■光学工房

光学ガラスにおける環境対策

近年「エコ」や「環境」という文字を目にする機会がとても増えました．各種光学機器に使用されている光学ガラスについてもその例外ではなく，この10年間で「エコガラス」の使用がかなり進んできています．今回は「エコガラス」を中心に，過去および現在における環境対策へのニコンの取り組みを紹介したいと思います．

1. 光学ガラスと公害対策

私たちは日常生活において，さまざまなガラス製品を目にしたり使用したりしています．他のガラス製品に比べ，「光学ガラス」には

- 屈折率や分散の異なる種類が多くあり，なおかつ一定していること
- 高均質
- 無色透明
- 加工性がよいこと

が求められます．それらの性質を満足させるため，光学ガラスには数多くの元素が使用されています．そして，その高い光学性能を得るため，やむを得ず有害な物質が使用されてきました．

かつては，高屈折率・低分散のガラスを得るために有用な元素として，トリウムやカドミウムが使用されてきました．1970年代になり「公害」の視点から，トリウムもカドミウムも光学ガラスから全廃しました．トリウムについてはガドリニウムやイットリウム等に，カドミウムについては同族元素に置き換えることによって，同様の光学恒数をもったガラスが得られています[1)]．

2. エコガラスの開発

1990年代になり，「環境対策」という観点やさまざまな法規制の改正から，有害物質を各種製品から除去する動きが盛んになってきました．そのような背景の中，「エコガラス」つまり鉛・砒素を含有しないガラスの開発，および商品への適用が急速に高まりました．

図1に，ニコンの光学ガラス一覧表を示します．

当時，鉛については約半数の光学ガラスに，砒素についてはほとんどの光学ガラスに使用されており，光学ガラスから鉛と砒素を除去するためには，ほとんどすべての光学ガラスの組成を開発しなければなりませんでした．また，エコガラスの開発にあたっては「従来ガラスに劣らない光学性能を確保する」ことが大前提でした．それは，新規に設計する製品にエコガラスを使用するためだけではなく，従来から販売している製品に使用しているガラスをエコガラスに置き換えていくためです．そのためには光学設計部門との緊密な連携が不可欠でした．各種物性の優先順位やずれの許容量等を検討し見極め，新しい光学ガラス組成の開発を推進すると同時に，光学設計上の検討も推進していきました．

鉛は，高屈折率・高分散のガラスが得られ安定なガラスを得やすいという性質をもっているため，広く使用され，80重量%もの鉛を含有している光学ガラスもありました．光学ガラスから鉛を除去するにあたっては，他の高屈折率高分散を達成できる成分（Ti，Nb，Ta等）を導入することを基本に，ガラス組成の検討を行うことによって，同等の屈折率nd，アッベ数 νd をもつ光学ガラスを得ることに成功しました．ガラスの安定性は下がりましたが，製造工程や条件を変更することによって，問題なく生産が可能となっています．また，各波長域に対する部分分散の傾向（部分分散比）がかなり変化しました．図2に鉛含有ガラスと鉛フリーガラスの部分分散比を示します．

通常のガラス（実線）とは部分分散の傾向が異なるガラス（異常部分分散性をもつガラス）を利用することによって，色収差を良好に補正することができます．これは組成中の鉛に起因する特性であるため，依然として鉛を含有した異常部分分散性ガラスが使用されていますが，その一部についてはエコガラスが開発・生産されてきています[2)]．

砒素は「脱泡剤」や「清澄剤」と呼ばれ，ガラス原料に1重量%未満を添加することで，製造時に泡を除去する効果があります（光学ガラスの泡は，ガラス原料が分解する際に出てきた O_2，CO_2，NO_2，真空等です）．光学ガラスから砒素を除去するにあたっては，同様の働きをするアンチモンを使用し，熔解条件を変更・最適化する等によって泡を除去することに成功しました．ただし，1重量%未満とはいえ砒素を除去することで，nd，νd がずれてしまいます．最終的にはガラス組成の再検討および調整を行うことで，同等のnd，νd が達成されました．

