

# 超高精細度テレビジョンカメラ用の可変NDフィルタの開発

## Development of a variable ND filter for ultra-high-definition television cameras

斎田 有宏      正岡 顕一郎<sup>†‡</sup>

Arihiro SAITA    and    Kenichiro MASAOKA<sup>†‡</sup>

株式会社三井光機製作所      † 一般財団法人 NHK 財団      ‡ NHK 放送技術研究所  
Mitsui Optical Manufacturing Co., Ltd.    † NHK Foundation      ‡ NHK STRL

**Abstract** The spatial resolution performance of a camera degrades as the lens is stopped down due to the diffraction limit. We have measured the MTF of an 8K camera with a new variable neutral density (ND) filter and confirmed that the filter reduced the exposure continuously while preserving the spatial resolution characteristics.

### 1. はじめに

4K/8K 超高精細度テレビジョン(UHDTV)カメラのイメージセンサーは、ユニットセルサイズが微細化されるため、レンズ解像度の性能要件が高くなっている。例えば 8K では画素ピッチがスーパー35mm の場合で  $3.125 \mu\text{m}$ 、2/3 型の場合では  $1.25 \mu\text{m}$  となり、ナイキスト周波数は、それぞれ 160 lp/mm、400 lp/mm となる。このような高い空間周波数領域では、小絞りにするとレンズの回折限界の影響で解像力が著しく劣化する。

理想レンズの MTF 特性を図 1 に示す。例えば空間周波数が 100 lp/mm の時、F8.0 では F1.4 の約半分の変調しか得られない。空間周波数 200 lp/mm では F8.0 で変調が 5% となりほぼ解像できない。さらに、実際のカメラでは画素開口により変調が低下する。このように、画素ピッチが小さい UHDTV カメラでは、絞riを使って減光すると十分な解像度特性を得ることができない。

高精細な 4K/8K 映像を撮影するためには、絞riを用いず、露光量を連続的に調整できる新しい機構が必要になる。本発表では試作した可変 ND フィルタの概要と、8K カメラを用いて測定した MTF の結果を紹介する。

### 2. 可変 ND フィルタの概要

今回試作した可変 ND の構造を図 2 に示す。現行 HDTV カメラのフィルタユニットに内蔵された 2 枚のターゲットディスクを、2 枚のグラデーションフィルタに置き換え、互いに異なる方向に逆回転させて調光する。

偏光を使用していないため、98% の高透過率の素通しから 0.78% の低透過率までの広いレンジで連続的な調整が可能で、光量が不足気味になる屋内撮影から露出オーバー気味になりやすい屋外撮影まで対応できる。透過率はコントローラーのボリューム操作で行い、ボリュームの回転角度と透過率がリニアに対応付けられている。

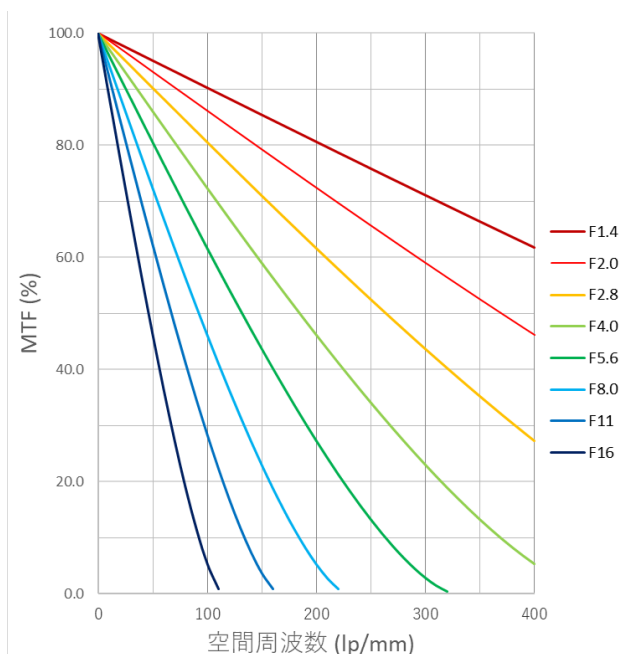


図 1 理想レンズの MTF 特性

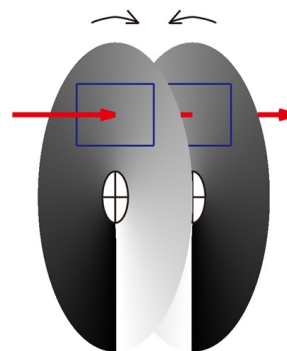


図 2 可変 ND の構造

### 3. 解像度の測定・評価

図3にMTF測定の様子を写真を示す。

カメラはアストロデザイン社のAH-4801-A（センサーサイズ：スーパー35mm、画素ピッチ3.2 μm）、レンズは富士フィルム社のZK14-35（開放T2.9、PLマウント）、可変NDは三井光機製作所試作機（株式会社システム・ツー・スリーと共同開発）を用いた。MTF測定には、アストロデザイン社のリアルタイムMTF測定システム（Real MTF、ISO12233のエッジ法に準拠）を用いた。エッジはレンズの先端から0.8 mの距離の映像エリアの中央に設置した。

