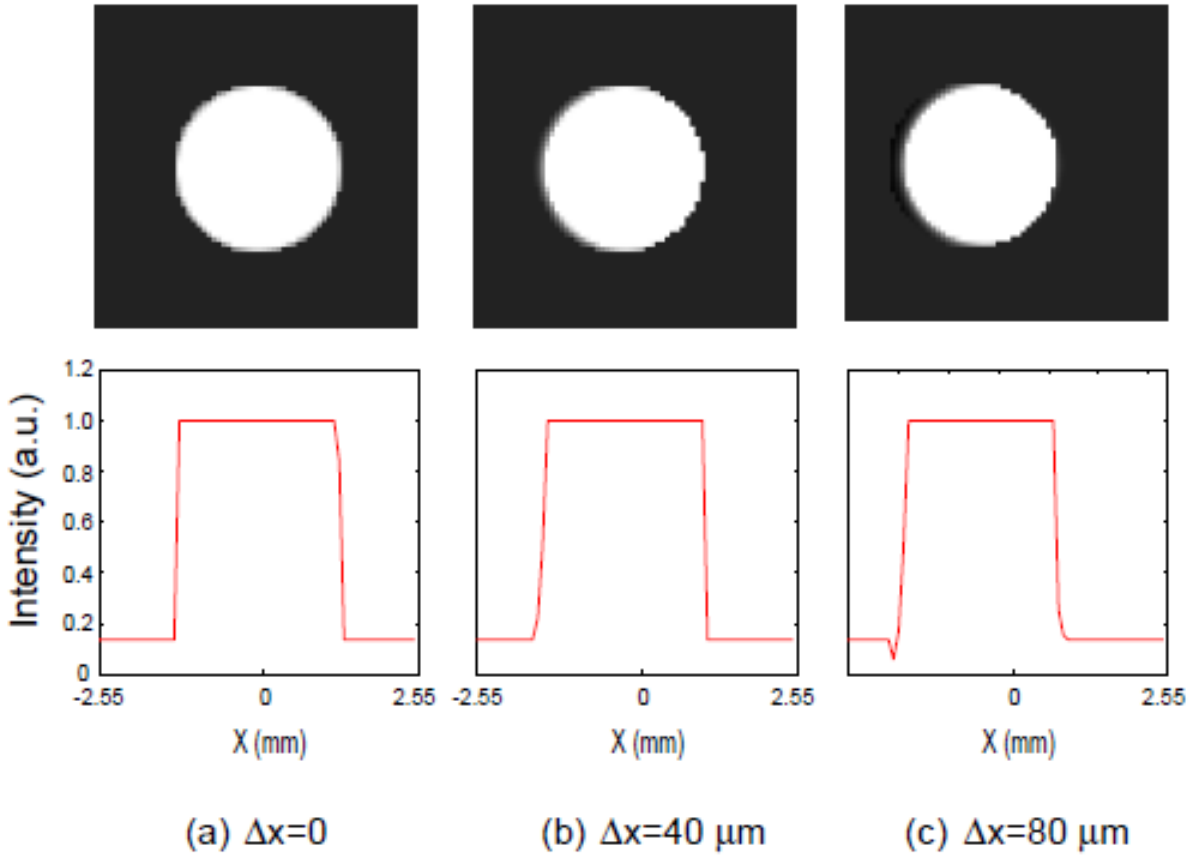
- 半影法の原理および画像再構成と高速点火（ノイズの問題）
- Space-invariantなPSFにおける画像再構成法
  - Heuristic methodによる画像再構成
  - Principal Component Analysis による画像再構成
- Space-variantなPSFにおける画像再構成法（中性子の測定）
  - Space-variantなPSFによる再構成の難易度
  - アパーチャの改良
  - **Reconstruction method based on the heuristic method**
  - **高速化および効率化**

