



照明用 LED 的显色性

目录

1. 前言.....	2
2. 显色性.....	2
3. 日亚 LED 的显色性分档.....	2
4. CIE13.3 显色性评价指标 CRI	4
5. TM-30	6
6. 最后.....	9

日本日亚化学工业株式会社

<http://www.nichia.co.jp>

491 Oka, Kaminaka-Cho, Anan-Shi, TOKUSHIMA 774-8601, JAPAN

Phone: +81-884-22-2311 Fax: +81-884-21-0148

1. 前言

在购买灯具时，通常都会对灯具的发光色、亮度、价格、用电和寿命等进行综合考虑。近年来除此之外灯具的显色性也越来越受到人们的重视。

灯具的显色性高低表示被照物颜色可以多大程度被忠实再现，显色性越高说明灯具越能如实地再现出被照物的实际颜色。之前都认为 LED 的显色性较低，但是近年通过对荧光体的改良等，高显色性 LED 越来越多地出现在市场上。并且除高显色性 LED 以外，在店铺和家居中为了让食物和皮肤等显示出更好的效果，满足不同用途的特殊显色性^{※1}LED 也越来越多地被使用。

日亚为了满足客户的需求，生产了多种多样显色性的 LED，在本应用指南中将对日亚照明用 LED 和显色性评价方法进行介绍。

2. 显色性

我们是通过眼睛（视网膜）感知从被照物反射的光来判断被照物的颜色。因此看到的颜色取决于被照射的光。

显色性表示在灯具照射下，被照物本身的颜色被灯具再现的程度。这里所指的被照物本身的颜色是指标准光源（特性和太阳相近的光源）照射时的颜色。可以忠实再

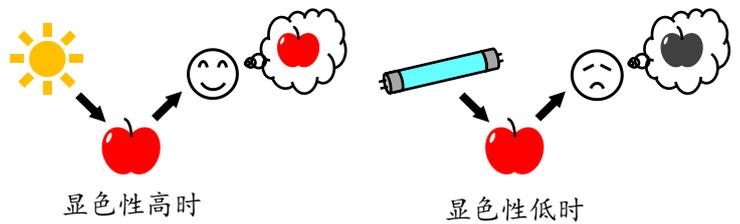


图 1. 不同显色性时的外观

现出标准光源照射下颜色的灯具，即是显色性较高的灯具，反之则是显色性较低的灯具。因此如果相同被照物在灯具和在太阳光下的颜色不同，有可能是因为灯具显色性较低。

有几种国际规格可以对显色性进行评价，其中最被广泛使用的是国际照明委员会（CIE）制定的显色性评价指数（Color Rendering Index，以下简称为 CRI），CRI 事实上已被作为国际标准规格被照明用灯具厂家使用（日本工业规格 JIS Z8726 也是在此规格的基础上制定）。另外 2015 年北美照明学会（IES）也制定了新的显色性评价标准 IES-TM-30。在本应用指南的第 4 章和第 5 章将对以上两种评价方法进行介绍。

3. 日亚 LED 的显色性分档

我们是通过眼睛（视网膜）感知从被照物反射的光来判断被

日亚的照明用 LED 除了对光通量和色度进行分档以外，也对显色性进行了分档。并且表示显色性的数值使用了 CRI 的平均显色性指数 Ra 和特殊显色性指数 Ri（相关详细内容，请参照第 4 章中的内容）。关于日亚照明用 LED 的有代表性的显色性分档^{※2}，请参照图 2 中的内容。

通常情况下，为了提高 LED 的显色性，会增加红色、蓝色等人眼不容易感觉到其亮度（光通量较低）的波长的光的比例，所以可以说显色性和亮度（发光效率）呈折中关系。因此在选择 LED 时，显色性高的 LED 亮度会较低，应该根据需要的性能进行选择。