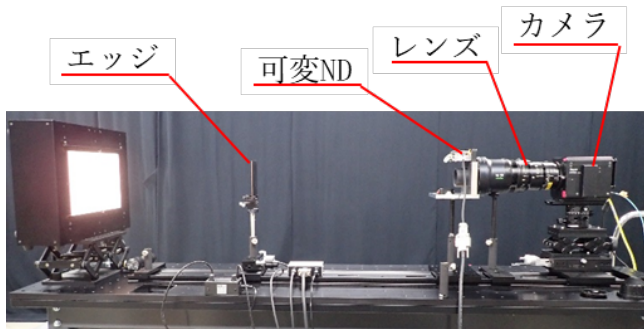


図3 MTF測定

まず可変NDを用いない条件で、レンズの絞り値を変化させた際の光軸上でのMTFを測定した。図4に測定結果を示す（空間周波数0.5 cycles/pixelがナイキスト周波数）。図1の理論計算と同様に、絞りを小さくすることで変調度が低下することが確認できた（絞り開放のT2.9においては主に球面収差の影響が大きくなり変調度が減少する）。

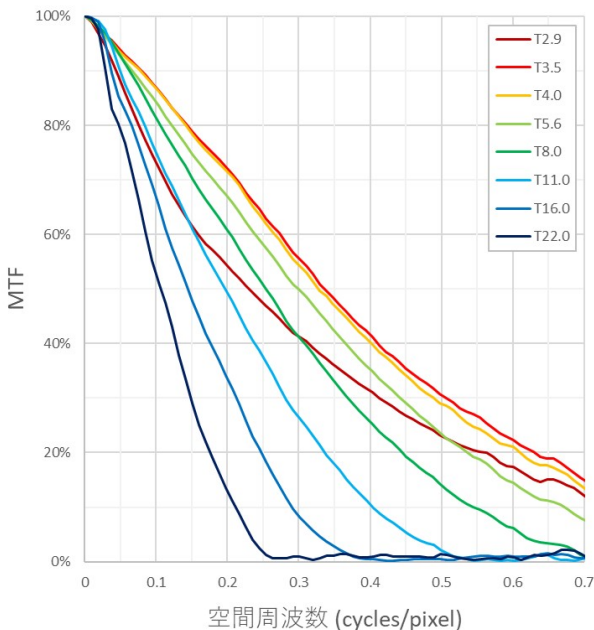


図4 絞りによる光量調整時のMTF測定結果

次に可変NDの開口の中央をレンズの光軸に合わせて配置し、絞り値はMTFが最も高くなったT3.5に固定し、可変NDの透過率を変化させてMTFを測定した。図5に測定結果を示す。低周波・中周波帯域ではどの透過率でも光量調整に伴うMTFの変化はなくレンズと同等の解像力を維持できていることが確認できた。ナイキスト周波数に近い高周波帯域では透過率を下げるにしたがって、変調度が僅かに低下する原因について、今後の課題とする。

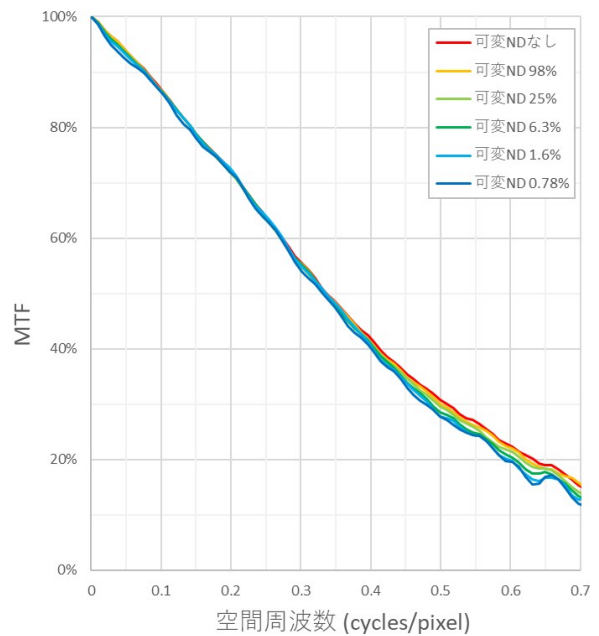


図5 可変NDによる光量調整時のMTF測定結果(T3.5)

### 4. まとめ

イメージセンサーのユニットセルサイズが小さいUHDTVカメラでは、絞り値を大きくすると回折限界によって変調度が低下し、解像度特性を維持できる光量調整範囲が狭い。代替手段としてグラデーションフィルタによる可変NDを採用することで、解像度特性(MTF)を維持しながら広範囲で連続的な光量調整が可能になることが確認できた。

#### 文献

- [1] 齋田他、日本国特許文献、特開2007-243928
- [2] 齋田、FUJINON ND-P01、ビデオα、2013 April、VOL.29/NO.4、pp.58-60