

解説

HDTV 液晶プロジェクタ

原 政 春*・合 田 研**・富岡 正雄*

シャープ(株) *電子機器商品開発研究所, ** A1172(C)プロジェクトチーム
〒329-21 矢板市早川町 174

(1993年9月30日受理)

HDTV Liquid Crystal Projector

Masaharu HARA,* Ken GOHDA** and Masao TOMIOKA*

* TV & Video Systems Product Development Laboratories,
** A 1172 (C) Project Team, Sharp Corporation, 174, Hayakawa, Yaita 329-21

1. はじめに

ハイビジョン (HDTV) 放送は 1989 年 6 月より実験放送が開始され, 1991 年秋から 1 日 8 時間の試験放送が始まった。

受像機として (1) 直視管型, (2) 投映型が商品化されている。

直視管型テレビは 28 型から 36 型のスクリーンサイズで, ここ一年余に商品価格が大幅に下がり, 家庭用として認知され始めてきている。投映型は, 直視管型テレビよりスクリーンサイズが大きく, 大画面用として, 従来のブラウン管式に加え, 非発光型が各種発表, 発売されてきた。

以下に, 透過型 TFT 液晶を使用したシャープ(株)製の HDTV 液晶プロジェクタを例にとって, 大画面プロジェクタの技術動向について述べる。

2. 液晶 HDTV プロジェクタの構成

2.1 概要と特徴

透過型液晶プロジェクタの基本的構成例を図 1 に示す。幾多の方法はあるが基本的に B.G.R の 3 色用の液晶パネルによる画像を重ね合わせ拡大投映するものである。

図 1 はシャープ(株)製「XH-L 150 型」で採用している順次ミラー方式と呼ばれるものである。その商品仕様を表 1 に示す。一般に液晶プロジェクタの特徴は,

(1) 鮮鋭度が高いこと (画像の切れが良い)

(2) 色再現範囲が広い

(3) カラーシフトがない: 単レンズ光学系を採用している。3 レンズ方式では原理的に観視者の位置によりカラーシフトが発生する。

(4) 地磁気に影響されない: ブラウン管では電子銃の陰極から発する電子ビームを利用するが, わずかな地磁気により電子ビームの進行方向が変わり, ミスコンバージェンスが発生する。液晶は地磁気に影響されないので設置位置や方向の融通性がある¹⁴⁾。

2.2 高画質化

高画質化の要因である鮮鋭度/解像度, 色再現性と明るさ, 階調について述べる。

2.2.1 鮮鋭度/解像度

図 2 に液晶プロジェクタとブラウン管式プロジェクタの MTF の比較例を示す。

両型式共に画像を投映レンズで拡大し, 大型スクリーンに投映するものである。小型ブラウン管の蛍光面に再生された画像のハイライト部分のブルーミング, 画面周辺部のフォーカス品位の低下, 高輝度化に伴う電子ビームの広がり等による品位の低下があるブラウン管式に対し, 液晶プロジェクタは幾何学的に整然と配置された一つ一つの画素で調光するので, 中心と周辺の違いや, 高輝度化に伴う画像品位の劣化は起こり得ず, フォーカス品位は投映レンズ等の光学特性に依存する。動作原理上の相違から, 液晶プロジェクタはブラウン管式プロジェクタより高い鮮鋭度が実現できる¹⁵⁾。

