

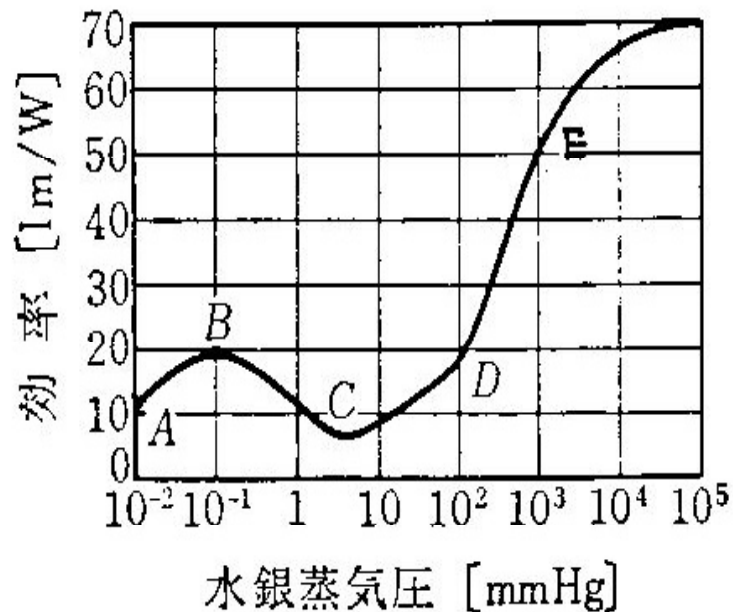
## メタルハライドランプについて その1:発光原理と発光特性

湘南の明かり人

### 1. 水銀ランプ

HIDランプの最もシンプルな高圧水銀ランプの動作領域をまず説明し、その後その改良としてのメタルハライドランプの説明をする。

#### 1.1 水銀蒸気圧と発光効率・・・ランプ内の動作水銀蒸気圧と効率の関係



- ・ A点～C点: 低圧放電ランプ領域  
A点: 蛍光ランプ・・・  $6 \times 10^{-3}$  mmHg  
B点: Cooper Hewitt Lamp・・・ 0.1 mmHg
- ・ D点～E点: 高圧放電ランプ領域  
E点: 一般高圧水銀ランプ・・・ Hg 蒸気圧1～5気圧

放電の広がり狭まり、Arc が発光管中央に集中、  
電子と原子の衝突頻度が増大し、  
気体の温度 ( $T_g$ ) と電子温度 ( $T_e$ ) ほぼ等しい

放電中温度平衡が成立(局所熱平衡が仮定できる)  
Hg の電離と励起がガス温度で決まる・・・熱力学の  
法則が適用できる

- ・ E点以上: 超高圧水銀ランプ領域・・・ Hg 蒸気圧10～200気圧  
水銀輝線発光に加え、水銀イオンと電子の再結合に伴う  
連続スペクトルが発生する

## 2. メタルハライドランプ

### 2.1 水銀ランプの改善

水銀ランプ・・・効率 約55～60 lm / W  
演色性: 14～50 (蛍光水銀ランプ)

\* 効率、演色性 とも十分でない

改善

・水銀ランプ(実用化は1930年代)にいろいろな発光物質(金属や金属ハライドなど)を入れ、効率と演色性を改善する試みが1940年頃より研究が始まった。

・この金属や金属ハライドを封入したランプ、いわゆる「メタルハライドランプ」の実用化はその後約25年後の1960年代の後半になってから始まった。

・例: R, G, B発光ランプ

TlI ランプ・・・ Green 発光(535nm)

InI ランプ・・・ Blue 発光(411nm, 451nm)

NaI ランプ・・・ Red ( Orange : 589nm・・・D線)発光

## 2.2 メタルハライドランプの封入物の構成

・ランプ発光管内には下記物質が封入されている

(1) 始動用の希ガス

Ar、Xe ……常温で約20 Torr

(2) 緩衝ガス

Ne

(3) ランプ電圧調整用ガスとしての Hg

点灯時水銀分圧 ( $P_{\text{Hg}}$ ) 1 ~ 10 気圧 (Short Arc型: 数十気圧)

(4) メタルハライド金属 (通常複数種)

(5) 電極

Wが基体物質…仕事関数を下げるため電子放射物質を含浸・塗布する

( ThO<sub>2</sub>、Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> など)

