

ペッパーズ・ゴーストによる 3D 映像表示 — 歴史と最新動向 —

桑山 哲郎

3D フォーラム (三次元映像のフォーラム)

E-mail: tkuwa@ga.catv-yokohama.ne.jp

あらまし “ペッパーズ・ゴースト” は、19 世紀後半に始まる映像表示技術であり、また現在も日々発展と変化している社会的存在でもある。本稿では博物館展示には限られない、その多面的状況を報告する。

キーワード ペッパーズ・ゴースト、光学系、錯視、博物館展示、博覧会、テーマパーク

3D image display by Pepper's ghost effect — Its history and latest trends —

Tetsuro KUWAYAMA

3D forum

tkuwa@ga.catv-yokohama.ne.jp

Abstract "Pepper's Ghost" is an image display technology that began in the latter half of the 19th century and is also a social entity that is still developing and changing day by day. This paper reports on the multifaceted situation that is not limited to museum exhibitions.

Keyword Pepper's Ghost, Optical system, Optical illusion, Museum exhibitions, Exposition, Theme Park

1. はじめに

“ペッパーズ・ゴースト” (丁寧な英語表示では “Pepper's Ghost illusion” または “Pepper's Ghost effect”) は、技術史研究者としては大変興味深い対象である。超大型のハーフミラーを用いることで、舞台上の役者と幽霊役の半透明の姿を重ねる図[1]は、特に光学関係の人達の注目を集めた。その後現れる数々の光学的な仕掛けと社会状況に関し、それぞれの時点で報告を重ねてきた。個々の報告は断片的な内容であるが、お読みいただく方により有益な項目は異なると思われるのでまず列挙する[2-11]。なおこの報告を執筆している 2021 年 9 月の時点では、ペッパーズ・ゴーストに関する基本情報の「底上げ」に関して大きな進展があった。ネット上の無料の百科事典 “Wikipedia” において、ペッパーズ・ゴーストの過半を超えると思われる「上下方向の合成」(後述) についての記述が「水平方向の合成」(後述) に対して加えられた。共通知識の平準化に関して大きな進展であるが、他言語版では未対応となっている[12]。

本稿では、博物館展示に限定せずにペッパーズ・ゴーストに関わる話題全般に対する解説を行う。また現実さを増している歴史的な経緯に加え、最新動向と今後の発展に対する予測を行う。対象物の性質より、すべての対象範囲を満遍なく扱うことは困難であり、個

人として接した情報に偏っていることをお断りする。

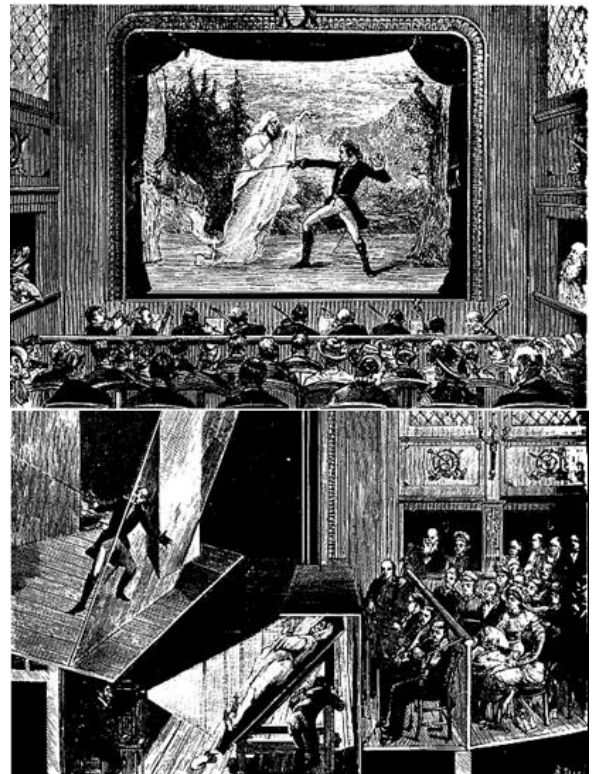


Fig. 1 1863 年のペッパーズ・ゴースト公演 [1]