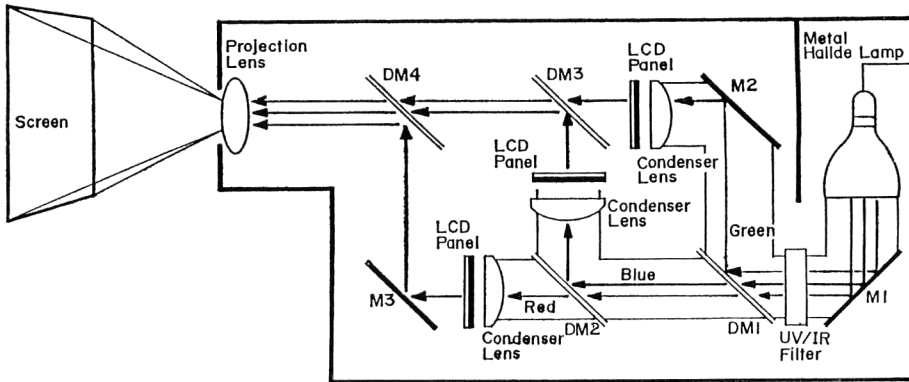


図 1 ミラー順次配置方式

表 1 液晶ハイビジョンディスプレイの製品例

投射方式	液晶パネル3枚, 3原色シャッター方式
液晶パネル	5.5型ハイビジョン用3枚使用
騒動方式	TFT アクティブマトリクス方式
画素数	3,600,000画素 (1,200,000画素×3枚)
光学系	ダイクロミックミラー分解・合成方式
投射レンズ	F 3.0, $f=310$ mm
画面サイズ	最大対角 200型 (投射距離 7.0m) 最小対角 40型 (投射距離 2.8m)
解像度	水平 750 TV 本, 垂直 800 TV 本
ランプ	250 W メタルハライドランプ
光束	全白 180 lm

MTF

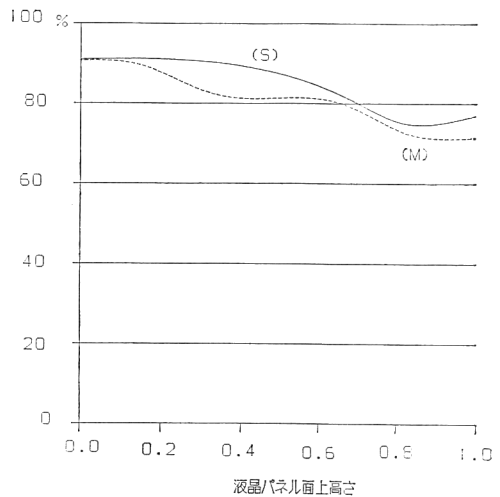


図 3 投射レンズの MTF
800 TV line green-ch

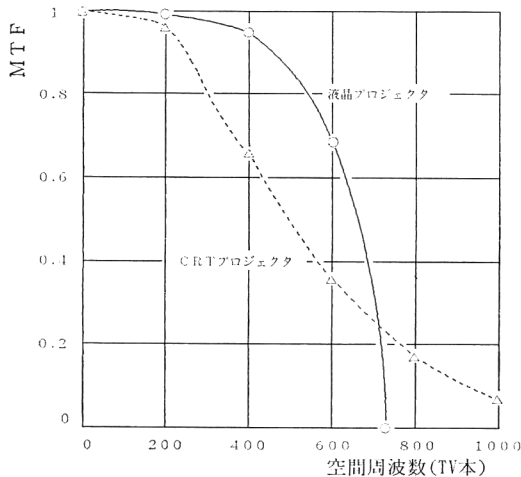


図 2 MTF の比較 (当社製)

(1) 投射レンズ

使用した透過型液晶は 5.5 型, 画素数は 1200×1000 の 120 万画素である. 液晶の特長を活かす, つまり, 周辺まで切れの良い画像をだすため, 図 3 の MTF 曲線のレンズを採用した. レンズの仕様を表 2 に示す.

表 2 投射レンズの仕様

	ズームレンズ	多連投射* 用固定レンズ
焦点距離	180~360 mm	310 mm
F No.	4.5	3.0
バックフォーカス	270 mm	291 mm
レンズ全長	約 260 mm	約 290 mm
前玉径	φ 90	φ 138

* 複数の製品をスクリーン上で画像を重ね合わせる方式

(2) コンバージェンス (レジストレーション)

B.G.R 3色の画像の重ね合わせは, スクリーン中央部で 1/2 画素以内, 周辺で 1 画素以内とした. コンバージェンスを決める要因は次の二つである.

- ・倍率色収差
- ・光学的な部品の精度とアライメント

投射レンズの倍率色収差を図4に示す。

ダイクロイックミラーの部品精度は反射した波面と透過した波面とで決められる。反射波面は反射面の面精度の2倍、透過波面は表面と裏面の面精度と、使用している硝子の屈折率の均質性で決められ、次式で示される¹⁾。

$$RW=2 \times AR$$

$$TW=(n-1) \times (AR+BR) + (\Delta n \times d)$$

RW: 表面反射鏡の反射波面

TW: 半透過鏡の透過波面

AR: 反射面の面精度

n: 硝子の屈折率

BR: 裏面の面精度

Δn : 硝子の屈折率の均質性

d: 硝子の厚さ

面精度は基板の研磨精度と薄膜蒸着後の基板精度、部品取付け時の応力による影響によって決定される。

(3) 光学ユニットの解像度

照明系はケーラー照明で液晶パネル近くのコンデンサレンズにより光束を収れんしている。収れん光束中に平行平板があると非点収差が発生する。非点収差量は下式により示される³⁾。

