資 料

光波標識のしくみⅠ（構成と光源・レンズ）[†]

森 山 英 隆*

1. はじめに

「航路標識の種類」の項で記したように、光波標識は昼間は形状、塗色などにより、夜間は光の（一般に）色や点滅リズムにより標識の持つ意味（位置、暗礁の存在等）を表している。これらの属性のうち、ここでは所定の点滅リズムを持った光の送達機構について主に記することとする。

1.1 光波標識の構成

光波標識は基本的には光源－光学系（灯器）、管制器、電源装置より構成されている。図1に光波標識の概要構成図を示す。

図1 光波標識の構成

1.2 灯器

灯器は光源より発した光をレンズ、反射鏡、シャッターなどの光学系により所定の光に変換する装置である。光波標識より発する光は、例外的に照射灯などは不動光（点滅しない光）であるが、一般的には点滅する。

光を点滅させる機構は、①光源を点滅させる、または②光源は点灯させたままで光学系を回転させる、の2つの方法がある。

1.3 管制器

管制器は文字どおり、光波標識を制御する装置であり、昼夜を判別し夜間になると点灯動作を起こさせる日光弁装置、光源を点滅させるリズム信号を送出する点滅装置、現用機が故障した時に予備機に切り替えさせる切替装置等により構成されている。

1.4 電源装置

光波標識の電源は、①電力会社よりの商用電源、②発動発電機、自然エネルギー利用の自家発電又は電池などの内部電源に大別できる。

商用電源を利用するには電圧を一定に維持する定電圧装置、場合によっては整流装置、また発動発電、充電には各種の制御装置等が必要であり、これらのいくつかを組み合わせた装置を電源装置と呼んでいる。

以上のように光波標識は、さまざまな装置から成り立っているが、これらは機器システムを構成するサブシステムに分けて、系統的に説明するための分類であるから、以下に説明する実際の機種種の灯器、管制器等は上記のそれらとは必ずしも合致しないことを前もって断っておきたい。例えば、LC管制器には電源装置も含まれており、またLX管制器には灯器及び電源装置も含まれている。

2. 光源

2.1 光源の種類

我が国における航路標識の初期の光源は、各種の油脂やガス等を燃焼させるものが多く用いられていた。これらはいずれも、

- a 光度が低い
- b 灯器の取り扱いが不便である。
- c 危険を伴うことがある。

等の欠点があり、電灯の普及とともに漸次使用されなくなり、代わって電球を使用するようになってきた。ただ光源用電灯の初期は、アークランプが用いられていたが、性能のよい良質の白熱電球が製作されるようになり、これに代わることとなった。

近年、高効率の各種放電ランプが開発されるにつれて、航路標識の光源にもこれらが採用され、現在では白熱電球のほか蛍光ランプ、キセノンランプ、低圧及び高圧ナトリウムランプ、メタルハライドランプ等、白熱電球においてもハロゲン電球が使用されている。更に最近では、発光ダイオード（LED）が航路標識の光源として利用されるようになった。また、近い将来、エレクトロルミネセンス（EL）が応用されることも予想される。

一般に、信号や標識に使用する光源は、同時に組み合わせて用いる光学系を通して、光が最も効果的に利用できるように設計されており、航路標識用光源もまた同様である。その光源の光学系、管制器の主な組み合わせは表1のとおり

[†] Components of Visual Aids to Navigation I (Components and Light Sources・Lenses)

*海上保安庁灯台部工務課 Hidataka Moriyama

東京都千代田区霞が関2-1-3

紹介者 編集副委員長 河合 悟

表1 光源、光学系、管制器との組み合わせ

電球又はランプの形式	光 学 系	管 制 器 (灯 器)
A (A型電球)	閃光レンズ、不動レンズ	水銀槽式回転機械、L A管制器
B (B型電球)	閃光レンズ	L B型灯器、L B管制器
C (C型電球)	不動レンズ	L C管制器
D (D型電球)	不動レンズ	L D管制器
E (E型電球)	反射鏡	L E型灯器
F (蛍光ランプ)	用いない	蛍光灯装置
H (ハロゲン電球)	閃光レンズ+反射鏡	L B-H型灯器
S (トリウムランプ)	用いない	放電灯装置
X (キセノンランプ)	閃光レンズ、反射鏡	L X管制器、キセノン灯器
M (メタルハライドランプ)	閃光レンズ+反射鏡	L B-M型灯器
LED	反射鏡	LED小型灯器

表2 航路標識用白熱電球規格 (初特性及び寿命)

