

ニコン Z マウント用大口径レンズ NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noct の開発

坪野谷啓介, 藤原 誠

Development of the NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noct Large aperture lens for the Nikon Z mount

Keisuke TSUBONOYA and Makoto FUJIWARA

2019年10月、「NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noct」を発売した。大口径・ショートフランジバックのニコン Z マウントだからこそ実現できた開放 F 値0.95。「Noct」を冠したこの大口径レンズの設計思想は、1977年に発売された「AI Noct Nikkor 58mm f/1.2」に端を発している。ここでは、新生 Noct に詰め込まれた新しい技術とニコンの DNA について説明する。

The NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noct was launched in October 2019. It has a maximum aperture of f/0.95 which facilitates usage of the Z-mount, which has a large diameter and a short flange back. The design policy of the fastest lens, to which the term “Noct” was added, started with the AI Noct Nikkor 58mm f/1.2 launched in 1977. In this study, we explain a new technology and DNA of NIKON packaged into the new and updated “Noct.”

Key words ニコン Z マウント, 交換レンズ, 大口径レンズ, ノクト, 開放 F 値0.95
Nikon Z mount, Interchangeable lens, large aperture lens, Noct, maximum aperture 0.95

1 はじめに

2019年10月、ニコン Z マウントシステム用レンズ「NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noct」を発売した (Fig. 1)。



Fig. 1 NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noct

2 開発の経緯

ニコン Z マウントシステムは、内径 $\phi 55$ mm の大口径マウント、16 mm のショートフランジバックが特長である。本製品は、この特長を最大限に生かした NIKKOR 史上最高峰の性能と開放 F 値 1 を切る明るさの両方を実現することで Z マウントのポテンシャルを示すとともに、新たな映像

表現の可能性を切り開こうという意図のもと企画された。

3 NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noct の特長

最大の特長は、NIKKOR 史上最も明るい^{*1}開放 f/0.95 の超大口径レンズ、かつ、従来の大口径レンズの常識を覆すような高い光学性能である。10群17枚のレンズ構成からなる光学系には特殊硝材を多用し、さらには研削非球面やアルネオコートといった最新の光学技術を採用することで収差やゴースト・フレアを抑制している (Fig. 2)。

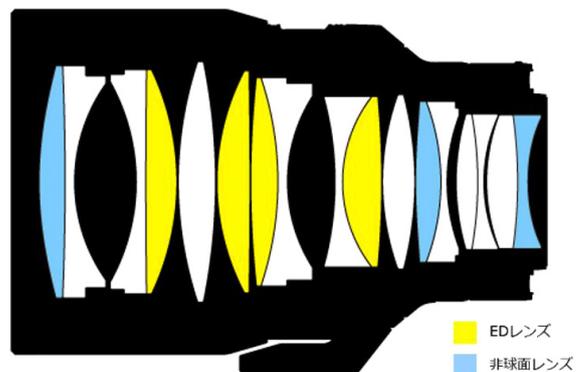


Fig. 2 レンズ構成図

^{*1} ニコンカメラ用の交換レンズにおいて

マニュアルフォーカス専用レンズであることも大きな特長の一つである。極浅い被写界深度のf/0.95では、ピント精度の要求は極めて厳しい。ニコンZマウントカメラの高精細な電子ビューファインダー（EVF）と本製品のマニュアルフォーカス機構のマッチングにより、撮影者の意図通りのピント合わせを可能としている。

そして、ニコンZマウントシステムを象徴するレンズに相応しい高品位な外觀デザイン。これら際立った特長の詳細について解説する。

4 開放 f/0.95の世界

「球面収差は口径の3乗に比例する」。これは3次収差論から導かれる光学設計の基本である¹⁾。端的に言い表すと、f/2.8の球面収差量を1としたとき、f/2では約2.8倍、f/1.4では8倍、f/0.95では約25.6倍となる。f/2.8もf/1.4も大口径と言われるが、f/0.95はこの比較だけでも異質な世界であると言える。F値とは「焦点距離÷有効口径」で定まり、レンズのサイズと物理的に密接な関係にあり、また露光量とも関係している。f/0.95の有効口径はf/1.4の約 $\sqrt{2}$ 倍大きくなり、露光量は約2倍明るい仕様といえる。また、明るいF値ほど有効口径が大きくなるため、製品サイズも大きくなる傾向にある。しかし、同じ焦点距離・F値でも製品サイズが異なるように、設計性能やメカ機構、デザイン、操作性などその他の要素で一概には決まらない側面もある。

