

プリズム式導光板の加工・成形技術の開発

Development of Cutting and Molding Technology for Prismatic Light Guide

伊藤 正 弥*

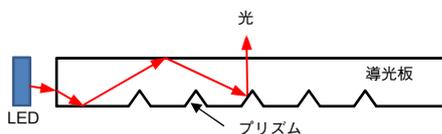
Masami Ito

近年、プリズム式導光板は液晶テレビのバックライトへの用途以外にも、立体形状を有する導光体による照明器具や透明性が要求される商品などへの展開が行われている。本稿では、配光特性や透明性などの光学特性と金型費および成形費の低コスト化との両立を実現する金型および成形加工法について解説する。

Prismatic light guides have been used in the backlight of LCD TVs. Recently, they have been applied for products that require transparency such as lighting equipment as light guides having a 3D shape. This paper describes the method of cutting and molding to achieve optical characteristics such as light distribution characteristics and transparency while minimizing the cost of mold dies and molding.

1. プリズム式導光板の近年の動向と課題

液晶テレビの照明光源などに使用されている導光板は、光学特性、量産性に優れたプリズム式導光板が多く使用されている。その構成および動作を、第1図を用いて説明する。LED (Light Emitting Diode) からの光は導光板の側面より入射し、導光板の上下面で全反射により導光板内を伝播（でんぱ）する。導光板の下面に設けられたプリズムにより、前面に光が反射させられる。



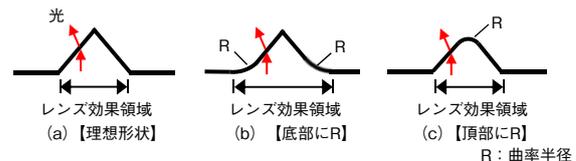
第1図 導光板の構成
Fig. 1 Configuration of light guide

このような導光板のプリズム断面は、三角形状をしており、使用用途により、円錐（えんすい）形状かV溝形状のものに分かれ、プリズムの深さは数 μm ～数100 μm 程度である。また、このような平面型の導光板のプリズム加工には、プレーナ方式の高精度加工機[1]などが使用される。また、スマートフォン用の薄肉導光板の成形には、高速・高圧力射出成形機により、高転写成形が実現されている[2]。

近年、プリズム式導光板は、新たな用途開発が進められ、例えば、照明用途では、平板構成ではなく、3次元形状の導光体の商品化されている。また、透明ディスプレイなど、導光板に透明性が要求される用途に向けた開発がなされている。このような導光板は、液晶テレビ用途

とは異なり、配光特性を制御する拡散シートなどを用いない構成で使用されることが多い。そのため、導光板単体で、輝度分布、配光分布のさらなる高精度化と、透明性の確保が求められる。また、新用途の照明や透明ディスプレイなどの生産台数は、従来用途の液晶テレビなどに比べ少ないため、新用途展開に向けて、金型費や成形費の低コスト化が求められている。しかしながら、従来の加工法では下記2つの課題があった。

- 第2図 (a) のような理想形状の円錐凸プリズム形状の作製は、プレーナ方式加工機では実現できず、高精度5軸加工機[3]を用いて、超精密加工に適した複合皮膜（無電解ニッケルめっきなど）を施した金型面にスクエアエンドミルにより加工することで実現できる。しかしながら、加工面積が大きいと、加工時間が大幅に掛かり、金型費が高くなる。
- 高速・高圧力射出成形機などの特殊成形機や大型成形機を用いると、プリズム形状（円錐形状あるいはV溝形状）によらず導光板の成形コストが高くなる。そこで、本稿では、光学特性と金型および成形費の低コスト化との両立を実現する加工方法を開発したので報告する。



第2図 プリズム部の拡大図
Fig. 2 Enlarged view of prism

* 生産技術本部 成形技術開発センター
Mold & Die Technology Center,
Manufacturing Technology and Engineering Div.

