

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「デイナイトカメラモジュール用レンズの開発」

研究成果報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 マイルストーン株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要	
1－1 研究開発の背景	3
1－2 研究目的	3
1－3 研究目標	4
1－4 研究体制	5
(1) 研究組織	
(2) 管理体制	
(3) 研究者氏名	
(4) 協力者	
1－5 成果概要	7
(1) 光学設計	
(2) 製品性能	
1－6 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	
評価結果	
2－1 可視光線での評価	9
2－1－1 逆投影解像力	
2－1－2 MTF計測	
2－1－3 画像評価	
2－2 赤外線での評価	15
2－3 まとめ	19

1-1 研究開発の背景

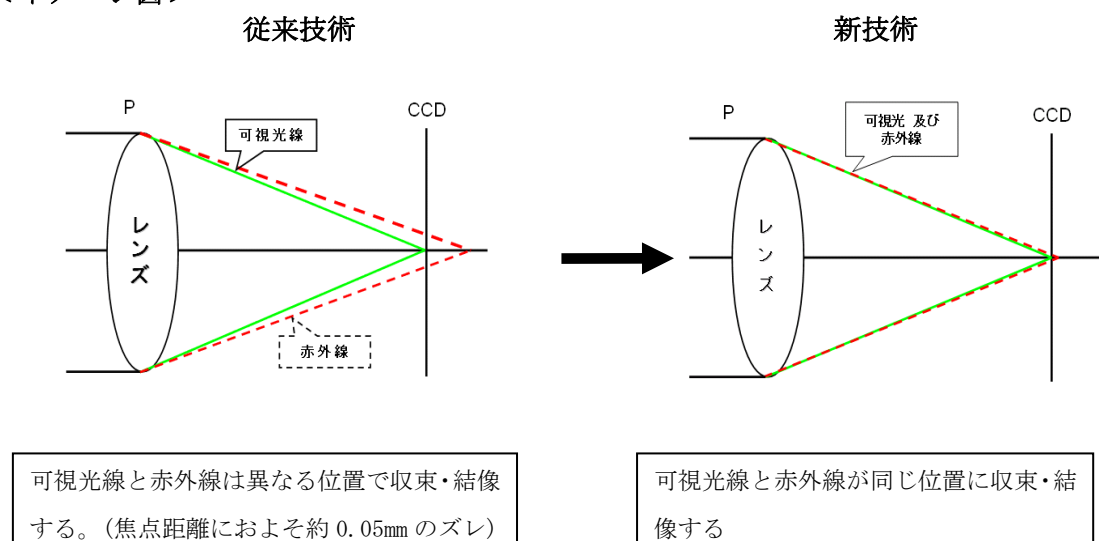
デイナイトカメラとは、明るい日中の撮影のみならず、暗い夜間にも日中と同じように映像を出力させるためのカメラであり、主にセキュリティ用として採用されている。昼間（可視光線）はカラー画像、夜間は近赤外線を使用しモノクロ画像で撮影する。光（赤外線、可視光線及び紫外線）は波長によって屈折率が異なる。赤外線は可視光線より波長が長いので屈折率が低く、焦点距離が可視光線に対しおよそ 0.05mm 異なる。昼間でも赤外線は存在するので、既存レンズは赤外線の影響により画像がボケてしまう。波長と屈折率の関係は自然現象であり、ガラスレンズを多数使用しても可視光線と赤外線との焦点距離の差を画像に影響無い距離まで縮めることが不可能であった。既存のデイナイトカメラは、昼間の撮像では有害光線となる赤外線をカットするために赤外線カットフィルターを CCD とレンズ間に装着し、夜間は赤外線を使用するので赤外線カットフィルターを外し、さらに赤外線を CCD 面に収束させるためレンズを移動させなければならない。（フォーカス調整機構）

又、ガラスレンズ 8～10 枚構成でその内特殊材料のレンズを 1～2 枚使用することで、可視光線と赤外線との焦点距離の差を画像に影響無い距離まで縮めているものもあるが、とても高価なレンズとなっている。

1-2 研究目的

開発するデイナイトカメラモジュール用レンズは、材質を屈折率の異なるプラスチック材料を用いて、特殊な非球面形状を持つレンズとそのレンズの組合せにより、プラスチックレンズ 4 枚で可視光線と赤外線との焦点距離の差を設計シミュレーション上、およそ 0.005mm まで縮めることに成功。プラスチックレンズのみで可視光線と赤外線をほぼ同一の場所に結像できる世界初の昼夜兼用のレンズである。

<イメージ図>



材料も特殊な材質のものを一切使用していないため、とても安価で小型なレンズとなっている。また、耐熱性を考慮し1～2枚はガラスにすることも可能であり、車載用としても使用可能とする。