大口径といえば、浅い被写界深度と大きなぼけである。ぼけの大きさを変える要素は大きく4つある。レンズの焦点距離、F値、撮影距離、被写体とぼけの対象との距離である。この中で唯一構図に影響せず、設定も容易なのはF値である。またイルミネーションなどをきれいな円形ぼけにするには、レンズの口径食が重要である。開放でも口径食無しが理想ではあるが、レンズが大きくなるなど弊害もある。その点、口径食は絞ると改善されるため、例えばf/0.95であれば2段絞ってもまだf/2未満であり、口径食の無い大きな円形ぼけを達成できるのも魅力である。このとき解像力も同時に改善されるメリットもある。

大口径化の必要性については、センサーの高感度特性が向上されていることと浅い被写界深度から連想されるピント合わせ精度から疑問視されることも多い。しかし、高感度より低感度のほうが広いダイナミックレンジを持ち、ノイズも少ないなど、低感度で撮影できることの恩恵は大きい。被写界深度に関しては、近似的にはF値に比例するものであり、f/0.95でのピント合わせは非常にシビアになる。しかしその結果得られる描写こそがf/0.95という大口径でしか味わえない最大の魅力にもなっている。

最後に、F値は解像限界にも関係している。絞り込むと回折の影響で解像力が劣化するという話である。F値は結

像時の開口数（Numerical Aperture. 以下、NA）と次式の関係にある。

$$NA = \frac{1}{2F} \quad (1)$$

F値が小さいほど、NAは大きくなり、より細かいものを解像できる。無収差であれば、f/0.95はただそれだけで高解像化できる高いポテンシャルをもっている。

5 Noctとは

Noctは「Nocturne（夜想曲）」が語源であり、1977年に発売されたAI Noct Nikkor 58mm f/1.2（以下、AI Noct）に名付けられている²⁾。このAI Noctは夜景撮影に適したレンズとして商品化された。夜景撮影に適したレンズとは、適切なISO感度でより速いシャッタースピードを確保できる「明るい大口径」であること、夜景の主役となる「点光源が点に写る（点像再現性）」こと、の2点が挙げられる。AI NoctはFマウントとして限界のf/1.2の明るさを持ち、大口径レンズの多くで発生していたサジタルコマフレアを克服し点像再現性を高めるための工夫がされている。NIKOR Z 58mm f/0.95 S Noct（以下、Z Noct）も同様に、Zマウントで可能になったf/0.95という大口径化と、より理想的な点像再現性を実現できることから、Noctと名付けるに至った。

理想的な点像再現性とは「無収差」に他ならない。まさしく点を点に寸分の狂いもなく描写するからである。そしてこの理想的な点像再現性は、ひとつの理想的なぼけをも実現する。無収差では前後ぼけともに癖が無く均一に連続的にぼけていくのである。Z Noctの目指したところであり、実際Z Noctで撮影すると被写体の立体感を印象強く感じさせてくれる。

Z Noctの開発では、光学仕様・性能を満たすために、光学設計にはつきものの様々な制約や常識を排して設計している。それゆえ驚きのサイズ・価格、そして性能となっている。

6 Z Noctの軸～ダブルガウスタイプ～

Z Noctの光学系は大きく3つに分けることができる。前群・マスター群・後群である。前群と後群はf/0.95で新しいNoctに相応しい性能にするための、いわば補助光学系である。根幹となるマスター群は「ダブルガウスタイプ（以下、ガウスタイプ）」と呼ばれる有名な光学系が基本となっている。このガウスタイプは、大口径標準レンズで多く採用されており、AI Noctも多分に漏れずガウスタイプである。そしてZ Noct以前に他社から発売されているf/0.95レンズも、やはりガウスタイプを基にしている。ガウスタイプの特徴は、対称性が良く収差補正に優れており、

像面平坦性の高さがあげられる。Noctの点像再現性には必要な能力である。対称性は収差補正上重要な要素であり、Z Noctでは、前群・マスター群・後群の大枠も実は対称構造をなしており、より収差補正が強力な光学系としている。さらに、Z Noctのガウスタイプは、目標とする高性能達成のため、収差補正の在り方から通常とは異なる設計になっている。

