

Axi-Vision カメラ

～ 距離画像をリアルタイム検出可能な TV カメラ ～

NHK 放送技術研究所 河北 真宏

1. はじめに

近年、バーチャル映像や立体映像など、3次元情報を活用した臨場感溢れる映像が注目されている。同時に、被写体の3次元情報を、高速かつ高精細に検出する技術のニーズも増している。そこで我々は、被写体の映像と同時に距離画像（カメラと被写体間の距離を画像の明暗で表した画像）をリアルタイムで検出する技術を開発し、距離情報を用いた画像合成やモデリング、立体表示などのへの応用を目指している。

従来、光飛行時間測定法や三角測量法、モアレ、光干渉法など各種距離検出方法が開発されている[1]。しかし、これら従来技術では、演算処理速度や機械的な駆動機構により、距離検出速度や測定点数が制限され、実時間の距離画像検出は困難である。ここ数年、CMOS センサー技術の開発や距離検出方法の改良により、距離検出の速度と画素数が大幅に向上している[2-5]。しかし、ハイビジョンクラスの高精細な距離画像の取得は実現されていなかった。

我々は、これまで強度変調照射光と高速シャッターからなる方式を提案し[6]、実時間で距離画像取得を可能とする Axi-Vision カメラを開発した[7]。本方式では、レーザービーム走査機構や煩雑な演算処理が不要であるため、テレビ画像の画素単位で、被写体の距離を高速に検出できる。また、従来の光切断法などに見られる照射光の影が生じず、光ビームの走査機構も不要である。さらに、レーザー光源の代わりに、LED 光源を使用できるため、人物を安全に撮影できる。

2002 年に開発したハイビジョン対応の Axi-Vision カメラ[8]により、実写映像と CG とをリアルタイムで 3 次元合成する技術を確立し[9]、実際の番組制作に応用している[10]。本稿では、Axi-Vision カメラの原理と構成、要素技術、性能を解説するとともに、画像合成やモデリング、立体 TV 応用に向けた取組みについて紹介する。

2. Axi-Vision カメラ

2.1 原理

高速変調光を被写体に照射し、反射光を超高速シャッターで撮像すると、被写体の距離に依存した輝度画像が得られる。この画像より距離を求めるのが基本原理である。図 1(a)に示すように、シャッタータイミングを、増加変調する反射光に合わせて撮像した場合、カメラに近い被写体 O_1 と遠い被写体 O_2 からの反射光は、その往復時間に差が生じる。そのため、短時間撮像した画像Aでは、 O_1 の像 I_1 は明るく、 O_2 の像 I_2 は暗くというように、距離情報が画像の輝度にあらわれる。

しかし、この画像Aの輝度には、被写体の反射率や照射光量の空間的ムラ、また拡散反射光量の距離による減衰効果なども影響している。この補正として、減少変調の反射光にシャッタータイミングをあわせた画像Bを撮像する(図 1(b))。これら画像Aと画像B間で輝度の比をとれば、反射率等の影響が補正され、距離を画像の明暗で表した距離画像Dが求められる[6]。

2.2 構成

図 2 および図 3 にカメラの構成図および外観写真を示す。カメラレンズ周囲に配置されたLED アレイより、近赤外波長の強度変調光を被写体へ照射する。カメラへの反射光の可視光成分は、カメラレンズの後に配置されたダイクロイックプリズムを透過し、レンズを介してカラーカメラへ結像される。一方、LED アレイからの近赤外光成分は、ダイクロイックプリズムで反射され、距離検出部へ入力される。距離検出部では、高速シャッター機能をもつイメージインテンシファイアにより短時間撮像を行い、出力光画像をレンズで CCD カメラへ入力する。このイメージインテンシファイアは、外部のシャッタートリガ信号により LED アレイとともに同期駆動され、CCD カメラで増加変調光照射時と減少変調光照射時の画像が交互に撮像される。CCD 出力信号は信号処理装置に入力され、距離算出演算を行い、距離画像がハイビジョン信号に変換され出力される。

