

業務用3Dカメラレコーダーの簡単操作・小型軽量化技術

Easy Operation and Miniaturization Technology for Professional Use 3D Camera-Recorder

和田 学 明
Noriaki Wada

坂内 達 司
Tatsushi Bannai

要 旨

小型軽量、簡単操作を実現したレンズ一体型二眼式の業務用3Dカメラレコーダーを提案する。3D映像では「縦ズレ」「画角ズレ」など眼精疲労の原因となる二眼映像のズレなどをなくさなくてはならない。撮像素子の有効画面の切り出し位置を調整することにより、ズームを動かしても「縦ズレ」が発生しなくなる。また、レンズ、プリズム、撮像素子で構成される光学ユニットごとに画角特性を測定し、測定データを基に画角補正をすることにより「画角ズレ」をなくす。さらに、光学ユニット内の小型レンズによる輻輳（ふくそう）角制御を行うことにより、大がかりなメカニズムが不要となる。これらにより、簡単操作と、2.4 kgという小型軽量を実現している。

Abstract

A new twin-lens 3D camera-recorder has been developed. To produce good 3D images, it is necessary to minimize differences, such as vertical placement and size differences, between the L and R images, which can cause eyestrain and fatigue. Differences in vertical placement are avoided by adjusting the location of the active picture area of the image sensor even as the zoom position is changed. Differences in size are eliminated through an automatic compensating system based on the zoom characteristics of the entire optical block - the lens, the prism, and the image sensors. A new convergence angle system controlling the small lenses in the optical block avoids the need for heavy mechanisms. As a result, easy operation and 2.4 kg weight have been achieved.

1. はじめに

3D映像の一般家庭への普及には3Dコンテンツの増大が不可欠である。映画制作のみならず、ドラマ制作、スポーツ中継、コンサート収録など3D映像制作の機会を増やしていかななくてはならない。しかしながら、リグ式3Dカメラに代表されるこれまでの3D撮影機材は大がかりなシステムで高価であった。また、快適な3D映像のためにはさまざまな調整が要り、ノウハウが必要であったことなど、制作機会増大には課題があった。

筆者らは、より多くのクリエイターに3D映像の制作機会を提供するため、調整作業を大幅に削減した小型軽量の業務用3Dカメラレコーダーを提案する。本稿では簡単操作を実現した自動補正技術、小型軽量を実現した小型レンズによる輻輳角制御技術について説明し、本3Dカメラレコーダーの特徴と、3D撮影の際の注意点を示す。