その名のとおり、ガウスタイプの光学系はガウスの対物レンズ2つから成り立っており、模式的には凸凹凸凸と書ける。より一般的な形は、凸凸凹凸凸凸の6枚構成である。多くの大口径標準レンズが採用する一方で、このガウスタイプの最大の欠点がサジタルコマフレアと呼ばれる収差であり工夫が必要な点であった。ガウスタイプは向かい合う強い凹面にて、球面収差・コマ収差・ペッツバル和などを強力に補正している。俗に、「毒を以て毒を制す」方法であり、低次収差成分の補正ができる代わりに、高次収差成分のサジタルコマフレアが発生する。この強い凹面を回避する手段には、「レンズ枚数増加」、「高屈折率化」、それから「非球面化」がある。

AI Noctでは主に「高屈折率化」と「非球面化」でサジタルコマフレア改善を行っている²⁾。高屈折率化は、硝材と少し変わる程度の形状変更でザイデル5収差すべての補正効果が得られるため、非常に有用な手段である。一方で、硝材コストアップや色収差悪化の傾向がある。非球面化は、光学系配置のどこに用いるかで補正する収差が変わってくる。AI Noctでは最も光束径の大きい前玉に用いることで、球面収差およびコマ収差ならびにサジタルコマフレアを効果的に補正している。非球面化のデメリットはコストを含む量産性であり、その難易度は非球面レンズの大きさや要求精度に関わってくる。また、非球面レンズの多くはガラスモールドという手法で作成されており、使用可能な硝材が限られているなど制約も存在する。

Z Noctでは、上記手段に加えてさらに前後群の「レンズ枚数増加」も活用することで、f/0.95で高性能を実現している。レンズ枚数増加はオーソドックスな手段で、その狙いは光線を大きく曲げず素直に誘導し収差の発生を極力避けることである。既存の大口径標準レンズたちもガウスタイプに複数枚レンズを追加した光学系が多いのも同様の理由だ。Z Noctならではの点は、前にも後ろにも独立したような構成が追加されている点である。大口径ショートフランジバックのZマウントを最大限に活用したことでこの構成を可能としている。

妥協の無い高性能化のためには、「高屈折率化」のデメリットである色収差悪化を補う必要がある。色収差の影響度はマスター群が高く、前後群は低い。そこで前後群はザイデル5収差の補正を優先し高屈折率硝材で構成しながら、マスター群であるガウスタイプには低屈折率低分散のEDレンズを多用することで解決している。

ガウスタイプを低屈折率にすると、球面収差・サジタルコマフレアの補正は困難になるが、3つの工夫をしている。1つ目は、前後群を追加し収差を分担することでマスター群の収差補正負荷を軽減していること。2つ目は、非球面をそれぞれ3つの群に採用し、それぞれの収差発生量を抑えることで高次収差も同時に抑制していること。これはAI Noctとは逆の使い方である。3つ目は、ガウスタイプの接合レンズを球面収差・コマ収差補正に有利な組み合わせである旧色消し接合にしていること（旧色消し接合：凸よりも凹レンズのほうが屈折率の高い組み合わせの接合。逆は新色消しと呼ぶ。）。

通常のガウスタイプでも特殊低分散レンズ（Extra-low Dispersion Lens. 以下、EDレンズ）を採用し、非球面や旧色消し接合を活用した場合、同じ効果を得られるが、1つだけ補正できないものがある。それは像面湾曲の要であるペッツバル和である。このペッツバル和は面の屈折力と屈折率で決まり、カメラレンズの多くの場合、凸の屈折率は高く、凹の屈折率は低く、そして強い凹面の存在が補正に必要となる。色収差改善のためEDレンズ、球面収差補正のための旧色消し接合、サジタルコマフレアを抑制するための強力な凹面の緩和、これらはすべてペッツバル和を増大させ、像面湾曲を発生し、点像再現性を損ねてしまうのである。そのためZ Noctには前後群が存在し、収差の分担だけでなくこのペッツバル和をも解消するために新色消し接合を用い、かつ強い凹面をもつ構成となっている。

