

光反応器内の光強度分布 (第2報)

船山 斉・荻原宏二郎・菅原拓男*・大橋弘保**

Light Intensity Distributions in Photoreactors (2nd Report)

Hitoshi FUNAYAMA・Kojiro OGIWARA・Takuo SUGAWARA*
Hiroyasu OHASHI**

(昭和51年10月31日受理)

1. 緒 言

光反応は、工業的合成手段のみならず光殺菌や排水処理などにみられるように環境保全を目的としても広く利用されるようになってきた。

一方、光反応器を設計する場合は、反応の動力学や反応物・生成物の拡散あるいは流速分布などの影響に関する情報¹⁾とともに光強度分布や光源の配光特性を考慮する必要があると考えられる。光源の配光特性に関しては、照明工学の分野で詳しい論議がなされている²⁾が、しかし、光エネルギーの有効利用という観点からすると光源からの距離が近い領域での配光特性や出力波長分布の影響などに関する検討が未だ不十分であると考えられる。

そこで、本報では、先に報告した解析方法³⁾の有効性を確認するため拡散性の配光特性を有している⁴⁾と考えられている各種光源の配光特性を指向性の鋭い光強度検出器を用いて測定し、実験的検討を加えたので報告する。

2. 光強度検出器による配光特性の測定

2.1 光強度検出器

用いた受光器⁵⁾の詳細を図1に示す。本研究では、受光器本体にCdSセルを用いこれを硬質塩化ビニールのブロック内に埋め込み、この上部に直径1mm長さ6mmの小さな穴、さらにその上方に外径2mm長さ20mmのステンレス管を挿入したものをを用いた。ステンレス管内側にはカーボンブラックを塗布してある。先に報告した方法³⁾により受光器の感度特性を求めたところ、光源の出力波長分布によらず次の関係式(1)を得た。

$$I/I_0 = (i/i_0)^{0.891} \quad (1)$$

* 秋田大学鉱山学部燃料化学科助教授

** 秋田大学鉱山学部燃料化学科教授

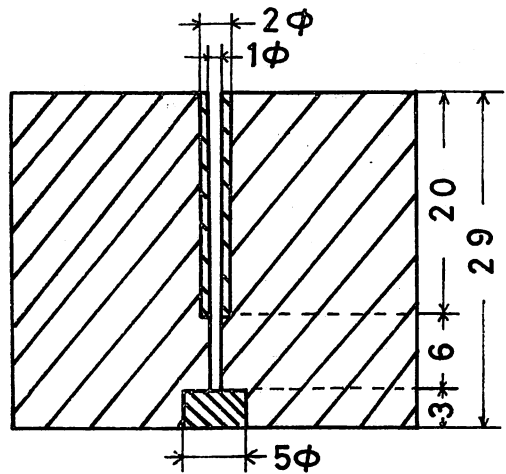


図1 光強度検出器の詳細図

また、同様に³⁾角度特性 $\varphi(\beta)$ は(2)式で表わされた。

$$\varphi(\beta) = \begin{cases} 1.0 & (|\beta| \leq 0.018) \\ 1.27 - 22.9\beta & (0.018 < |\beta| < 0.054) \\ 0.0 & (|\beta| \geq 0.054) \end{cases} \quad (2)$$

2.2 実験装置および方法

実験装置を図2に示す。用いた光源は蛍光灯(東芝FL40SD)、ケミカルランプ(東芝FL40BL)である。実験方法としては、受光器本体が光源の鉛直下方になるように受光部を設置し、これを光源の軸方向と受光器とのつくる平面(図2中のx-z平面)内で回転させ、回転角 θ と光電流*i*を測定しこれから(1)式を用いて相対光強度を求めた。

2.3 解析方法

図3に示すように座標軸をとり、受光器表面上の点Pの座標を($x_P, 0, z_P$)とする。いま、受光器の角度特性 $\varphi(\beta)$ および光源の軸方向の光強度分布 $\phi(x)$ を考慮に入れると、光源を拡散性線光源(線光源拡散光)として