2.3 要素技術

(1) イメージインテンシファイア

イメージインテンシファイアは、光電変換面、マイクロチャンネルプレート(MCP)、および蛍光面から構成され(図 2)、微弱な光信号を撮像できる。また、光電変換面と MCP 間に印加するパルス電圧の幅に応じたナノ秒オーダーの短時間シャッター動作が可能である特徴をもつ。本カメラでは、LED の中心発光波長(850nm)に高い量子効率特性をもつガリウム砒素材料を光電変換面に用いている。MCP 部は信号光の増倍を確保するために 2 段構成とし、蛍光出力画像を検出する CCD カメラの光量不足を防いでいる。この 2 段構成 MCP は、光電変換面へのイオンフィードバックを抑える効果もあり、光電変換面の長寿命化が図られている。なお、高精細映像撮影のため、MCP のチャンネル直径を微細化(6 μ m)するとともに、光電変換面と MCP、および MCP と蛍光面間の距離を近接させ、限界解像度を 51 lp/mm としている。

(2) LED 光源および光学系

カメラレンズとカラーカメラの間に小型のダイクロイックプリズムを配置した光学系を開発した。本光学系におけるカラーカメラ側および距離検出側への光透過率特性を図 4 に示す。距離検出光学系には、可視照明光の混入を防ぎ、効率よく LED 光成分を検出するために、赤外透過フィルターを設置している。カメラレンズ、色分離光学系およびカメラの一体化がなされコンパクトな構成となっている。このため、カメラレンズ周囲への LED アレイの多重配置が可能となり、近赤外光の高出力化が図れる。LED アレイは 4 ユニットあり、出力光量は 1W である。

2.3 仕様と性能

カメラの仕様と性能を表 1 に示す。距離検出分解能は、被写体がカメラより 2m のとき 1.7cm、10m で約 5cm である。距離情報をもとに人物と背景を分離する場合、被写体間の距離差は数十 cm 以上ある場合が多いと考えられる。この距離検出分解能は、これより十分小さいため、

距離情報による画像の抽出や合成が可能な分解能が得られているといえる。距離の算出点数とフレームレートは、1280(H)×720(V)、29.97Hz、もしくは、853(H)×480(V)、59.94Hzであり、最終的に距離画像はHD-SDI信号で出力している。

3. 応用

3.1 画像合成

現在、TV番組制作における映像合成にはクロマキー法が使われている。本手法では、撮影時に青色もしくは緑色の特殊な大型背景セットが必要であり、出演者の服装の色も制約される。一方、Axi-Visionカメラにより得られた距離情報を画像合成に活用することで、上記課題を解決するとともに、任意の距離の被写体のみを選択的に抽出・合成できる。距離情報を用いた画像合成例を図5に示す。出演者と背後のセットの間に、距離合成の閾値を設定し、他の画像（レンガの壁）を合成している。さらにCGキャラクターと実写の合成時には、前後関係を考慮に入れた3次元合成もリアルタイムで可能である[9]。このように、距離情報の活用により、多彩で効果的な演出や、効率的な番組制作が実現できる。現在、この距離情報を活用した合成技術は、生中継[8]や番組収録[10]に活用されている。

3.2 モデリング

次に3次元形状モデリングへの応用を紹介する[13]。本カメラによる形状計測のメリットは、以下のとおりである。

- (i) 距離情報が高速かつ多画素に取得可能
- (ii) カラーと距離の同時撮影
- (iii) ズームレンズ対応で汎用性に優れている

図6は被写体をモデリングし、テクスチャを貼り合わせてCGキャラクター（ウサギ：Stanford Bunny）を合成したものである。CGのスポットライトで仮想的な光を設定してあり、CGキャラクターから伸びる影も被写体の複雑な形状に応じ自然な変化をさせることができ、CGと実写

