

最近の技術から

液晶 TV 画像の銅レーザーによるアクティブ投影

黒田 和男・志村 努

東京大学生産技術研究所 〒106 東京都港区六本木 7-22-1

1. ま え が き

レーザーを用いて画像の輝度をコヒーレントに増幅するという考えは、レーザーが発明された直後からあったようである。文献に現われた最初の例は Geusic と Scovil によるもので、ルビーレーザーを用いた増幅実験を試みている¹⁾。Hardy は He-Ne レーザーを用い、数画素にすぎないが結像の実験を行っており、これを active image formation と呼んだ²⁾。その後 Myers らは高ゲインの Hg レーザーを用い、はじめて満足のいく画像を得た³⁾。さらに Rabinowitz と Chimentti は銅レーザーを用い、投影顕微鏡を実現した⁴⁾。この研究は Zemskov らソ連のグループに引き継がれていった⁵⁾。一方われわれは液晶表示の投影にこれを応用した⁶⁾。

アクティブ結像の特徴は、通常の光学系において成り立つ輝度不変則の束縛を打ち破り、高倍率でかつ明るい投影を可能にすることにある。そもそも拡大投影系は効率が悪く、かなり高輝度の物体を原画像としても暗い像しか得られないことは、スライドプロジェクタや投影 TV の像を思い起こせば納得できるであろう。もちろん物体輝度を増大すれば像は明るくなるが、それに限度があることはいうまでもない。ここに輝度増幅方式を導入することの意義がある。

本論文では、われわれが行なった液晶 TV のアクティブ投影について述べる。

2. 装 置

液晶 TV のアクティブ投影装置を図 1 に示す。液晶 TV は市販のものを反射型で用いられるように改造した。リレーレンズには反射防止膜をコートした単レンズを使用し、投影用には凹面鏡を用いた。

共振器を取り除いたレーザーでは、内部で発生した自然放出光がレーザー内を伝播中に増幅されて外に出てくる。これが ASE (amplified spontaneous emission) であるが、銅レーザーのように高ゲインのレーザーでは強い ASE 光が得られる。ASE 光は液晶 TV を照明し、

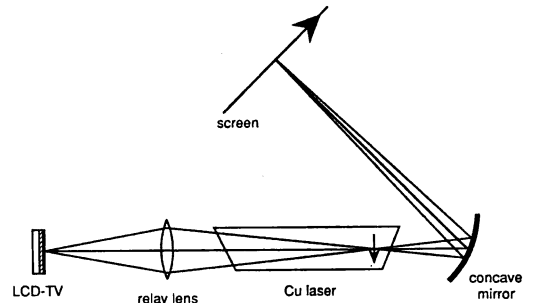


図 1 液晶 TV の銅レーザーによるアクティブ投影光学

その反射光がレーザーにもどってくる。これがレーザーにより増幅され、スクリーン上に像を結ぶ。レーザーはコヒーレントな増幅器であり波面を保存するから結像系の途中に挿入できるのである。光はレーザー中をただ一度しか通過しないから、高い増幅係数をもつ必要がある。

輝度増幅に銅レーザーを用いるのには次のような理由が挙げられる。1) 可視光: 銅レーザー光の波長は 510.6 nm と 578.2 nm である。2) 高ゲイン: 銅レーザーの増幅係数はだいたい 0.2 cm^{-1} 程度である。3) 高出力: 10 W 以上の平均出力が得られる。4) 高繰返し: 銅レーザーはパルスレーザーであるが繰返し周波数が 5 kHz 程度と非常に高く、人間の眼には連続発振と変わらない。

5) 高フレネル数: レーザー管を通過しうる画素数はフレネル数 (=管径の 2 乗を波長と管長の積で割った無次元数) の 2 乗で与えられる。銅レーザーでは 1000 程度。

銅レーザーのほか、金レーザー (波長 627.8 nm)、ストロンチウムレーザー (波長 430.5 nm) なども、銅レーザーに比べると性能は劣るが、輝度増幅に使うことができる。

3. 結 果

実際に投影された画像の例を示そう。図 2 はテストに用いた元の画像、図 3 はこれを TV カメラで液晶 TV 上に表示し、図 1 の装置でスクリーン上に投影した画像である。投影拡大率は 150 倍であった。画質はまだあま