…… 金属封入物により選択

\* Ba、Sr、Ca 酸化物はハロゲンと反応し使用不可

(6) 外管内雰囲気

真空、または常温で0.5気圧程度の不活性ガス

## 2.3 ハロゲン化物を用いる理由

### (1) 金属蒸気密度の増大

一般に金属単体より、金属ハロゲン化物の方が蒸気圧が高い

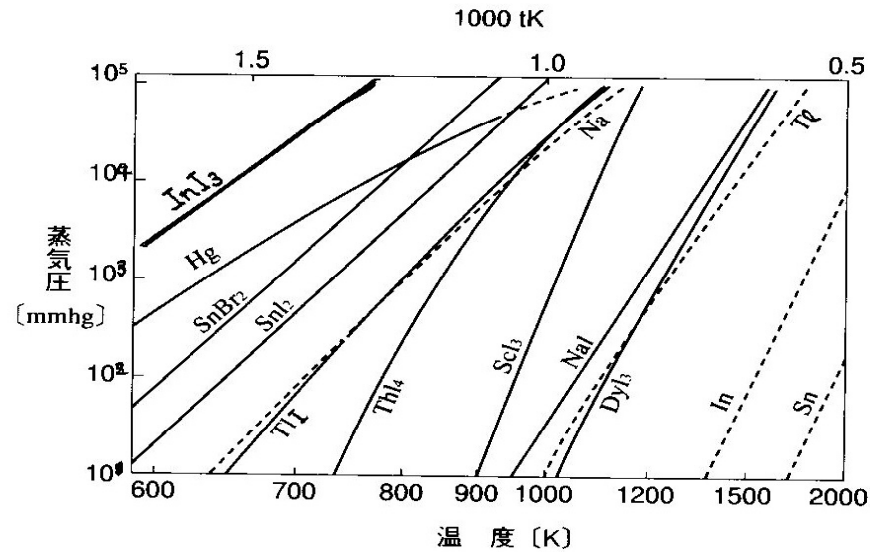


図4.7 金属ハロゲン化物の蒸気圧

金属の方がハロゲン化物より蒸気圧が高いのは水銀 (Hg) とナトリウム (Na) くらいで多くは、ハロゲン化物の方が高蒸気圧である。

### (2) 金属蒸気による石英ガラスの浸食防止

アルカリ金属などは、単体では高温の石英と反応しやすい。  
ハロゲン化物にすることにより浸食反応を抑制する。

## 2.4 ハロゲン化合物の条件

- (1) 発光管の完壁温度 650 ~ 850 (石英発光管) で安定で、  
950 ~ 1050 (Ceramic 発光管)

かつ、この温度で発光するに十分な蒸気圧を有する

| ……10 Pa ( $7.5 \times 10^{-2}$  Torr) 以上

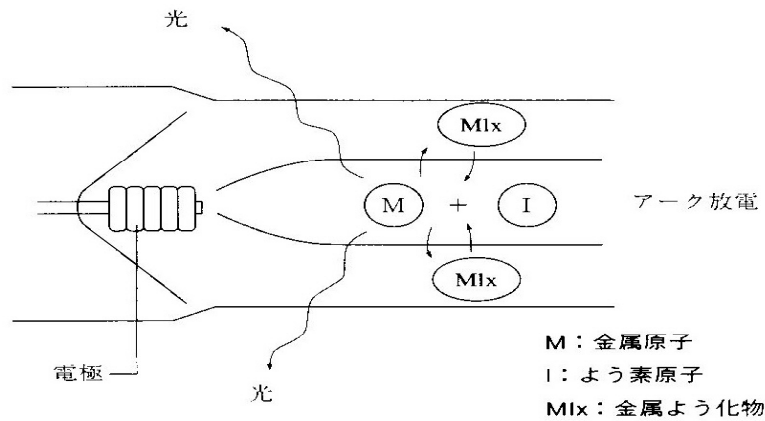
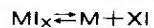


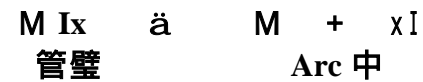
図4.8 メタルハライドランプ発光原理



発光管の中で、温度の低い管壁付近では、金属化合物 ( $MI_x$ ) が安定であるが、6,000 K の高温アーク放電中では、金属 (M) と元素 (I) に分解してしまう。金属の一部は+1イオンになっており、この金属やイオンが発光する。

中間的な部分では、分子 (MI) の発光が起るものもある。

一般にランプ電圧は水銀量で調整される。



- 金属ハロゲン化合物は、Hg より蒸気圧が低いが励起されやすく、発光しやすいため、水銀発光よりも添加金属の発光の方が強くなる。
- 水銀は主に放電空間の電圧を決める緩衝ガスの役割をになう。

(2) 金属は強い原子スペクトルを発光すること

例: Na, Tl, In など

あるいは、金属ハロゲン化物自身が分子発光すること

例: Sn, Dy, Tm などのハロゲン化物

(3) ランプ特性向上作用      アーク安定作用を示す

封入によりアーク安定に寄与する……例: Csのハロゲン化物

(4) ランプ特性向上作用      複合化合物を作り蒸気圧を高める

例: Cs, Al, Sn のハロゲン化物

#### \* 複合ハロゲン化物の蒸気圧



$$F = \frac{P_{ABX_m Y_n}}{P_{AX_m}} = P_{BY_n} \cdot \exp \left( - \frac{G}{RT} \right)$$