另外根据 LED 的显色性分档的不同，LED 使用的荧光体也有差异。因此即使色度分档相同，在外观上也可能出现封装树脂（发光面）颜色不同的情况。

日亚的显色性分档的详细如下一页所示。

※1. 特殊显色性并不代表显色性高，而是在需要强调某特定颜色时使用。关于相关的日亚产品，请参照本应用指南的第 3 章的相关说明。

※2. 并不是所有产品都有进行显色性分档，对于进行了显色性分档的产品可以向日亚当地营业所咨询。



- » Rnn: 表示没有进行显色性分档。虽然显色性低，但是发光效率高。
- » R70: 表示 Ra 的值在 70 以上。
- » R80xx: 表示 Ra 的值在 80 以上。另外最后 2 位数的“xx”代表红色 R9 的最小值^{※3}。
- » R90xx: 表示 Ra 的值在 90 以上。另外最后 2 位数的“xx”代表红色 R9 的最小值^{※3}。
- » R95xx: 表示 Ra 的值在 95 以上。另外最后 2 位数的“xx”代表红色 R9 的最小值^{※3}。

图 2. 日亚 LED 的显色性分档

【参考 1】日亚特殊显色性分档 Rfx00、Rfx0f (Optisolis™)

以上显色性分档的 LED 是日亚使用独自の荧光技术尽量让 LED 的发光光谱接近基准光的产品。不仅是 Ra，包括 R9~R15 在内的所有试验色的数值都较高，可以正确地再现出基准光照射下的颜色。关于本特殊显色性产品的详细信息，请和日亚当地营业所联系。

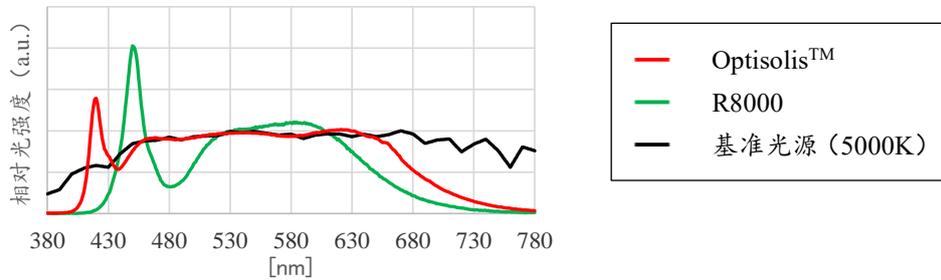


图 3. Optisolis™ 的波长特性例^{※4}

分档	最小值							
	Ra	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
Rfc00 (sm50)	95	85	85	90	85	90	90	90

表 1. Optisolis™ 的显色性例^{※4}

【参考 2】日亚特殊显色性分档 Rs020、Rs030、Rs075

以上显色性分档的 Ra 和 Ri 值不高。但是在需要强调肉类的红色、蔬菜的绿色及服装的白色等特定颜色时可以取得较好的灯光效果。关于日亚特殊显色性产品的详细内容，请参照日亚应用指南《SE-AP00047: COB 聚光灯的设计》。

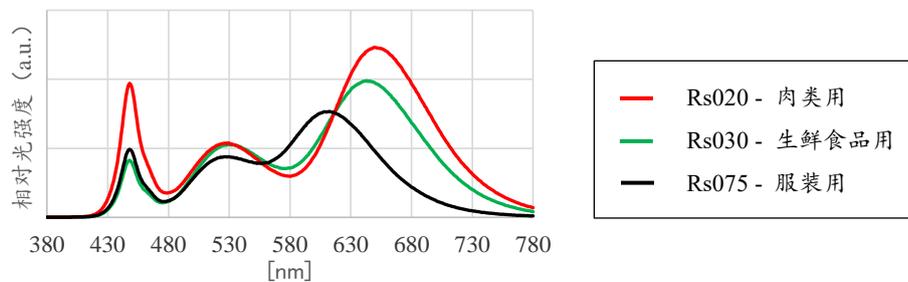


图 4. 特殊显色性分档的发光光谱例^{※5}

※3. 例 1: R8000 表示 Ra ≥ 80、R9 ≥ 00 例 2: R9050 表示 Ra ≥ 90、R9 ≥ 50
 ※4. Optisolis 的日亚型号是 NF2W757G-F1，色温分档是 5000K。
 ※5. 是日亚型号 NJCWS024Z-V1、色温为 3000~3500K 的 LED 的发光光谱。