2. ペッパーズ・ゴースト光学系の分類

ペッパーズ・ゴーストの分類を個別の内容記述に先立ち行う。Fig.1 は、日本国内の光学関係者が 1977 年に会い、ハーフミラー合成の舞台というものが知られるようになったきっかけの図[1]である。上下方向の合成の代表例である。上側は観客席から見た舞台の様子、下側は光学系の仕掛けである。舞台下のオーケストラボックスの最前部に特別な領域を設けている。幽霊役は黒く塗った斜面の上で演技を行い、強力な照明器具（酸水素炎）で役者の体をスポット照明する。ハーフミラーについては、観客席からは存在が分からない様に建物に組み込まれているが、表面は特別な反射膜を加工せず、ガラスの面そのままという説が有力である。

上下方向の合成の場合、幽霊役者は不自然な姿勢で演技をしなければならない反面、斜面との摩擦で、空中に浮かんでいる様に見えることができる利点がある。舞台の仕掛けから、展示、ゲーム機、手作りなどのバリエーションを Fig.2 にまとめた[7]。水平方向の合成では、幽霊役と役者は同じ平面上に立っているために、自然な立ち回りができる利点がある反面、幽霊役の姿を隠すために幅の狭い通路の奥で演じることとなる欠点がある。

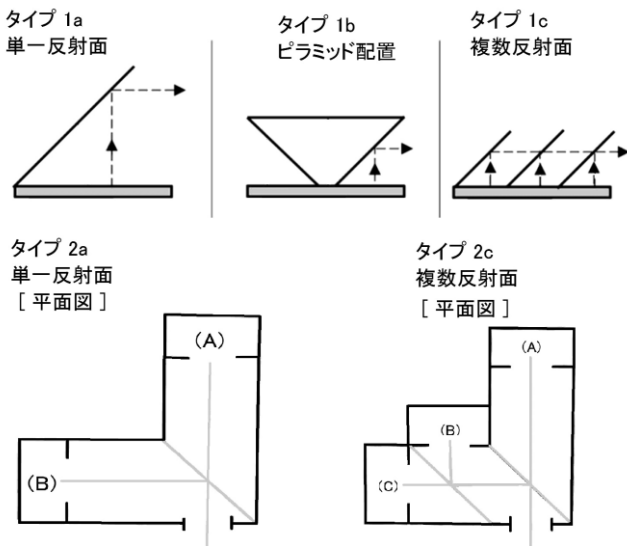


Fig.2 ペッパーズ・ゴースト光学系の分類 [7]

3. 博物館展示とペッパーズ・ゴースト

博物館展示において、ハーフミラーを用いた合成は、ケース内の展示物と同じ空間・奥行きに正確な位置に合わせが行える点で、1980年代の導入早々、各地への普及が始まった。同時代には、1985年つくば博（国際科学技術博覧会）とその後、1989年の地方博覧会ブームが起こっている。ただし事実関係を追いかけるのに

注意が必要な点である。博物館展示関係では、「ペッパーズ・ゴースト」という言葉は当時用いられていなかった（現在の博物館関係者でもあまり変わっていないと思われるが）ことである。（株）電通映画社（当時の会社名）である「マジックビジョン」と「ディービジョン」が関係者に共通の名称である。杉浦による分かりやすい図、Fig.3, Fig.4, Fig.5 に示す[13]。

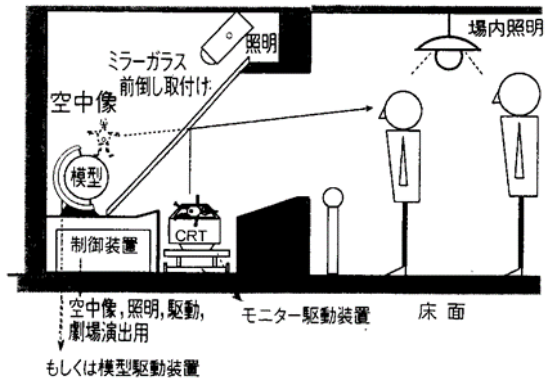


Fig.3 「マジックビジョン」の構成 [13]