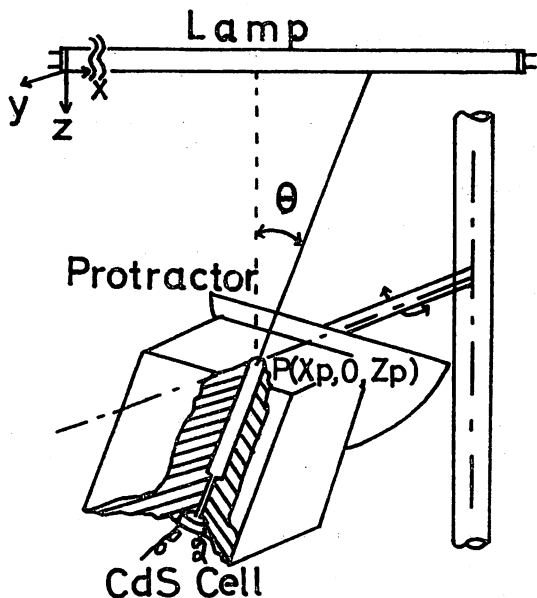


図2 光強度測定装置

扱った場合には(3)式, 透明性線光源(線光源集中光)と扱った場合には(4)式が得られた。

$$I_{LD}(\theta) \propto \int_{x_1}^{x_2} \frac{\cos^2 \beta'}{PX'^2} \varphi(\beta') \phi(X') dx' \quad (3)$$

$$I_{LS}(\theta) \propto \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{PX'^2} \varphi(\beta') \phi(X') dx' \quad (4)$$

ここで

$$X_1 = \begin{cases} X_{\beta \min} & (0 \leq X_{\beta \min}) \\ 0 & (X_{\beta \min} < 0) \end{cases}$$

$$X_2 = \begin{cases} X_{\beta \max} & (X_{\beta \max} \leq 1) \\ 1 & (1 < X_{\beta \max}) \end{cases}$$

ただし, $X_x > X_p$ の時, $X_{\beta \min}$, $X_{\beta \max}$ は次のようになる。

$$X_{\beta \min} = X_p + Z_p \tan(\theta - 0.054)$$

$$X_{\beta \max} = X_p + Z_p \tan(\theta + 0.054)$$

2. 4 実験結果および考察

実験結果の一例を図4・図5に示す。図4・5は、横軸に受光器の回転角 θ 、縦軸にその位置の光強度 I を $\theta=0$ の時の光強度 I_0 で割った値、相対光強度 I/I_0 をとっており、これらの関係を受光器の位置 X_p , Z_p をパラメータとして示したものである。○印が蛍光灯(管径32.8 mm), △印がケミカルランプ(管径38.6mm)の実測値である。また、実線が光源を拡散性光源とした場合の理論曲線であり、破線が透明性光源とした場合の理論曲線である。図4より、光源からの距離が46cm程度の場合実測値は蛍光灯およびケミカルランプともに拡散性線光源