4. CIE13.3 显色性评价指数 CRI

4.1. 关于 CIE13.3 规格

CIE (国际照明委员会) 制定的 CIE13.3 标准对光源显色性的评价方法进行了定义, 目前仍然作为照明行业最常用的显色性评价工具被各灯具厂商使用。各灯具厂商依照此规格计算出 CRI 评价指数来代表自厂产品的显色性能。另外在部分类别的灯具规格中也是通过 CRI 评价指数进行规定。

日本国内也在此规格的基础上制定了 JIS Z 8726 《光源的显色性评价方法》, 内容基本上和 CIE^{※6} 的 CRI 评价方法相同, 只是追加了试验色 R15 (亚洲人肤色)。

4.2. CRI 评价指数

CRI 评价指数是根据光源的各试验色和基准光源色间的色差, 计算出平均显色指数 Ra 和特殊显色指数 Ri。关于计算方法, 请参照第 4.4.项中的内容。

4.2.1. 平均显色指数 Ra

Ra 表示对标准颜色的忠实再现程度, 是照明行业通常使用的评价指数。数值越高表示显色性越好, 最高值为 100 (试验光源和基准光源相同)。

4.2.2. 特殊显色指数 Ri

Ri 表示对特定颜色的忠实再现程度。“i”代表第 1~14 (15) 的试验色, 和 Ra 相同, 数值越高, 代表越能忠实的再现出该特定颜色, 最高值也是 100。关于相对应的试验色, 请参照项目 4.3.中的内容。

计算出的 CRI 评价指数值也有可能是负数。但是对于通常的白光, 即使 CRI 评价指数的计算值为负数, 人眼实际识别的颜色并不会发生太大的变化。并且即使计算出的 CRI 评价指数差异较大, 但目视下可能并不会感觉到太大差异。所以计算出的数值可能和实际的人眼感官存在差异, CRI 评价指数并不一定能反映出实际的人眼感官。因此在对显色性的判断中, CRI 评价指数很重要, 但实际的人眼感官也很重要。

4.3. 试验色

在 CRI 显色性评价中使用了各种物体的颜色。这些试验色如表 2 所示。表 2 中共有 14 种 (日本 JIS 为 15 种) 试验色。这些颜色是通过光谱辐射率进行规定。

i=1~8 代表一般的显色性能的试验色。这些试验色相对应的 R1~R8 的平均值为 Ra。但是这些颜色都是彩度较低、比较暗的颜色, 所以可能不适合评价鲜艳的颜色。

和一般显色指数相反, 试验色 i=9~14 (15) 是对个别试验色的忠实性评价时使用。其中的 i=9~12 是 Ra 不能评价的彩度较高的颜色。另外关于 R9, 因为通常的照明用白光 LED 的 R9 值较低, 所以为了突出 LED 良好的显色性, 可能在记载 Ra 的数值时也记载 R9 的数值。

表 2. CRI 的试验色

i	对应色 ^{※7}	颜色名
1	7.5R 6/4	淡灰红色
2	5Y 6/4	暗灰黄色
3	5GY 6/8	饱和黄绿色
4	2.5G 6/6	中等黄绿色
5	10BG 6/4	淡蓝绿色
6	5PB 6/8	淡蓝色
7	2.5P 6/8	淡紫蓝色
8	10P 6/8	淡红紫色
9	4.5R 4/13	饱和红色
10	5Y 8/10	饱和黄色
11	4.5G 5/8	饱和绿色
12	3PB 3/11	饱和蓝色
13	5YR 8/4	白种人肤色
14	5GY 4/4	树叶绿
(15)	1YR 6/4	亚洲人肤色