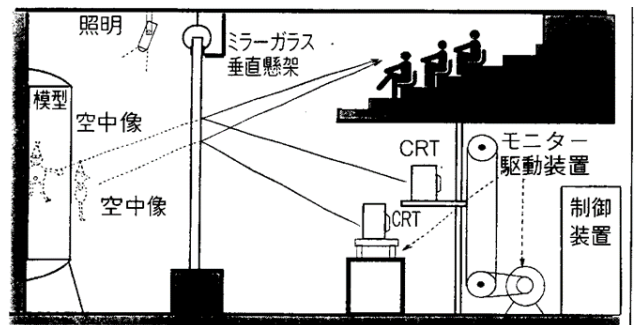


Fig.4 CRTを移動する方式の「マジックビジョン」 [13]

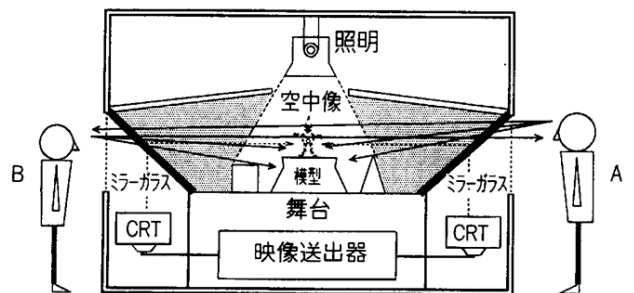


Fig.5 「ディービジョン」の構成 [13]

博物館向けに調整されたこれらのディスプレイは、表示内容をよく考えた作り込みで、現在もメンテナンスを行い展示され続けている場所もある。また当時のノウハウが失われずに新規に設置されている展示もある。Fig.3 の配置では、CRT が観客からは見えにくく、外光が当たらない場所に置かれているだけでは

なく、最良の結果を生じる様気配りがされていた。レーザーディスクからの NTSC 方式のビデオ信号が入力されていたが、周囲の暗黒部にノイズが全く見えないように調整されていて、空中に浮かぶ像が CRT 面上の表示であることは全く気付かれない。またある博物館展示では、欄干がある橋の上にエイリアンが現われる演出であったが、見る位置をどんなに変えても、エイリアンの姿は手前の欄干に隠され、実際に空間中のその場所に浮かんでいる様に見える。大きく体を乗り出して下を見ると、黒く塗られたブロック（レゴブロックとダイヤブロックの見分けはつかなかった）の三次元マスクが配置されていた。

Fig. 4 はこの時代の日本の実力を示していると思える、大掛かりで見事な展示である[13]。原子炉の 1/3 大の模型が上下 3 フロアを使って配置され、白衣の博士と見学者である小学生の姿が奥から手前に空中を飛翔し、装置の各場所にキチンと足を付ける。



Fig. 6 「ディービジョン」2019 年著者撮影
【湘南台文化センターこども館】

Fig.5 の「ディービジョン」では、この光学系の仕掛けを想像できない観客に対し、見事な 3 次元の体積を持った映像という錯覚を作り出した。観客が居る展示室の中央に、向こう側が見通せる装置が配置され、中間の空間にカラーの動画が現われる。展示の周囲を回っても同じ位置に像が見えるので、三次元の体積を持った像が存在すると錯覚する人が続出した。Fig.6 は 1989 年に設置された装置であるが、CRT が液晶表示に交換され変わらず魚やクラゲを表示している。

現代の博物館では、見学者に対してインタラクティブな表示を行うなど、ハーフミラー合成は発展している。見学者の接近や手ぶりに反応して表示内容を変えるなど、魅力を高める工夫が加えられている。