の融合間を高めることが可能である [13]。このように、被写体形状の高速かつ容易に取得すること、高度な 3 次元合成映像制作が可能となり、コンテンツの品質向上に貢献できる。現在、形状計測には検出分解能は十分とはいえないが、光変調と撮影方法の工夫やノイズ低減処理により高分解能化を進めている[11.12]。

3.3 立体 TV システム

立体 TV は将来の夢の技術であるが、数多くの技術的ハードルがありいまだ実現されていない。立体情報取得をいかにするかも課題の 1 つである。本カメラにより得られる距離情報は、立体像の再構成のために最も重要な情報であると考えられる。本カメラと立体ディスプレイを組み合わせた実験を行った (図 7)。カメラで取得したカラー画像と距離画像より、各奥行き距離の画像を 8 枚生成し、複数のハーフミラーと 8 台の CRT モニターより構成した立体ディスプレイに表示している[15]。表示立体像は、奥行き諧調が離散的な表示像ではあるものの、原理的に視覚疲労がない、自然な奥行きのある立体像が得られた。距離情報を使用しているため、立体像再生に伴う情報量は従来の TV 信号の 1.3 倍であるメリットがある。

4. まとめ

距離画像をリアルタイム撮像できる Axi-Vision カメラを開発した。距離情報をもとにした画像合成を実用化するとともに、モデリングや立体 TV システムなどへの応用の可能性を検討している。今後、距離検出精度などの機能向上に取り組むとともに、各分野での応用開拓と実用化をさらに進めていく。

<謝辞>

モデリング応用に関しては、NICTの委託研究「高精細・立体・臨場感コンテンツ技術の研究開発」の一環でNHKエンジニアリングサービスが行ったものである。また画像合成技術とその番組応用に関して多大な御尽力をいただいた、NHK放送技術研究所 映像情報、NHK放送センター運用技術、制作技術センター、番組制作送出センターの皆様に深く感謝いたします。また、カメラ開発当初より、多年にわたって熱心な御指導いただいたトロント大学 飯塚啓吾教授に心から感謝の意を表します。

<参考文献>

- [1] 井口・他, “三次元画像計測,”昭晃堂, 東京, 1990.
- [2] 杉山・他, 映情学技報 Vol.26, pp.1-6 (2002)
- [3] Y. Oike et al., IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.39, No.4, p.622-628 (2004)
- [4] R. Lange et al., Proc. SPIE 3965, pp.177-188 (2000)
- [5] G. J. Iddan et al., Proc. SPIE 4298, pp.48-55 (2001)
- [6] 河北・他, 信学技報, EID98-51, Vol.22, No.57, pp.19-24 (1998)
- [7] M. Kawakita et al., Applied Optics, Vol.39, no.22, pp3931-3939 (2000)
- [8] M. Kawakita et al., Optics Express, Vol.12, No.12, pp.2781-2794 (2004)
<http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=OPEX-12-12-2781>
- [9] M. Kawakita et al., IEICE Electronics Express (accepted)
- [10] 菊地・他, 放送技術, Vol.4, pp.167-174 (2003)
- [11] 岩間・他, Optics Japan 2001, 7PA6, pp.381-382 (2001)
- [12] 浅見・他, 2004 画像電子学会年次大会 学生セッション 18, pp.71-72, (2004)
- [13] 白井・他, 映情学技報, Vol.28, No.32, pp.9-12, (2004)
- [14] 河北・他, 第26回光学シンポジウム, (2001)
- [15] 河北・他, 3次元画像コンファレンス 2001, P-7, pp.141-144, (2001)