2. 3Dカメラの課題

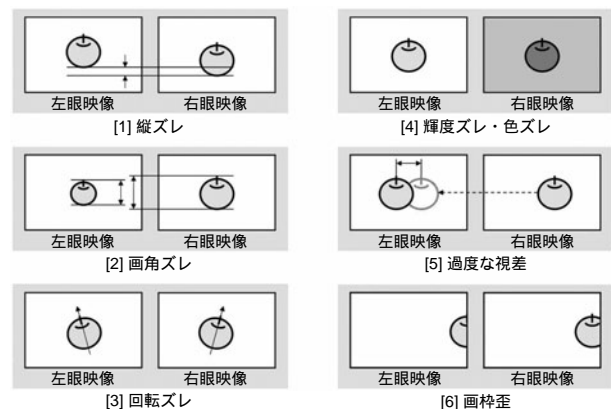
3D映像の制作機会を増やすために、3Dカメラとしては大きく2つの課題がある。

2.1 簡単操作

3D映像の中には、人間の脳で立体融合が困難で眼精疲労を起こす可能性のあるものがある。これら不適切な3D映像を排除するため、従来の3Dカメラではさまざまな調

整が必要であった。このため撮影準備に時間を要し、調整方法のノウハウも必要であった。第一の課題は、より簡単に操作できるようにすることである。

以下、眼精疲労を起こす可能性のある不適切な3D映像の例を示しておく（第1図）。



第1図 不適切な3D映像の例

Fig. 1 Examples of improper 3D images

【1】縦ズレ

二眼映像間の横方向のズレは脳で飛び出し・奥行き情報に変換できるが、縦方向のズレは人間にとって経験のない映像になるため立体融合が困難になる。

【2】画角ズレ

同じ物体の大きさが異なる場合も、経験のない二眼映

像となるため立体融合が困難になる。

〔3〕回転ズレ

二眼映像で回転方向にずれている場合も、経験がないため立体融合が困難になる。

〔4〕輝度ズレ・色ズレ

二眼映像間で同じ物体の輝度レベルが異なっている場合違和を感じる。また、二眼映像間で同じ物体の色が異なっている場合も違和を感じる。

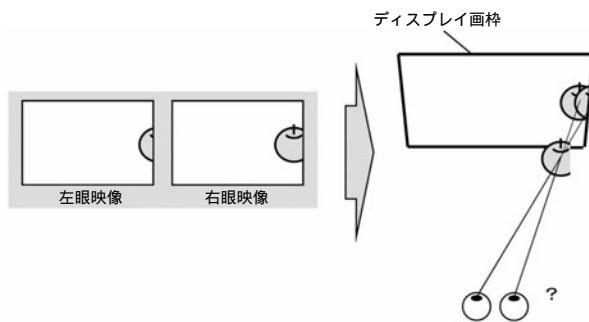
〔5〕過度な視差（飛び出し過ぎ、後方発散など）

二眼映像間で横方向のズレ、すなわち視差がある場合、脳で立体融合して飛び出しや奥行きを感じることができ。しかし視差が大きくなると立体融合ができない。また人間の両眼間隔を超える奥行き視差は両眼を外側に向ける映像になるため不快に感じる原因となる可能性がある。

〔6〕画枠歪（ひずみ）(Window Violation)

画面の周辺部に物体があり物体の全景が見えず、かつ飛び出して見える3D映像は違和を感じる。2D映像の場合、画面周辺部の物体の全景が見えないときは画枠の後方に物体があるため全景が見えていないと脳は理解する。しかし、3D映像で飛び出していると、画枠の後方にあると理解していた物体が画枠の前方に定位して見えるため矛盾を感じる（第2図）。

ほかに、画面周辺部の物体で片眼のみで見え、他方で見えていない状態も違和を感じる。

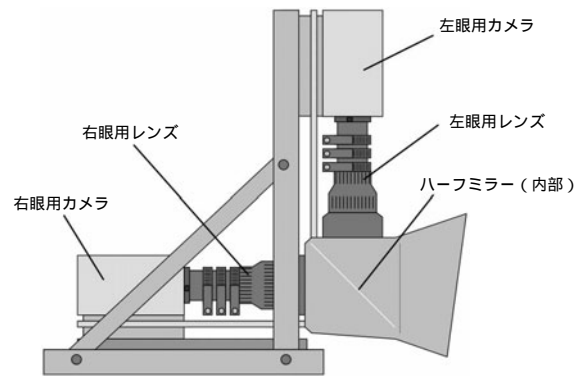


第2図 画枠歪

Fig. 2 Window violation

2.2 小型軽量化

第3図に、リグ式3Dカメラの例を示す。これまで映画制作やスポーツ中継などで多用されてきたリグ式3Dカメラは、レンズ+カメラを2組搭載しており、重量が大きくサイズも大きなものであった。また、リグ式3Dカメラでは2台カメラの光軸の輻輳角を設定して交差法による3D撮影を行っているが、輻輳角を設定するためにレンズとカメラ、さらに両者を固定する基台の全体を動かす必要があ



第3図 リグ式3Dカメラの例

Fig. 3 Example of 3D rig system

る。このため、大きな荷重に耐え精度よく動作させるメカニズムが必要である。このメカニズムが重量を大きくしている原因の1つであった。

大型・大重量の3Dカメラを用いると、コンサート収録では狭い場所からの撮影が困難であったり、スポーツ中継ではワイヤーでつるした空中からの撮影が困難であったりした。また、ドキュメンタリなどでは撮影現場までカメラを手で運ぶことができず、岩山や辺境など、場合によってはヘリコプタを使う必要があった。小型軽量化は、3D映像の撮影機会を増やすためには重要である。第二の課題は小型軽量化である。

3. 簡単操作への取り組み

前章2.1節で紹介した不適切な映像のうち〔1〕縦ズレ、〔2〕画角ズレ、〔3〕回転ズレ、〔4〕輝度ズレ・色ズレについては自動補正、あるいは一回限りの調整を行うことにより、撮影現場での調整を大幅に削減し、簡単操作を実現する。〔5〕過度な視差、〔6〕画枠歪については構図の設定などカメラワークによる対策が考えられる。

