

II-55

屈折率が水と等しいガラス

近畿大学理工学部 正員 江藤剛治

近畿大学理工学部 正員○竹原幸生

1. はじめに

著者らは粒子追跡による流れ場の計測技術の研究を続けている。この場合次のような問題がある。

- ①トレーサー粒子：水と全く同じ動きをし、水の粘性あるいは運動に影響をおよぼさず、かつ計測に必要な粒子密度（これ自身研究対象であるが）と輝度が確保できるような粒子を作る必要がある。
- ②ビデオカメラ：高撮影速度・高感度のビデオカメラが必要である。
- ③粒子追跡プログラム：十分な理論的裏付けのあるアルゴリズムを開発する必要がある。

以上について筆者はこれまでの技術よりはるかに良いものを開発した^{1) 2) 3)}。この中には現在世界最高速のビデオカメラの開発も含まれている。

その他実際にこの方式の流れ場計測を行うとすると、様々な問題が付随する。その一つに屈折率の問題がある。基本的には、水と空気の屈折率が異なることそのものが問題であるが、これは仕方ないとしても水とガラスの屈折率を合わせるだけでも、いくつかの実的な問題が取り除かれる。例えば、透明な球（半球）周辺の流れの計測や、浸透流、土石流、砂の液状化のような多くの粒子が光を遮るような場合の流れの計測が可能もしくは容易になる。

本報告では水とガラスの屈折率を合わせることを目的として文献調査を行ったので報告する。

2. 低屈折率ガラス

水の屈折率は1.333(20℃)である。通常良く使われている石英ガラスでは、不純物が少ないほど屈折率が低く、純粋石英ガラスの屈折率は1.458である。ただし純粋な石英の融点は非常に高いので、種々の混合物を入れて、融点を下げ加工性を良くしている。この純粋石英ガラスの屈折率を1つの基準として、そのオーダーよりも低い屈折率のガラスを低屈折率ガラスと呼ぶようである。

表-1 液体の屈折率

3. 屈折率を合わせる方法

透明な液体と透明な固体の屈折率を合わせる方法としては、表-1のようなものがある。すなわち、液体は水に限る必要がない場合には、シリコンオイル等の油性の液体を使うことができる。これと比較的屈折率の低いガラスを組み合わせれば良い。この方法は従来から、光弾性の研究等で用いられてきた。ただし液体の物性は水とはかなり異なっている。

水の屈折率を上げる一つの方法としてKI（よう化カリウム）を水に溶かす方法がある。KIの濃度と屈折率の関係を表-2に表す。ただし、KIを溶かすと水の密度はかなり大きくなるが、粘性はあまり変わらない（表-3、表-4）。表に示すようにそれほど大きな物性変化は見られない。

ガラスの屈折率を下げるには現在のところフッ化物ガラスを用いるしかない。この中でフッ化ベリリウム(BeF₂)は単体で容易にガラス化することが知られており、

その屈折率は1.2747である。これに他の

フッ化物、例えばフッ化アルミニウム、ナトリウム、リチウム等を適量加えれば屈折率が1.333になる

液 体	屈 折 率
KI飽和水溶液	1.456
NaI飽和水溶液	1.496
LiI飽和水溶液	1.490
BaI ₂ 飽和水溶液	1.528
NaCl20%水溶液	1.364
シリコンオイル	1.375～
	1.575
グリセリン	1.473

表-2 よう化カリウム水溶液の濃度と屈折率の関係(17.5℃)

KI水溶液の濃度(%)	1	4	10	20	54
屈 折 率	1.33449	1.33839	1.34612	1.35877	1.456

ことが知られている。ただし、実用上致命的であるのは BeF_2 には強い吸水性と毒性があることである。

フッ化物ガラスとしてはフッ化ジルコニウム(ZrF_4)を主体とするガラスも比較的容易にガラス化し、かつ低屈折率であるが、1.458以下とはならない。その他のフッ化物ガラスでは2~3相系でガラス化し、屈折率が1.458以下となるものがある。例えば、MCAフッ化物ガラス($\text{MgF}_2 + \text{CaF}_2 + \text{AlF}_3$)では、波長550nmの光に対して、 $n \approx 1.40$ となる。この場合水に加えるKIの量は約34.4%ですむ。ただし、熔融状態からゆっくりと冷却すると結晶化するので(融点約950℃)、ガラス化点(約400℃)まで冷却する必要がある、そのために厚さ1mm以上のガラスを作るのは困難である。また、若干の吸水性があり、水にも少し溶ける。

結晶では LiF の $n=1.3915$ がある。また、氷晶石(Na_3AlF_6)は $n \approx 1.339$ とほとんど水に等しい。ただし、大きな結晶を容易に作れるかどうか、さらに加工性について検討の余地がある。また、氷晶石については透明度についても問題があり、水に少し溶ける。

通常のプラスチックの屈折率はかなり大きい。例えば、ポリスチレンでは約1.60、ポリエチレンでは1.51である。フッ化物ではかなり低いものがあり、例えば、四フッ化エチレン-六フッ化プロピレン共重合樹脂では1.338である。しかも、水や化学薬品に対して極めて安定である。ただし、透明性に問題があり、25 μm 程度の薄いシートでは90%以上の光を透過するが、1mm程度では白濁する。

一つの方法としては、水溶性のあるフッ化物化合物をフッ化物のプラスチックフィルムでコーティングする方法等も考えられる。これができるとKIの代わりに少量の NaCl を水に混ぜることで、水と固体の屈折率を合わせることができる。

4. まとめ

現在ところ実用的な意味で水と完全に屈折率の等しいガラスを作るのは困難のようである。現実的な方法としては次のようなものがある。

- ①MCAフッ化物ガラスとシリコンオイルの組み合わせ、
- ②純粋石英ガラスと飽和KI水溶液(54%)の組み合わせ(ごく僅かな差は残る)、
- ③MCAフッ化物ガラスと約34.4%のKIを溶かした水の組み合わせ。

現在さらに、水よりは屈折率が高いが純粋石英ガラスよりは屈折率の低い、透明でかつ無害・安定(水に対して)な固体を作るべく基礎的研究を始めている。

今回の調査にあたって専門外の著者らに快くご協力頂いた工業技術院大阪工業技術試験所の山下博志氏、北村直之氏に謝意を表す。

参考文献

- 1)江藤・竹原, 土木学会論文集投稿中. 2)江藤, テレビジョン学会誌, 5月号, 1992.
- 3)T. Etoh & K. Takehara, Proc. of 6th Intl. Sympto. on Stochastic Hydraulics, 1992(to be published).

表-3 よう化カリウム水溶液の濃度と密度の関係(25℃)

KI水溶液の濃度(%)	10	20	30	40	50
比 重	1.074	1.164	1.268	1.393	1.542

表-4 よう化カリウム水溶液の濃度と粘性の関係(10℃)

KI水溶液の濃度(%)	8.42	17.0	33.03	45.98	54.00
相 対 粘 度*	95.3	89.5	84.7	86.4	94.3

*)10℃の水の粘性率を100とした場合の溶液の粘性率