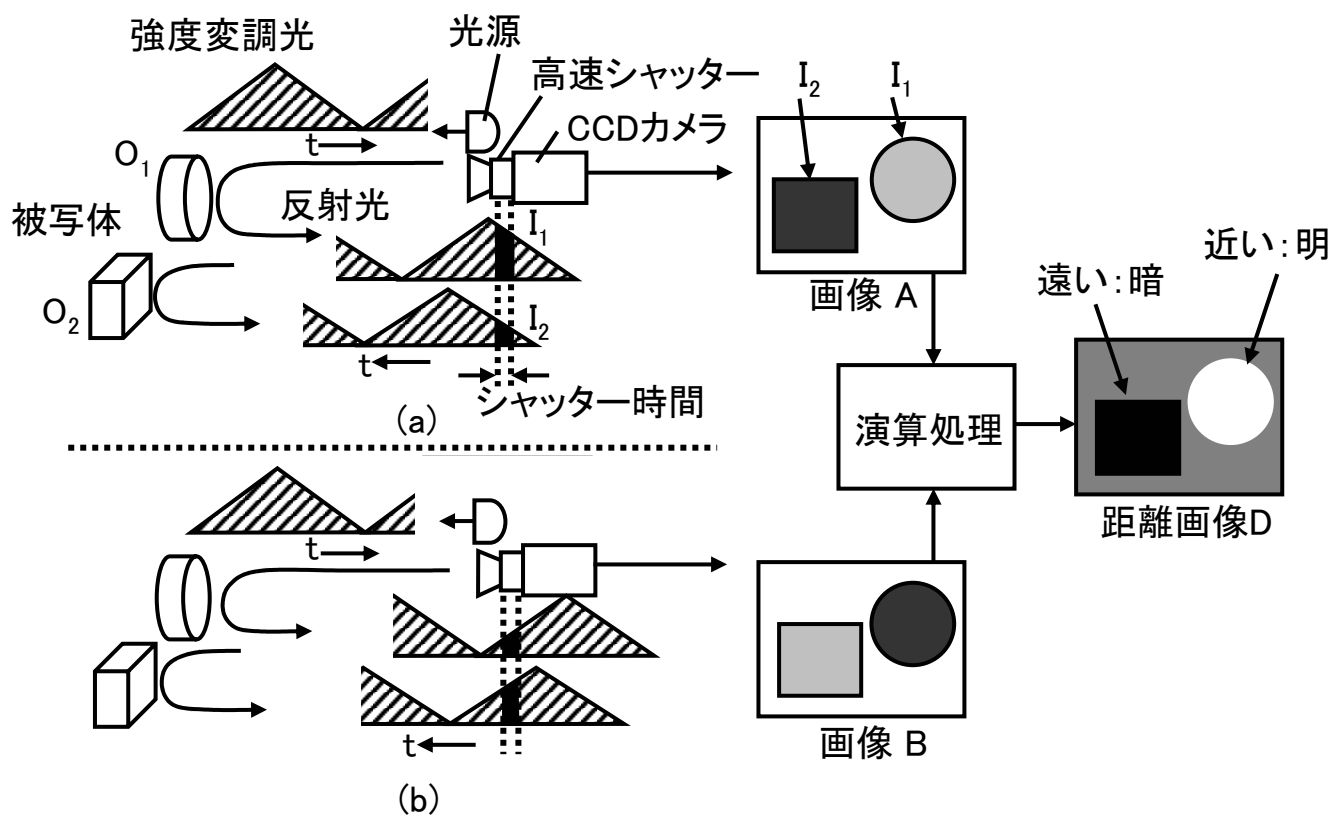


図1 距離検出原理 (a)増加変調反射光の撮像 (b)減少変調反射光の撮像

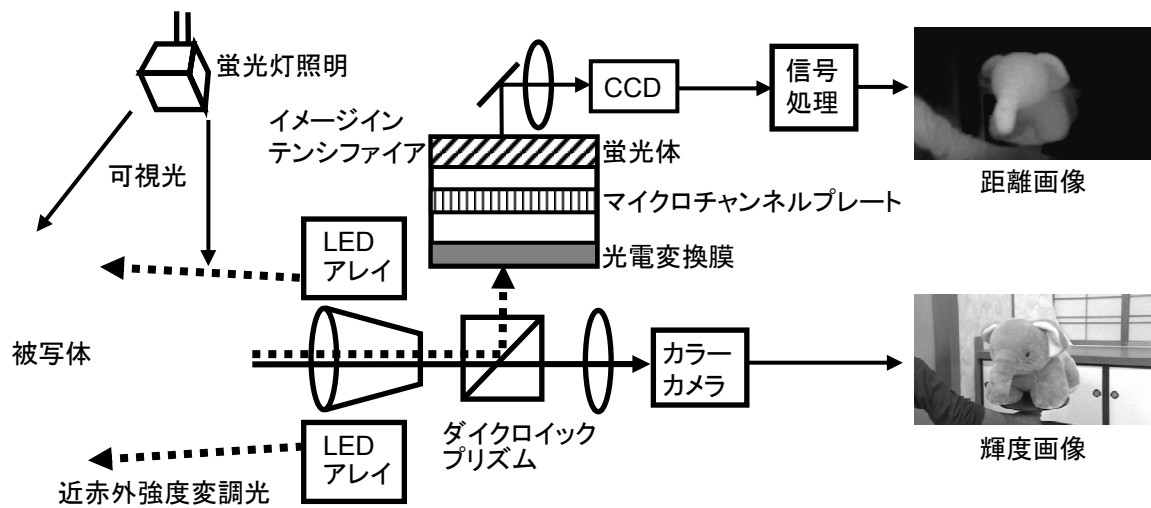


図2 カメラ構成図

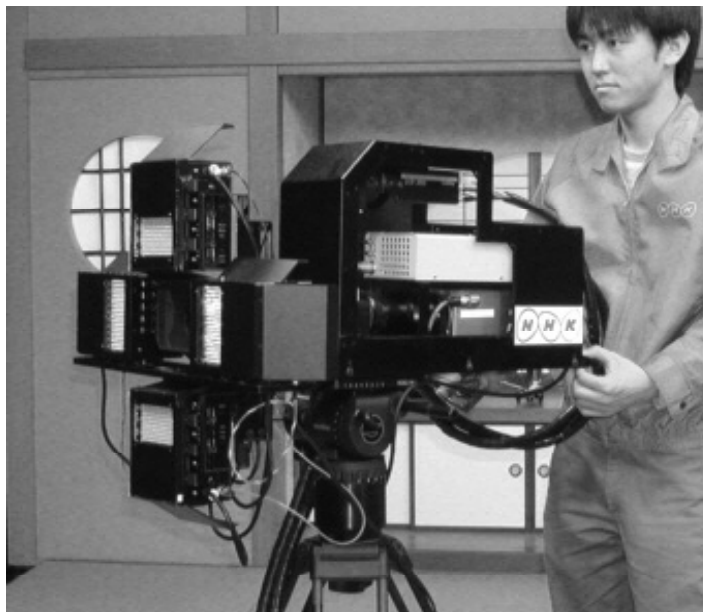


図3 HDTV Axi-Vision Cameraの概観写真

表 1 Axi-Vision カメラの仕様と性能

L E D アレイ	波長	850 [nm]
	最大光出力	1 [W]
	変調周波数	10 ~ 50 [MHz]
	素子数	800 [個]
イメージ インテンシファイア	シャッター時間幅	1 ~ 20 [ns]
	繰返し周波数	10 ~ 50 [MHz]
	量子効率 (波長 850nm)	11.7 [%]
距離画像	有効画素 (29.97Hz 駆動時)	1280(H) × 720(V)
	(59.94Hz 駆動時)	853(H) × 480(V)
	距離検出分解能 (被写体の距離 2m)	1.7 cm
	出力信号	HD-SDI

