

# アルゴンイオンレーザーを用いた ガラスの散乱光光弾性

岸 井 貫・高 塩 治 男  
(東京芝浦電気(株))

## Scattered Light Photoelasticity of Glass by Argon Ion Laser

By

\*Toru KISHII and \*\*Haruo TAKASHIO

(\*Materials Laboratory and \*\*Glass Engineering Department, Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd., Kawasaki

An argon ion laser which emitted 200 mW of linearly polarized green beam was applied for scattered light photoelasticity of a tempered glass article. Scattered light from a non-alkali alumino silicate glass was observable by naked eye or by magnifying glass. Qualitative estimations of the depth of compression layer and stress therein seemed possible by changing polarization characteristics of incident light by quartz wedg. Effect of refraction on both incident and scattered light was avoided by applying a tiny roof-shaped glass prism. This enabled the observation and measurement without immersing glass articles in refractive index liquids.

[Received July 24, 1971]

### 1. 緒 言

散乱光光弾性は、光弾性体中の応力の三次元的な分布を知る方法である。Bateson などの報文が詳細に説明している<sup>1)</sup>が、概説すれば次のとおりである。

Z軸方向に進み、X、Y軸と45°の角度をなす方向に振動する直線偏光は、物体中を進行しながら光弾性効果を受け、X、Y軸方向に振動する光の成分の間に位相差ができるので、楕円偏光、円偏光、振動方向が入射時のそれと平行、または直角な直線偏光などを順次経過するという変化を繰り返す。物体が何らかの原因で光散乱性を持っているとき、この散乱光の強度は、光の振動ベクトルの軌跡が、眺める方向に直角な平面へ落す正射影の長さに対応して増減する。したがって、直線偏光を入射させた時、観察される散乱光の強度は場所により違う。たとえば入射光の振動方向に平行に眺めると、入射光に平行に振動する直線偏光である部分からは散乱光がもっとも弱く、これと直角に振動する直線偏光である部分からはもっとも強い。そうして円偏光、楕円偏光である部分からは中間の強さで散乱される。

それゆえ、この模様を眺めて、光路に沿う位相差の変化を知り、その長さによる微分から、光路の各所に働いている力と、その三次元的分布を算出することができる。

ガラスによる光の散乱は非常に少ない。しかし、レー

ザー光のように強い光束を使うと、散乱光を観測することが可能である。Bateson 等は、ヘリウム-ネオンレーザーを使って写真観察した<sup>1)</sup>。著者らは、強力なアルゴンイオンレーザーを使うと、散乱光を肉眼で観察できることを知り、なお観察法を工夫して、応力の定量的測定の可能性へ一歩近づくことができた。

### 2. 実験方法

試料として、風冷強化して表面に圧縮応力を入れた肉厚ガラス部品を使った。観察した部分の肉厚は約1cmであり、表面は曲率半径約12cmの円筒に近い形をしていた。ガラスの種類は高アルミナ、無アルカリ質であった。

アルゴン・イオン・レーザーは波長0.51μの直線偏光を放射し、出力は200mWまで高められた。もっと短い波長を放射させて使うことは、散乱光を強くするには有利なはずであるが、光路に沿って蛍光を出しやすいガラスにはかえってよくない。0.51μの光でも強い蛍光がでたが、0.51μ附近だけを透過干渉フィルタを使うと、散乱光の模様が薄暗い室内で肉眼で見えた。3.1 3.2の実験では、ガラス部品全体を、板ガラスを接着して作った水槽に入れ、表面屈折の影響を小さくした。レーザーからの平行光束を、焦点距離50~100cmの凸レンズで絞り、ガラス部品を集光点附近に置く方法がよか

った。

3.2 で述べる実験では、入射光束中に水晶光楔を入れて、入射光にあらかじめ位相差を与えた。3.3 で述べる実験では、ガラス表面に楔形のプリズムを透明な接着剤ではりつけ、表面屈折の影響をさらに小さくしようとした。