中性子に適用する際にはアパーチャを厚くする必要がある



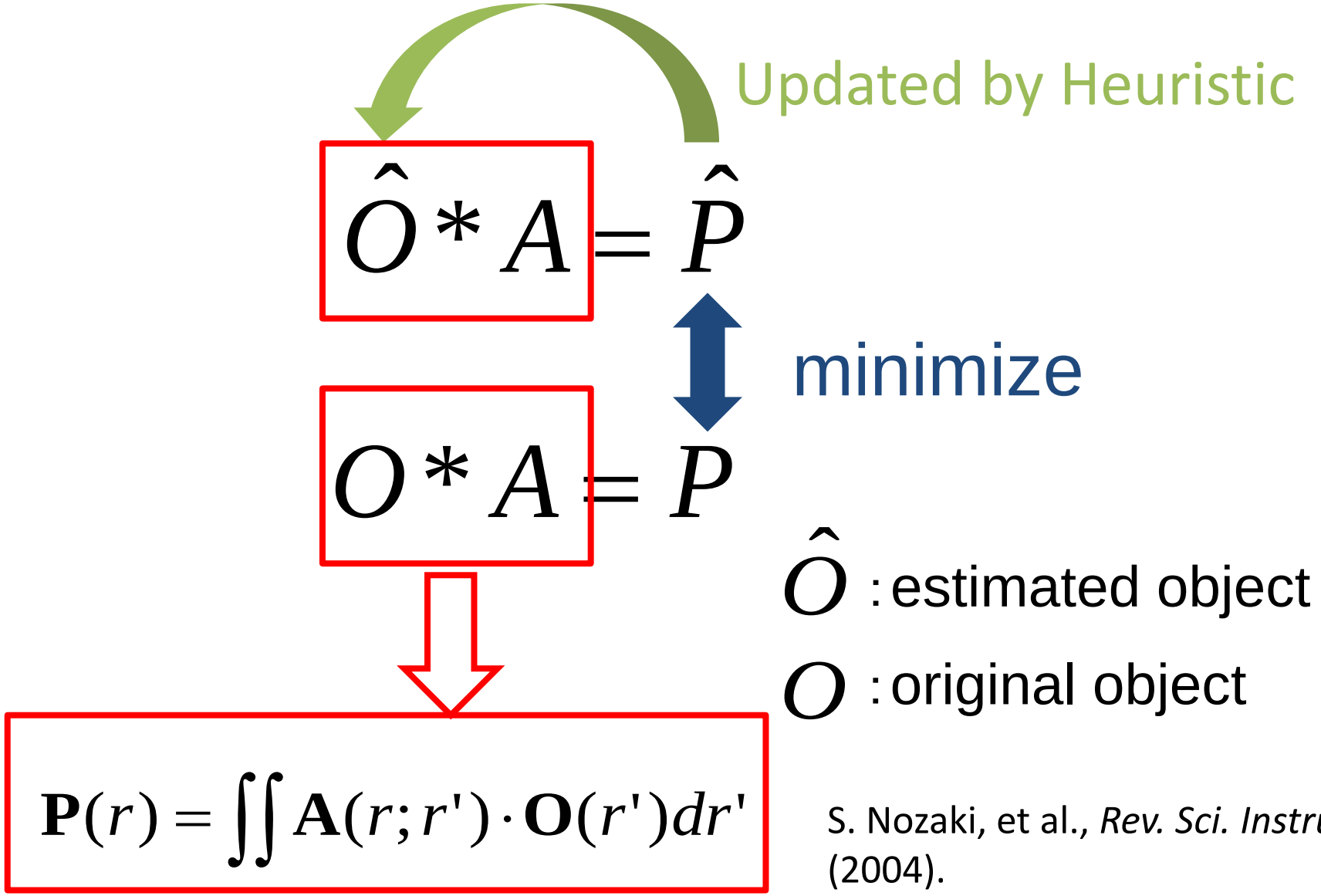
できるだけPSFが等方的になるためにはトロイダル型アパーチャ[1]が有効だが不十分[2]





[1]Y.-W. Chen, et al., *IEICE Trans. Electron.,* (1995).
[2]野崎真也，博士論文(2003).