形式	初 特 性			寿 命	過 電 圧 寿 命		規格寿命時における 水平光度
	試験電圧	消費電力	水平光度		試験電圧	寿 命	
	V	W	cd		V		
A-1	100	2.000±140	3.400±510	500時間以上	120	44時間以上	2.380cd以上
A-2	100	1.500±105	2.800±420	500時間以上	120	44時間以上	1.960cd以上
A-3	100	1.000±70	1.900±285	500時間以上	120	41時間以上	1.330cd以上
A-4	100	750±53	1.350±200	500時間以上	120	41時間以上	945cd以上
A-5	100	500±35	900±135	500時間以上	120	41時間以上	630cd以上
A-6	100	300±21	490±75	500時間以上	120	38時間以上	343cd以上
A-7	100	100±7	145±22	500時間以上	120	38時間以上	102cd以上
B-1	100	2.000±140	4.800±720	500時間以上	120	39時間以上	3.360cd以上
B-2	100	1.500±105	3.600±540	500時間以上	120	39時間以上	2.520cd以上
B-3	100	1.000±70	2.300±350	500時間以上	120	39時間以上	1.610cd以上
B-4	100	500±35	1.150±170	500時間以上	120	37時間以上	805cd以上
B-5	24	100±7	164±25	500時間以上	28.8	35時間以上	115cd以上
C-1	24	300±21	570±85	500時間以上	28.8	39時間以上	400cd以上
C-1-S	24	200±14	350±42	500時間以上	28.8	38.5時間以上	245cd以上
C-2	24	100±7	160±24	500時間以上	28.8	36時間以上	112cd以上
D-0	24	50±3.5	72±11	500時間以上	28.8	35時間以上	51cd以上
D-1	12	25±1.8	39±6	500時間以上	14.4	40時間以上	28cd以上
D-2	12	10±0.7	13±2	500時間以上	14.4	39時間以上	9cd以上
D-3	6	5±0.5	(5)	500時間以上	7.2	38時間以上	4cd以上
E-1	100	500±35	1.950±350	500時間以上	120	35時間以上	1.365cd以上
E-2	24	200±14	700±130	500時間以上	28.8	35時間以上	490cd以上

図2 航路標識用各種白熱電球

りである。

2.1.1 白熱電球

白熱電球は、一般にその特性値 (消費電力、光度、寿命等) について極めて高度な均一性が規定されており、その均一性、高輝度集光性、点滅応答性、演色性等からも標準用光源として適当で、航路標識の光源として最も多く利用されている。

ただ、航路標識の光源用電球は、一般の照明用電球とは異なり、使用するレンズや灯器に要求される配光特性からフィラメントの形状や寸法、フィラメント効率等を考慮して設計製作された特殊なもので、口金には定焦点型口金を用いる。我が国では、1952年に航路標識用電球規格を制定し、その種類、特性等は表2のとおりで、外觀は図2のとおりである。

光波標識に使用している電球のうち、A型及びB型電球について簡単に述べる。

まず、A型であるが、この電球は不動レンズ及び閃光レンズ (固定された電球の周囲をレンズが回転) に用いるもので、水平の全方向についてはほぼ一定の光度を持つことが要求される。図3は、A-5型電球のフィラメント形状及び配光曲線を示したもので、この電球は、一般に4~5等級のレンズに用いる。

また、B型は、2方向に光を出すL B型灯器に使用する電球であるが、電球がドラム状の灯体とともに回転するためレンズ面以外に向かう光はほとんど損失になるので図4

図3 A-5型電球のフィラメント形状及び配光曲線

図4 B-3型電球のフィラメント形状及び配光曲線

のように扁平型のフィラメントを用い、2方向に強い光が出るように製作されている。

なお、図4は、B-3型電球のフィラメント形状及び配光曲線を示したもので、一般にLB型灯器(90cm)に用いる。

その他、C型及びD型はそれぞれ小型の不動レンズに使用し、また、E型は照射灯に用いるよう設計されたものである。

2.1.2 シールドビーム電球

我が国の航路標識においては、主として灯塔照射装置及び潮流信号用文字表示灯等の光源として100V570W (SB 6 N/M)の規格のものが用いられている。

2.1.3 ハロゲン電球

我が国の航路標識においては、この電球が一般白熱電球に比して、非常に小型であり、輝度が高く、また、時間経過による光度の変化も少なく、その上に寿命も長い(白熱電球に比べ約2倍)という特徴があるので、LB-H型灯器の光源として用いている。

2.1.4 蛍光ランプ

我が国の航路標識では、導灯の光源として緑色又は赤色の蛍光ランプが主に用いられている。ラピッドスタート型を使用することで、即時点灯方式としている。

2.1.5 キセノンランプ

我が国の航路標識では、このランプの丸形を用い、照射灯用キセノン灯器、キセノン回転灯器(500及び1,000W)及び昼間においても利用される超高光度指向灯(1,750W)の光源に採用している。