昭和52年2月

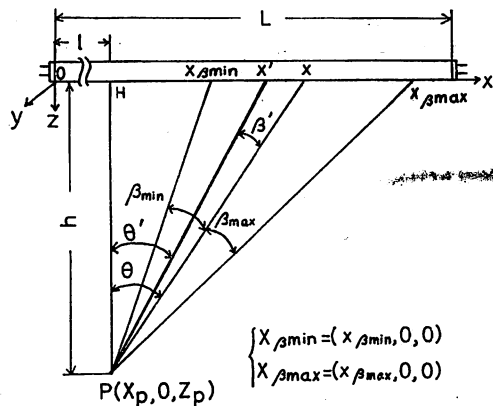


図3 解析方法

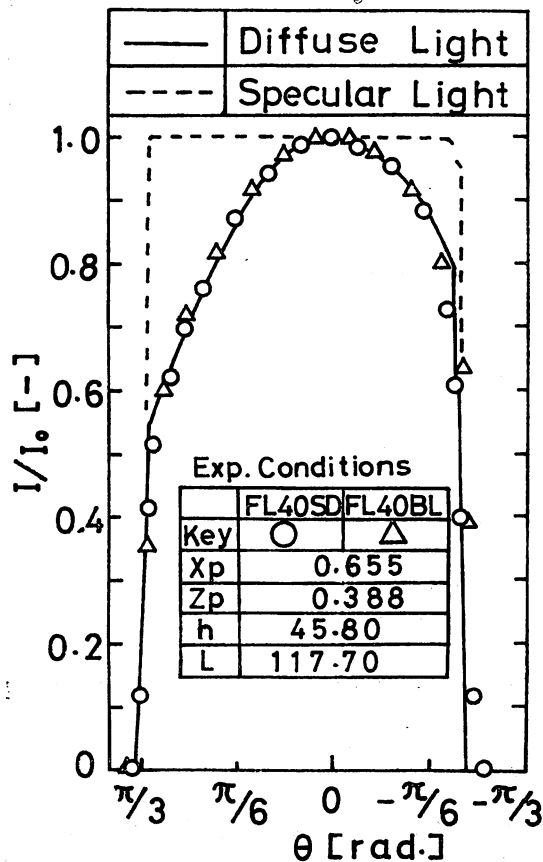


図4 光強度検出器による実験結果および解析結果
($X_p=0.655$, $Z_p=0.388$)

の理論曲線とよく一致し本解析方法が妥当であることがわかる。一方、図5に示すように光源からの距離が9cm程度の場合には拡散性および透明性光源いずれの理論曲線からもずれてきており、線光源とみなせなくなること

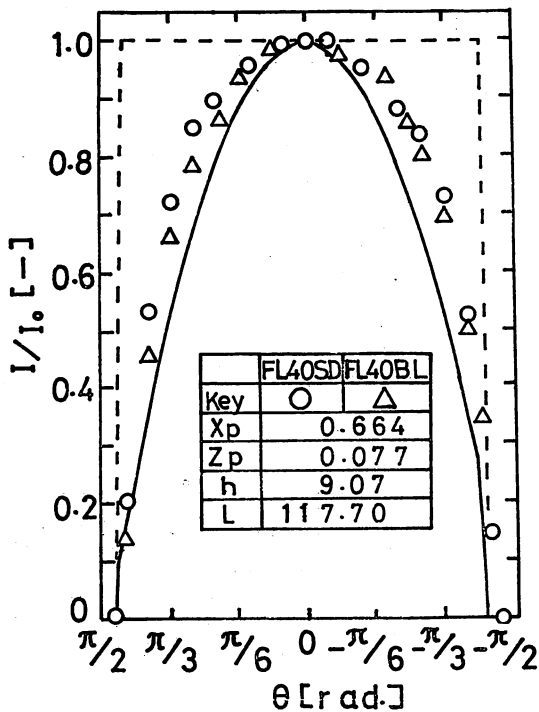


図5 光強度検出器による実験結果および解析結果
(X_p=0.664, Z_p=0.077)

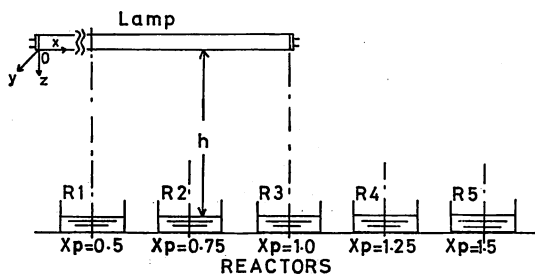
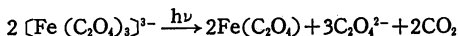


図6 光源と反応器との幾何学的配置

がわかる。この点に関しては、別の機会に報告する予定である。

3. 化学光量計による配光特性の測定

シュウ酸鉄(Ⅲ)カリウム溶液の光還元反応は広く化学光量計として用いられており、つぎのような反応式で表わされ、



反応速度は反応液に吸収された光量に比例することが知られている。

3.1 実験装置および方法

実験装置の幾何学的配置を図6に示す。用いた光源は

蛍光灯およびケミカルランプである。反応器は縦50mm, 横100mm, 高さ20mmの硬質塩化ビニール製の上部開放型反応器である。また反応器上部にはシャッターが設置されている。実験方法としては、シュウ酸鉄(Ⅲ)カリウム水溶液(初濃度 2.0×10^{-5} mol/cm³, pH=1.0)を50ml 反応器にとりそれぞれ定められた位置に設置する。その後シャッターを取り去り一定時間光を照射し反応によって生成した2価の鉄イオンをParkerの方法⁶⁾によって定量した。