2. 光学特性と低コスト化を両立する金型の検討

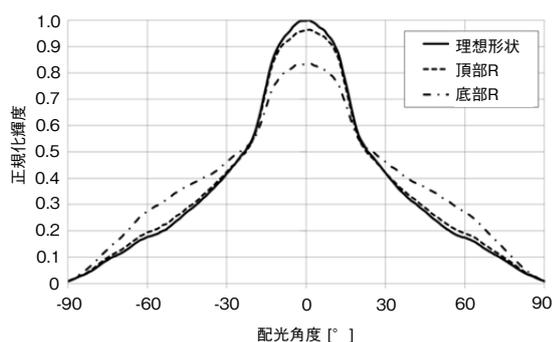
本章では、光学特性と金型費の低コスト化との両立を

図る加工法について述べたあと、そのコスト検証結果と金型寿命を確保する固定方法について述べる。

2.1 金型加工法による光学特性への影響

金型コスト低減に向けて、円錐凸プリズムの2つの加工方法を検討した。1) ボールエンドミルを用いて無電解ニッケルめっきされた金型面に凸プリズムを直接加工、2) 樹脂マスタ母材にボールエンドミルを用いて凹プリズムを加工し、それを電気めっきを用いた電鍍により凸プリズムのスタンパーを作製。

直接加工方式の場合には、第2図 (b) に示すようにプリズムの底部に曲率半径 (以下、R) がつく。一方、電鍍方式の場合には、第2図 (c) に示すように頂部にRがつき、いずれの場合も理想形状から異なる。そこで、両方式により加工Rのつき方が異なるため、光学特性 (配光特性、透明性) への影響が小さい加工方法を明確にした。第3図は、円錐形状プリズムの理想形状、頂部にR、底部にRがついた3つの場合の理想形状の正面輝度 (配光角度 0°) で正規化した配光特性解析結果を示している。第3図より、頂部にRがついても、理想形状の特性と比較して正面輝度は約4%低下するが、配光特性は大きく変化しない。一方、底部にRがついた場合には、正面方向に反射するプリズム部の面積が小さくなるため正面輝度が大きく低下し、配光特性も底部Rでの反射の影響により広がることわかる。特に、配光特性を狭くしたい場合には、大きな課題となる。したがって、配光特性については、底部にRがつかない電鍍方式が有利である。



第3図 配光特性解析結果
Fig. 3 Result of analyzing luminous intensity distribution

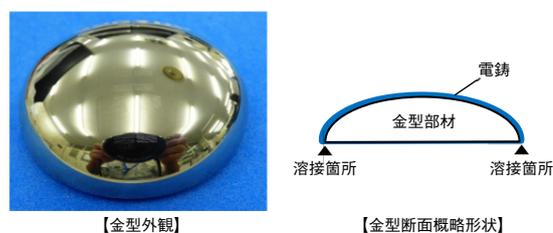
一方、透明性については、第2図を用いて説明する。透明性は、導光板を通して見たときに、光が屈折することで劣化する。そのため、光が屈折する領域 (図中レンズ領域) が広いほど、透明性が劣化する。したがって、第2図からわかるように、頂部にRがついても透明性への影響はないが、底部にRがつくと影響が大きいことがわかる。

上記のことより、頂部にRがつく電鍍方式の方が、理想形状の光学特性に近くなる。

2.2 金型コストの検証と課題対策

次に、直接加工方式と、電鍍方式の金型を作製し、加工時間および金型コストの比較を行った。電鍍方式がプリズム部のみ加工に対して、直接加工方式は全面を掘残しの加工となるため、加工領域は電鍍方式の方が小さい。その結果、電鍍方式の加工時間は、直接加工に比べ1/20となった。そのため、電鍍方式の金型インサートコストは、電鍍製作費用を含めて、直接加工方式の半分以下となった。

ただし、コスト面に優れた電鍍方式の金型における課題は、電鍍材料と金型材料との熱膨張差による保持方法および電鍍の寿命にある。平板の場合にはDVDなどにより既に技術が確立されているが、第4図のような3次元形状の場合には保持方法などに課題があった。そこで、第4図のように、金型の底部で、電鍍部材と金型部材とを周上に溶接することによりこの課題を解決した。この構成にすることで、電鍍部材は熱膨張率が大きいため、熱により金型上部に伸び、金型部材との間に隙間が発生する。そのため、電鍍部材と金型部材との摩擦が発生せず、電鍍裏面の劣化が小さくなる。実際に成形検証の結果、5万ショットまでの寿命を確認した。



第4図 金型外観および断面概略形状図
Fig. 4 Mold appearance and schematic cross-sectional shape

3. 通常成形機による高精度転写と評価結果

本章では、大型や特殊な成形機を用いると導光板のコストが高くなるため、通常の成形機で特殊な金型構造を用いずに、光学特性に影響がない成形工法について報告する。その後、開発した金型および成形加工工法を用いた評価結果について説明する。