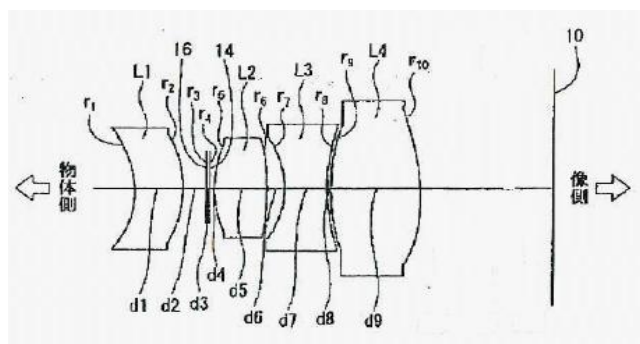
現在、昼夜間兼用で使用されている車載用の前後方確認用レンズ等と比較すると、次の利点を持つレンズとなる。

- ① 可視光域と近赤外域で焦点距離の変化がないため、フォーカス調整機構が不要となる(コスト削減効果、製品性能の安定化、製品の小型化)
- ② 昼間の撮影で赤外線カットフィルターを使用しないので、夜間赤外線使用時に赤外線カットフィルターを外す機構も不要となる。(コスト削減効果、製品の小型化)
- ③ 材料は一般的な光学樹脂のみを使用し、さらにレンズ枚数も2～4枚程度であるため、安価である。(コスト削減効果、製品の小型化)

1-3 研究目標

デイトナイトカメラモジュール用レンズの基本構造(案)は、以下の基本特許をベースにしており、

特許権者：マイルストーン株式会社、特許登録番号：第3411565、
名称：撮像レンズ



$$+5.0 < (r_2 + r_1) / (r_2 - r_1) < +7.0 \quad (1)$$

$$0.15f < d_1 < 0.3f \quad (2)$$

r1: 第1レンズの物体側面の光軸近傍における曲率半径(軸上曲率半径)

r2: 第1レンズの像側面の光軸近傍における曲率半径(軸上曲率半径)

d1: 第1レンズの肉厚

f: 全系の焦点距離

式(1)は、良好な画像を保ちながら十分なバックフォーカスを得るための条件式
式(2)は、像面湾曲の補正と、レンズ系の全長を短く保ち第1レンズ径(L1)を小さく保つための条件式

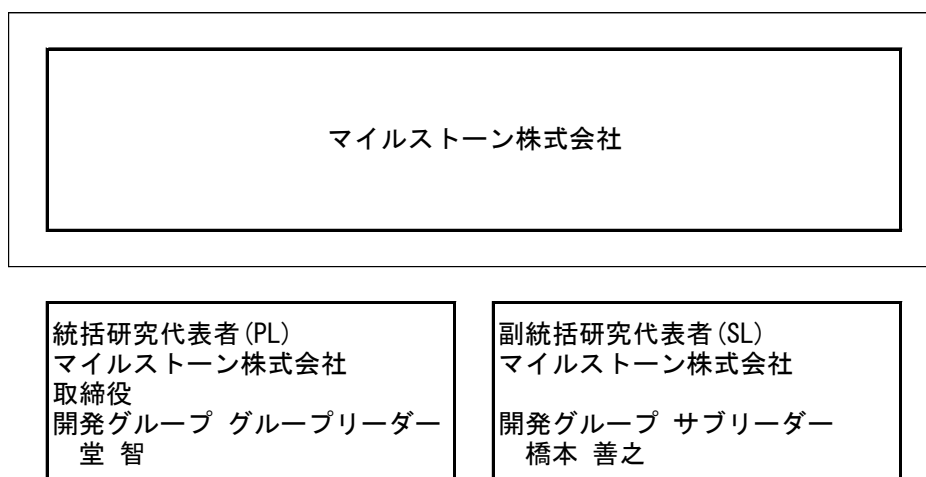
上記の2式のうち、特に、軽量化・小型化してニーズに合わせた製品にするためには式(2)が重要となる。

第1レンズの肉厚 d1 が式(2)の上限を超えて厚くなると、レンズ全長と第1レンズ径(L1)が大きくなりすぎ、レンズ系のコンパクト性が失われることになる。さらに、第1レンズの肉厚 d1 が式(2)の下限を下回ってレンズ厚が小さくなると、像面湾曲が大きくなり非常に画質の良くないレンズとなる。また、プラスチックレンズの場合は d1 が式(2)の下限を下回ると、レンズを設計どおりに成形することが困難となる。また、可視光線と赤外線との焦点距離差を 0.005mm 以内にするためには第3レンズと第4レンズの間隔 d8 が非常に重要となる。

したがって今回のデイナイトカメラモジュール用レンズは、第1レンズの肉厚 d1 と第3レンズと第4レンズの間隔 d8 をいかに設計値の範囲内でコントロールするかが製品化への最重要課題であり、レンズ金型の精度及びレンズの成形方法(条件出し)が非常に重要なファクターとなる。

