

神戸大学工学部 正会員 神田 徹

神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志

神戸大学大学院 学生員○山下 健作

1. はじめに

筆者らは画像の輝度情報を用いた浮遊物質濃度分布の計測法について検討を行っている¹⁾。水中における浮遊物質の瞬間的な空間濃度分布の計測を行う場合、何らかの方法で濃度場の瞬間的な可視化断面を作成して画像輝度情報を得る必要がある。そこで本研究では、レーザースキャナーを用いることによって、瞬間的な輝度情報が得られる画像計測システムについて検討を行った。また、本計測システムを用いて、一様に調整した濃度場を可視化し、輝度 - 濃度関係式より濃度分布の推定を行った。

2. システムの概要

図1に画像計測システムの概要を示す。アルゴンイオンレーザーから発射されたレーザー光をスキャナーによりスキャニングさせる。コリメータレンズによってレーザーを平行光にして、シリンドリカルレンズで可視化断面を作成する。可視化断面はカメラにより撮影し、デジタルビデオテープを介して画像処理ボード搭載のパソコンに256階調の輝度データとして保存する。可視化断面は水槽前面から奥行き方向 $z \sim 0 \sim 5\text{cm}$ の計6断面(1cmごと)とし、スキャナーを制御することにより1/10秒間静止させる。

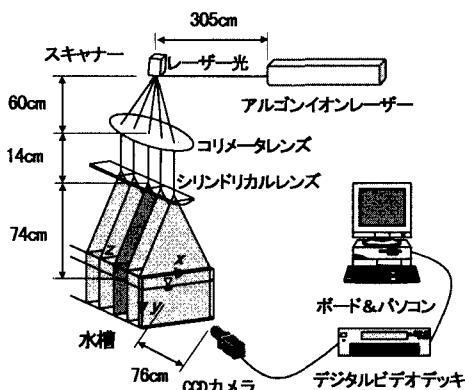
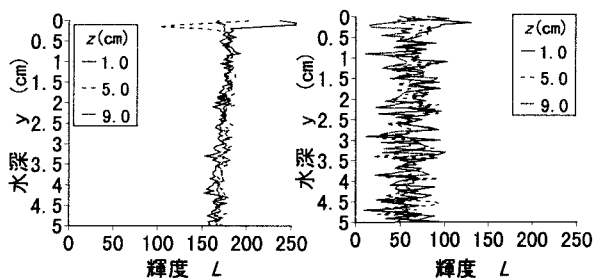


図1 画像計測システムの概要

3. 画像計測システムに関する検討

3-1. カメラ

瞬間画像から濃度を算出する場合、撮影時の画像ノイズが算出する濃度値の精度に大きく影響する。そこで、CCDカメラとデジタルビデオカメラのノイズ特性について、低濃度のカオリナイト懸濁水を用いて検討を行った。図2に輝度 L の鉛直分布(瞬間)を示す。標準偏差の小さいカメラがノイズの影響の少ないものと考えて、本研究ではCCDカメラを以下の検討では用いることとした。

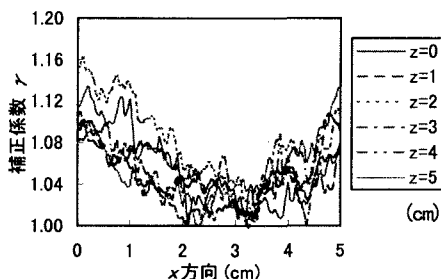


(a) CCDカメラ (b) デジタルビデオカメラ

図2 瞬間画像

3-2. シリンドリカルレンズの影響

光膜を作成するために用いるシリンドリカルレンズは、光の強度が光膜の中心から離れるほど弱まる。輝度値から濃度を算出する際、水面に入射する光の強度分布が濃度算出結果の精度に影響を及ぼすため、実験的に光の強度分布に対する補正を行う。補正係数 γ は、低濃度のカオリナイト懸濁水を用いて水面における輝度分布を計測し、その分布が一様分布になるように求めた。図3に各断面の補正係数 γ の x 方向分布を示す。