3.1 縦ズレの対策

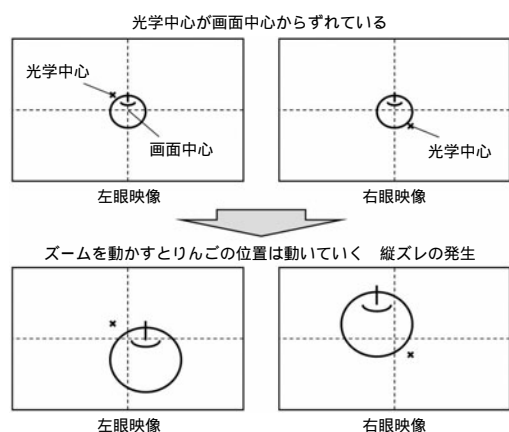
二眼映像間で縦ズレが発生する原因は大きく2つある。1つは光学ユニットを2台固定する際のあおり角のズレである。もう1つはレンズ光学中心と撮像面中心の不一致である。

本3Dカメラレコーダーでは、光学ユニットを固定する際、テストチャートを実際に撮像して画を確認しながらあおり角の調整を行う。また、本3Dカメラレコーダーでは二眼間隔固定としており、頑丈なダイキャストに光学ユニットをしっかりと固定することができる。この光学ユニットの固定は一度行えばよく、通常の撮影時に調整をする必要はない。

次にレンズ光学中心と撮像面中心の不一致対策である。レンズのズームを广角 望遠と操作した際画面の中で動かない点、すなわち光学中心が存在する。しかし、レンズ、プリズム、撮像素子の取り付け精度の問題から、一般的にレンズ光学中心と撮像面中心は一致していない。この不一致は2Dカメラでは大きな問題とならないが、3Dカメラでは縦ズレの原因となる。

第4図は、レンズの光学中心と撮像の画面中心が一致していない例である。ある画角でりんごを画面中心に配置し、視差がない状態に設定し、縦ズレのない映像になっていても、ズームを動かして画角が変わるとりんごは画面中心からずれていく。このため二眼映像間では縦にも横にもずれてしまう。横方向のズレは飛び出し・奥行き視差になり、ズームを動かすとりんごが奥に行ったり、飛び出したりする。また、縦方向のズレは眼精疲労の原因となりうる不適切な映像になる。したがって、ズーム可変と縦ズレ防止を両立するためには光学中心と撮像の画面中心が一致してはならない。

本3Dカメラレコーダーでは、フルHD (High Definition) で必要な1920画素×1080画素より大きい有効画素数の撮像素子を用い、レンズ光学中心と撮像画面中心が一致するよう撮像エリアの切り出し位置をずらしている。これにより、ズームを操作しても左眼映像と右眼映像の画面中心が動かなくなるため、縦ズレの発生を防ぐことができる。



第4図 ズームによる縦ズレの発生

Fig. 4 Placement difference caused by zoom position change

3.2 画角ズレの対策

一般に、レンズ、プリズム、撮像素子を固定する際の取り付け精度の問題から光路長に不均一が発生する。二眼式3Dカメラでは、この不均一が画角ズレの原因となる。

本3Dカメラレコーダーでは、レンズ、プリズム、撮像

素子で構成される光学ユニットごとに基準画角とのズレを測定し、補正値をマイコンに記憶させている。そして所望の画角に設定する際、二眼レンズでそれぞれ補正値を用いて画角制御することにより画角ズレを防ぐことができる。

3.3 回転ズレの対策

回転ズレについては、3.1節のあおり角調整と同様に、光学ユニットを固定する際、テストチャートを実際に撮像して画を確認しながら調整を行う。この光学ユニットの固定も一度行えばよく、通常の撮影時に調整をする必要はない。

3.4 輝度ズレ・色ズレの対策

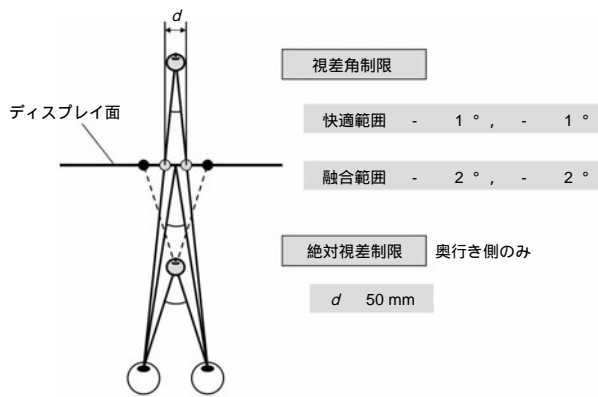
一般的に、撮像素子感度の不均一などの理由で、二眼式3Dカメラでは同じ被写体を写しても二眼映像間で輝度がずれてしまう。本3Dカメラレコーダーでは、あらかじめ二眼映像の輝度ズレ量を測定し、ゲイン調整を行っている。この調整は一度行えばよく、通常の撮影時に行う必要はない。