1-4 研究体制

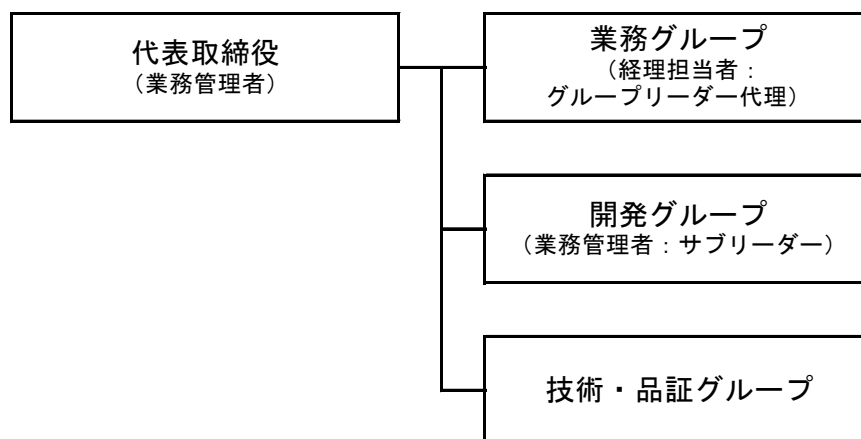
(1) 研究組織（全体）



(2) 管理体制

①事業管理者

[マイルストーン株式会社]



(3) 研究者氏名

マイルストーン株式会社

氏名	所属・役職
堂 智	取締役 開発グループ グループリーダー
橋本 善之	開発グループ サブリーダー
山口 久美子	開発グループ
長田 清	開発グループ
吉田 稔幸	技術・品証グループ グループリーダー
車田 潔	技術・品証グループ

(4) 協力者

1-5 成果概要

(1) 光学設計

- ・センサーサイズの異なる下記2機種を設計

<W4Z-DN>

車載・監視向けとし最もニーズのあるセンサーサイズ1/4インチ向けに設計。

レンズ構成は4群4枚。材質は耐光性・耐熱性を考慮し、ガラスレンズ2枚、プラスチックレンズ2枚とする。

<10W2Z-DN>

小型化・低価格としてセンサーサイズ1/10インチ向けに設計。

レンズ構成は2群2枚。材質は2枚共にプラスチック。

- ・焦点距離・バックフォーカス変化量

可視光線の焦点距離(F)とバックフォーカス(bf)を基準とし、近赤外線使用時の変化量を確認する。

※ バックフォーカスとはレンズ最終面(センサーに最も近い面)からセンサーまでの距離

<W4Z-DN>

赤外線波長	F 変化量	bf 変化量
850nm	+4 μ m	-6 μ m
1000nm	+9 μ m	-1 μ m
1200nm	+21 μ m	+10 μ m

<10W2Z-DN>

赤外線波長	F 変化量	bf 変化量
850nm	+8 μ m	+9 μ m
1000nm	+15 μ m	+15 μ m
1200nm	+30 μ m	+29 μ m

設計目標としては、bf 変化量が5 μ m以下であったが、10 μ m以下であれば誤差範囲であり、十分使用可能であると考ええる。

デイトナイトカメラモジュール用レンズの基本設計がレンズ4枚構成であり、10W2Zは小型化・低コストを目的とし、レンズ枚数を2枚にした為、レンズ4枚仕様であるW4Z-DNと比較し、bf 変動量を抑えることができなかった。そのため、10W2Z-DNは波長850nm限定での使用となる。

(2) 製品性能

<W4Z-DN>

可視光線での性能評価では、周辺解像力が設計値に満たない結果となったが、画像には殆ど影響しないレベルであり、問題ないものとする。

赤外線評価では、可視光線でのベストフォーカス位置固定で近赤外線（波長 850 nm）の画像評価をした結果、解像力の変化が殆ど見られず、可視光線と赤外線での b f 変化量が微細であったことが実証できた。

以上の結果より、ダイナイトカメラモジュール用レンズとして使用可能であると判断する。

<10W2Z-DN>

可視光線での性能評価では、組立てのばらつきにより一部設計値に満たない箇所があったが、画像には殆ど影響しないレベルであり、問題ないものとする。

しかし、赤外線評価で、解像力に変化が見られてしまった為、現状レベルではダイナイトカメラモジュール用レンズとしては使用できないと判断する。

1-6 当該研究開発の連絡窓口

マイルストーン株式会社

所属部署：開発グループ

氏名：橋本 善之

TEL：048-452-6355

FAX：048-452-6356

E-mail：y.hashimoto@milestone-sg.co.jp

第2章 本論

評価結果

2-1 可視光線での評価

2-1-1 逆投影解像力

【評価内容】

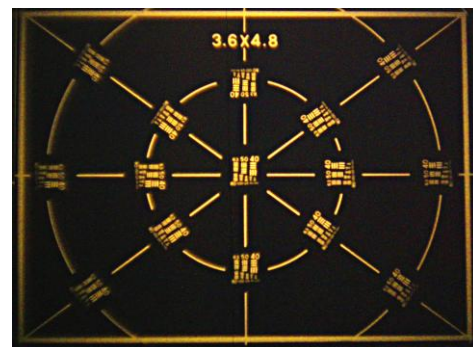
- ・評価項目：解像力、コントラスト、像面倒れ量
- ・使用測定機：パール光学工業（株）製逆投影機 RPT-107
- ・チャートサイズ：W4Z-DN・・・1／4逆投影チャート
10W2Z-DN・・・1／10逆投影チャート