4.技術の飛躍とヒトが奥行きを感じる手がかり

ここで、技術史上の飛躍の重要なポイントとヒトが奥行きを感じる手がかりについて解説する。まず見聞レポートを引用する。

【以下、森谷正規著：“遊ビジネスの時代先端技術と遊びの世界”より「ホログラフィーの立体像が動き回る」[15]より】

「中でも圧巻は、スペリー社の提供するホログラフィーだ。このエプコット・センターを動かしているコンピュータ・ルームの紹介で、その舞台裏を見せてくれるのだが、案内役にホログラフィーの立体像が登場する。(中略)テレビ画面でコンピュータの説明をしてくれた若い女性が、40センチほどの小人の像となってコンピュータ・ルームに浮かび出てくるのだ。そして、コンピュータ・システムの操作パネルの上をその小人が手を振って説明しながら歩き回るのが、じつに見事な立体像だ。その証拠に、ちょっと動いた時、背中が見えることもある。3次元映画のように偏光眼鏡をかけることもしないので、間違いなくホログラフィーなのだろう。その立体像が、手足を動かし、動き回るのである。(中略)現実の空間の適当な位置に、立体像を浮かび上がらせる技術なのである。また、システムのそれぞれの機器を説明する際には、その機器の前面に赤や緑のキラキラした光が現れる。それも、観客からの距離のそれぞれ違う機器にぴったりと合った位置が光る。おそらく他では見ることもない技術だ。」

【引用終わり】

観客が立つ位置からは、実際に三次元物体が存在していたとして受け取る物理的な刺激と相似な刺激が作り出されており、これだけ強いインパクトを観客に対して与える。なお社会的な現象としては、1982年10月、フロリダのディズニー・ワールドに新たに未来都市のモデル「エプコット (EPCOT) センター」が開場、その中で特に日本の関係者の注目を集めたのがこの展示だった。この時期、1985年のつくば科学博の展示企画の素材を日本の関係者は探索していて、続々とフロリダに出かけたと伝わっている。

なおここで、技術史上の一つの飛躍が行われたことに注意が必要である。Fig. 1 のペッパーズ・ゴースト公演から 1969 年米国西海岸のディズニーランドで始まった「ホーンテッド・マンション」に至るまで、ハーフミラーに反射して映し出される元の物体は三次元の物体であり、半透明の像が三次元であることは当然

と言える。一方 Fig. 3 から Fig. 5 では映像送出装置は CRT であり、平面の像である[14]。この技術を「だまし」と決めつけてしまうのは、映像の記録と再現技術の本質的な点への理解を妨げていると考える[9]。

Table 1 立体的に見える手がかり [7, 9]

1. 単眼視	A 調節 {水晶体調節, 焦点深度}	<5m
	B 空気透視 {コントラスト低下, 青着色}	
	C 色 {進出色 - 後退色}	
	D 網膜像の大きさ {既知の物体}	<500 m
	E 線透視 (図法) {消点 ← 平行線}	
	F 均一模様 の密度勾配	
	G 不均整構図 {対称性欠除} → 立体反転図形	
	H 重なり合い	
	I 光と影の分布 {照明条件の判断}	
	J 単眼運動視差 {多方向観察}	<300 m
↓	K 視野 {画枠効果除去} → 大画面表示	>50m
2. 両眼視	L 両眼視差 {前後弁別} → 2 眼式立体表示	<250 m
3. 同時視	プルプリッヒ効果 【特殊な奥行効果】	
4. 単一視	M 輻輳 (ふくそう) {眼球筋肉緊張}	<20m

Table 1 は、ヒトが奥行きを感じる手がかりを示している。日常我々は、三次元物体からの光が目には達して網膜像を作り出す際に、いろいろな手がかりから頭の中でモデルを生成している。数 m を超える場合には、目の焦点調節や両眼視差はほとんど寄与せず、物体の陰影などの要素が大きく影響する。コンピュータ・ルームに出現する小人でも、その場所に合った適切な照明による (と思える) 陰影をつけることで、体積を持った空中像と感じられる。