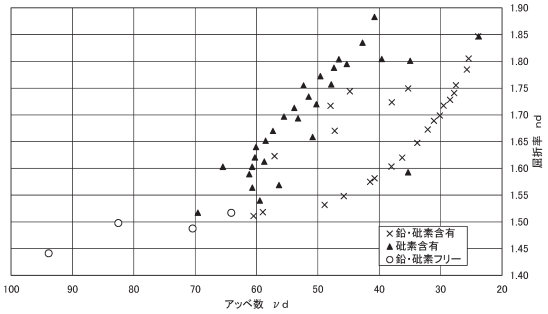

図1　鉛，砒素含有状況（エコガラス化前）．

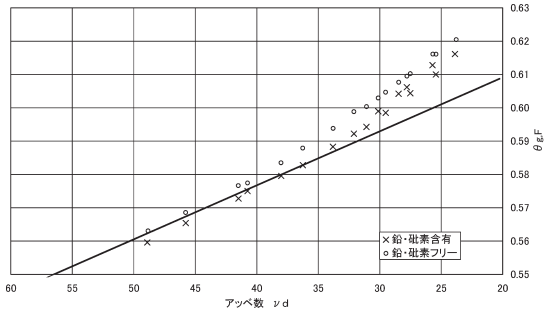

図2　鉛含有ガラスのエコ化による部分分散比の比較．$\theta g,F=(ng-nF)/(nF-nC)$

このように，nd や νd については従来と同等のものが開発されましたが，物性の変化は避けられませんでした．代表的なところでは下記の通りです．

・軽量化，化学的耐久性向上，機械的強度向上（メリット）
・部分分散比の変化，安定性低下，紫外域透過率低下（デメリット）

デメリットとされる物性変化は実用の範囲内に抑えられましたが，熔解技術や新規光学ガラスの開発，光学設計による対策等も進められています．

3.　WEEE/RoHS 指令

2000 年，廃棄物管理政策（WEEE 指令）と RoHS 指令が欧州委員会に提案されました．RoHS 指令は「有害物質を含有した製品を EU に入れない」という目的で，6 種類の有害物質（鉛，水銀，カドミウム，六価クロム，PBB，PBDE）が規制されます．光学ガラスに使用される元素としては，カドミウムについては前述のようにすでに全廃済みですが，鉛については一部の特殊ガラスに残っています．ただし RoHS 指令の附属書（適用除外リスト）に「13. 光学ガラスとフィルターガラス中の鉛とカドミウム」が掲載されており，光学ガラスは RoHS 指令の適用から除外されることとなりました[3]．そのため，発令当初は鉛含有ガラスの使用に問題はありませんが，除外規定や許容量については EU 委員会の動向を注意深く見ていく必要があります．

4.　今後について

光学ガラスはおおよそ，「原料調合→熔解→成形→加工→アニール（→レンズ研磨→成膜）」というように製造されます．粉末原料の取り扱いによる粉塵，熔解時のガラス融液からの揮発，加工時の削りくずや粉塵等，光学ガラス製造時にはさまざまなガス・煤塵・廃液が発生します．また，製品の使用後は廃棄物として環境に排出されます．

光学ガラスにおける「環境対策」については，光学ガラスから有害物質を除去するという方法が一番でしょう．しかし，鉛含有ガラスがまだ残っているように，限界が見えてきていることもたしかです．有害物質を含有しない組成の開発を続ける一方で，生産工程をより細かく点検し，製造時に発生する有害物質について発生源の特定や発生原因の解明を行って，排出総量の削減を効率よく押し進めていくことが必要です．また「精密プレス」のように，加工研磨工程を省略でき廃棄物を削減できる製造方法も出てきています[4]．廃ガラスについては，再資源化や循環型の仕組み（3R：リサイクル，リユース，リデュース）を確立し，さらによくしていく必要があるでしょう．

今後は，上記のように，ガラスの製造から廃棄までを通して企業として努力するだけではなく，産官学と連携することによってさまざまな対策を検討し，光学ガラスの環境対策を総合的によりいっそう推進していかなければなりません．

（(株)ニコン　杉崎雅彦）

文　　献

1）作花済夫：ガラスハンドブック（朝倉書店，1975）p. 81.
2）小野沢雅浩：“環境対策光学ガラス”，セラミックス，**34**（1999）47-50.
3）*Official Journal of the European Union*, 2005. 10. 25.
4）広田慎一郎：“ガラスモールドレンズの成形技術と最近の応用”，光技術コンタクト，**40**（2002）609-616.