- ・確認数量：各30個
- ・評価方法：①逆投影機に評価用レンズを取り付ける
②評価室の電気を消す（暗室）
③スクリーンにチャートが映し出される
④中心チャートに合わせ、フォーカス調整をする
⑤逆投影機のカウンターをリセットする
⑥全体の解像力に合わせ、再度フォーカス調整をする。
⑦カウンター表示を確認する。
（像面倒れ量確認）
⑧スクリーンに映し出された、縦横チャートのS方向（放射方向）とM方向（接線方向）の解像力を目視で読み取る。
⑨縦横チャートの映り具合でコントラストの確認をする。

- ・暫定規格：80LP/mm以上

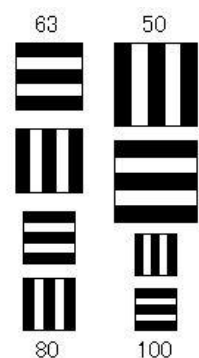


逆投影機設置状態



スクリーンに映し出されたチャート

※縦横チャートとは、解像力を測る図票で白と黒の線幅が等しい。線幅は解像力によって異なり、解像力が高い程、線幅は狭くなる。（チャート上の数値が解像力を示す）



縦横チャート

【評価結果】

W 4 Z - D N

像高	設計値	実測値	コントラスト
中心	S, M:200	S, M:200	良好
3.5 割	S:200 M:180	S:200 M:200~160	良好
7 割	S:140 M:100	S:160 M:100~80	やや弱い

像面倒れ量・・・像高 7 割部が中心ベストフォーカス位置より - 0. 0 2 mm 倒れている

※像高 3. 5 割及び 7 割の M 方向に片ボケがあるため、その箇所の解像力は設計値に満たないが、暫定規格は満足しているので OK とする

※像高 7 割が中心ベストフォーカス時、最大 - 0. 0 2 mm 像面が倒れている

※像高 7 割のコントラストが他の像高と比べ、やや弱い

1 0 W 2 Z - D N

像高	設計値	実測値	コントラスト
中心	S, M:200	S, M:200	良好
3.5 割	S:180 M:160	S:200 M:200	良好
7 割	S:180 M:120	S:200 M:100~125	良好

像面倒れ量・・・中心ベストフォーカス位置と周辺ベストフォーカス位置が一致している

※像高 7 割の解像力が組立てのばらつきにより一部片ボケが発生し、設計値に満たないレンズがあるが（3 0 個中 8 個）、暫定規格は満足しているため、OK とする

※全体的にコントラストは良好

※像面倒れ無し

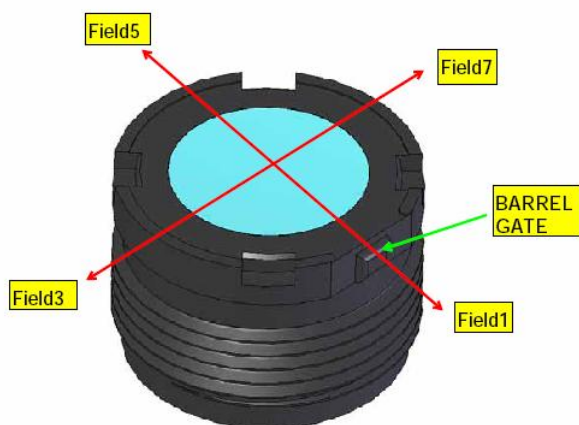
2-1-2 MTF測定

【測定内容】

- ・MTF測定機：TRI OPTICS社
IMAGE MASTER HR
- ・評価像高：中心、5・7・8割像高
- ・評価MTF：80・100・120LP/mm
- ・確認数量：各5個
- ・物体距離： ∞ 設定
- ・測定方向：BARRELのゲート基準に4方向を測定（下図）
- ・暫定規格：30%以上（80LP/mm）



MTF測定機



※MTF (Modulation Transfer Function) は、レンズ性能を評価する指標のひとつで、レンズの結像性能を知るために、被写体の持つコントラストをどの程度忠実に再現できるかを空間周波数特性として表現したものである。
空間周波数 (LP/mm) は1mmあたり何本のパターンがあるかを示す。

【評価結果】

W4Z-DN

80LP/mm

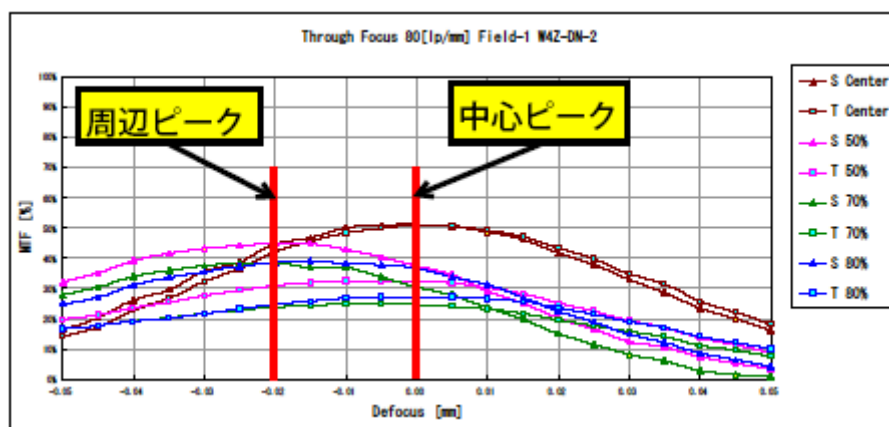
像高	設計値	実測値	
中心	S, M:53.7	MAX	S:51.2 M:51.2
		MIN	S:48.4 M:49.2
		AVE	S:50.12 M:50.41
5割	S:54.9 M:41.5	MAX	S:49.7 M:39.9
		MIN	S:40.4 M:29.8
		AVE	S:45.22 M:34.83
7割	S:48.9 M:43.0	MAX	S:46.3 M:35.2
		MIN	S:33.9 M:24.8
		AVE	S:41.71 M:29.85
8割	S:48.0 M:38.8	MAX	S:48.0 M:38.6
		MIN	S:37.3 M:27.2
		AVE	S:44.32 M:33.1