また、色については、カメラのホワイトバランスを二眼同時に取りることによりズレがなくなる。本3Dカメラレコーダーでは同期した一体型カメラであるため、同時に同じアルゴリズムでホワイトバランスを取ることができる。よって、撮影時には特に色ズレを気にする必要はない。

3.5 過度な視差への対策

第5図は、視差角についての説明図である。ディスプレイ面の1点を見るときに輻輳角を θ_1 、ディスプレイ面より奥に定位する物体を見るときに輻輳角を θ_2 、ディスプレイ面より手前に定位する物体を見るときに輻輳角を θ_3 とすると、視差角は $\theta_2 - \theta_1$ 、 $\theta_3 - \theta_1$ で定義される。快適3D映像は視差角1°以内が目安とされ、立体融合限界は視差角が2°とされている¹⁾。また、第5図中の d で表現されたディスプレイ上の奥行き側視差は人間の瞳孔間隔を超えないようにすることが望ましいとされている¹⁾。瞳孔間隔の狭い子供も考慮すると、ディスプレイ上で50 mm以下の視差にする必要がある。

ここで、快適な3D映像として視差角1°以内の視差を考える。画面の高さの3倍の視距離で3D映像を視聴することを想定すると、視差角1°は画面幅の2.9%の視差に相当する。3D映像制作にあたっては、画面幅の2.9%以内の視差に止める必要がある。また、3D視聴するディスプレイサイズが大きいときは、奥行き側の視差が50 mm以下にする必要がある。この50 mmは103V型ディスプレイでは画面幅の2.2%に、152V型ディスプレイでは画面幅の1.5%に相当する。

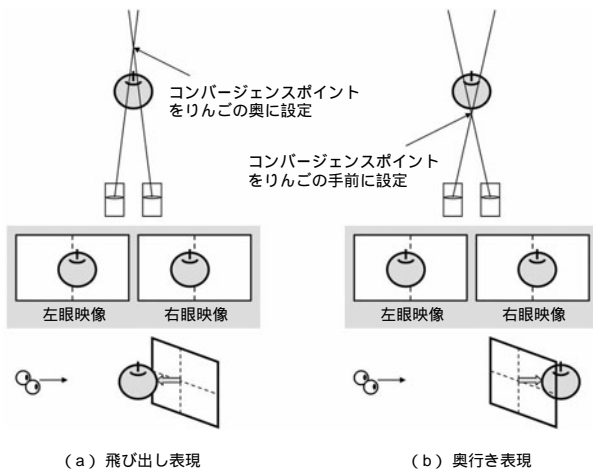


第5図 視差角と快適な視差範囲
Fig. 5 Parallax angle and parallax range for comfortable 3D

実際の3D撮影においては、モニタ上に二眼映像を重ね表示させ、視差の画面幅に対する割合を確認することにより適正な視差範囲か判断できる。しかし、確認用モニタが撮影現場にない場合がありえる。本3Dカメラレコーダーでは、このようなときのために簡易的に判断する手段として被写体の距離範囲を表示する3Dガイド機能を有している。想定スクリーンサイズが77型以下の場合と、200型の場合の2種類について、被写体の最近点と最遠点の距離を表示することができる。これにより写っている物体の距離範囲から適正な視差になっているか判断でき、撮影準備時間短縮の効果がある。

3.6 画枠歪への対策

交差法3D撮影においては輻輳角を制御してコンバージェンスポイントを変え、目標の被写体を飛び出させたり、奥に定位させたりできる（第6図）。しかし、飛び出し映



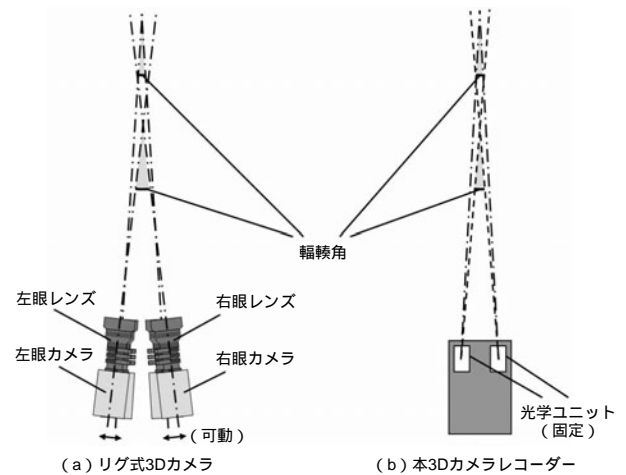
第6図 コンバージェンスポイントの設定
Fig. 6 Setting convergence point