図3 補正係数 γ の x 方向分布

3-3. カメラレンズの絞りと輝度の関係

同一の濃度場を撮影する場合、カメラの絞り、レーザーの出力、画像処理の際のゲインとオフセットなどによって得られる輝度値が異なる。高濃度から低濃度まで広範な濃度計測を行う場合、濃度変化に伴う輝度の調整がなされることが望ましい。そこで、本研究では、カメラレンズの絞りと輝度の関係を実験的に求め、絞りの値を変化させることによって輝度調整を行うことにした。カメラレンズの絞りと輝度の関係は、実験結果から最小二乗法を用いて求めた式(1)．図4に絞りと輝度の関係を示す。

$$L = \frac{5371.2}{\xi + 17.9} - 0.8 \quad (1)$$

ここに、 L は輝度、 ξ は絞りの2乗である。

4. 本画像計測システムによる一様濃度場の計測

4-1. 輝度 - 濃度関係式

多重散乱の影響を考慮した画像輝度 - 浮遊物質濃度の関係式は次式で表される¹⁾。

$$L(x, y, z) = K \left\{ \exp \sum_{i=1}^{y-1} (-\alpha c(x, i, z) \Delta y) \right\} \left\{ \exp \sum_{j=1}^{z-1} (-\alpha c(x, y, j) \Delta z) \right\} c(x, y, z) + \beta(x, y, z) \quad (2)$$

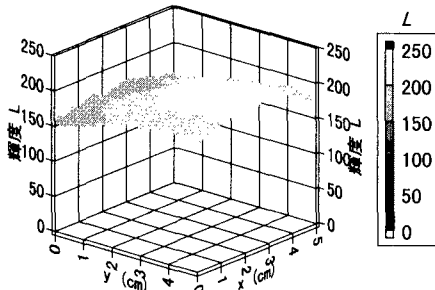
ここに、 L : 輝度、 c : 濃度、 α : 散乱係数、 K : 式中の係数、 β : 多重散乱の項、 Δy : 1画素の実長、 Δz : 計測断面間隔である。式(2)を用いて画像輝度より濃度を算出する。

4-2. 計測結果

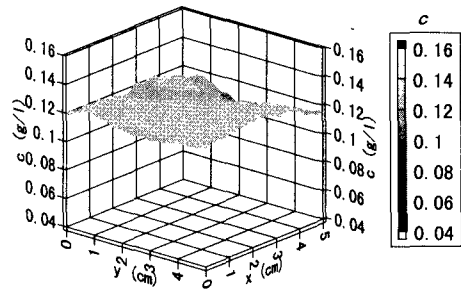
表1に実験条件を示す。絞りによる輝度補正は、調整濃度 $c_0 = 0.1$ (g/l) の時のみ行う。図5に調整濃度 $c_0 = 0.1$ (g/l) の場合の断面 $z = 5$ cmにおける瞬間輝度分布(図5(a))と濃度算出結果(図5(b))を示す。輝度分布は光の減衰および多重散乱の影響によって空間的な変動が大きいが、濃度分布は調整濃度 c_0 に近く、ほぼ一様な分布が得られているのが確認できる。なお、調整濃度 c_0 が 0.1 (g/l) の場合、推定した濃度 c の平均誤差は 16%であった。

表1 実験条件

調整濃度 c_0 (g/l)	0.1	0.01	0.001
絞り	13.45	4	
計測断面 z (cm)	0, 1, 2, 3, 4, 5		
シャッタースピード	1/60 sec		
フレーム間隔	30 FPS		
レーザー出力	0.2 W		
レーザー波長	488 nm		
ゲイン	150		
オフセット	110		
1画素の実長	0.05 cm		



(a) 瞬間輝度分布



(b) 算出した濃度分布

図5 計測結果 ($c_0 = 0.1$ g/l, $z = 5$ cm)

5. まとめ

レーザースキャニングを用いることによって、瞬間的な輝度情報が得られる画像計測システムを開発した。質の高い画像輝度を得るために、システムの各部に検討を加え、輝度の補正を行った。一様に調整した濃度場に本計測システムを適用した結果、比較的良好な濃度分布を得ることができ、本計測システムの有効性が確認できたと考える。

<参考文献>1) 神田 徹, 宮本 仁志, 岩見 収二: 光の多重散乱の影響を考慮した浮遊物質濃度の画像計測法, 水工学論文集, 第43巻, pp. 767-772, 1999.