



研究ノート

## コーデド・アパーチャーカメラ による X 線画像計測

仁木秀明\* 山中正宣\*\*

### 1. はじめに

X線は可視光のように容易に反射，屈折させることが困難であるため，その画像計測には通常の光学系を用いることができない．その手段としてすぐに思いつくのはX線に対して不透明な材質を用いたピンホールカメラである．しかしそのピンホール径は要求される空間分解能程度に制限されるので，X線の捕集効率は非常に小さくなり，弱い線源に対しては SN 比の低い画像しか得られないことになる．

コーデド・アパーチャーは通常多くのピンホールより構成され，空間分解能を保持したまま X 線捕集効率をケタ違いに向上させたものであり，1961年に Mertz と Young<sup>1)</sup>によってその概念が紹介されて以来，各種のものが提案されている．コーデド・アパーチャーの性能を示す指標の一つとして System Point-Spread Function (SPSF) がある．これは点光源に対して得られる像を表わし，それが点像に近いほど実際に得られる像がもとの物体に近いものになる．しかし通常，SPSF は強いピークの回りにサイドローブを生じ，画質を制限している．Uniformly Redundant Array (URA)<sup>2)</sup>は Fenimore により 1978年に提案されたが<sup>3)</sup>，その大きな特徴として SPSF にサイドローブを生じないということが挙げられる．本稿では X 線画像計測用に作製した URA カメラの性能とレーザー爆縮実験に応用した例を述べる．

### 2. URA カメラの試作

コーデド・アパーチャーによる記録像 P は (1)式のように物体 O とアパーチャー A の相関

関数として表わされ，再生像  $\hat{O}$  は再生関数 G を用いて (2)式で得る．

$$P = O * A \quad (1)$$

$$\hat{O} = P * G = O * (A * G) \quad (2)$$

URA の場合  $A * G$  すなわち SPSF がデルタ関数的になるので再生像にアーティファクトを生じない．実際に記録像は X 線フィルムで検知され，X 線強度に比例した値にデジタル化して画像処理用ミニコンを用いて再生像を得る<sup>3)</sup> (図 1)．

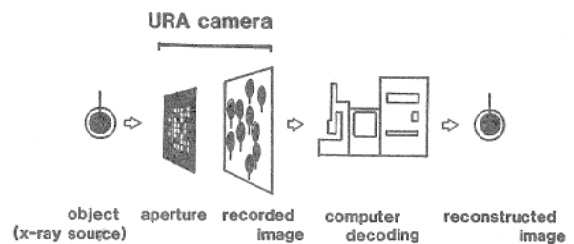


図1 URA カメラの記録と再生

レーザー核融合研究で用いられるターゲットは  $100\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$  程度であるので空間分解能としては  $10\mu\text{m}$  以下が要求され，アパーチャーのピンホール径もその程度におさえる必要がある．またアパーチャーの材質としては低エネルギーの X 線に対して不透明度の高い高 Z 物質を用いるが，肉厚もある程度必要である．アパーチャー作製のための微細加工技術としては，電子ビーム露光法等のすぐれた手法が確立しているが，工程が繁雑であり，また  $10\mu\text{m}$  程度の肉厚をもつ金属へのピンホール作製には不向きである．レーザー加工機は上記の手法のようなデリケートさは持ち合わせていないが，比較的厚い金属に小さなピンホールをあけるという作業には都合が良い．図 2 (a) はタンタル金属の薄膜 (肉厚  $15\mu\text{m}$ ) にレーザー加工機を用いて試