Estimation(Reconstruction) using Heuristic method

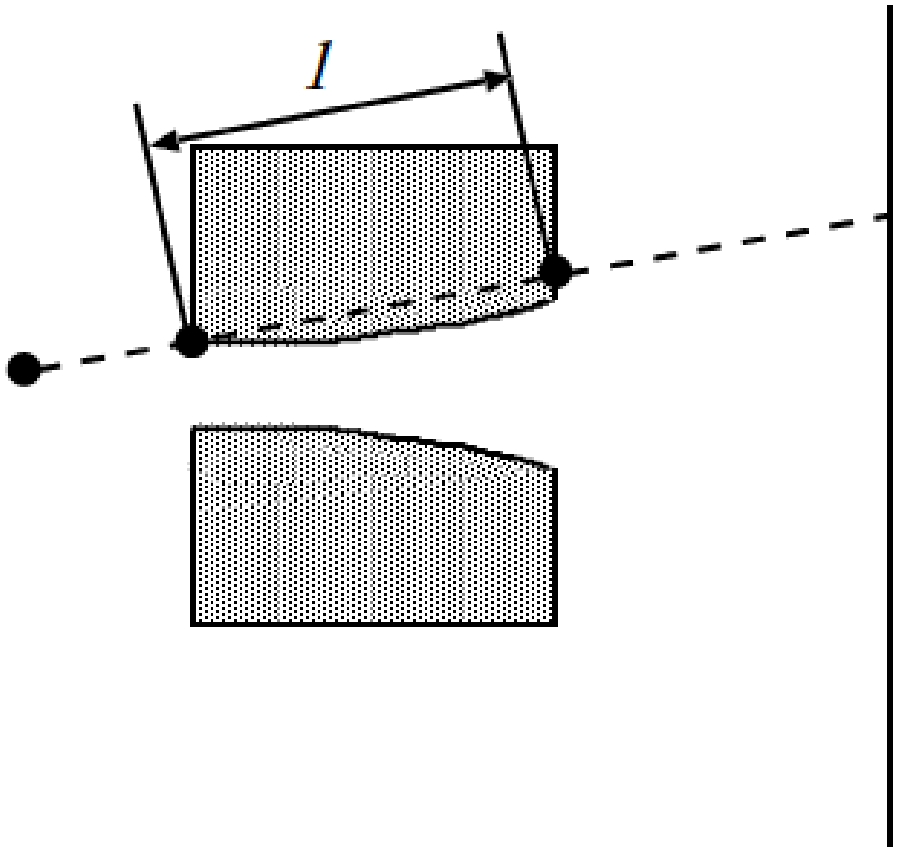


$\hat{O}$: estimated object

O : original object

S. Nozaki, et al., *Rev. Sci. Instrum.*, (2004).

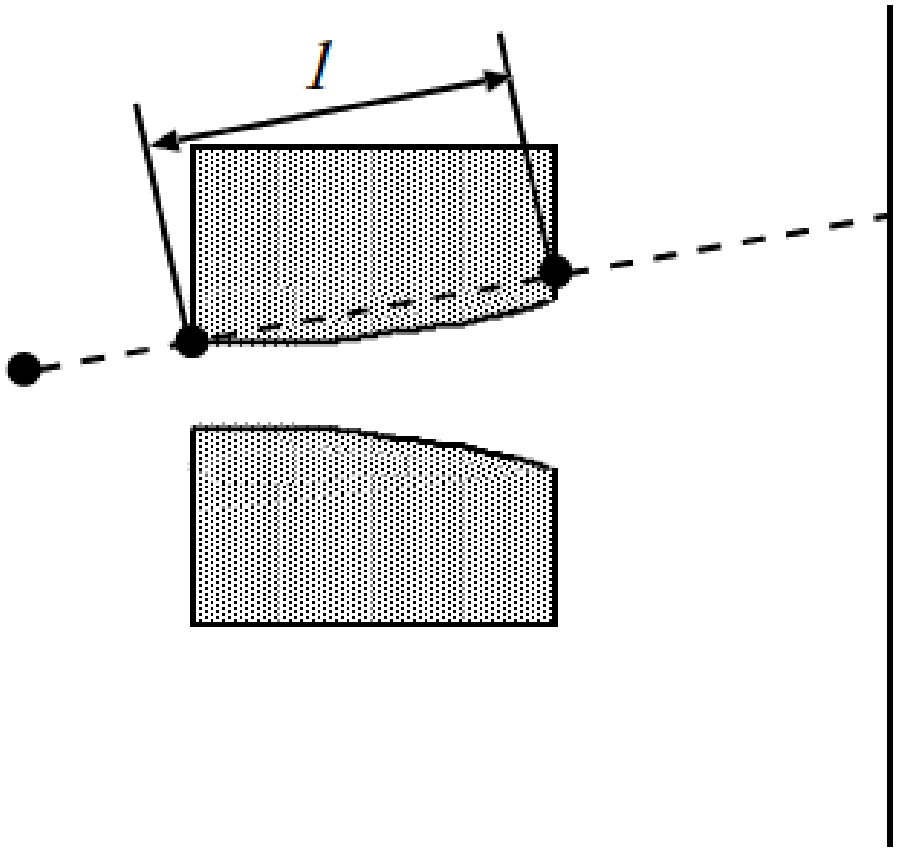
推定半影像を生成するために、各点における検出器への中性子数を計算



高速点火実験へ適用するために

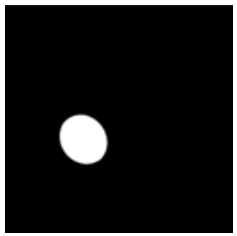
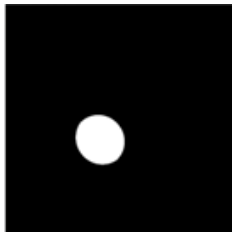
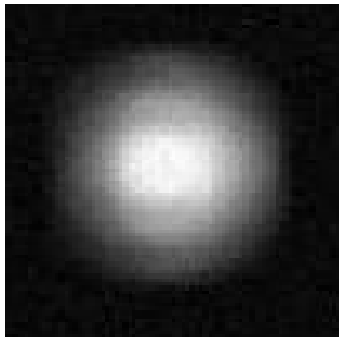
- 画素数が多い
- PCAの適用は検討が不十分（学習用データの整理、基底関数の適用の基準の明確化等）
- ヒューリスティックは有効だが、計算時間が膨大
- 実験データへ適用するためには計算の効率化および高速化が必要