※6. JIS 规格对应的是第 2 版的 CIE13.2。

※7. 颜色三属性的表示记号。

• 关于计算方程式的说明

方程式 1:

是计算各试验色的色差 ΔE_i 时的计算方程式。也是计算 $U^*V^*W^*$ 均匀颜色空间上的基准光源和试验光源间的坐标距离的计算方程式。在方程式中将基准光源的试验色 i 的坐标作为 $U^*_{r,i}, V^*_{r,i}, W^*_{r,i}$ ，将试验光源的试验色 i 的坐标作为 $U^*_{k,i}, V^*_{k,i}, W^*_{k,i}$ 。

方程式 2:

是计算 R1~14(15) 的特殊显色评价指数 R_i 的方程式。色差越大 R_i 越低。 ΔE_i 比 22 大时, R_i 值会是负值。

方程式 3:

是计算平均显色性评价指数 R_a 的方程式。R1 到 R8 的值的平均值用 R_a 表示。

5. TM-30

5.1. 关于 TM-30 规格

在 IES 于 2015 年制定的规格 IES-TM-30 (以下简称为 TM-30) 中, 记载了最新的显色性评价方法。关于和 CRI 评价方法的差异, 在根据各基准光源和试验光源的色差对试验色评价的方法上相同, 但是色差计算方法和 CRI 不同, 并且基准光源的定义也和 CRI 完全不同。另外 TM-30 和 CRI 相同也使用试验色样本, 但是不只 CRI 的 8 种而是多达 99 种, 弥补了 CRI 的试验色不足。

现在大部分公司对 TM-30 还持观望态度, 仍然还在继续使用 CRI (R_a) 的评价方法。因此 TM-30 的评价方法的渗透还需要一定的时间。

5.2. 评价指数

TM-30 不仅对色彩逼真度 (R_f) 进行评价, 也对色彩饱和度 (R_g) 进行评价。关于评价方法, 请参照项目 5.4。

5.2.1. 色彩逼真度指数 R_f

表示相对基准光源的忠实程度 (Fidelity)。忠实程度越高数值也越高。如果试验光源的发光光谱和基准光源完全一致, 色彩逼真度指数 R_f 为 100。因为 R_f 的定义和 CRI 的 R_a 相类似, 所以计算出的数值可能和 R_a 相近, 但是 R_f 和 R_a 间并不存在关联性, 不能进行互换。另外和 CRI 的 R_i 相同, TM-30 也可以对各试验色的颜色忠实程度 R_{fi} (i 代表试验色的 1~99) 进行计算, 但是不会出现 CRI 的负值。

5.2.2. 色彩饱和度指数 R_g

表示相对基准光源的试验光源的色域 (Gammut)。 R_g 的计算使用 a^*-b^* 平面空间, 在此平面空间中, 根据各试验色取得的色域范围如果比基准光源广, 那么 R_g 值大于 100; 相反如果比基准光源窄, 那么 R_g 值小于 100。(关于详细的评价方法, 请参照项目 5.4 中的内容)。

如图 6 所示, 在 a^*-b^* 平面空间上按照箭头方向旋转时, 色相会发生变化, 另外距离坐标原点越远, 色饱和度 (彩度) 越高, 色域范围越广。

如果试验光源和基准光源的发光光谱完全一致, 那么一定 $R_g=100$ 。但是如果 $R_g=100$, 并不代表试验光源和基准光源的发光光谱完全一致。这是因为即使 a^*-b^* 平面空间上的色域范围相同, 各试验色的对应坐标也有可能有所差异。