こうして、Z Noctではガウスタイプの弱点であるサジタルコマフレアをf/0.95で克服しつつ、色収差も点像再現性もより向上した従来に無い高性能な超大口径レンズとなっている。

7 研削非球面

Z Noctの驚きの性能・スペックを支える技術として2つの新しい光学技術が挙げられる。その1つが、研削非球面である。研削非球面技術そのものは新しいものではないが、産業用の精密加工技術を応用したNikonならではの高精度なものへと生まれ変わっている。

近年のカメラレンズの高性能化は目覚ましく、非球面は欠かせない技術である。多くのカメラレンズに非球面が使われており、その多くがガラスモールド非球面である。研削非球面があまり採用されない背景には、その加工方法ゆえの量産性がネックとなっている。しかし、高性能化において研削非球面は非常に有用でありZ Noctには欠かせない存在となっている。

研削非球面の有用性としてまずは、硝材の選択自由度が高いことが挙げられる。硝材を制限されるということは、光線のコントロールに制約がでるということであり、性能

目標を達成できないなど光学的に良いことは無い。ガラスモールド非球面は、熱成形プロセスであるためモールド材と呼ばれる硝材でしか作成できない。一方、研削非球面はその名の通り研削加工であるため球面加工ができる硝材であれば基本的に採用可能である。モールド材には無い光学的に魅力的な硝材は、高屈折率、高分散、異常分散性がある。ここでいう異常分散性とは正の異常分散性を有するEDレンズに限らず、負の異常分散性を有する硝材も含む。このような特徴的な硝材を非球面にできるのはわかりやすいメリットであるが、その他の硝材も非球面にできることも重要である。なぜならば、カメラレンズは色消しのため硝材の組み合わせや配置に傾向があるが、その配置に関わらず最も効果的なレンズを非球面化できるからである。Z Noctでは高屈折率と色収差がカギであるため、可能な限り高屈折率で低分散な硝材を非球面化する必要があった。

また、ガラスモールド非球面より高精度化できることである。熱プロセスを経ると様々な変形・変質が生じる。一方で研削非球面であれば、機械加工精度だけで決まる。Z Noctの研削非球面レンズは、 $f/0.95$ だけあって大きいレンズ径ではあるが、その面精度は全面にわたって、サブミクロンの高精度（髪の毛の太さのおよそ $1/200$ ）を実現している。大きいレンズを高精度に安定して作れる研削非球面技術があるからこそ、Z Noctは高性能化を実現できているのである。

8 アルネオコート

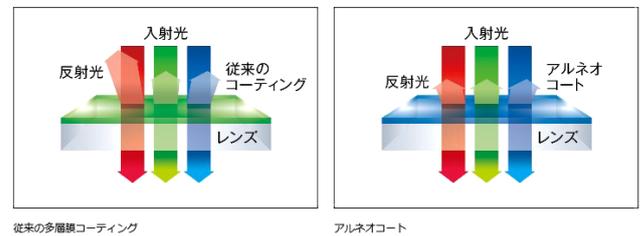
Z Noctの驚きの性能・スペックを支えるもう1つの新しい技術は、新規開発した反射防止コート「アルネオコート」である。アルネオコートの特徴は、レンズ面に垂直に入射する光の反射に対して高い抑制効果を発揮することである³⁾ (Fig. 3)。

コート技術は、レンズ面の反射を防ぐことで、ゴースト・フレアを抑制している。コートが無いと、結像すべき光は反射によって妨げられ、その反射した光および本来の光路なら撮像面に届かない入射光も鏡筒内部で複数回反射しながら撮像面に達し画像として写し取られてしまう。反射光が発散してフレアとして現れるものもあれば、集光してゴーストとして現れるものもある。当然、取り込む光の量が多ければそれだけゴースト・フレアの発生はしやすく、Z Noctも例外なく問題となる。

Z Noctは光学性能を追い求めた結果、光線を素直な形で誘導する形状にしている。つまり、レンズ面への入射角度は垂直に近い形が多いことを意味している。そのため、アルネオコートが無ければ素直に導く構成を諦めなければならず、高性能化を追い求めることが出来なかったのである。