$$\Delta = (d/n') (1 - \cos^2 i_2 / \cos^2 i_2') + P \{ 1 - (\cos^2 i_1 \cdot \cos^2 i_2 / \cos^2 i_1' \cdot \cos^2 i_2') \}$$

d: 厚さ n': 硝子の屈折率

i_1 と i_1' : 第1面の入射角と屈折角

i_2 と i_2' : 第2面の入射角と屈折角

P: 物点までの距離

例えば、厚さ 4 mm の平行平板を使用した場合の液晶面における非点収差は 0.97 mm となる。200 型スクリーン上での非点収差量は約 1280 mm となり非常に解像度を劣化させる。非点収差は硝子の厚さに比例している。前述の面精度で述べたように面精度と板厚とは相関性があり、板厚が厚ければ面精度が一般に良くなる。しかし、板厚が厚いことは非点収差が発生し解像度を劣化させることになる。拡大倍率の2乗に比例してスクリーン上の非点収差は発生するため、特に大画面になる程対策が必要である。この対策として、ミラーをプリズムにすることにより非点収差の発生を抑制している。

(4) ミラーの裏面反射

図1に配置したダイクロイックミラー DM 3, 4 の裏面反射防止をする必要がある。反射防止をしなければ、ダイクロイックミラーの裏面による反射光が、スクリーン上で上下方向にずれて二重に見える。

異なる媒質間での光の反射率は次式の如くとなる²⁾。

$$R_P = \{ (y_0 \cos \theta_0 - y_1 \cos \theta_1) / (y_0 \cos \theta_0 + y_1 \cos \theta_1) \}^2$$

$$R_S = \{ (y_0 \cos \theta_0 - y_1 \cos \theta_1) / (y_0 \cos \theta_0 + y_1 \cos \theta_1) \}^2$$

R_P : P 偏光の反射率

R_S : S 偏光の反射率

$$y_0 = n_0 Y, y_1 = n_1 Y$$

Y: 光学アドミッタンス

n_0/n_1 : 各々の媒質中での屈折率

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$$

反射防止の蒸着物質と膜厚は次式で与えられる。

$$n = \sqrt{n_g}, d = \lambda/4n$$

n: 蒸着物質の屈折率

n_g : 硝子の屈折率

d: 蒸着物質の膜厚

λ : 反射防止すべき波長

2.2.2 階調 (ガンマ補正)

液晶 HDTV プロジェクタは、階調を忠実に再現するために、B.G.R. のパネルに合わせて独立のガンマ補正を行っている。カメラ等で撮影した物体の明るさを忠実に受像機で階調再現する目的でガンマ補正が行われている。ブラウン管の入力電圧-輝度特性カーブを補正すべくカメラ側で逆補正をし、カメラから受像機に至るまでの信号伝送系の中で補正を行っているのがブラウン管受像機のガンマ補正である。液晶パネルは、ブラウン管とは入力電圧-輝度特性カーブが異なり、液晶パネル独特のガンマ補正が必要である。

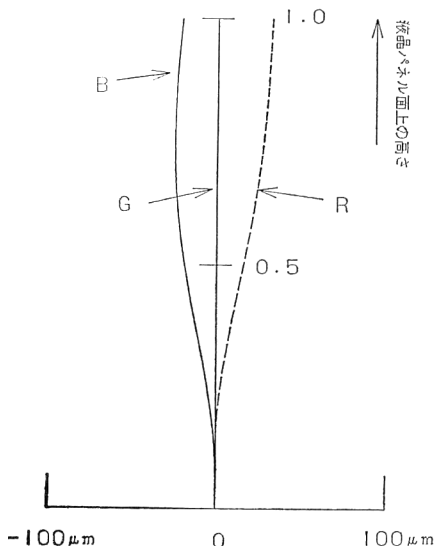


図4 倍率色収差

また、液晶パネルの光透過率特性は、波長に依存しているため、B.G.R の3色のパネルの入力電圧-光透過率特性が異なっており (図5参照)、忠実な階調再現を行うにはB.G.R各液晶パネルに合わせた独立したガンマ補正が必要となる。