推定半影像を生成するために、各点における検出器への中性子数を計算



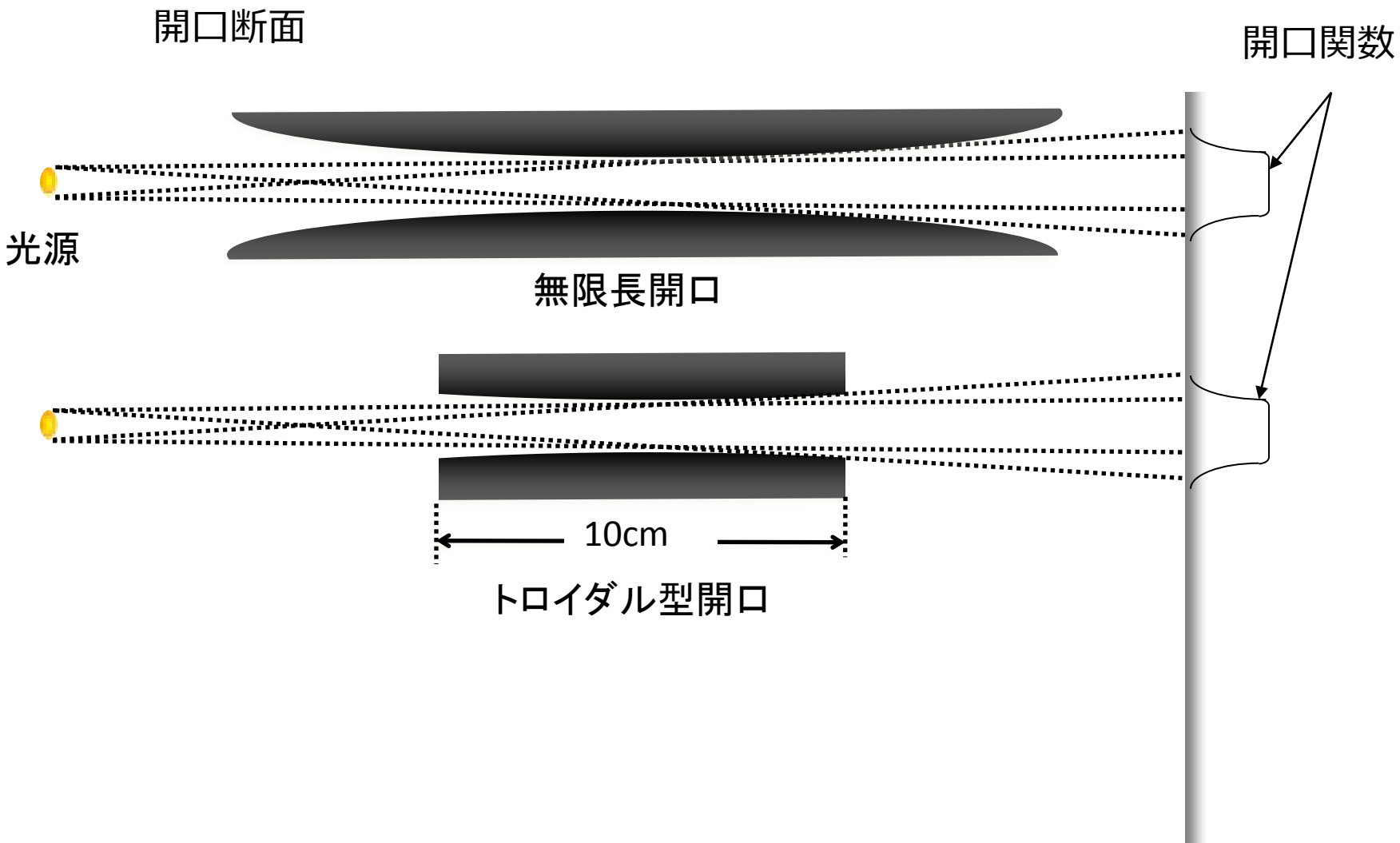
新しい推定画像生成法

PSF群を予め計算しておき、メモリに格納