\*仁木秀明 (Hideaki NIKI), 大阪大学レーザー核融合研究センター, 助手, 工博, プラズマ診断

\*\*山中正宣 (Masanobu YAMANAKA), 大阪大学レーザー核融合研究センター, 助教授, 工博, プラズマ診断

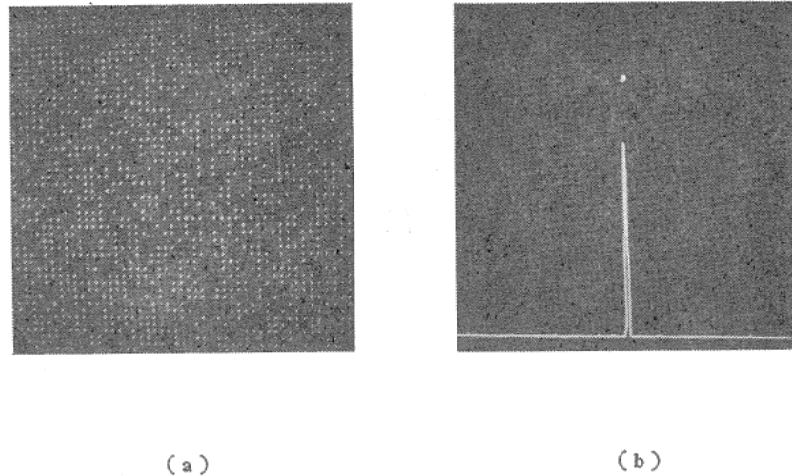


図2 レーザー加工機による URA アパーチャーの試作  
(a) Ta 薄膜に作製した URA パターン (b) SPSF

作した URA パターンである<sup>4)</sup>。試料台は1ステップ  $4\mu\text{m}$  のステップモータで駆動する XY ステージであり、レーザー光のシャッターの ON, OFF 及びステップモータはマイコンによりプログラミング制御される。試作した URA パターンは  $33 \times 31$  の配列要素に基づき、X 及び Y 方向に 2 周期分とったものであり、ピンホールの総数は 2,046 個である。となり合うピンホールの中心と中心の間隔は  $40\mu\text{m}$  で、ピンホール径は  $10\mu\text{m}$  程度で、パターン全体にわたって均一なものが得られている。図 2 (b) は試作した URA の SPSF とその断面強度分布を示す。これは URA パターン自体、点光源による影絵すなわちコーデド・ピクチャー P

と考えられるため、試作した URA パターンを顕微鏡で拡大して画像処理装置に取り込み、再生することによって得られる。SPSF としてデルタ関数に近いものが得られている。周辺にごく低いピークがいくつか観測されるが、これは URA パターンのピンホール形状のわずかな不均一性及び画像取り込みの際の中心部と周辺部の明るさの歪みによるものと考えられ、より高い精度の画像計測にはまだ改善の余地がある。

### 3. X線画像計測への応用

URA カメラとピンホールカメラを比較するために長さ  $\sim 500\mu\text{m}$ 、幅  $\sim 100\mu\text{m}$  の X線源を用いて画像計測を試みた<sup>5)</sup>。結果を図 3 に示