単位：％

※全ての像高に於いて、設計値を満たしていない

※中心以外は数値のばらつきが大きい

※80LP/mmに於いて、中心ピーク位置に対し周辺のピークが－0.01～0.02mmずれている（像面倒れ）



※中心を除くM方向のMIN値が暫定規格に満たない

10W2Z-DN

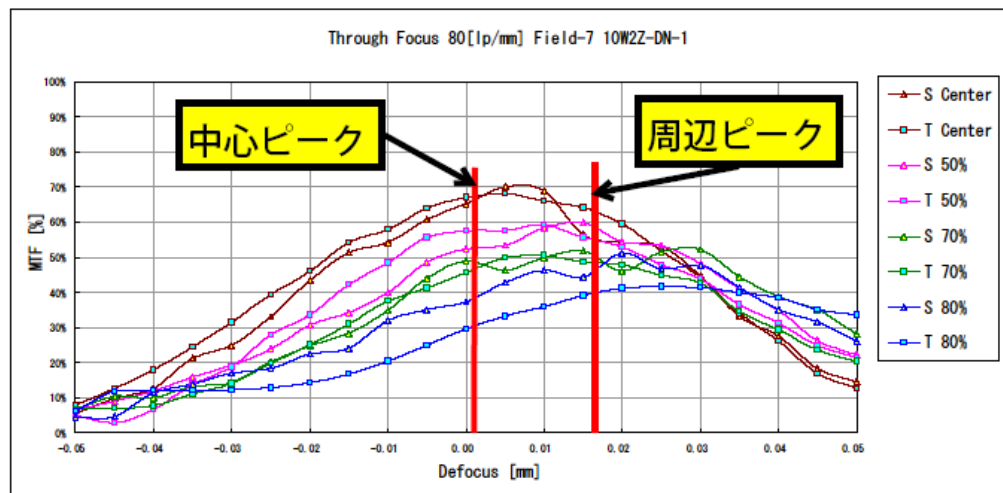
80LP/mm

像高	設計値	実測値	
中心	S,M:74.0	MAX	S:62 M:64.2
		MIN	S:55.6 M:58.1
		AVE	S:59.66 M:61.04
5割	S:65.5 M:55.0	MAX	S:61.2 M:59.3
		MIN	S:51.8 M:50.0
		AVE	S:55.92 M:55.8
7割	S:60.8 M:42.7	MAX	S:59.9 M:50.3
		MIN	S:43.8 M:43.5
		AVE	S:52.52 M:47.98
8割	S:53.9 M:42.0	MAX	S:56.0 M:42.3
		MIN	S:37.6 M:30.0
		AVE	S:45.34 M:38.1

単位：％

※全ての像高に於いて、設計値を満たしていないが、暫定規格は満足している

※80LP/mmに於いて、中心ピーク位置に対し周辺のピークがおおよそ
+0.015mmずれている（像面倒れ）



2-1-3 画像評価

カメラに搭載し、画像にて解像力・コントラストを評価する。

【評価内容】

- ・評価項目：解像力、コントラスト
- ・使用カメラ：W4Z-DNと10W2Z-DNは使用するセンサーサイズが異なるため、2種類のカメラを使用する。

W4Z-DN・・・SONY製 1/4インチ VGA

10W2Z-DN・・・Omni製 1/10インチ VGA



W4Z-DN評価用カメラ

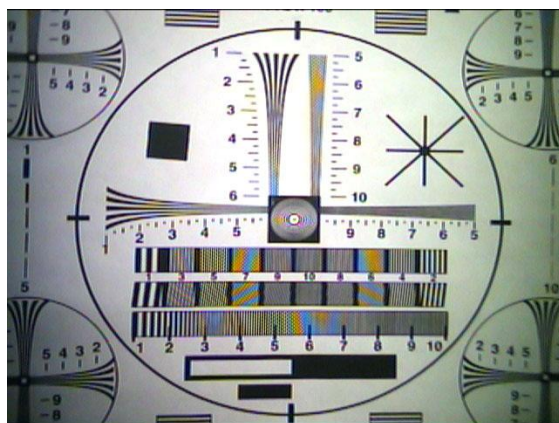


10W2Z-DN評価用カメラ

- ・撮影対象：解像力検査用チャート、ぬいぐるみ
- ・評価方法：それぞれの対象物に合わせフォーカス調整を行い、画面上にて解像力及びコントラストを評価する。又、画像を取り込み同様の確認をする。