5. ペッパーズ・ゴーストの歴史的発展

1980 年代以降だけをとっても、ペッパーズ・ゴーストに分類される技術と社会的な事象は数々発生し、その全体像を捉えることは困難である。幸いに、かなりの情報は動画共有サイト“YouTube”に集約していて、検索キーワードとして“Optical Illusion”などを用いるとノイズは多いが数多くの情報を得ることができる。Table 2 は、簡略化した年表である。

Table 2 ペッパーズ・ゴースト関連の年表[7]

年	事柄
1858 年	ヘンリー・ダークス(1806~1873)英国学術協会に「目をあざむいて幽霊を見させる」装置を届ける。巨大なハーフミラーを使用
1862 年 12 月 24 日	ジョン・ヘンリー・ペッパー、ダークスの技術協力により、チャールズ・ディケンズ著作の舞台公演(イギリス)
1863 年 4 月 8 日	ルイス・キャロル、ペッパーの“幽霊舞台”を見る → “不思議の国のアリス”に“空中に消えていくチェシャ猫”が書き加えられる (イギリス)
1879 年	ペッパー、ハーフミラーを垂直に配置するハーフミラー舞台の米国特許を取得 (U.S. Patent 22,165 ほか) 反射率を連続的に変化させた鏡をスライドすることで、3D 映像と実物が“オーバーラップ”の手法で切り替わる
19 世紀末	ヨーロッパ各地で、“幽霊舞台”を模倣したショー
1967 年	ハーフミラーを用いたバーチャル試着装置“アリスのミラー”(商品名)の発明、フランスで出願 → 商品化、日本国内でもセールスプロモーションに利用される
1969 年	ディズニーランドに新規アトラクションとして、“ホーンテッド・マンション”公開される。ハーフミラー合成を多用
1971 年	ウォルト・ディズニー・ワールド (フロリダ) 開園
1982 年 10 月 1 日	ディズニー・ワールドに EPCOT センター開園、コンピュータ・ルームの中を前後左右に飛び回る小人によるガイドのディスプレイが話題になる。 → 日本から EPCOT を続々と見学
1983 年 4 月 15 日	東京ディズニーランド開園、“ホーンテッド・マンション”日本版開設。
1985 年 3 月 17 日	科学万博 つくば '85 開催され、多数のマジックビジョンが用いられる
1989 年 (横浜博) まで	地方博ブームに伴い、多数の“マジックビジョン”が用いられる。また各地の博物館に“マジックビジョン”が増える
2000 年以降	ハーフミラーを隠さない配置のハーフミラー合成が増加。液晶あるいは DLP (Digital Light Processing) 方式のプロジェクタと組み合わせることで、空中に表示する像の明るさを増すことができる。ステージだけではなく、ファッションショーのステージ全長にわたる空中像表示も行われる
2009 年	下向きに配置した 1 枚のフラットパネルディスプレイと、ピラミッド型 (手前の半分) のハーフミラーを組み合わせた空中像表示が注目を集める
2015 年	大面積の LED ディスプレイとハーフミラーを組み合わせた舞台上演の常設館が横浜に登場

光学機器に関する技術史研究家の視点では、他の機器と相似の「小型化と高性能化」さらに「大掛かりで公的な存在から私的使用へ」という方向を指摘するこ

とができる。カメラにおいてカメラ・オブスクラではカメラ（部屋）の語義通り最初は建物であった。続いて「ポータブル カメラ・オブスクラ」の登場でようやく持ち歩ける様になり、感光材料が銀板写真からフィルムへ、電子撮像で CMOS センターの使用、スマートフォンへの組み込みと進展している。