ガンマ補正回路は、アナログ信号を8bitのデジタル信号に変換して処理している。この特長は、階調を1/256まで分解でき、輝度計で測定したデータをガンマ補正するのに確実、かつ忠実に取り扱えることにある。これらにより、暗い部分から明るい部分までの細部にわたる階調をなめらかに再現し、高密度画素液晶パネルの持つ映像の切れの良さに加え、奥深い階調表現により、黒飽和や白トビが起りしがちな映像も細部まで階調豊かに

クッキリと再現する。

2.2.3 色再現と明るさ

光源には演色性の高い250Wメタルハライドランプを使用している。ランプのスペクトルをダイクロミックミラーにより色分解、色合成してB.G.Rの純度を出している。図6に液晶プロジェクタと一般的なブラウン管式プロジェクタの色再現範囲を示す。

液晶プロジェクタの明るさは180ルーメンである。これに対してブラウン管式の明るさは、一般に電子ビームを小面積に集中させた白ピーク輝度で表現されているが、これを全白輝度に換算すると1/3~1/4となる。この点を考慮すると液晶プロジェクタは、ブラウン管式と比較しても十分明るいと言える。

3. 液晶プロジェクタの技術動向

3.1 製品形態

液晶プロジェクタを製品の形態で分類すると、フロント投映型プロジェクタとリア投映型プロジェクタに区別される。

フロント型プロジェクタは、既に商品化されているが、リア型プロジェクタは、各種の展示会等で表3のように発表されているだけである。ブラウン管式に比し、キャビネットの奥行き等の小型化、鮮鋭度の利点はあるが、未だ商品として発表されていない。画素構造を持つ液晶を使用することによるスクリーンの制約等、液晶用として新たに開発すべき部品も多く、既製の部品を使用できないことによるコストアップが商品化を遅らせているものと思われる。

3.2 明るさ

液晶プロジェクタの光束使用効率はまだ低く、今後の改善の余地は十分期待される。明るさを追及する技術動向を述べる。

3.2.1 透過型液晶を調光素子として使うもの

HDTV用を含む高品位液晶プロジェクタの例を表4に示す。光使用効率を高めるため、種々の方法が発表されている。一つは偏光変換素子を採用しているもので、偏光板を使用する液晶は、原理的に偏光板の一偏光方向しか透過させないが、液晶に入射させる前にPBSによりP波とS波を分離して、プリズム等で一偏光方向に合成している。従来の偏光板のみを使用した時より1.5~1.9倍の明るさとなる^{6,9)}。HDTV用での実施例ではないが、マイクロレンズアレイの適用例を図7に示す。液晶パネルの画素の一つ一つにマイクロレンズを設置し、照射光を画素開口部に集光し透過させる方式である。