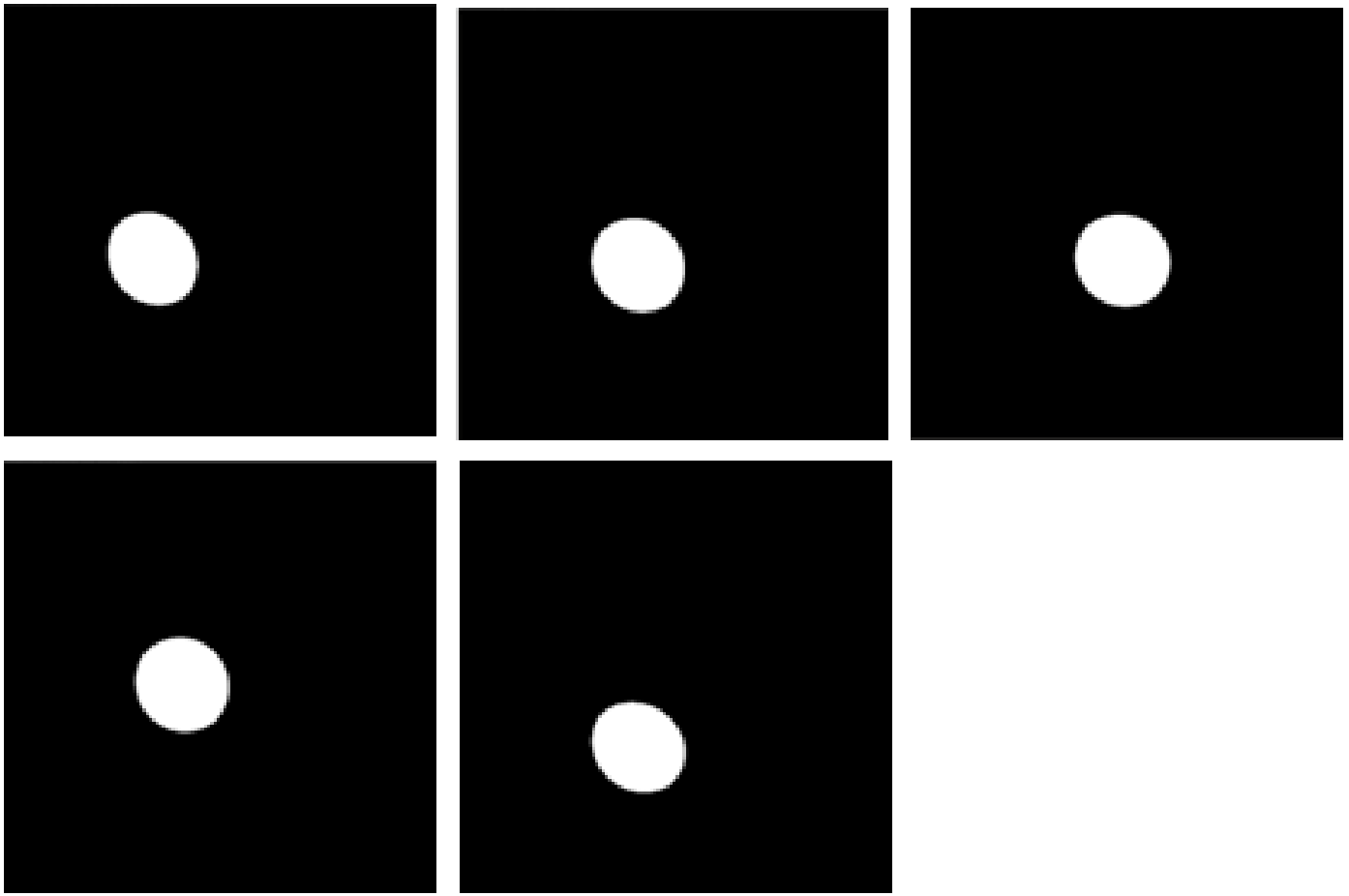
$I(a_1) \times$  $+ I(a_2) \times$  $+ \ldots =$ 

