

学位論文内容の要旨

報告番号	先端科学技術甲第 173 号	氏 名	塚本 拓
論文題目	2/3 型プリズム分光 4 板方式による 4K 240 fps 放送番組制作用カメラの開発		

2/3 型カメラはイメージセンサのサイズがスーパー35mm サイズや 35mm フルサイズなどより小さいため、ズーム比の大きなレンズが製作しやすく、レンズのバリエーションが豊富である。さらに、2/3 型プリズム分光 3 板カメラは一般的に色再現性が良好でかつ高感度であり、深い被写界深度が得られることと相まって、2K や 4K の放送番組制作用途で広く採用されている。しかしながら、フレームレート 240 fps で撮像可能な 2/3 型 4K カメラは現存していない。本論文では、放送番組制作用途に適している 2/3 型 4K カメラの満たすべき実用的な性能を有したまま、フレームレート 240 fps での撮像を可能とする方式を提案する。

2/3 型プリズム分光カメラは 3 板方式が一般的だが、輝度に大きく関与する Green 信号をプリズムで 2 経路に分岐させ、単体のイメージセンサではかなわない性能を、2 つのイメージセンサで実現させるという 4 板方式がしばしば試行されてきた。本研究においても、検討を行い目的達成のために適切な方式であることが確認できたので採用した。

一方、4 板方式では必要な解像度の縦横半分の解像度のイメージセンサを用い、後段のデモザイキングという信号処理で縦横倍の解像度に復元する。デモザイキングは単板カラーカメラには必須の信号処理であり、推論を伴うため難易度の高い問題であるが、CCD 固体イメージセンサが出現した頃から研究対象となっており、年々その性能が向上している。

プリズム分光 3 板方式はデモザイキングが必要のないことが特徴であるが、プリズム分光 4 板方式では必要となり、単板カラーカメラをターゲットとして進められてきたデモザイキングの高度化の成果が活かせるという点において興味深い内容になっている。

また、本論文では 4 板方式とは直接関係しないが、放送番組制作用カメラとして要求される性能を実現するために必要な信号処理についても、可能な限り詳細に述べている。放送番組制作用カメラとしてはスタンダードな機能であるが、放送番組制作用カメラメーカーが一般には公開していない内容も含んでいると考える。

試作カメラで撮像された 4K 240 fps の映像信号は、4K 240 fps で表示できるディスプレイがなければ、スロー再生のアプリケーションでしか活かせない。しかし、執筆者は 4K 240 fps 表示が可能な高額なプロジェクタを自由に使用できる環境に恵まれており、4K 240fps 真価を十分に実感することができた。本論文をきっかけに 4K 240 fps の優位性を世に説いていく。

第 1 章は、本研究の背景、目的、構成について述べている。本研究は特に背景が重要である。イメージセンサのサイズは、テレビカメラを特徴付ける大きな要素であり、2/3 型というサイズはこの数十年間、放送番組制作用カメラとして最もスタンダードなサイズであり続けている、SD から HD になってもその流れは変わっていない。画質や撮れる画の無難さ、カメラマンが 2/3 型に慣れているなどの理由が考えられる。

第 2 章は、本研究に関連性が深い、ハイレームレート映像が人間の視覚にもたらす効果についての研究、高解像度かつハイレームレートであるイメージセンサの研究について述べている。

第 3 章は、4K かつ 240 fps 撮像を実現するための撮像方式について述べている。単板方式はスマートフォンに代表されるカラーカメラとして最も一般的な方式である。本研究では採用しなかったが、プリズム分光 3 板方式とプリズム分光 4 板式に交えて、原理的に期待される性能について論じている。

第 4 章は、検討した撮像方式に適合するイメージセンサを入手可能な市販品の中から選定する理由について述べている。研究報告では非常に高性能なイメージセンサが発表されているが、それが量産されるのは稀であり我々はそれを入手できない。本研究の目的は現実にカメラを開発することなので、限られた費用で入手可能なイメージセンサを採用する必要がある。

第 5 章は、放送番組制作用カメラに必要とされる信号処理について、可能な限り詳しく説明している。必ずしも研究に値する高度な技術ばかりではないが、どれだけ高性能なイメージセンサを使っても、これらの信号処理がなければ放送番組制作用カメラとして成立しない。

第 6 章は、本研究で開発したカメラの性能評価と、フレームレートの高さが活かされると考えられる場面の撮影を行い、4K 240 fps で表示した実験について述べている。

第 7 章は、本研究の目的に対して、導かれた結論について述べている。試作カメラは、4K 解像度では 150 fps までしか動作しない CMOS 4K イメージセンサを、2×2 画素加算モードの 2K で使用することにより 240 fps で動作させた。デモザイキング技術を組み合わせで 2K 解像度から 4K 解像度を復元できた。ITU-R BT.2100-2 で標準化された HDR (High Dynamic Range) および広色域に対応し、ダイナミックレンジ 377%時の感度が 2000 lx, T4.8, S/N は 68.2 dB であった。これは 1000 lx 程度の室内照明下においても放送番組制作用カメラとして十分な画質を得られる性能を達成した。