図 2 テストに用いた元の画像 (左)

図 3 元の画像を TV カメラを用いて液晶 TV 上に表示しアクティブ投影した画像 (中)

図 4 元の画像を一度スライド用のフィルムで撮影し、それを物体としてアクティブ投影した画像 (右)

り良くない。液晶 TV の分解能が水平垂直とも 200 程度と低く、コントラストも良くないことがその一因となっている。事実、液晶 TV の代わりに写真フィルムを置くともう少し明瞭な像が得られる(図 4)。物体面に解像力チャートを置き解像限界を測定したが、物体面上で 30 μm であり、液晶 TV のピクセルのサイズ (0.15 mm) より小さい。投影像にはスペckルが重なっている。スクリーンを振動させるなどの対策が必要であろう。

輝度の増幅率は 200 倍程度であった。ただしこれは入力画像に依存する。投影像は照明をつけた部屋の中でも十分見ることができる明るさであった。

4. 増幅の飽和と中間調

アクティブ結像系では光学系にレーザーを挿入したことに起因する種々の問題が生じるが、ここでは、増幅の飽和と、画像の中間調の再現性について取り上げる。

レーザーからのエネルギーの取出し効率を考慮すると、レーザーは飽和領域で動作させざるをえない。この領域では入力と出力の関係は著しい非線形を示す。その結果、入力画像がもっていた中間調が出力において忠実に再現されず、コントラストが圧縮されてしまうように思われる。ところがこれは一般的には正しくない。なぜならレーザーにより増幅を受けるのは入力画像そのものではなく、その回折像だからである。では回折像はどのようにになっているかという、物体とレーザーの間の距離や途中の光学系によるのはいうまでもないが、さらに光の空間的コヒーレンスに大きく依存することがわかる。両極端の場合を考えよう。

完全にコヒーレントな場合、フレネル回折像ができる。物体に近いところでは物体の影にフレネル縞が重なったものとなり、遠ざかるにつれ異なった形をとる。一般に回折像は起伏の大きな強度分布をもち、そのため飽和の効果を強く受ける。われわれは最も単純な場合を想定し数値計算を試みたが、画像のエッジが強調を受ける

などの効果が確かめられた⁷⁾。

一方、インコヒーレントの場合⁸⁾、物体からある程度以上離れると、強度分布はほとんど一定になる。これはたとえばリング状の蛍光灯で照明しても、一様な照度分布が得られることと同じである。この結果、レーザーのゲインも一様に飽和をする。したがって、全光量に関しては非線形性は残るが、分布については線形な増幅を受けることになる。これはオートゲインコントロール機構の付いた映像装置と似ている。全光量は別にして、中間調は相対的には忠実に再現される。図 3、4 はこの場合に近く、中間調はかなりよく再現されている。

なお、光学系の配置によっては、レーザーのところに実像が形成されることがある。このときは、飽和の効果は像そのものに働くから、予想どおりコントラストの圧縮された像が得られる。

5. ま と め

レーザー輝度増幅の最大の問題点はレーザー自身にある。銅レーザーや金レーザーは大型の装置で、市販品の完成度は低くはないが高価である。まだまだ実用には遠いが、従来の光学系の制限を超えるものとして興味もたれるのである。またアクティブ結像は投射光学系だけではなく、フィードバック系を備えた光学系に適用し複雑な光情報処理系に応用していくことも可能であろう。

文 献

- 1) J. E. Geusic, *et al.*: Bell Sys. Tech. J., **41** (1962) 1371.
- 2) W. A. Hardy: IBM J. Res. Dev., **9** (1965) 31.
- 3) R. A. Myers, *et al.*: IEEE J. Quantum Electron., **QE-2** (1966) 270.
- 4) P. Rabinowitz, *et al.*: J. Opt. Soc. Am., **60** (1970) 1577.
- 5) K. I. Zemskov, *et al.*: Sov. J. Quantum Electron., **4** (1974) 5.
- 6) K. Kuroda, *et al.*: Tech. Dig. of Conf. on Lasers and Electro-Optics (1984) p. 66.
- 7) 志村 努ほか: 光学, **14** (1985) 359.
- 8) T. Shimura, *et al.*: Tech. Dig. of Int. Conf. on Quantum Electron. (1988) p. 442.

(1989年1月28日受理)