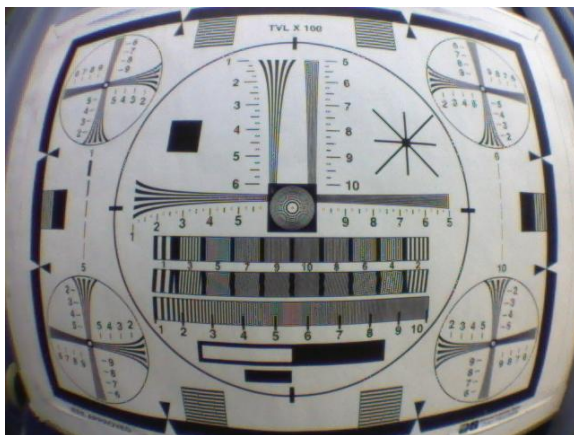
【評価結果】

W4Z-DN



※解像力・コントラスト共に問題なし

1 0 W 2 Z



※解像力・コントラスト共に問題なし

2-1 赤外線での評価

赤外線を使用した状態では、可視光線にて評価した逆投影解像力・MTF計測ができないため、画像評価のみ行う。

【評価内容】

- ・評価項目：解像力、バックフォーカス変化量
- ・使用カメラ：可視光線の画像評価カメラを使用
(既写真添付; W 4 Z-DN評価用カメラと 1 0 W 2 Z-DN評価用カメラ)
- ・赤外発光装置：ケーヨーテクノ製 BM-4101R 赤外波長850nm

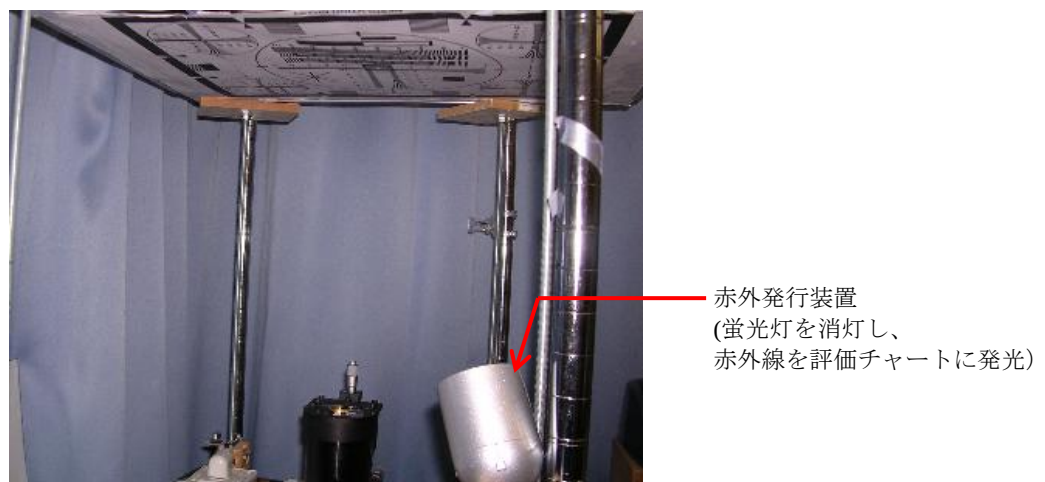
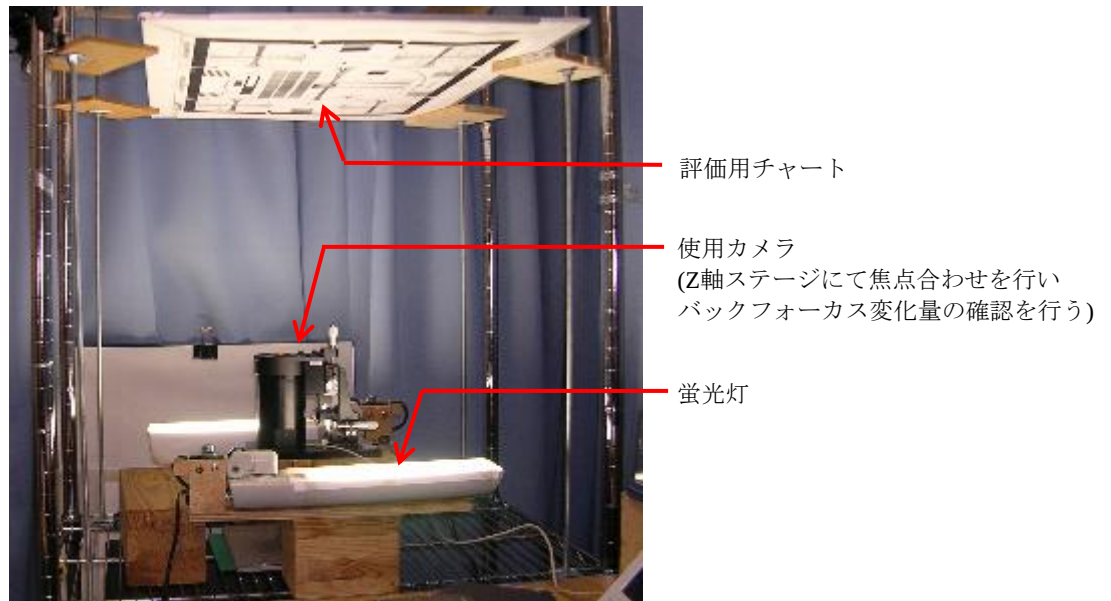