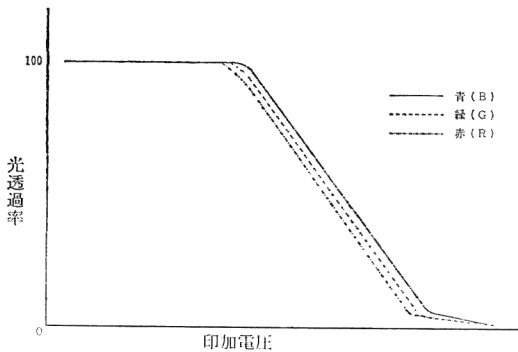


図5 液晶パネルのBGRの印加電圧-光透過率特性

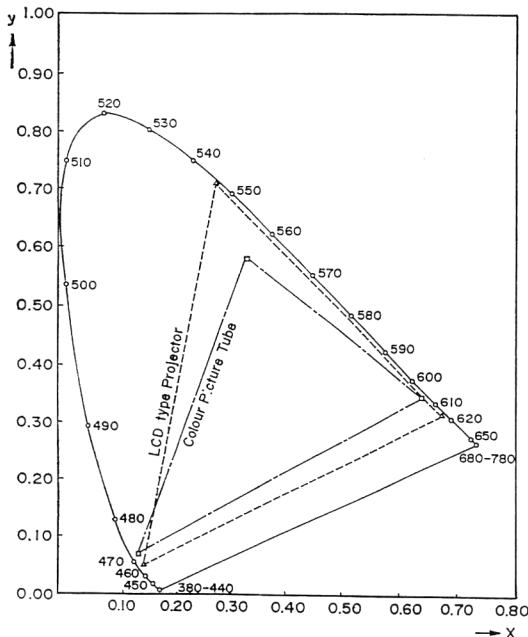


図6 色再現範囲

表3 リア投射型プロジェクタ

	メーカ					
	松下電器	シャープ	三洋電機	高度映像研究所	シャープ	三洋電機
画面サイズ	40型	60型	70型	55型	110型	110型
パネルサイズ	2.3	5.5	5.5	4.55	5.5	5.5
	a-Si (反射型)	a-Si	a-Si	P-Si	a-Si	a-Si
画素数	1422×960	1200×1000	1440×1024	1439×960	1200×1000	1440×1024
明るさ	30 ft-L	50 ft-L	400 lm	29.5 ft-L	67 ft-L	360 lm
ランプ電力(W)	250	250	—	250	—	—
スクリーンゲイン	5.0	4.0	—	3.6	4.0	—
コントラスト	30:1	—	—	70:1	—	150:1
投射レンズ数(本)	3	1	1	1	(3) *1	(2) *2
焦点距離(mm)	49.9	—	—	128.6	—	—
F No.	2.8	—	—	8.0	—	—
文献	5)	12)	13)	11)	13)	13)

*1: 3台の製品を使用してスクリーン上で画像を重ね合わせた。

*2: 2台の製品を使用してスクリーン上で画像を重ね合わせた。

表4 透過型および空間光増幅器等を用いたプロジェクタの比較

	メーカ			
	三洋電機	N E C	旭ガラス	日本ビクター
タイプ	透過型		高分子分散型	空間光増幅器
画面サイズ	50~200型	—	30~200型	90~450型
パネルサイズ	5.5型	4.2型	3.4型	—
画素数	1440×1024	1280×1024	—	—
明るさ	180 lm	400 lm	650 lm	2000 lm
コントラスト	150:1	150:1	100:1以上	250:1
ランプ電力(W)	250	250	250	1500
ランプ種類	メタルハライド	メタルハライド	メタルハライド	クセノン
焦点距離(mm)	217~310	—	—	—
F No.	4.5	—	—	—
文献	8)	6)	4)	10)

1.5~2倍の実効開口率が得られる⁷⁾。

また、現在はHDTV用ではないが、HDTVの候補となり得るものに高分子分散型液晶プロジェクタがある⁴⁾。前述した液晶を使用したプロジェクタがすべて偏光子、検光子の機能を保持するものを液晶の前後に設置しているのに対し、当プロジェクタは偏光板を使用していないので、偏光板による光量ロスを軽減できる。

3.2.2 画像書き込みで出力光を変調する空間光増幅機能を用いたもの(表4参照)

微弱な書き込み光で画像を形成し、強力な出力光を変調するものである。解像度と輝度は、従来の透過型プロジェクタでは原理的に相反するものであるが、光を透過

しないため両立させることができる。光源からの読み出し光をPBS(偏光ビームスプリッター)に透過後液晶に入射させ、書き込み光の強度により変調し反射させて、PBSで選択通過させる。つまり、PBSを偏光子および検光子の機能として使用したものである¹⁰⁾。

4. おわりに

光学技術とビデオプロジェクタとの関わりを考える時、従来から方式の主流をなしてきた自発光型のブラウン管式においては、ブラウン管の蛍光面に再生される画面が、光学技術分野で取り扱う原画である。この原画の光エネルギーを、効率良く投射レンズに採り込み、明る

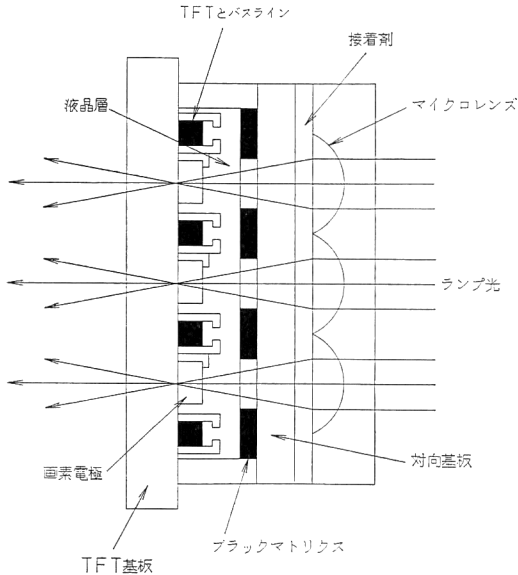


図7 マイクロレンズアレイ原理図

く、鮮鋭度の高い、高コントラストの、そして幾何学的歪みの少ない画像をスクリーン上に再現することが、システムとしての基本性能を満たすことになる。これを実現するために、光学技術面から多くの工夫改善のアプローチが試みられ、速報性や情報加工性などの点からフィルムメディアの追随を許さないエレクトロニクスメディアシステム機器としてのプロジェクタは、ビジュアル出力を迫力ある大画面で人間の視覚器官につなぐ重要なマンマシンインタフェースとなっている。