ペッパーズ・ゴーストにおいても相似の構図がある。最初は建物であり、CRT を用いる場合でも建物あるいは部屋のレベルであったが（株）電通映画社が開発したコンパクトな装置では電気器具となっている[13]。キャスターで移動可能で、コンセントに電源を差し込み、スイッチを入れると空中に像が表示される。当時の演出で特筆すべき事柄があるので報告する。コーヒーカップだけが置かれている場面で、小人が現れてカップの周りを走り回る。最後に小人はジャンプし、カップの中に姿を消す。これを話しても信用しない方が多いが、実際の映像を見せると、評価が急に変わる。この仕掛けのポイントは、手前の物体が奥の物体を隠す、掩蔽、オクルージョンにある。ディスプレイ上の表示像の左右位置のレジストレーションを± 0.2 mm (著者の推定)の誤差内で合わせると、周囲を走り回る小人がカップの裏側に隠れた様に見える。掩蔽の効果は大変大きい。

ペッパーズ・ゴーストが小型化してスマートフォンあるいはタブレット PC と組み合わせる「手作りホログラム」の例を報告した(Fig.7, Fig.8)[10]。

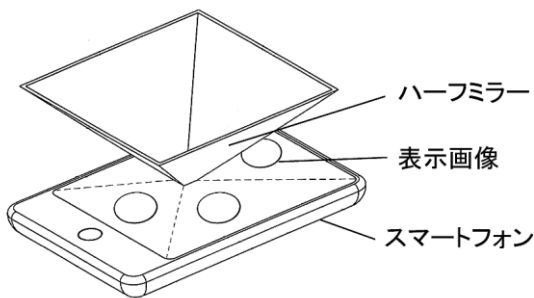


Fig.7 『手作りホログラム』[10]

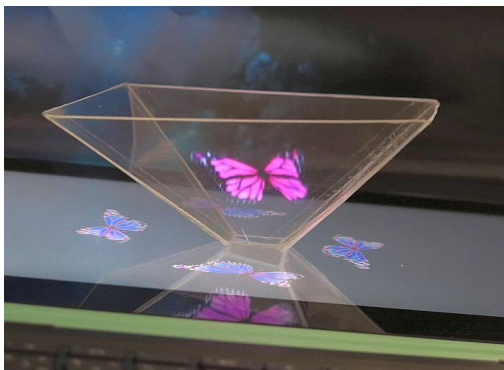


Fig.8 表示像[8]

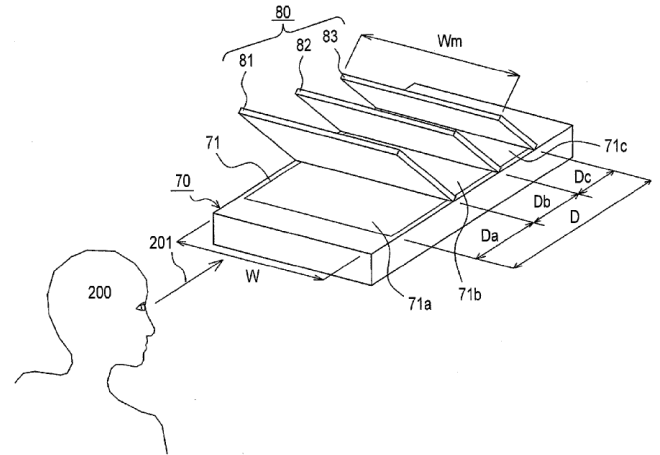


Fig. 9 3 段階式 3D 表示 (米国特許 9,235,056) [16]

スマートフォンとの組合せという点では共通している、多層 3D 映像表示の例を Fig. 9 に示す。平らに折りたたむことができる光学器具で、3段階の奥行きを持った映像を空中に表示する。なおこの光学系については複数の発明者がほぼ同じ光学系を出願しているので、権利関係には注意が必要である。

最新の動向としてスマートフォンとの組合せ例を示したが、ディスプレイデバイスの高輝度化に伴い、商品あるいは手作りの工夫としての発展は種々期待される、良く「先端技術はすぐに浪費されるものである」と言われる。LED アレイによるフルカラー画像表示は、直接目視では不要な程明るくなっている。ペッパーズ・ゴーストが社会の中で広く用いられ障害の一つに、表示輝度が低いことがあげられる。屋外や明るい室内でも十分な明るさで表示ができるようになると、いろいろな展開が期待できると考えられる。