ここに A, B: 金属、 $X_m, Y_n$ : ハロゲン、 $P_{AX_m}$ 、 $P_{BY_n}$ 、 $P_{ABX_m Y_n}$ : 各々の分圧  
G: 生成の自由エネルギー、R: ガス定数

$A X_m$  の蒸気圧の増加割合Fを高めるには、  
・ Gはマイナスで絶対値が大きいこと  
    ……複合ハロゲン化物が安定であること  
・  $P_{BY_n}$  が高いこと  
    Sn、Alのハライドは蒸気圧が高く、発光が強いので  
     $B Y_n$  に使用される

例: ・ NaI・ScI<sub>3</sub> のPは、NaIの50倍、ScI<sub>3</sub>の10倍になる  
    ・その他 LiI・ScI<sub>3</sub>、CsI・ScI<sub>3</sub>、NaI・SnI、NaI・PbI<sub>2</sub> など  
    ・ SnBr の添加で NaI のD線が強くなる

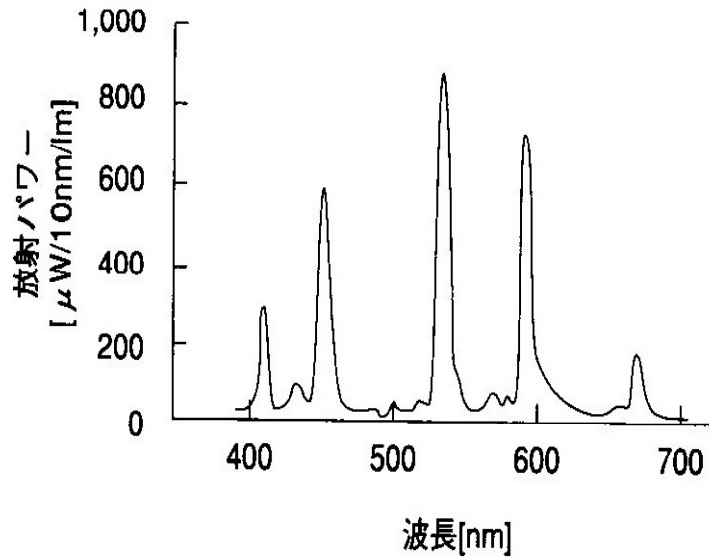
## 2.5 添加金属と発光スペクトル

一般照明用に用いられる代表的な金属ハロゲン化物の組み合わせを下記に示す。

### (1) NaI - TlI - InI<sub>3</sub> 系

単純線スペクトルの組み合わせ

Na : 589nm、Tl : 535nm、In : 411と451nm 利用

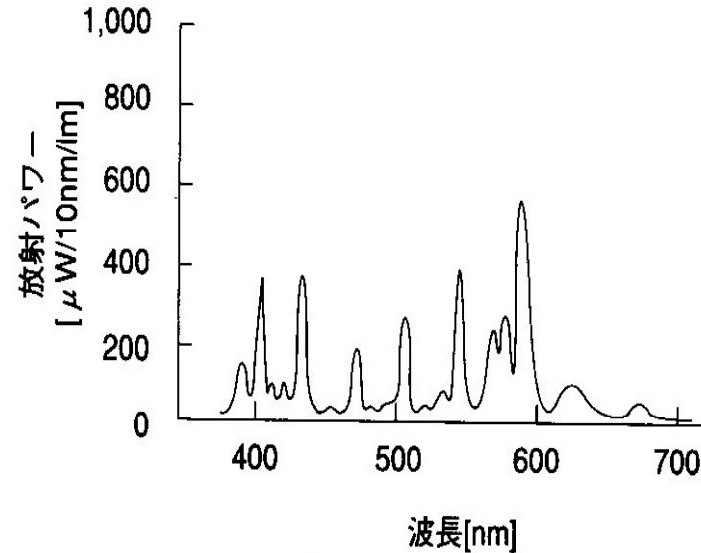


a) TI-Na-In-I

### (2) ScI<sub>3</sub> - NaI 系

Na に Sc の多数の線スペクトルを組み合わせ

効率、演色性ともよく一般照明の主流



b) Sc-Na-I

\* 自動車用メタルハライドランプは上記(2)の ScI<sub>3</sub> - NaI 系の添加物が主に使用されており、色温度など特性変更のため各社独自の他の金属ハロゲン化物を更に添加しているのが一般的である。