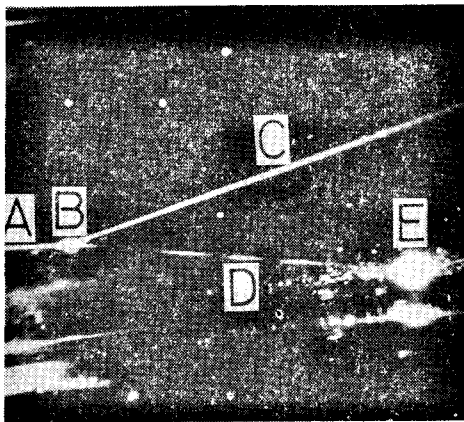
観 察 結 果

3. 観 察 結 果

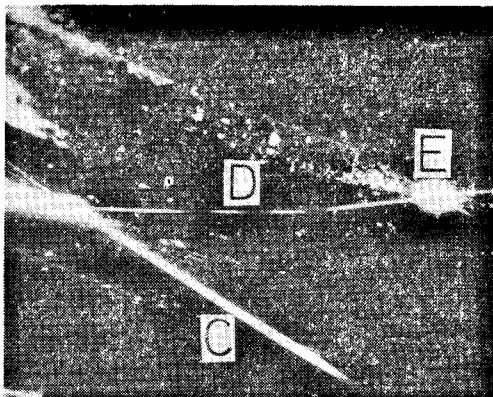
3.1 直線偏光を使う場合

図-1 (a), (b) は 表面に直線偏光を入射させ、偏光の振動方向にそれぞれ平行および直角に眺めた場合である。偏光の振動方向は、表面と 45° に近い角度をなしている。

(a) では (b) に比べて、入射ビームおよび入射点での散乱は弱く、入射後の光路の明暗の経過はたがいに逆である。明暗は頻繁に繰り返され、かつ写真では明瞭で



(a)



(b)

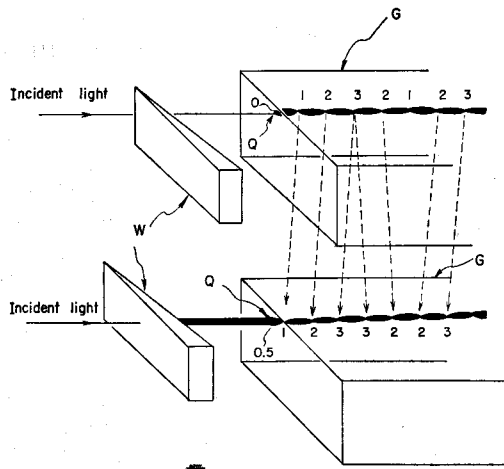
A : Incident light B : Point of incidence  
C : Reflected light D : Polarized light in the article  
E : Point of arrival to the rear surface

Fig. 1. Incidence of linearly polarized monochromatic light into a tempered glass article. Direction of observation; (a) parallel with and (b) at light angle to the direction of vibration of the incident light.

ないが、入射直後の変化が大きいことから、応力が大きいし、表面で特にそうであることが推定された。

3.2 楕円偏光を使う場合

楕円偏光を使うと、次のような観察ができる。直線偏光で散乱光の強弱を見ると、位相差が波長の整数倍または半整数倍である位置を知ることができる。しかし、光路に沿って位相差が増すか減るかの判断ができず、したがって、圧縮力、張力あるいはそれらの方向を決めることができない。この判断は、入射光にあらかじめ位相差を与えると次のようにして可能になる (図-2)。

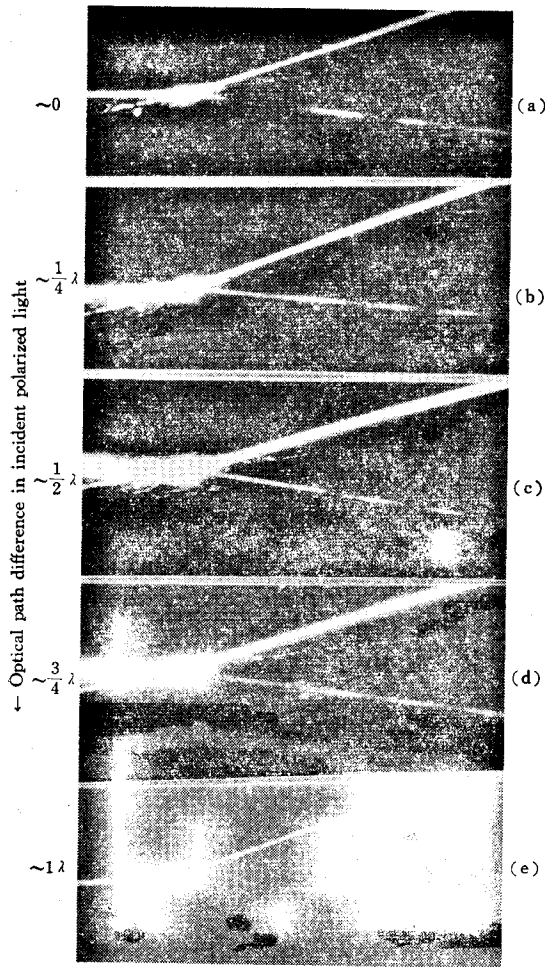


W : Quartz wedge G : Glass article  
Q : Point of incidence into glass article

Fig. 2. Effect of projection of elliptically polarized light on tempered glass article. Numerals in the figure indicate orders in polarized light.