6.おわりに

ペッパーズ・ゴーストの最初の形態である幽霊舞台に始まり、博物館展示、更にスマートフォンやタブレット PC との組合せを取り上げた。知識を共有して広め、初学者に対して正しい知識を伝える行動が、いつの時代にも必要と考えている。

年表などの作成に当たっては、数多くの著書を参考にしたが、直接は引用文献には上げきれなかった。講演の直前にも重要な出版物が多数見つかったので、未整理ながらリストに追記する[17 - 37]。

なおペッパーズ・ゴーストの情報が流通していくに伴い、「ホログラム」という間違った説明、また光学的に誤った図が流通しがちなことが気がかりである。ぜひ「間違っている」という注記と共に情報を流通させたい。

文 献

- [1] L. de Vries : 著, 本田成親 : 訳, ヴィクトリアン・インベンションー19 世紀の発明家たち, pp.18, シンガ, 1977.
- [2] 鏡惟史, “おぼけやしきの光学”, O plus E, 通巻 49 号, pp.123-125, 1983 年 10 月.
- [3] 鏡惟史, “マジックビジョン”, O plus E, 通巻 63 号, pp.93-95, 1984 年 2 月.
- [4] 鏡惟史, “鏡の話題その 2ールイス・キャロルとディケンズ”, O plus E, 通巻 197 号, pp.123-126, 1996 年 4 月
- [5] 鏡惟史, “ハーフミラーの応用その後”, O plus E, 通巻 207 号, pp.163-166, 1997 年 2 月.
- [6] 鏡惟史, “平面鏡と 3D ディスプレーその歴史”, O plus E, 通巻 207 号, pp.163-166, 1997 年 2 月.
- [7] 桑山哲郎, “ペッパーズ・ゴーストによる 3D 映像: 最新動向と歴史”, 3D 映像, 第 30 巻 1 号, pp.4-10, 2016 年 3 月. [リンク](#)
- [8] 鏡惟史, “ペッパーズ・ゴーストは手作りのホログラム?”, O plus E, 第 38 巻 5 号, pp.491-496, 2016 年 5 月.
- [9] 桑山哲郎, “3D 映像に対する鑑賞者視点からの再分析・評価ー視差を持たない 3D 映像に関する話題を中心にー”, 映像情報メディア学会技術報告, ITE Technical Report Vol.40, No.29, 3DIT2016-23, pp.1-4, 2016 年 9 月. [リンク](#)
- [10] 桑山哲郎, “「画像からくり」口絵連載第 35 回「ハーフミラーを用いた画像のおもちゃ」”, 日本写真学会誌, 第 79 巻 4 号, pp.311-312, 2016 年. [リンク](#)
- [11] 桑山哲郎, “非接触社会を実現する空中ディスプレイ技術ー2021 年 5 月”, 3D 映像, 第 33 巻 3 号, pp.9-20, 2021 年 5 月. [リンク](#)
- [12] “Pepper’s Ghost”, Wikipedia 英語版のみ. https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper%27s_ghost
- [13] 杉浦勉, “マジックビジョンの原理と効果”, 映像情報メディア学会技術報告, IPD90-7, pp. 37-42, 1984. [リンク](#)
- [14] 石川洵, “博物館における立体映像の利用ー空間映像を考える”, 日本写真学会, 第 74 巻 4 号, pp. 266-271, 2009 年. [リンク](#)
- [15] 森谷正規, “遊ビジネスの時代 先端技術と遊びの世界”, 朝日文庫, pp.102, 朝日新聞社, 1994, 【原文は 1984 年発表】
- [16] Jitsuro MASE, “Three-Dimensional Image Display Device”, 米国特許 9,235,056, Date of Patent: Jan. 12, 2016
- [17] Henry Dircks, “The Ghost”, pp.25, E & F.N. Spon, London, 1863. [リンク](#)
- [18] Robert-Houdin, “The Secerts of Stage Conjuring”, George Routledge and Sons, London, New York, 1881). [リンク](#)