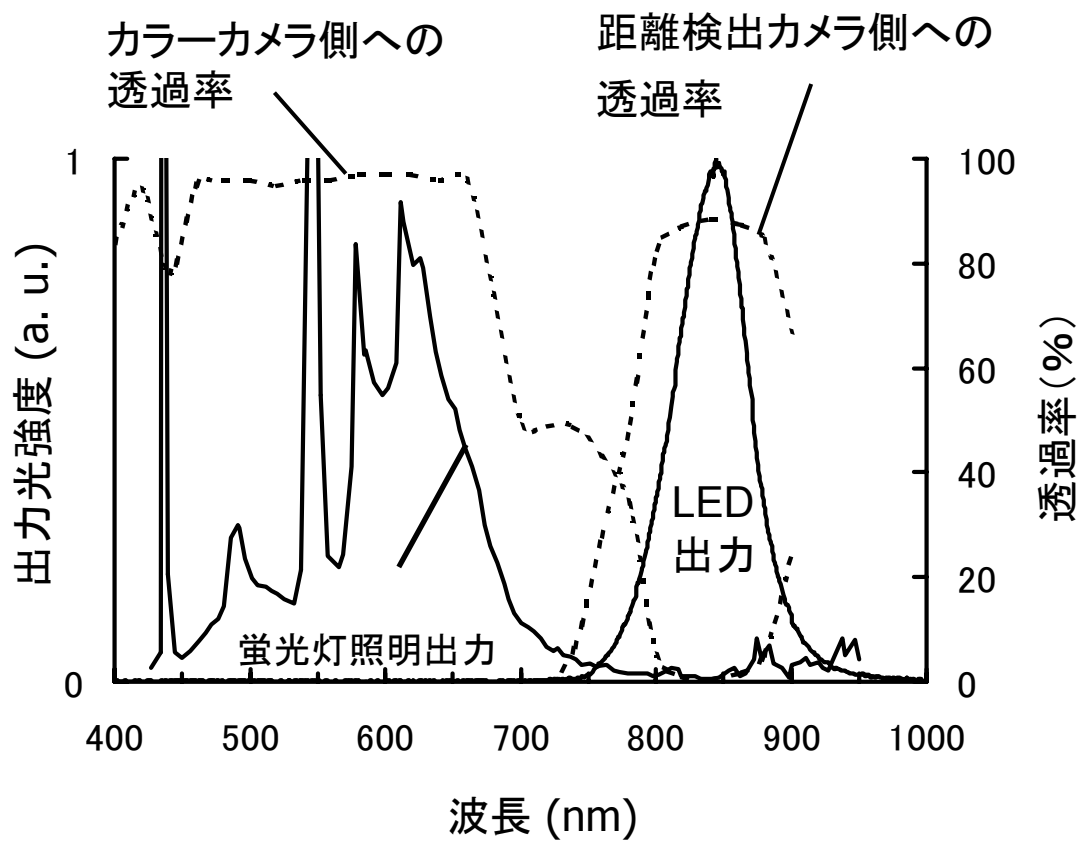


図4 LED出力光および蛍光照明光のスペクトルと、光学系の透過率特性



(a)

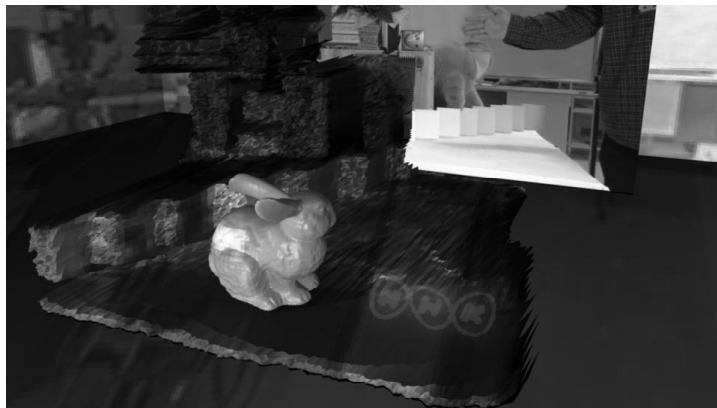


(b)

図5 ブルーバックが不要な画像合成.
(a)実写画像 (b) 合成画像.