垂直入射はZ Noctに限らず、あらゆる場面で起こりうるため、アルネオコートは多くのレンズに恩恵をもたらすと

期待できる。NIKKORレンズは、斜入射に強いナノクリスタルコートと合わせて、全方位カバーが可能になったと言える。



従来の多層膜コーティング

アルネオコート

Fig. 3 従来コートとアルネオコートの違い

9 マニュアルフォーカス機構

まず、Z Noctがマニュアルフォーカス専用レンズである理由について触れておく。

開放 $f/0.95$ はピント合わせが非常にシビアである。例えば、少し斜めからの人物撮影において、目にピントを合わせると言っても、極浅い被写界深度の $f/0.95$ の場合、目尻、瞳、目頭のどこにピントを合わせるかで作品の印象が異なる。カメラのフォーカスエイド枠の中に目の大半が収まってしまうような場合だと、ピント位置の判断は撮影者にしかできない。Z Noctの光学性能を最も引き出すためにはマニュアルフォーカスにしたほうが良いと考えた。

そして、理由はもう1つある。実はフォーカスレンズ群が、製品サイズやピント精度の観点で実用的なオートフォーカス機構が構成できないほど重いのだ。

これらの理由から、マニュアルフォーカス機構を設計する際のポイントは大きく2つとなる。①開放 $f/0.95$ の極浅い被写界深度でも撮影者の思い通りにピント合わせができること、すなわち操作分解能を確保すること。②非常に重いフォーカスレンズでも、撮影者が容易に操作でき、かつ、心地良いと感じるフォーカスリングの操作感であること。この2つを実現するためにはフォーカスリングの回転角を大きくする必要があった。フォーカスレンズ駆動として採用しているヘリコイド機構のリード角を小さくするためである。

そこで、操作分解能をどの程度とすればよいかを決めるために、最小で動かせる回転操作量の検証を行った。社内のカメラ初心者からヘビーユーザーまで複数人による検証の結果、撮影者の技量に関わらずフォーカスリングを最小で動かせる回転操作量は周長で 0.5 mm 程度であった。そして、このフォーカスリング回転操作量でのピント変化量を像面換算で $20\text{ }\mu\text{m}$ 程度となるように設定した。これは撮影者によるピントの追い込みを、連続回転操作で止めるのではなく、フォーカスリングを少しずつ回転させるピッチ操作で行うことを想定したものである。

この操作分解能を元に、無限～最短撮影距離までのフォーカスレンズの移動量や、温度変化、製造誤差などに

よるピントずれを吸収するために無限側、至近側それぞれの回転行き過ぎ量などを確保し、結果として360度近いフォーカスリング回転角となった。

では、もう1つのポイントである操作感触についてはどうか。前述のフォーカスリング回転角では誰もが軽く感じると感じるような操作トルクになるだろうと想定された。操作トルクが軽すぎると撮影者の意図よりも大きく回転操作させてしまい上手くピント合わせできない可能性がある。また、マニュアルフォーカスでは、ある程度重さのあるしっとりした感触のほうが好まれる傾向がある。

Z Noctでは、フォーカスリング径が $\phi 102$ mmと大きいため、例えば、 $\phi 70$ mmのフォーカスリングと同じ操作感触(=接線力)を得ようとするには、単純に考えてもフォーカスリング半径の比率分、つまり約1.5倍程度の操作トルクとすることが必要である。通常、ヘリコイド部分にグリースを多く塗布することで、重く、しっとりした操作感触を得ることができるが、この径になるとグリースの量だけでトルクをかき増しすることは難しいため、フォーカスレンズ駆動機構内部の回転動作をする2箇所に対して光軸方向へ付勢し、トルク負荷を与える機構を設けることで対応した。

光軸方向への付勢により適度な操作トルクを確保しつつ、グリース量の調整に加え、ヘリコイドの摺動面粗さを従来製品より向上させることで、しっとりとした滑らかな操作感触を実現することができた。また、付勢によるガタ取り効果も得られるため、フォーカスリング操作に対するフォーカスレンズの追従遅れが無くなり、反転操作時でも精密なピント合わせができるようになった。

10 デザイン

最高峰の光学性能と品質感を表現することを目指したZ Noctのデザインキーワードは「クラフトマンシップ」。外観部品は全て金属削り出しで1本1本丁寧に仕上げることで、高品位な質感と、性能を維持するための高い部品精度を両立している (Fig. 4)。さらに、筆記体によるNoctの彫刻を入れることで、職人が加工したような特別感を醸成している (Fig. 5)⁴⁾。



