

“公差”を考えたことがありますか？

これから技術開発に挑戦される方へ

どんな研究にしても、その素晴らしいアイデアを実証しようとするといろいろな問題に遭遇し、思ったような結果が得られないことはよくあると思います。そのひとつの原因に“公差”があります。“公差”は、モノを作るときにきっちり寸法どおりに仕上げることは原理的に不可能であり、設計値よりこのぐらいはずれることがありますよといったことを示す数字で、例えば「このレンズの焦点距離は20 mm±0.1 mmです」といえば「20 mmを狙って作っているのだけれど20.1 mmになることもあります」ということを示します。このぐらいのことは当たり前前と違っていらっしゃる方は多いと思いますが、企業の製品製造ではそのような公差をもった部品を多数組み合わせで一定の性能を有する製品を生産し、また、そのために製品開発では個々の部品に実現可能な公差を許容しながら、かつ、どのような公差の組み合わせでもちゃんと動作する製品ができるように配慮しなければなりません。また、さまざまな使用状況、例えばポータブル機器では周囲温度-10~60°C ぐらいの範囲で必ず一定の性能を得られるように耐環境性能も考慮して設計します。ですからときには、せっかく思いついたアイデアもこの公差の前に諦めざるを得ないこともあるのです。

それでは、民生用光応用機器を構成する部品にはどんな公差があるのでしょうか？ 一例として半導体レーザーを取り上げてみましょう。表1はシャ-

ープ製半導体レーザー LT052MS の仕様書の抜粋です。レーザーの波長は一定とっておられる方は多いと思いますが、半導体レーザーでは製造時のばらつきにより±10 nm 程度の変動があり、さらに周囲温度の変化により±10 nm 程度の変動が発生します（この周囲温度の変化による波長変動は光学系組立・調整後に発生しますから厄介です）。したがって半導体レーザーを用いた機器では、波長が最悪±20 nm 程度設計値からずれるとして設計しておくのが好ましく、例えば回折格子を用いている場合は回折角が4%弱変化すると考えておかなければなりません。この回折角の変化は、例えば回折レンズであればその集光性能に直接影響しますから要注意です。また、偏光プリズム等を使用している場合は、波長変動に伴う偏光特性の変化とその影響（偏光が直線偏光→楕円偏光になるなど）を定量的に把握する必要があります。SHG デバイスのように許容できる波長変動が小さい場合は、波長ばらつきの小さいレーザー、例えばDFBレーザーの採用を検討する必要があります。もちろんDFBレーザーにも小さいながら波長変動はありますから、それなりに波長に対する公差を考えます。

また、半導体レーザーは出射光の強度分布が楕円状になり、その程度にも幅があります。表1中の放射特性/角度の項がその程度を示すパラメーターで、強度が中心の1/2になるビーム広がり角を示してい

表1 シャープ製LD LT052MSの仕様（データシートより抜粋）。

項目	Min.	Typ.	Max.	条件	
発振開始電流 (mA)		45	70		
動作電流 (mA)		85	110	1)	
波長 (nm)	645	658	665	1)	
放射特性	角度 (deg) 接合面に平行	7.0	8.0	9.5	1)
	接合面に垂直	21.0	24.0	27.0	1)
リップル			±20	1)	
発光点精度	角度 (deg)		±2	1)	
			±3	1)	
	位置 (μm)		±80	1)	

1) 出力：30 mW

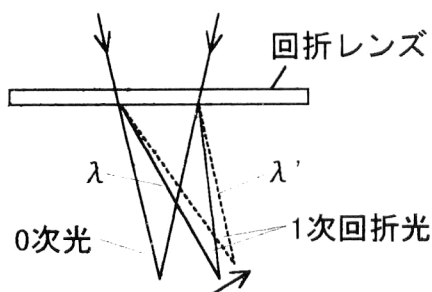


図1 波長変動による集光点の移動。

ます。この角度が変化すると、例えば半導体レーザーの光をレンズでコリメートして利用する場合、コリメーターから出射される光のパワーが変わってしまい、予定の光パワーが得られないことがあります。これはレンズとの組み合わせにもよりますが、ときには2倍ぐらい違うこともあります。

他の光学部品としてビームスプリッターを考えてみましょう。ビームスプリッターの公差としては、外形公差や波面収差といったものを考慮する必要があります。外形公差としては例えば稜の角度は量産品では3分程度が実現可能な値です。ビームスプリッターを角度ずれなく取り付けることは不可能ですから、ビームスプリッターで反射させた光は5分以上は所定の角度からずれることがあると考えないといけません。ビームスプリッターの長さや有効径の寸法精度も $\pm 0.05\text{ mm}$ ぐらいが限度ですから、位置誤差として $\pm 0.1\text{ mm}$ のオーダーを考慮する必要があります。したがってビームスプリッターで反射させた光を直径 $100\ \mu\text{m}$ 程度フォトダイオードで検出するような場合は、どこかに調整機構を設けて光学部品の取り付け公差を吸収できるようにしておか

ないとうまく光を検出できなくなります。一方、反射波面精度は面形状誤差の2倍になり、透過で使用する光学部品より精度が出にくくなります。したがって、波面精度が要求される光学系では、トータルの波面収差を考慮しながら反射面の数を決めることになります。

このように1つの部品にも多くの設計項目があり、どの項目の影響が最も大きいのか、あるいは光学系の構成をどのようにすれば公差が緩やかになるかといったことを光線追跡法などを用いて評価する公差解析が光学系の設計の中で大きな割合を占め、このあたりが光学設計者としても腕の揮いどころになります。

現在の民生用電気製品は、商品にもよりますが、おおむね月産10万~100万個の規模で生産されます。これを1つの生産ラインで賄うとすると、1日24時間ラインを稼働させても実に3~30秒弱で1台を作ることになりますから、開発段階で公差解析を十分に行い、組み立てやすく、かつどのような公差の組み合わせが生じても間違いなく動作する安定性の高い光学系を設計することが、商品の信頼性を確保する上で重要です。

技術者にとって自分の設計した商品が市場に出て評価を得ることは一番の夢だと思います。ですから、もし素晴らしいアイデアを思い付いたら、“公差”のこともちょっと頭の隅に置いてみてください。

この記事に対するご意見は、optics@kobe-u.ac.jp、itoh@bk.tsukuba.ac.jp までお願いします。

(シャープ株式会社 吉田慎也)