プロジェクタの性能改善に光学技術が深く関わった例としては、ブラウン管のフェースプレートガラスと投射レンズ間から空気を排除し、ガラス屈折率に近似の液材を充填したりキッドカップリングシステムが開発され、コントラスト特性が格段に向上した。その他、前記のフェースプレートガラスをフラット形状からブラウン管内部に突出させ、凸レンズ状としたコンベックス型ブラウン管が開発され、蛍光面での発光エネルギーを投射レンズの入射瞳に高効率で入射させ輝度向上を図った。あるいは、ブラウン管のフェースプレートガラスと蛍光面間に多層干渉膜を成膜し、コントラスト向上と色純度改善を図った等々があり、高い映画面品位の実現を目指し、光学技術が大きな役割を担ってきた。

一方、液晶式プロジェクタは、自発光型ではなく、強

いバックライトからの光束を数十万～百数十万の画素で構成する液晶パネルを透過させるライトバルブ式であるため、光源ランプからの光束を高効率で集光し、液晶パネルに所要の角度で入射させるために、光束の厳重なコントロール、またはダイクロミックミラーにより白色光源をB.G.Rの3原色に分解し、または合成する等々、ブラウン管式に比し、より広範な光学技術を必要としている。

特に、従来のテレビ方式の5倍の情報量を有するHDTVプロジェクタは、高い分解能が光学システム全般に求められる等、エレクトロニクス技術と光学技術は、従来にも増していっそうの融合と互いの長所の活用が求められている。このような状況から、液晶プロジェクタシステムに関し、光学技術分野で活躍される諸兄の積極的なご助言を仰ぎたいものと願っている。

文 献

- 1) 末田哲夫：光学部品の使い方と留意点（オプトロニクス社，1988）pp. 3-4.
- 2) H. A. Macleod (小倉・中島・矢部・吉田訳)：光学薄膜（日刊工業新聞社，1989）pp. 20-32.
- 3) 久保田広：光学（岩波書店，1971）pp. 130-131.
- 4) Y. Ooi, M. Sekine, S. Niiyama, Y. Hirai, M. Kuni-gita, T. Wakabayashi, M. Yuki and T. Gunjima: "LCPC projection display system for HDTV," Japan Display '92 (1992) pp. 113-116.
- 5) 宮武義人, 山本義春, 川崎千芽子, 村尾次男: "ハイビジョン用液晶投影型テレビの光学システム", 1980年電子情報通信学会秋季全国大会 (1989) pp. 5-28.
- 6) M. Imai, M. Sakamoto and N. Nishida: "A polarization converter for high-brightness liquid crystal light valve projector," Japan Display '92 (1992) pp. 235-238.
- 7) 浜田 浩, 船田文明, 栢川正也, 粟根克親: "マイクロレンズアレイによる液晶プロジェクターの高輝度化", ディスプレイアンドイメージング, 1 (1992) 33-38.
- 8) Y. Okita, T. Yamada, N. Nakatani, S. Ohima, Y. Marushita, T. Arioka and T. Nakado: "1.5-Megapixel a-si TFTLCD module for HDTV projector," SID 91 Digest (1991) pp. 411-418.
- 9) 日経エレクトロニクス (1993.3.15) p. 89.
- 10) 日本ビクター(株)の Press Information より.
- 11) 横澤美紀: "ハイビジョン用背面投射型液晶プロジェクタ", ディスプレイアンドイメージング, 1 (1992) 25-31.
- 12) 1991年エレクトロニクスショー展示.
- 13) 1992年エレクトロニクスショー展示.
- 14) 原 政春, 合田 研, 大原尊文, 富岡正雄: "シャープ液晶ハイビジョンシステム", テレビ技術, 6月号 (1991) 26-32.
- 15) 富岡正雄, 原 政春, 合田 研, 安田修平: "映画に迫る画質", NIKKEI MICRODEVICES, 4月号 (1992) 82-86.