- [19] John Henry Pepper, “The True History of the Ghost”, pp.29,30, Cassell & Co., London, 1890. [リンク](#)
- [20] John Henry Pepper, “The True History of the Ghost”, pp.29,30, Cassell & Co., London, 1890. [リンク](#)
- [21] Albert A. Hopkins, “Magic, Stage Illusions, Special Effects and Trick Photography”, Dover Publications, New York, 1897. [リンク](#)
- [22] 山田幸五郎, “光学の知識”, pp.26, 電機大学出版会, 1966).
- [23] 中原祐介, “大発明物語”, pp.151, 美術出版社, 1975.
- [24] 田中芳郎, “動く絵の玩具からシネマまで 前編”, ミラーイメージ, No.37, pp. 9,10, ペンタックスギャラリー, 1977.
- [25] C. W. Ceram: 著, 月尾嘉男: 訳, “映画の考古学”, pp.52, フィルムアート社, 1977.
- [26] ジョン・フィッシャー: 著, 高山宏: 訳, “キャロル大魔法館”, 河出書房新社, 1978.
- [27] “Von Daguerre bis Heute, Abring II”, Foto-Museum, Postfach, Germany, 1981/2.
- [28] ピーター・ヘイニング: 編著, 岡村好子: 訳, “深夜画廊 幽霊屋敷ー絵と写真で見る西洋幽霊史”, pp.59-63, 国書研究会, 1982. 原書は 1974 年刊.
- [29] Ken Rosenthal, “Unique Optical Illusion from a Magician’s Perspective”, Proc. SPIE, vol.391, Optics in Entertainment, pp.91, 1983.
- [30] 松田道弘, “超能力のトリック”, 講談社現代新書 799, 講談社, 1985.
- [31] エリック・バーナウ: 著, 山本浩: 訳, “魔術師と映画(シネマの誕生物語)”, ありな書房, 1987.
- [32] 高木重朗, “大魔術の歴史”, 講談社現代新書 910, 講談社, 1988.
- [33] 能登路雅子, “ディズニーランドという聖地”, 岩波新書 132, pp.175-178, 岩波書店, 1990.
- [34] バルトスシャイテス著作集 4, 谷川渥: 訳, “鏡ー科学的伝説についての試論, 揭示・SF・まやかし”, 国書刊行会, 1994.
- [35] 辻茂, “遠近法の誕生 ルネサンスの芸術家と科学”, 朝日新聞社, 1995.
- [36] リチャード・グレゴリー: 著, 鳥居修晃ほか: 訳 “鏡という謎 その神話・芸術・科学”, 新曜社, 2001.
- [37] 加藤耕一, “「幽霊屋敷」の文化史, 講談社現代新書 1991, pp.201-215, 講談社, 2009
- 付記事項: 参考になる動画 「ペッパーズ・ゴースト」を理解する上で参考になる動画の URL アドレス(YouTube)を以下に列挙する。
- ・ 3D ホログラムディスプレイ [モノと映像を組み合わせた展示例]
<https://youtu.be/mGRKhAmDwYg>
 - ・ DREAMOC コーラ デモンストレーション
https://youtu.be/715hQ48T1_k
 - ・ Perfume 新メンバー加入! ? Perfume が 6 人! 驚きの 3D ライブ 2012
<https://youtu.be/VTZY9MIMzek>
 - ・ チャップリンの顔 凹面顔錯視
https://youtu.be/J_bg1H7fst4
 - ・ ペッパーズ・ゴーストのセットアップ
<https://youtu.be/r27wrQOgawo>
 - ・ 手作りできる 3D ホログラム
<https://youtu.be/-TTRHe6Q288>
 - ・ 3 層表示: 3DiPhone ディスプレイ-i3DG
<https://youtu.be/T6dz24bZeRQ>
 - ・ 【スポーツ観戦の再創造展】視覚観戦の再創造① ~ Kirari! 任意背景リアルタイム被写体抽出技術~
<https://youtu.be/YYzKmI7LEAo>