(位相差)/(波長)を簡単にするため次数と呼ぶ。光路上で次数が整数の位置で散乱光が暗くなっている。次数が (a) のように 0→1→2→3→2→1→2→3 と変わっているとす。散乱光を眺めても、次数がこのような変わっていることはわからない。ここで光楔を徐々に挿入し、入射前の光に、たとえば次数 0.5 に相当するだけ位相差を与える。そうすると、今まで次数が整数  $N$  であるところでできていた暗所は、光楔挿入前に次数が  $N-0.5$  であったところへ移る。この移動の方向は、図でわかるように、光路に沿い次数が増す部分と減る部分とは逆になる。それゆえ、光楔を挿入しながら暗所の移動を観察すれば、暗所に対応する次数を決めることができる。また、次数が極大または極小である位置は、光楔の挿入につれて、暗所あるいは明所が発散、あるいは集中する位置に相当する。この位置では応力が零であり、しばしば圧縮力層と張力層との境界に相当する。この境界の位置は、このようにして決定できる。

さらに、光路上の任意の位置での次数の小数点以下は、つぎのようにして決められる。その位置での次数が



$\lambda$ : Wavelength of monochromatic incident light  
 Fig. 3. Change of image by scattered light with increase of optical path difference of incident light.

整数または半整数になるまで、光楔を挿入してやり、そのときに、入射光に与えられた次数を知ればよい。光楔がバビネ補正器と同じ構成になっていれば、光楔の挿入量から、入射光に与えられた次数がわかる。

入射光の次数が約1だけ変わる間の、散乱光の明暗の変化を観察した例を図-3に示す。図-4はその状況を説明している。ガラスの表面にごく近いところに、圧縮力層から張力層へ移る境界があることがわかる。前記のような測定を試みたが、圧縮力層が薄いため、自信ある結果が得られなかった。それゆえ、ここでは原理的な可能性を確か

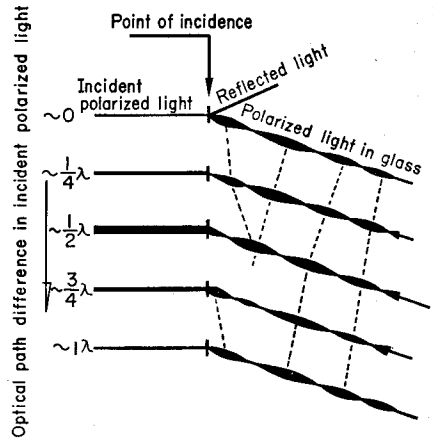


Fig. 4. Schematic explanation which corresponds to Fig. 3.

めたにとどまった。

### 3.3 小プリズムによる入射光の屈折の防止

圧縮応力層での光弾性効果は、表面に平行に進行する光において一番顕著である。また、この層は一般に薄いので、応力分布をよく知るにも、光を表面に平行に近く進めるのが好都合である。このためには、ガラスをそれと屈折率のほぼ等しい液体に入れる必要がある。しかしこれは、取扱いの面倒さ、液体の値段が高いことなどが障害になりやすいし、また液体の散乱能、蛍光能が高いとさらに不都合である。水を使うと、ガラスとの屈折率