3.2 解析方法

図6より, z方向の光強度の変化を無視できると仮定すると, 反応器内の平均光強度は光源を拡散性線光源として扱った場合には(6)式, 透明性線光源とした場合には(6)式で表わされる。

$$\tilde{I}_{LD} \propto 2 \int_Y \int_X I_{LD} dx dy \quad (5)$$

$$\tilde{I}_{LS} \propto 2 \int_Y \int_X I_{LS} dx dy \quad (6)$$

ただし, R1について考えると積分範囲はそれぞれ次のようになる。

$$0.458 < X < 0.542, \quad 0 < Y < 0.021$$

なお, 実際の解析にあたっては反応器壁による影の補正をした。すなわち, 図7に示すように液表面上の座標

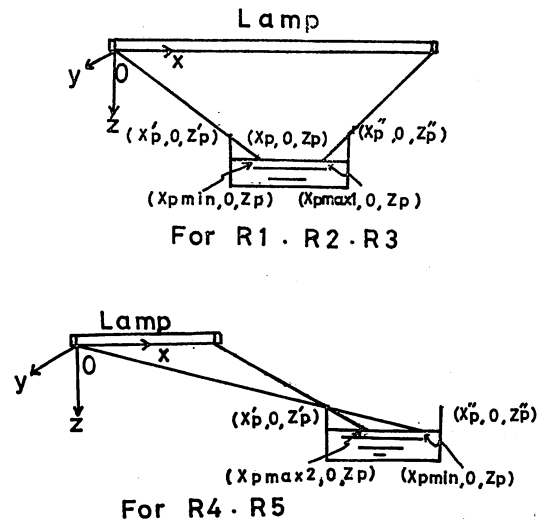


図7 影の補正のための概略図

を(X_p, 0, Z_p), 反応器左上端および右上端の座標をそれぞれ(X_{p'}, 0, Z_{p'}), (X_{p''}, 0, Z_{p''})とおくと積分範囲は次のように表わされる。