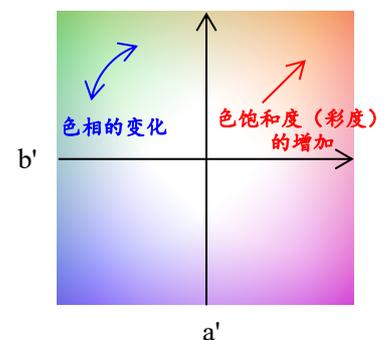


图 6. a^*-b^* 平面空间示意图

5.2.3. Rf 和 Rg 的关系

Rf 和 Rg 相互关联。如图 7 所示，Rf 越高，因为试验光源的发光光谱越接近基准光源，所以 Rg 越来越靠近 100。当 Rf 为 100 时，因为试验光源和基准光源的发光光谱相同，所以 Rg 也会是 100。相反，Rf 越低，试验光源和基准光源的发光光谱的差越大，Rg 也离 100 越远。因为可以让 Rg 超过 100，所以可以通过降低光源的 Rf，以得到 Rg 较大的光源（色忠实度低、彩度高的光源）。

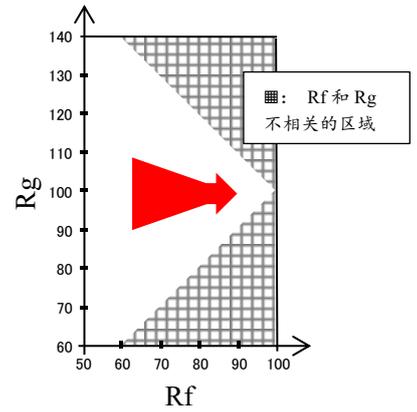


图 7. Rf 和 Rg 的关系

5.3. 试验色

TM-30 和 CRI 的最大差异可以说是试验色数。CRI 的试验色数只有 14 种（或者 15 种），比较少。并且一般显色指数 Ra 只是针对其中 8 种颜色。因为评价的试验色数较少，所以对试验光源的评价不一定正确。

相对于 CRI 只有 14 种（或者 15 种）试验色，TM30 的试验色多达 99 种，这些试验色是从超过 100,000 种物品的光谱反射特性中严选出来的。因此通过对这 99 种试验色评价就可以达到对整个自然界的所有颜色进行评价。

TM-30 的色彩逼真度指数 Rf 和 CRI 评价指数相同，是通过计算试验光源和基准光源间的色差进行评价，因为 TM-30 的试验色比 CRI 多很多，所以根据 TM-30 评价的显色性的准确性更高。

CES1	CES2	CES3	CES4	CES5	CES6	CES7	CES8
CES9	CES10	CES11	CES12	CES13	CES14	CES15	CES16
CES17	CES18	CES19	CES20	CES21	CES22	CES23	CES24
CES25	CES26	CES27	CES28	CES29	CES30	CES31	CES32
CES33	CES34	CES35	CES36	CES37	CES38	CES39	CES40
CES41	CES42	CES43	CES44	CES45	CES46	CES47	CES48
CES49	CES50	CES51	CES52	CES53	CES54	CES55	CES56
CES57	CES58	CES59	CES60	CES61	CES62	CES63	CES64
CES65	CES66	CES67	CES68	CES69	CES70	CES71	CES72
CES73	CES74	CES75	CES76	CES77	CES78	CES79	CES80
CES81	CES82	CES83	CES84	CES85	CES86	CES87	CES88
CES89	CES90	CES91	CES92	CES93	CES94	CES95	CES96
CES97	CES98	CES99					