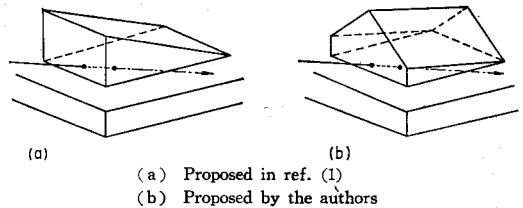
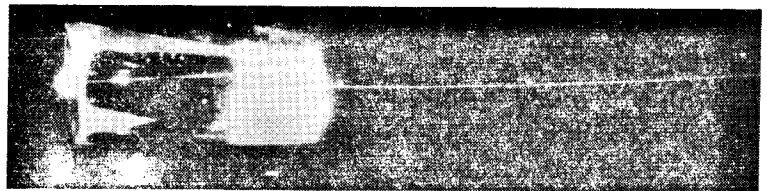
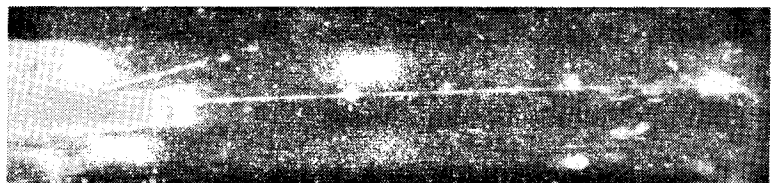


Fig. 5. Supplementary prisms to introduce incident light into glass article without refraction.



(a)



(b)

Fig. 6. Incidence without refraction of polarized light into glass article through a supplementary prism. Observed a) in air and b) by immersing glass article in water.

差があるので、入射光の経路とガラス表面との角度が十分小さくはならない。

この目的のために、小形のガラスプリズムを置く方法が提案されたり (図-5 (a)). しかし、この方法には次の不都合がある。散乱光光弾性効果をもっとも明瞭にするには、入射直線偏光がガラス表面に平行に近く進み、かつ振動方向が表面と  $45^\circ$  の角度をなし、散乱光を観察する方向は振動方向と平行または直角であることが必要である。図-5 (a) の形のプリズムでは、このような観察方向へ進む散乱光は、プリズムまたはガラスの表面でかなり屈折され、また反射損失のため弱まり、観察に不便である。

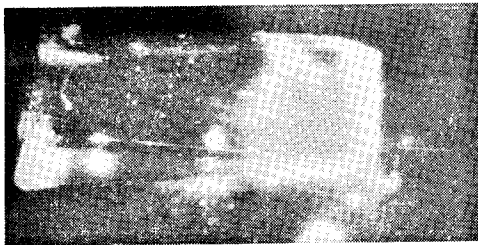
このような不便は、プリズムに散乱光が直角に通過するような面を作ると防ぐことができる (図-5 (b)). このようなプリズムをガラスに押しあて、接触点附近にガラスと屈折率の近い液体をたらし、毛管効果で保持して置く。接着してよい場合は透明な接着剤を使う (東亜合成「アロンアルファ」でよかった)。

図-6 (a) は、プリズムを経て、偏光がほとんど屈折せずにガラス中を進むことを示す。空气中で観察しているのかかわらず、プリズムの下側に散乱光光弾性像がよく見える。全体を水に浸すと、プリズム下側以外の場所の散乱光像もよく見えた (図-6 (b)).

図-7 (a), (b) は、プリズム下側の散乱光像を、入射偏光の振動方向に対してそれぞれ、直角および平行に眺めたもので、(a) と (b) とで明暗分布が逆になっている。



(a)



(b)

Fig. 7. Images by scattered light directly below a supplementary prism.

Direction of observation : a) at right angle to and b) parallel with the vibration of incident polarized light.

