

愛知県

近畿大学理工学部

近畿大学理工学部

神戸大学工学部

久野悟志

江藤剛治

竹原幸生

道奥康治

1. はじめに：流れの有効な画像計測法として，PTV(Particle Tracking Velocimetry)が知られている．PTVにおいて最も基本的な問題は，1枚の画像から抽出できる粒子数の不足による空間解像力の低下である．そのためPTVにおいてはアルゴリズムの最初の段階で，画像上に写っている粒子を可能な限り多く抽出できる技術を開発することが重要である．本論文は，著者等¹⁾が開発した粒子マスク法と名付けた一連の画像処理手法を対象として，その粒子抽出性能を検討するものである．

2. 粒子マスク法：単一粒子画像は中心輝度が大きく，周辺が暗い誤差関数状の輝度分布を持つ．著者等はこれを2次元正規分布関数で近似している(図-1)．この様な輝度パターンを「粒子マスク」と呼ぶことにする．2次元正規分布の場合のマスク・パターンは以下の式で表される．

$$f(x,y) = a \cdot \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left(\frac{x-x_0}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{x-x_0}{\sigma_x} \right) \cdot \left(\frac{y-y_0}{\sigma_y} \right) + \left(\frac{y-y_0}{\sigma_y} \right)^2 \right\} \right]$$

ここに， a は中心輝度， σ_x, σ_y は標準偏差(代表粒子直径の1/2)， (x_0, y_0) は中心座標， ρ は相関係数である．粒子マスクを画像に適合させる方法として，マスク相関法とマスク適合法の2つが考えられる．これらの詳細な内容については参考文献(1)を参照されたい．

3. 粒子画像抽出までの流れ：マスク適合法を適用するには粒子画像等の初期値を与える必要がある．実際のアルゴリズムを考えた場合，画像上に写っている個々の粒子に対して客観的に初期値を与えることは不可能である．したがってマスク相関法から算出される高相関領域より粒子中心座標，中心輝度，粒子径の値を近似的に求め，これらをマスク適合法の初期値とする図-2のようなアルゴリズムを考えた．つまり，マスク相関法で抽出した全ての粒子に対して1粒子づつ1個の歪んだ粒子マスクをフィッティングさせる．マスク相関法で2個の粒子を分離することが不可能な場合には，図-2のような誤差基準に基づいて2個の粒子として別個にフィットさせることを考える．

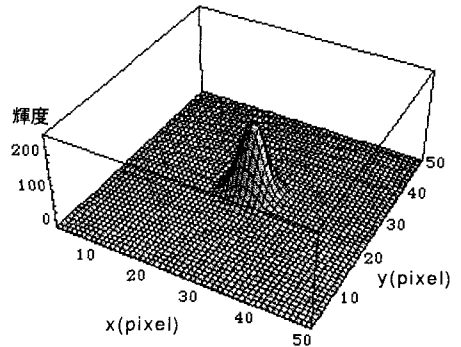


図-1 仮定した粒子画像の輝度分布

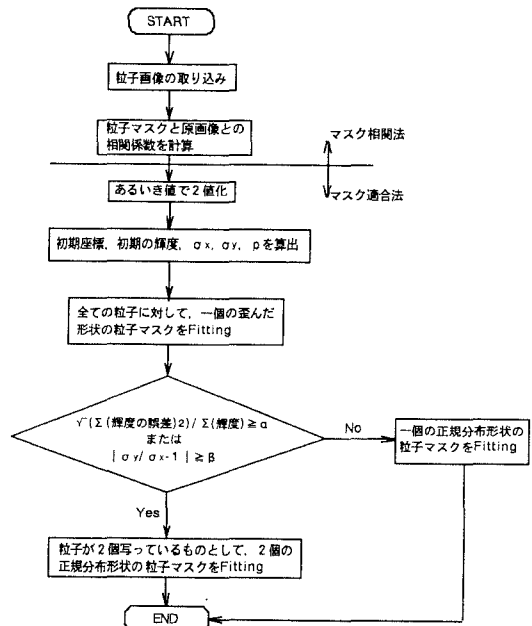


図-2 粒子画像抽出までのフローチャート

4. フィッティング性能：いま輝度分布の分散値に関し、 $\sigma_x=2.5$ ピクセルと固定し、 σ_y を 1.0~7.5 ピクセルの範囲で変化させ、非対称正規分布関数の粒子画像を人工的に作成する。相関係数 ρ については 0.0 と 0.5 とする。作成した画像に対してマスク相関法を適用してパラメーターの初期値を求め、図-2 の流れにそってマスク適合法を適用し 1 個の歪んだ粒子マスクをフィッティングさせる。図-3 に輝度分布の適合結果と原画像との輝度誤差を σ_y/σ_x の関数として示す。パラメーターの適合結果は原画像の値にほぼ完全に一致しており、あらゆる σ_y/σ_x の値に対して誤差の値は 0.01 を越えない。