图 8. TM-30 的试验色 (CES) 例※8

※8. 因为根据基准光源的色温不同，试验色会出现变化，所以图 8 中的试验色只是其中 1 例。

5.4. Rf、Rg 的评价流程

Ra 和 Ri 的评价流程如图 9 所示。关于更详细的内容，请参照相关标准中的内容。

发光二极管

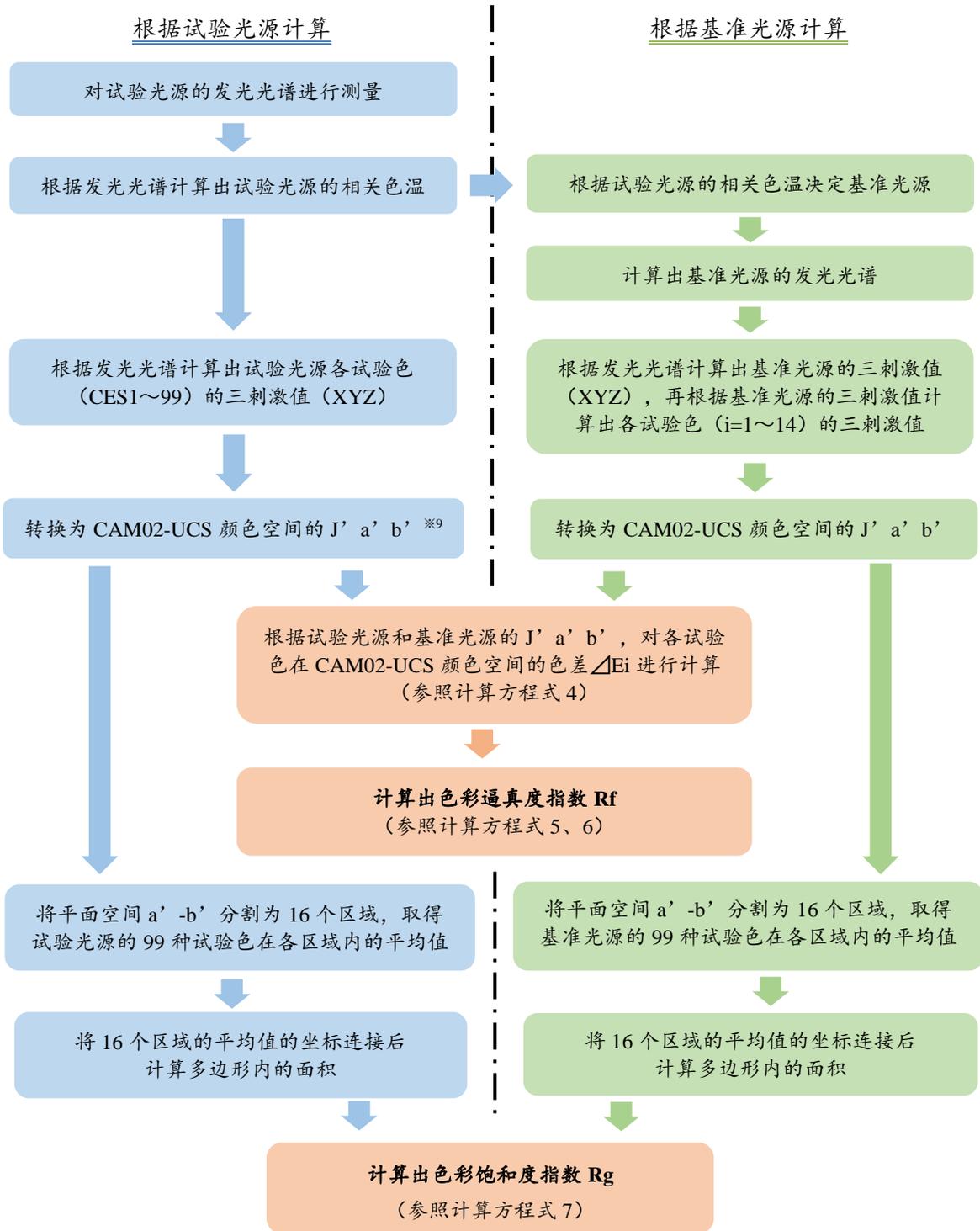


图 9. Rf、Rg 的评价流程

方程式 4: $\Delta E_{jab,i} = \sqrt{(J'_{t,i} - J'_{r,i})^2 + (a'_{t,i} - a'_{r,i})^2 + (b'_{t,i} - b'_{r,i})^2}$
 方程式 5: $Rf' = 100 - 6.73 \left(\frac{1}{99} \sum_{i=1}^{99} (\Delta E_{jab,i}) \right)$
 方程式 6: $Rf = 10 \ln (e^{Rf'/10} + 1)$
 方程式 7: $Rg = 100 \times \frac{A_t}{A_r}$