2.1.6 ナトリウムランプ

a 低圧ナトリウムランプ

このランプは、発光面積が大きいため輝度が低くあまりまぶしさを感じさせない。一方、色が黄の単色光であることから演色性が極めて悪いが、濃霧やスモッグ等には非常に透過性が良いため、我が国では、その特有の光色を生かして一部の導灯用光源に採用している。

b 高圧ナトリウムランプ

我が国では、レンズや反射鏡等の光学系を用いない近距離で利用される小規模航路標識の光源として採用している。

3. 機器

3.1 レンズ

3.1.1 レンズの構造

光を強いビームとして発射するためには、光源から出る光を適当な光学系を用いて集光しなければならないが、この方法には次の3種に大別される。

- a 反射鏡を利用する方法
- b プリズムで屈折させる方法
- c プリズムで反射と屈折させる方法

これらを図5において説明すると、図5Aは、光の反射を利用したもので、このうち左図は反射プリズムである。これは後方に向かって出る損失となるはずの光を前方に反射させて有効に利用するもので大型の閃光レンズ等に図5

Bのように組み合わせ使用される。

図5Aの右図は、放物面反射鏡で、点光源から後方に出た光は鏡により反射され平行光線となって前方に放射される。

図5Cは、1822年にA. J. Fresnel氏によって考案されたフレネル断面をもった屈折プリズムで、光波標識において最も一般的に用いられているものである。フレネル断面をX-X軸を中心として回転させた形のが閃光レンズであり、同様にY-Y軸を中心として回転させた形のが全周方向に光を出す不動レンズである。

図5Dは屈折プリズムであり、一般に大型の閃光レンズや不動レンズにおいて、屈折プリズムの補助として図5Bに示すように、その上下に取り付け利用される。光源から出る光は、光軸から離れるほどレンズに対する入射角が大きくなるから、これをレンズ通過後、平行光線とするためには光の進行方向を大きく変えなければならないが、この場合はレンズ境界面でレンズに入射する光よりも反射する光の方が多くなるので、屈折を利用するよりも反射を利用した方が効果的となる。

このために用いられるのが屈折プリズムで、入射光はプリズムの曲面で全反射され、平行光線となって出て行く。このプリズムは光の反射による損失を少なくするために、光源からの光がなるべく直角に入射するよう配置される。図5Bは、反射、屈折、屈折プリズムを効果的に配置した大型閃光レンズの1形式を示したものである。

上に述べた各種の光学系は、いずれも反射や屈折の法則に従って光源から出た光の進行方向を変えて有効に利用するだけのもので、光を増幅するものではない。

図6に各種閃光レンズ、図7に第2等不動レンズ、また、図8に第5等不動レンズを示す。

光源から出た光束は、

- a レンズ面に光が入るとき及びレンズ面から光が出るとき、それぞれ表面において生ずる反射による損失
- b レンズの通過に伴って生ずる吸収による損失

図6 各種閃光レンズ

図7 第2等不動レンズ

図8 第5等不動レンズ

表3 等級レンズ

等級 細目	1	2	3		4	5	6
			大型	小型			
焦点距離 (mm)	920	700	500	375	250	187.5	150
レンズの標準高さ (mm)	2,590	2,117	1,576	1,250	722	541	433

図9 300mm不動レンズ

c レンズ環間において生ずる損失

等のため、レンズ通過後、かえって減少し、これらの損失は最良のレンズでも20~30%に達する。

標準使用電球による垂直方向の発散角は、レンズ種別で若干異なる値をとるが、およそ4~5度となっている。

3.1.2 レンズの種類

航路標識に用いているレンズは、等級レンズと無等レンズとに大別され、国によって各種のものが用いられているが、ここでは現在我が国で用いているレンズについて述べる。

a 等級レンズ

我が国の洋式灯台は、1860年代に仏国、英国の技術によってもたらされたものであるが、初期の頃から1950年代までに設置された大型灯台のレンズはほとんど等級レンズであった。等級レンズは、レンズの内径により区分し、第1等から第6等までであるが、このうち第3等レンズのみ大型と小型があり、これらには、さらに閃光レンズと不動レンズがある。この等級は、レンズを焦点距離により分類しており、ほぼ世界共通であり、レンズの大きさを示す目安となるが等級は同じでも高さは異なるものが多い。

これらの等級レンズは主として第二次世界大戦までの間に製造され、引き続き使用されているが、製造の困難さ及びコストの観点から、容易に高光度光源が入手できる現在では、小型のものを除きほとんど造られていない。

表3に等級レンズの種類を示す。

b その他のレンズ

その他のレンズは、レンズの大小に関係無く、上述の等級レンズ以外のレンズをいい、現在、下記のようなものが使用されている。

b.1 不動レンズ：300mm, 375mm (ガラス製)

：250mm, 300mm (プラスチック製)

図9に300mm不動レンズを示す。

b.2 閃光レンズ：30cm, 40cm, 90cm (LB型灯器用)

：30cm, 40cm, 120cm (LB-H型灯器用)

：キセノン回転灯器用六角柱型レンズ

これらのうちの300mm, 375mmレンズは、それぞれ第6等、第5等レンズと内径は同じであるが、等級レンズが備えている折射プリズムをもたない。

(受付 1992年2月6日)