3.1 通常成形機による高精度転写工法の検討

成形加工時には、頂部はほぼ金型の形状通りに転写が行われる。一方、転写力が低いなどの成形条件の影響に

より、プリズム底部にRがつき、前章で説明したように、光学特性を劣化させる。この対策として、下記3方法を検討した。1) 流動性の高い材料を使用し転写性を上げる。2) 圧縮成型構造により転写性を上げる。3) 成型温度を高くし転写性を上げる。上記3方法を通常の成型機でサンプルを試作し、底部のR状態を評価した。その結果、圧縮成型技術が高転写には有効といわれているが、大きな効果がなかった。一方で、転写性には表面硬化層硬度の影響が大きく、成型温度を樹脂のガラス転移温度近傍に上げ、表面硬化層を軟化させることが最も効果があることがわかった。その結果、ポリメタクリル酸メチル系樹脂を用いた厚み3 mmの導光板に対して、通常成型機で可能な充填圧力45 MPaで、ほぼ、プリズム底部にRがつかない成型が可能となった。観察結果については3.2節で述べる。

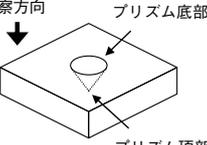
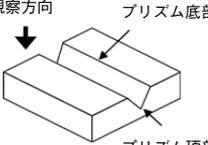
上記より、特殊な成型機および圧縮成型成型機を用いずに、通常成型機で成型が可能であると判断した。ただし、成型温度を上げると、成型サイクル時間が長くなるため、サイクル時間短縮などが今後の課題である。

3.2 成型品評価結果

第1表は、電鍍成型と直接加工成型との比較、高温成型と通常成型との比較を行うために、4条件で作製した透明成型品プリズム部の比較を示している。

第1表 成型品プリズム部の比較

Table 1 Comparison of prism part in mold product

比較内容	成型加工方式		成型加工条件	
	電鍍成型	直接加工成型	電鍍成型	
成型	高温成型		高温成型	通常成型
形状	円錐形状		V溝	
プリズム拡大写真				
プリズム模式図				

第1表左側の成型加工方式比較においては、円錐形状プリズムを有する電鍍成型と直接加工成型とを用いて、高温成型で作製した透明成型品のプリズム拡大写真を示している。第1表より、円錐形状プリズムをボールエンドミルで直接加工した直接加工成型の成型品は、成型加工時にプリズム底部にRがついているため、顕微鏡の落射照明により、プリズム底部が2重に光って見えていることがわかる。一方、電鍍成型の成型品は、成型加工時にプリズ

ム底部にRがつかないため、プリズム底部がシャープとなり、2重に光って見えず、底部にRがついていない形状となっていることがわかる。この形状差により、電鍍成型による成型品の正面輝度は、直接加工成型品に比べて14%高く、電鍍成型の方が光学特性として優れている。また、透明性についても、電鍍成型の方が優れた結果となった。

また、第1表右側の成型加工条件比較においては、V溝形状プリズムを有する電鍍成型を用いて、高温成型と通常成型で作製した透明成型品のプリズム拡大写真を示している。高温成型品を、顕微鏡により測定したプリズム幅は、測定値11.5 μmで設計値11.5 μmと一致し、プリズム底部にRがついていない結果となった。このため、第1表より、プリズム底部のエッジがシャープに写っていることがわかる。一方、通常成型品は、プリズム底部にRがついたため、ピントがずれプリズム底部のエッジがぼやけた状態になっていることがわかる。また、これらの成型品の配光特性を測定した結果、高温成型品の輝度最大値が半分になる角度は24°で、通常成型品の78°に比べ、解析結果の30°に近い結果となった。また、この形状差により、透明性についても、高温成型品の方が優れた結果となった。

上記より、電鍍成型と高温成型を用いることで、光学特性と低コスト化の両立ができた。

4. 今後の動向と展望

本稿では、光学特性と成型費の低コスト化との両立を図る電鍍加工方式を開発し、その課題である成型寿命を確保する固定方法を開発した。また、通常の成型機で特殊な成型構造を用いずに、光学特性に影響がない成型工法を開発した。

今後は、この技術を当社の多くの商品群に展開できるように進める。また、高温成型により成型サイクル時間が長くなる技術課題に対して、冷却時間を短縮するためにH&C (Heat and Cool) 工法を用いて成型サイクル時間の短縮を検討していく。

参考文献

- [1] 藪谷誠, “プリズム型導光板成型加工機「ナノグルーバ」の開発,” 2004年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.369-370, 2004.
- [2] 鈴木康雄, “薄肉導光板成型技術動向,” 住友重機械技報, no.183, pp.15-20, 2013.
- [3] 河合知彦, “超精密5軸加工機「FANUC ROBONANO α-0iB」によるナノ領域加工,” 機械技術, vol.56, no.1, pp.59-65, 2008.