R1, R2について

$$X_{p'} < X_p < X_{pmin}$$

$$X_{p'} < X < 1$$

$$X_{pmin} < X_p < X_{max1}$$

$$0 < X < 1$$

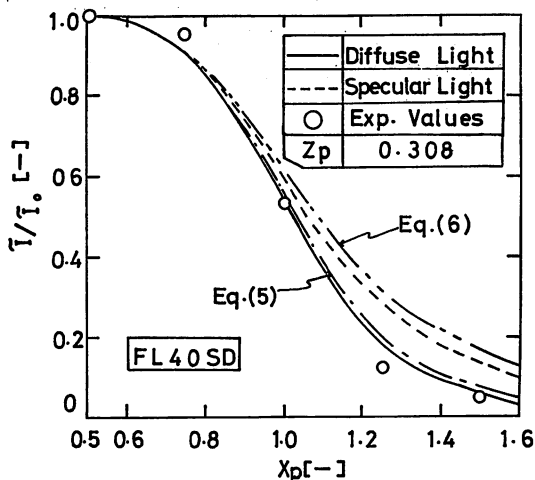


図8 化学光量計による実験結果 (FL40SD) および解析結果

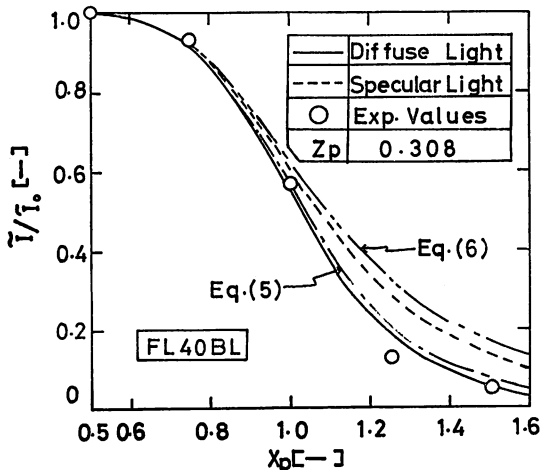


図9 化学光量計による実験結果 (FL40BL) および解析結果

$$\begin{aligned}
 & X_{\max} 1 < X_P < X_{P''} && 0 < X < X_{X''} \\
 \text{R 3 について} & & & & \\
 & X_{P'} < X_P < X_{P_{\min}} & & X_{X'} < X < 1 \\
 & X_{\min} < X_P < X_{P''} & & 0 < X < 1 \\
 \text{R 4, R 5 について} & & & & \\
 & X_{P'} < X_P < X_{P_{\max} 2} & & X = 0 \\
 & X_{P_{\max} 2} < X_P < X_{P_{\min}} & & X_{X'} < X < 1 \\
 & X_{P_{\min}} < X_P < X_{P''} & & 0 < X < 1
 \end{aligned}$$

ただし

$$\begin{aligned}
 X_{P_{\min}} &= Z_P \cdot X_{P'} / Z_{P'} \\
 X_{P_{\max} 1} &= X_{P''} - (1.0 - X_{P''}) (Z_P - Z_{P'}) / Z_{P'} \\
 X_{P_{\max} 2} &= X_{P'} - (1.0 - X_{P'}) (Z_P - Z_{P'}) / Z_{P'} \\
 X_{X'} &= X_P - (X_P - X_{P'}) \cdot Z_P / (Z_P - Z_{P'}) \\
 X_X &= X_P - (X_P - X_{P''}) \cdot Z_P / (Z_P - Z_{P''})
 \end{aligned}$$

3.3 実験結果および考察

実験結果および解析結果を図8, 図9に示す。図中、実線は影の補正をした時の拡散性線光源の計算結果であり、破線は同じ補正をした透明性線光源の計算結果である。参考までに(5), (6)式より得られた計算結果も一点鎖線および二点鎖線で図中に示してある。縦軸には $X_P = 0.5$ の位置に設置した反応器の平均光強度を基準とした相対光強度 \tilde{I}/\tilde{I}_0 を、横軸には光源の軸方向距離 X_P をとってある。図8・9より、光源に蛍光灯およびケミカルランプを用いた時の実験結果はともに影の補正をした拡散性線光源の計算結果とほぼ一致しており、本実験条件下では蛍光灯・ケミカルランプともに拡散性の配光特性を有していることがわかる。

4. 結 言

指向性の鋭い光強度検出器を用い、拡散性の配光特性を有していると考えられている各種光源の配光特性を実験的に明らかにし、先に報告した解析方法の有効性を検討した。その結果、次の知見を得た。

- (1) 蛍光灯・ケミカルランプともに拡散性の配光特性を有していること。
- (2) 光源からの距離が46cm以上の領域に関しては、本解析方法が有効であること。

なお、光源からの距離が近い領域に関しては別の機会に報告する予定である。

使用記号

- h ; 光源からの鉛直方向距離 [cm]
- I_0 ; 基準に選んだ点での光強度 [Eins/cm²·sec]
- \tilde{I}_0 ; 基準に選んだ面での反応器内平均光強度 [Eins/cm²·sec]
- i_0 ; 基準に選んだ点での光電流 [nA]
- L ; ランプの長さ [cm]
- l ; 光源の左端からの軸方向距離 [cm]
- X_P ; l/L [-]
- Z_P ; h/L [-]
- β' ; $\angle XPX'$ (図3参照) [rad.]
- θ ; $\angle HPX$ (図3参照) [rad.]

参 考 文 献

- 1) 菅原, 大森, 大橋: 化学工学論文集, 2, 304 (1976).
- 2) 尾本, 本城: 「照明・電熱」, 共立 (1968).
- 4) 船山, 荻原, 菅原, 大橋: 光反応器内の光強度分

- 布 (第1報) — 光強度検出器の感度特性および角度特性一, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 11, 44 (1976).
- 4) 明島, 白井: 化学工学, 37, 1026 (1973).
- 5) 船山, 荻原, 菅原, 大橋: 二, 三の光源から発せられる光強度の角度分布, 化学系学協会連合東北地方大会要旨集 1 D14 (1973).
- 6) C.G.Hatchard, C.A.Parker; Proc. Roy. Soc., A235, 518.