像は視聴者に緊張感を与えたり、画枠歪が発生しやすくなってしまいます。そこで、最近の3D映像では、目標被写体をやや奥側に定位させることが増えてきている。すなわち、目標被写体よりやや手前にコンバージェンスポイントを設定する人が多い。このように画枠歪に対しては、コンバージェンスポイントの設定など、ユーザーによる構図の注意が必要である。

4. 小型軽量化への取り組み

第7図(a)に、リグ式3Dカメラの輻輳角制御の様子を示す。リグ式3Dカメラの交差法による3D撮影では、レンズ+カメラ全体を動かすことにより輻輳角を変えている。したがって、レンズ+カメラの荷重に耐える大きなメカニズムが必要である。

第7図(b)は、本3Dカメラレコーダーの輻輳角制御の様子を示している。本3Dカメラレコーダーでは、光学ユニット内の小型レンズで光軸を変え輻輳角を制御している。これにより、荷重の大きなメカニズムが不要となり高速で応答できる輻輳角制御を実現している。また、光学ユニットを可動式にするのではなく、ダイキャストにしっかりと固定できるため、調整済みのあおり角や回転がずれることはない。



第7図 輻輳角制御の方式
Fig. 7 Convergence angle control method

5. 3Dカメラレコーダーの特徴と性能

前記した二眼映像のズレの補正、光学ユニットの取り付け調整、小型レンズによる輻輳角制御を採用したレンズ一体型二眼式フルHDの3Dカメラレコーダーを開発した。本3Dカメラレコーダーの外観を、第8図に示す。



第8図 3Dカメラレコーダーの外観

Fig. 8 Appearance of 3D camera-recorder

本3Dカメラレコーダーでは、第2章で説明した不適切な3D映像のうち、「縦ズレ」「画角ズレ」「回転ズレ」「輝度ズレ・色ズレ」を気にすることなく操作することが可能である。これにより、3D撮影の際、撮影現場で調整のための時間を大幅に削減し、簡単に作業できるようになった。

次に、第1表にリグ式3Dカメラとの比較をまとめる。重量がかなり小さくなり片手で持ち運びが可能である。また、消費電力も17 Wと小さく、バッテリーによる運用が可能である。

また、開発した3Dカメラレコーダーでは、AVCHD (Advanced Video Codec High Definition) 方式による録画再生機能を有しており、同期した二眼映像を記録することができる。さらに、外部出力としてHD-SDI (High Definition Serial Digital Interface) ×2系統とHDMI (High-Definition Multimedia Interface) 1.4を有している。HD-SDI×2系統により放送・業務用の録画機器、編集機、モニタなどに接続することができ、HDMI 1.4により民生用の3Dテレビにも接続が可能である。

第1表 リグ式3Dカメラと本3Dカメラレコーダーの比較

Table 1 Comparison of 3D rig system and 3D camera-recorder

	リグ式3Dカメラ	開発した 3Dカメラレコーダー
重量	17 kg ~ 50 kg	2.4 kg
消費電力	50 W ~ 160 W	17 W
レンズ	交換型レンズ×2本	一体型二眼レンズ
二眼間隔	変更可能	固定

6. まとめ

二眼映像のズレの補正、小型レンズによる輻輳角制御技術により簡単操作、小型軽量な一体型二眼式3Dカメラレコーダーを実現した。安価に3D撮影システム構成することができ、かつ機動性が高いため、多くのクリエイターに3D撮影の機会を提供できると考える。

今後は、さらなる操作性向上のための機能開発を行っていく。

参考文献

- 1) 3Dコンソーシアム安全ガイドライン部会編：人に優しい3D普及のための3DC安全ガイドライン (2010).
- 2) 坂内達司 他：自然な3D映像を手軽に撮影可能にする一体型2眼式3Dカメラレコーダー 3D映像のすべて (日経BP社), pp.74-79 (2010).

著者紹介



和田学明 Noriaki Wada
AVCネットワークス社
システムAVビジネスユニット
Professional AV Systems Business Unit,
AVC Networks Company



坂内達司 Tatsushi Bannai
AVCネットワークス社
システムAVビジネスユニット
Professional AV Systems Business Unit,
AVC Networks Company