※9. CAM02-UCS 有包括色适应修正。

• 关于计算方程式的说明

方程式 4:

是计算各试验色的色差 ΔE_i 时的计算方程式。也是计算 CAM02-UCS 颜色空间上的基准光源和试验光源间的坐标距离的计算方程式。在此方程式中基准光源的试验色 i 的坐标作为 $J'_{r,i}$ 、 $a'_{r,i}$ 、 $b'_{r,i}$ ，试验光源的试验色 i 的坐标作为 $J'_{t,i}$ 、 $a'_{t,i}$ 、 $b'_{t,i}$ 。

方程式 5:

是计算色彩逼真度指数 R_f 的方程式。根据在方程式 4 中得到的各试验色的色差 ΔE_{jab} ，计算出 99 种试验色的平均值 R_f' 。

方程式 6:

因方程式 5 的计算结果也可能和 CRI 的 R_i 相同是负值，为了避免负值的出现需要使用方程式 6 将 R_f' 转变为最小值为 0 的正值，转换后的数值就是色彩逼真度指数 R_f 。

方程式 7:

是计算色彩饱和度指数 R_g 的方程式。如图 10 所示，将平面颜色空间 $a'-b'$ 等分为 16 区域，然后算出 99 种试验色在各个区域坐标的平均值，并将这些平均值的坐标连接，形成一个多边形。这个多边形的面积就代表基准光源的色域面积 A_r 或试验光源的色域面积 A_t 。然后根据相对 A_r 的 A_t 的比率就可以知道试验光源的色域面积比基准光源更广或更窄。

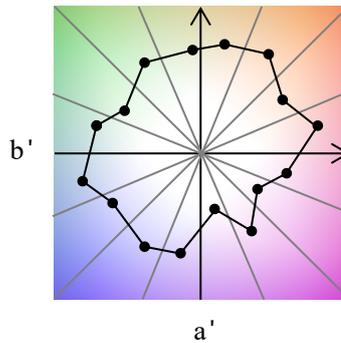


图 10. $a'-b'$ 平面空间 A_r 或 A_t 例

6. 最后

在本应用指南中，对现有照明行业中广泛使用的显色性评价方法 CRI 和新制定的显色性评价方法 TM-30 进行了介绍。两种方法都是通过试验光源相对基准光源的忠实程度进行的评价，在定量评价上是非常有效的手段，但是因为并不包括人眼实际观察时的印象、喜好等感官上的评价，所以在对显色性进行评价时，最好不仅进行 CRI 或 T-30 的定量评价，也需要对实际感官进行评价。

如本应用指南的第 3 项中记载，日亚有生产多种显色性的 LED。关于相关信息，请咨询日亚当地营业所。

免责声明

本应用指南由日亚提供，是日亚制作及管理的技术参考资料。

在使用本应用指南时，应注意以下几点。

- 本应用指南中的内容仅供参考，日亚并不对其做任何保证。
- 本应用指南中记载的信息只是例举了产品的代表性能和应用例，并不代表日亚对日亚及第三者的知识产权及其他权利进行保证，也不代表同意对知识产权授权。
- 关于本应用指南内容，虽然日亚有注意保证其正确性，但是日亚仍然不能对其完整性，正确性和有用性进行保证。
- 因本应用指南的利用、使用及下载等所受的损失，日亚不负任何责任。
- 本应用指南的内容可能被日亚修改，并且可能在变更前、后都不予通告。
- 本应用指南的信息的著作权及其他权利归日亚或许可日亚使用的权利人所有。未经日亚事先书面同意，禁止擅自转载、复制本应用指南的部分或所有内容等（包括更改本应用指南内容进行转载、复制等）。