Fig. 4 カット断面



Fig. 5 Noct 彫刻文字加工

機能部材のデザインについても、操作性を重視するZシステムデザインの思想が見て取れる。

フォーカスリングは指かかりを良くするために、他のNIKKOR Zレンズのフォーカスリングローレットよりも、ピッチ(周長)を広くとっている。他製品と同じピッチだと、リング径が大きいことが影響して滑りやすくなってしまふからである。また、ローレットの凹凸感がはっきりして、よりメリハリのある印象を与えることができた。

三脚座は手持ち撮影時でも操作の邪魔にならないよう配慮されている。鏡筒から部分的に出っ張る部材が少ないほうがよいため、三脚座はギリギリまで鏡筒に近づけ、サイズも小さくしている。三脚座の着脱ができない構造とし、ロック機構なども排除した。こうすることで、レンズ本体のフォルムを崩すことなく機能と操作性を実現することができた。リング幅は一見細く見えるが、厚さをとることで十分な剛性を確保している。

付属のレンズフードのデザインについても触れておきたい。Z Noctのレンズフードは丸形を採用。外径を鏡筒と同一とし、フォーカスリング先端に装着することでレンズフード自体が鏡筒の一部のような一体感のあるデザインとした (Fig. 6)。レンズフード装着時の全長と製品外径とのバランスもより良くなるよう意識されている。また、画角外からの光を遮るレンズフード本来の機能だけでなく、レンズを保護する役割も考慮されている。Z Noctのフォーカスレンズは、先端が繰り出す方式となっているが、前述の通り、レンズ先端ではなくフォーカスリング先端に装着するためレンズフードは前後に動くことなく、繰り出すレンズを覆い、最も繰り出した状態でもレンズフード先端からは突出しないようになっている。これにより繰り出したレンズ先端を不用意にぶついたりすることが無くなる。レンズフード先端にはゴムを設置しており、レンズフード先端をぶつけたとしても、鏡筒全体に衝撃が伝わりにくくしている。また、レンズフード先端を下向きにして置いたときも滑りにくく、かつ、相手側を傷つけたりもしないようになっている。このようなデザインや設計思想は、Z Noctだけでなく、NIKKOR Zレンズ全てに踏襲されている。



Fig. 6 フード装着時の製品外観⁵⁾

11 まとめ

NIKKOR Z 58mm f/0.95 S Noctは、光学性能とともに機能や操作性、デザインについても突き詰めた製品となっている。大きくて重い、それでいてマニュアルレンズがゆえ撮影に苦勞もあるが、性能や機能を使いこなす楽しさ、撮影する喜びを大いに感じてもらえると思う。そして、高性能なf/0.95の世界から新たな映像表現が創り出されることを期待したい。

今後もお客様の期待を超えるような製品を開発することで、ニコンZマウントシステムの発展とともに、カメラ文化、映像文化の発展に邁進していく所存である。

引用文献

- 1) 松居吉哉：レンズ設計法，1（共立出版，1972）
- 2) 大下孝一：“第十六夜 AI Noct Nikkor 58mm F1.2”，ニッコール千夜一夜物語。 <https://www.nikon-image.com/enjoy/life/historynikkor/0016/index.html>，（参照 2020-05-01）
- 3) 株式会社ニコンイメージングジャパン：“NIKKOR Z Technology”，アルネオコート。 https://www.nikon-image.com/sp/nikkor_z/technology/（参照 2020-05-01）
- 4) 株式会社ニコン：“「新次元の光学性能」を物語るデザイン”，Works。 https://www.nikon.co.jp/technology/design/works/nikkor_z_lenses.htm
- 5) 杉本利彦：“大口径マウントの「NIKKOR Z」開発秘話（後編）”，デジカメ Watch。 <https://dc.watch.impress.co.jp/docs/interview/1240053.html>



坪野谷啓介
Keisuke TSUBONOYA
光学本部
第三設計部
3rd Designing Department
Optical Engineering Division



藤原 誠
Makoto FUJIWARA
光学本部
第二開発部
2nd Development Department
Optical Engineering Division