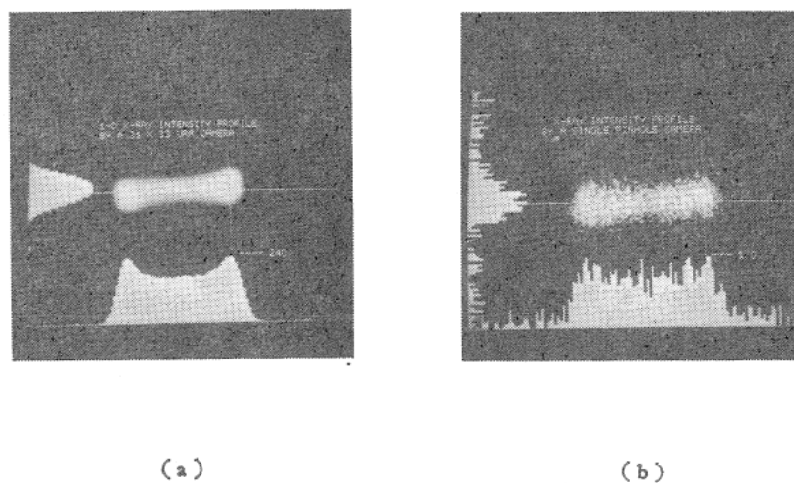


図3 X線源を用いた画像計測  
(a) URAカメラ (b) ピンホールカメラ

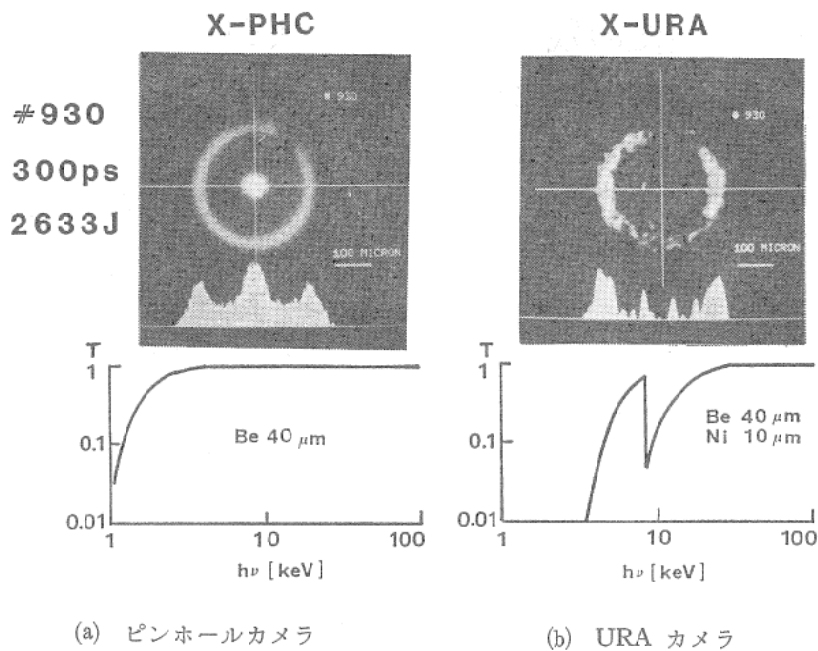


図4 レーザー照射ペレットのX線画像

す。光源、アパーチャー、X線フィルムの位置関係並びにX線露光時間は両者について同一条件としており、画質の差が顕著に現われている。画質の粗さには、フィルムのグレインノイズ及び画像取り込みの際のディジタイゼーションエラーが含まれるが、URAカメラの場合、高SN画像のため、これらのノイズは画像信号に対して無視できる。

レーザー照射ペレットからX線画像計測への応用例<sup>4)</sup>を図4に示す。(a)、(b)はそれぞれピンホール、URAカメラの結果である。ペレットは外径約300 $\mu\text{m}$ であり、12本のレーザービームが12方向から照射される。図の下部にはそれぞれのカメラの前に置かれたX線フィルターの透過率曲線が示されているが、(b)の場合のように低エネルギー成分をカットした状態でピンホールカメラを用いると、フィルムはほとんど黒化しないが、URAカメラにより鮮明な画像が得られ、定性的に圧縮コア部がレーザー照射領域に比べ高いエネルギー成分が少ない様子がよくわかる。URAを構成するピンホールの径はピンホールカメラと同じ10 $\mu\text{m}$ 程度であるので、31 $\times$ 33のURAパターンを用いた本実験におけるX線の捕集効率はピンホールカメラの約500倍である。

#### 4. おわりに

核融合研究に用いられる各種計測器は、多くの他の物理実験においてもそうであるが、性能の指標として空間分解能、時間分解能、エネルギー分解能やダイナミックレンジ、SN比が挙げられる。URAカメラの場合、光子の捕集効率すなわち結果としてSN比の高い空間分解計測器といえることができるが、かつてピンホールカメラもそうであったように、他の分解能をもつ計測器との組み合わせにより、より高度な計測器を生み出すことが可能であり、URAカメラについても性能の向上のみにとどまらず、より広い視野をもって開発に取り組む必要がある。

#### 参考文献

- 1) L. Merz and N.O. Youg, in Proceedings of the International Conference on Optical Instruments and Techniques, K.J. Habell, Ed. (Chapman and Hall, London, 1961)
- 2) E.E. Fenimore and T.M. Cannon, Appl. Opt. 20, 1858 (1981) and the references cited therein.
- 3) H. Niki et al., IEEE International Conference on Plasma Science, San Diego, May 23-25, 1983.
- 4) 仁木他, 第15回画像工学コンファレンス論文集 (1984).
- 5) 仁木他, 第14回画像工学コンファレンス論文集 (1983)