(赤外LED 24個使用)

- ・評価用チャート：IEEE APPROVED RESOLUTION CHART
- ・評価サンプル：W 4 Z-DN (3 pcs)
1 0 W 2 Z-DN (3 pcs)
- ・評価装置：下記写真参照

※暗室内にて評価を実施

※赤外線での評価時は、蛍光灯を消灯して評価を実施



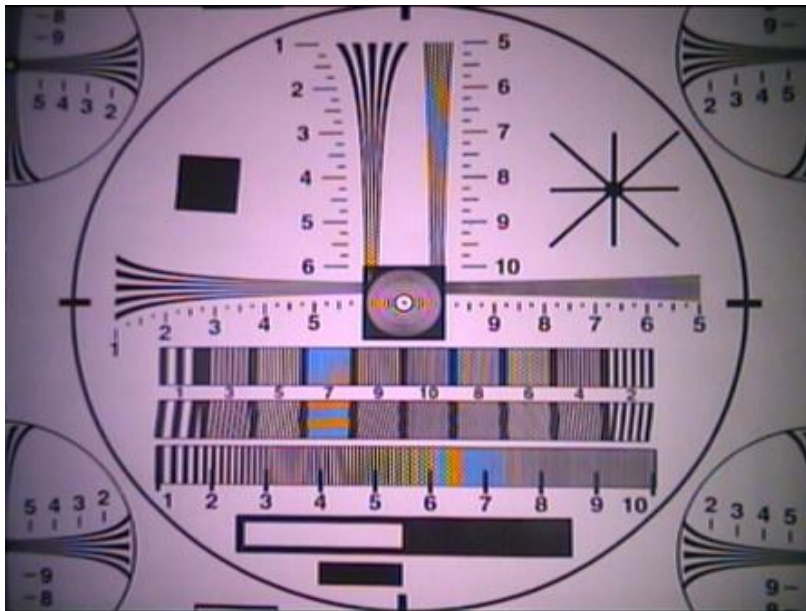
- ・ 評価方法：①使用カメラのアダプタ部に評価用サンプルを取り付ける
- ②可視光（蛍光灯点灯下）にて、フォーカス調整を行う
- ③ベストフォーカス時のZ軸位置を確認する
- ④評価用チャートの画像を撮り込む（写真A）
- ⑤②で調整したフォーカス位置にて、
蛍光灯を消灯し（暗室）、赤外線の評価用チャート部に当てる
- ⑥赤外線のみ点灯時の画像を撮り込む（写真B）
- ※赤外線のみ点灯下での画像が、フォーカス調整必要な場合は次工程に進む
- ⑦赤外線点灯下にて、フォーカス調整を行う
- ⑧ベストフォーカス時のZ軸位置を確認する
(バックフォーカス変化量の確認)