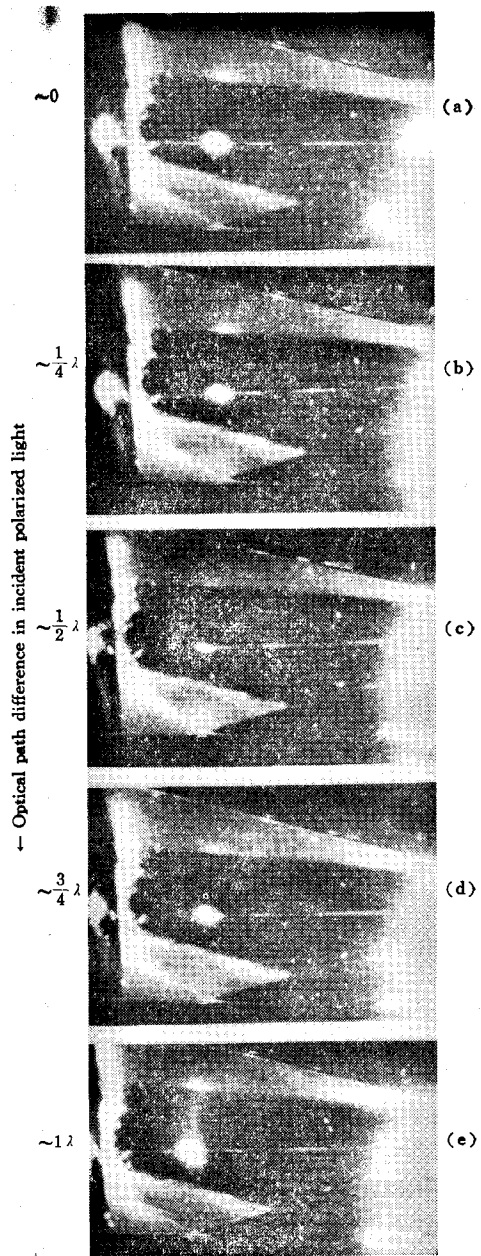


Fig. 8. Change of image by scattered light directly below a supplementary prism with change in optical path difference of incident polarized light.

図-8は、このプリズムと水晶光楔とを使い、3.2で説明したのと同じ観察をした例で、入射偏光の光路差を約1波長だけ変えている。

#### 4. 総括

高出力アルゴン・イオン・レーザーを使うと、肉眼でガラスの散乱光光弾性像が見える。特別な工夫をしたガラスプリズムを併用すると、空气中で、光をガラス表面に平行に近く入射させられ、また散乱光像が明瞭に見え

る。このようにして、風冷強化ガラスの圧縮力層の厚みや、圧縮力分布を非破壊的に測ることが、原理的には可能になった。

光散乱能は、ガラスの種類によって大幅に違う。PbOを含むガラスでは、ソーダ石灰ガラスより1桁くらい散乱能が大きい<sup>2)</sup>。筆者らの経験では、光学ガラス BK-7は、2 mW のヘリウム-ネオンレーザー光で、散乱光像を暗室で認めうる。200 mW のアルゴンイオンレーザ

ーならば、通常のガラスでも、薄暗い室内で、肉眼あるいは拡大鏡を使つての観察ができる。

#### 文 献

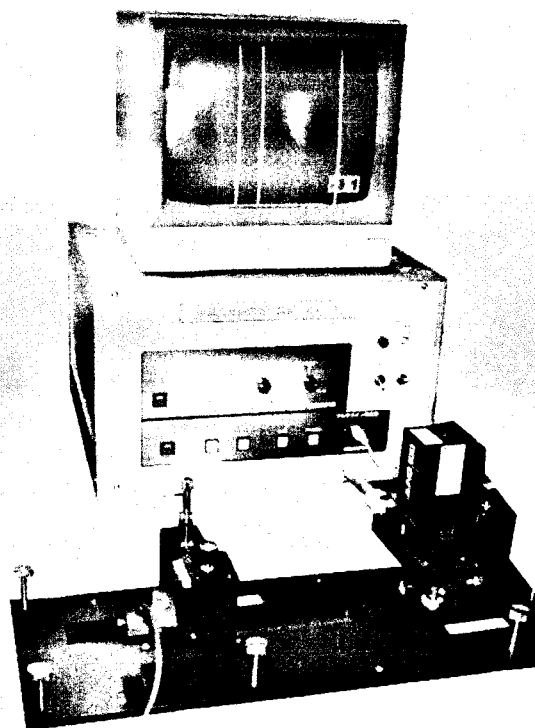
- 1) S. Bateson, J.W. Hunt, D.A. Dalby, N.K. Sinha, *Am. Ceram. Soc. Bull.* **45** [2] 193 (1966).
- 2) H.N. Daghli, *Glass Technol.* **11** [2] 30 (1970).

(7/24/1971 受付)

# 散乱光光弾性解析装置

## SLP-1

ガラス内部の応力層深さをレーザーと散乱光光弾性解析の技術により非破壊的に測定することを可能にしました。従来のカットサンプルによる解析に付きまとうデータ信頼性の不安はこれでなくなります。また、光源に100mwの固体素子グリーンレーザーを使用することで小型軽量化を実現し、試料形状への適応範囲が大幅に広がりました。



標準価格 ¥5,000,000

### 仕 様

測定範囲：3-20mm 透明ガラス

測定精度：±8%/厚み

光源：535nm グリーンレーザー

測定対象：物理強化ガラス

測定プリズム：BK-7  $n_d=1.52$

電源：単相 AC100V 3A 以下

### 製造・販売

有限会社 折原製作所

〒170-0013

東京都豊島区東池袋 5-47-15

TEL 03-3985-9531

FAX 03-3985-9532