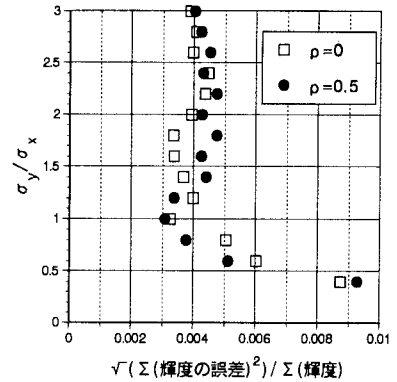
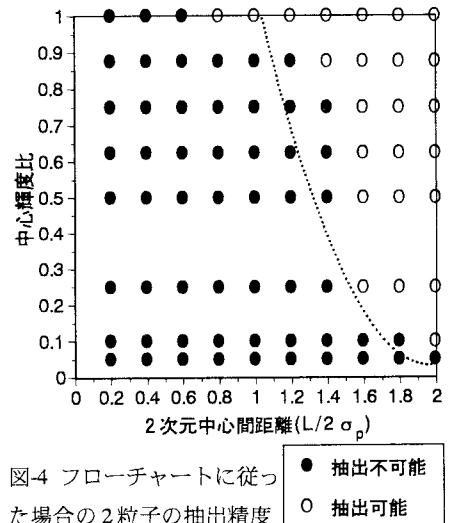


図-3 誤差と σ_y/σ_x の関係

4. 近接する 2 粒子の分解能：直径が等しく、中心輝度の等しい 2 個の粒子像が近接している場合を考える。図-2 のアルゴリズムによる 2 粒子の限界分解能を図-4 に示す。○印は 2 つの粒子が精度良く抽出された場合、●印は抽出が不可能な場合に相当する。図中の点線は、図-2 のアルゴリズムにおいてマスク相関法までを適用した場合の分解能であり、中心輝度比が 1/1 の時に限っては 2 ピクセル程度分解能が上がるが、それ以外ではマスク相関法による 2 粒子の分解能の方が若干良く、マスク適合法で非常に分解能が増すということはない。したがって、マスク適合法は粒子でない誤抽出を本物の粒子と区別するためのノイズリダクション効果を期待して適用する方が良いように思われる。



5. 適用例：図-5、図-6 の画像にマスク相関法を適用する。粒子画像がほぼ円形である図-5 のような場合にはマスク相関法により粒子であるところ、または粒子と思われるところは全て抽出している。しかし、図-6 に示すように粒子の相対的な移動速度が速く、図-4 フローチャートに従った場合の 2 粒子の抽出精度これらの粒子を抽出できない。図-6 のような画像に 5×5 の空間平均を施しても同様の結果であった。

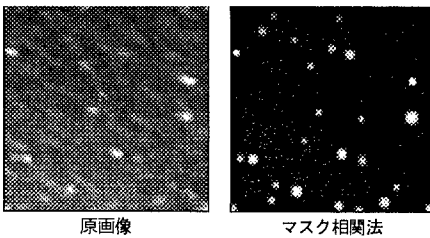


図-5 マスク相関法の適用例

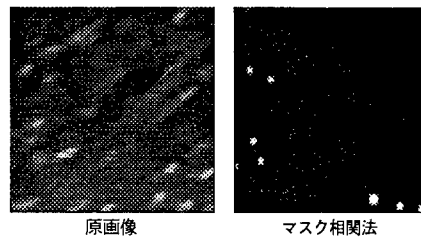


図-6 マスク相関法の適用例

6. 粒子追跡例：マスク相関法を適用して非定常局所流の粒子追跡を行った。マスク相関法を適用した方が抽出粒子数は多くなるが、粒子どうしの対応付けに一部誤りが見られた。その原因として粒子特性の 1 つである粒子径が、粒子マスクとの相関演算操作の過程で縮小されてしまうことが考えられる。このために粒子どうしの対応付けには粒子座標と粒子の大きさだけでなく、輝度値もアルゴリズムのパラメーターに組み込んで粒子追跡をする必要がある。

参考文献 1) 江藤・竹原・道奥・久野：PTV のための粒子画像抽出法に関する検討-粒子マスク相関法について、水工学論文集、第 40 巻、pp1051~1058、1996。