【評価結果】

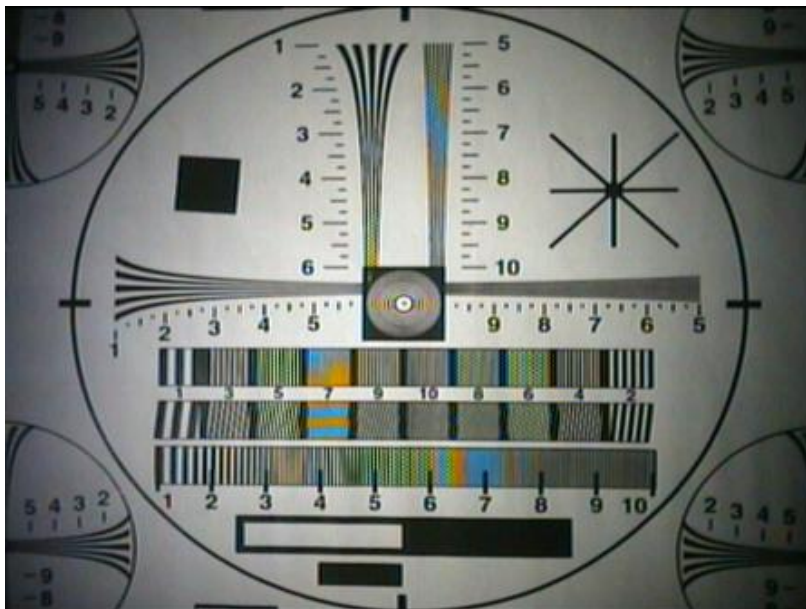
・画像評結果

<W 4 Z-DN>

写真A



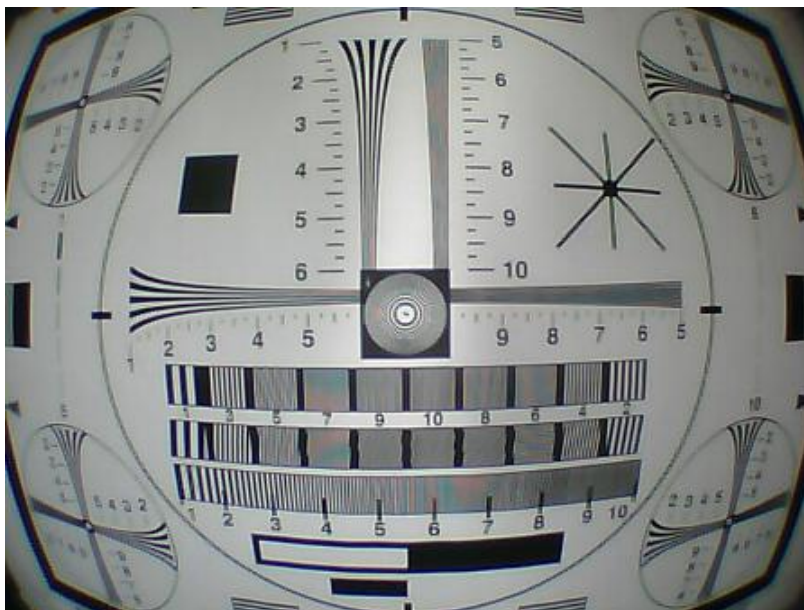
写真B



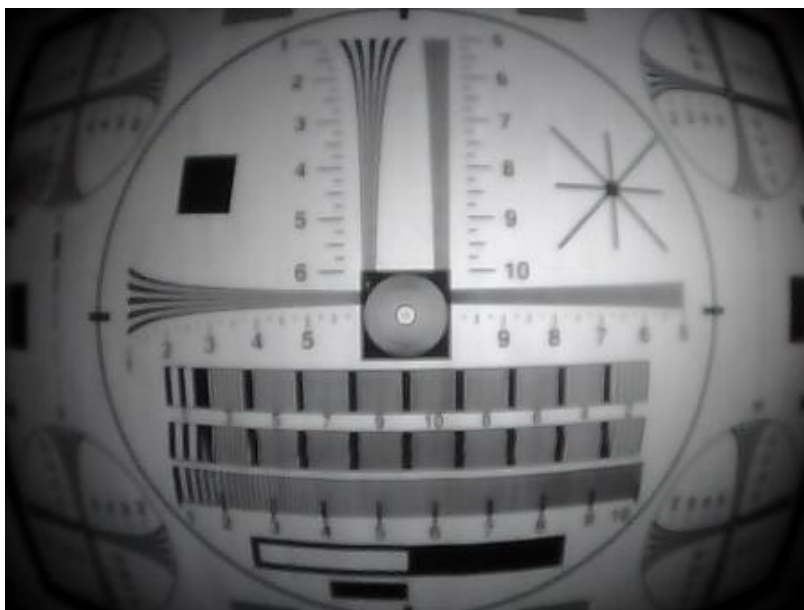
※可視光と赤外光での画像変化は無し

< 1 0 W 2 Z - D N >

写真A



写真B



※赤外光使用時、画像がボケた

- ・バックフォーカス変化量確認

画像に変化のあった10W2Z-DNのみ測定

10W2Z-DN	
サンプル番号	可視光と赤外線での バックフォーカス変化量
No. 1	35 μ m
No. 2	35 μ m
No. 3	30 μ m

バックフォーカスの変化量が設計値（8 μ m）に対し、およそ4倍変化した。

2-3 まとめ

【W4Z-DN】

- ・可視光評価

投影解像力及びMTF計測では、解像力が設計値に達していなかったが、画像には影響がでないレベルであったため、問題無しと判断する。

但し、余裕度が全くなく今後の生産を考えた場合、歩留まりに影響が出る恐れがある為、各レンズの非球面形状・中心肉厚・空気間隔を微調整して、解像力の底上げをする必要はあると考える。

又、中心ピーク位置と周辺ピーク位置が0.02mm程度離れていることに関しては、画像評価では影響の無いレベルであるが、逆投影評価及びMTF計測でも確認されており、設計値でも傾向が見られるため、設計変更を視野に入れて修正する方向で検討する。

- ・赤外線評価

可視光線でのベストフォーカス位置固定で近赤外線（波長850nm）の画像評価をした結果、解像力の変化が殆ど見られず、可視光線と赤外線でのbf変化量が微細であったことが実証できた。

以上の結果から、デイトカメラモジュール用レンズとして使用可能であると判断する。

【10W2Z-DN】

- ・可視光評価

投影解像力及びMTF計測では、解像力が設計値に達していなかったが、暫定規格は満足しており、画像評価でも問題ないためOKと判断する。

中心ピーク位置と周辺ピーク位置の位置ずれに関しては、逆投影・画像評価では確認できないレベルであったため、修正に関しては保留とする。

- ・赤外線評価

可視光線と赤外光線でのバックフォーカス変化量が、設計値よりも多くなってしまい、その影響により画像が変化してしまった。

以上の結果から、現状レベルではデイナイトカメラモジュール用レンズとしては使用できないため、原因を追究すると共に、非球面形状・中心肉厚・空気間隔をさらに設計値に近づく様に、金型調整をする必要がある。