多数のPSFを格納するために大きなメモリ領域が必要だが、近年のPCで対応可能になってきた。

トロイダル型アパーチャの設計



PSF群の一部（本ケースでは160x160ピクセルの画像が480x480個）



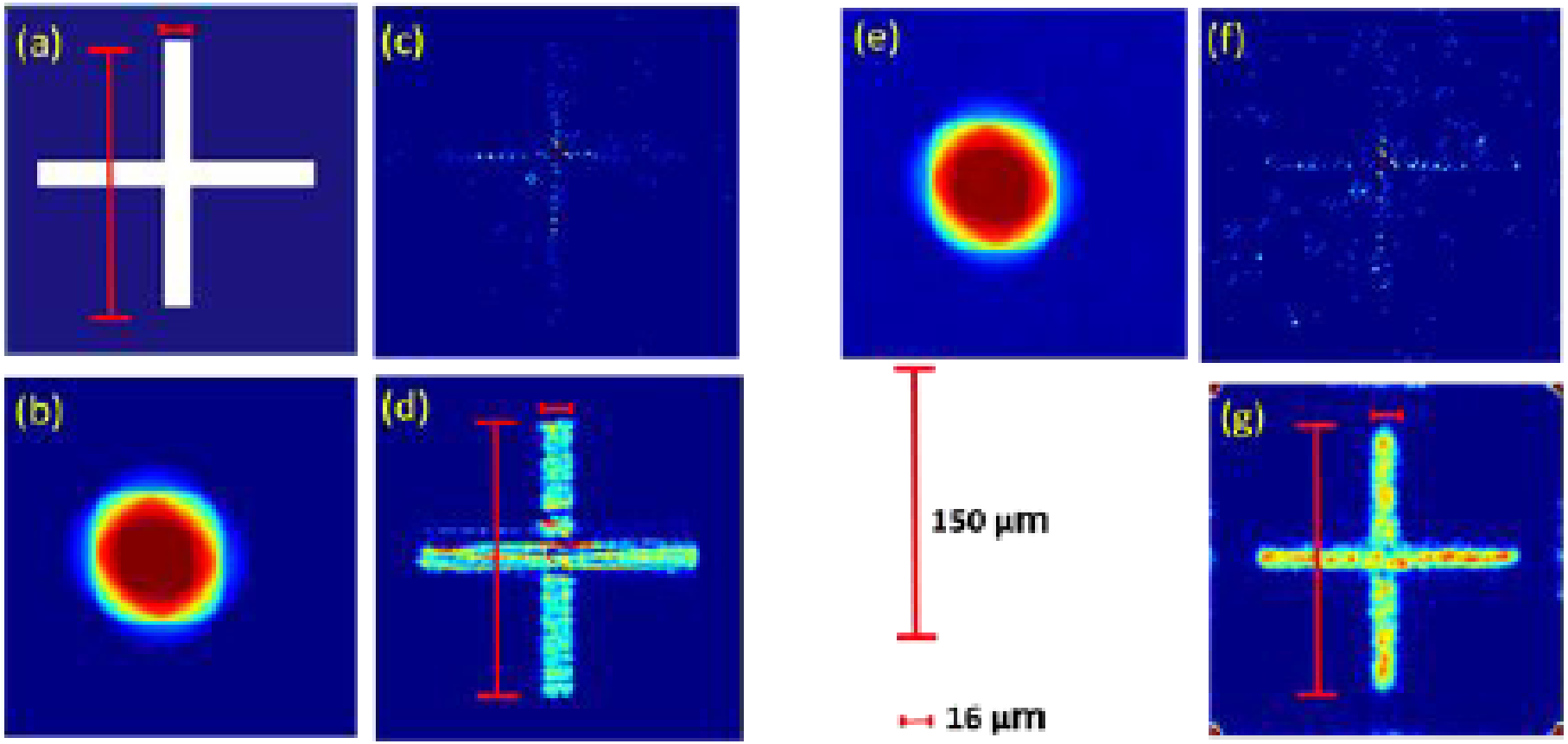
本手法の手順

- PSF群を読み込みメモリに収納
- Simulated Annealingの実行

実行環境等

- メモリ64GBのPC（使用メモリは54GB程度）
- 使用言語はMatlab（PSF群をメモリに収納しながらSAの実行に適している）

十字像（ターゲットとカメラの間に十字スリットを配置）もヒューリスティック再生法は有効



H. Inoue, et al., submitted to Plasma and Fusion Research

まとめ

- 半影法は透過性の強い放射線の２次元分布（画像）に適しているが**ノイズに弱く、space-invariant**でなければならない。
  - 高速点火では加熱用レーザーから発生される硬X線やγ線による多量のノイズが発生
  - 中性子を計測する場合にはspace-variantになり、再生精度が低下する
- **ヒューリスティック手法**による再構成法は有効。しかし**計算時間がかかる。**
- 機械学習による再構成法も有効。ヒューリスティック手法に比べて短時間で再構成できる。高速点火における半影像への適用を検討中。
- ヒューリスティック手法を適用すると同時にアルゴリズムを改良して、計算を効率化
- **計算時間がどのぐらい短縮できたか比較検討を行う**