(a)



(b)

図6 Axi-Visionカメラによるモデリングとシャドウイング
(a)シャドウイングを施した3次元合成結果
(b)取得メッシュとCGキャラクタの配置の様子

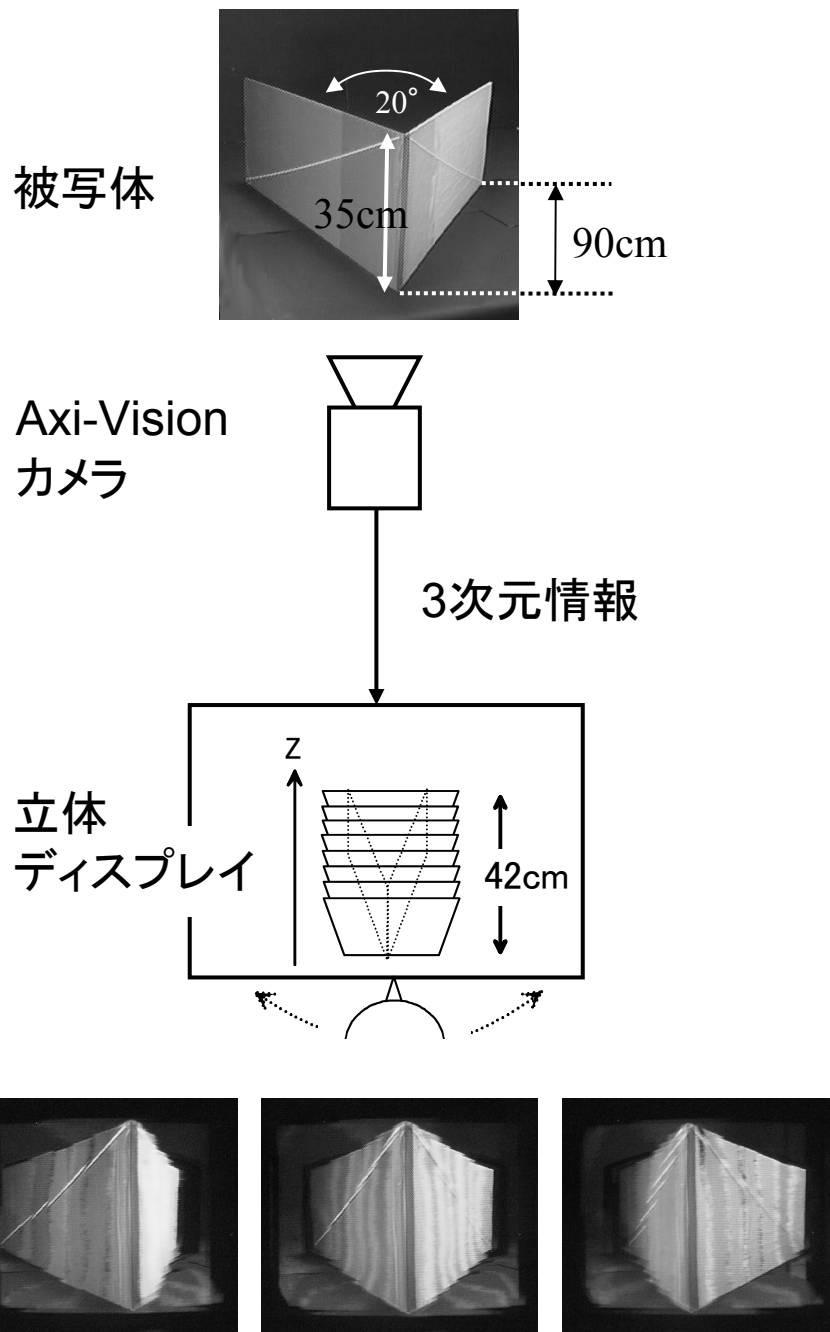


図7 距離情報を用いた立体撮像・表示システム