「カライドスコープ」の光学的特性の検討

Theoretical Analysis of Beam Flatening Technique, "Kaleidoscope"

岩 崎 賢 二¹, 佐 藤 昌 孝², 清 水 進³
Kenji Iwasaki¹, Masataka Sato², Susumu Shimizu³

株式会社 東芝 医用機器事業部¹ 東芝メディカル株式会社²
東芝メディカルエンジニアリング株式会社³

A laser beam cross section is normally circular and has a Gaussian's intensity distribution. This nature often makes it unsuitable for treatment of hyperpigmented skin lesions. A square shaped uniform intensity distribution is required over the treated area. To overcome this problem, we have developed "Kaleidoscope" to get a square uniform distribution using a quartz square pillar.

This paper describes a theoretical analysis and practical results.

1. はじめに

レーザの出力を平坦化する技術を開発し、これを使ったハンドピースに、「カライドスコープ^R」と名付け、皮膚表在性疾患治療用のルビーレーザ装置とアルゴンレーザ装置とを完成させたが、この「カライドスコープ」の光学的特性につき報告する。

2. 「カライドスコープ」の解析

「カライドスコープ」は、ガラスまたは石英の角柱にレーザ光を導入し、側面内壁で全反射を繰り返させ、出力端において均一な出力を得るもの

である。

「カライドスコープ」の解析に当っては、まず二枚の平行平板間を光が反射しながら伝播していく形を考え、これにガウス分布状の光束が入射したときの状態を導入し、次いで、四角柱としての実際の形を設定して出力端における光の分布を解いた。

図1の如く、二枚の平行平板の間隔を a 、その長さを B とし、出力端において中心軸に垂直な方向に Y 軸をとり、図中左端の入力端中心軸上に点光源がある場合について考えると、平行平板がな

図1. 「カライドスコープ」の原理

ければY点に来る光は、平行平板があると反射を繰り返してy点になる。

Yとyは一対一に対応し、

$$y = (-1)^n \left\{ \text{Res} \left(Y - \frac{a}{2} \right) / \text{mod. } d + \frac{a}{2} \right\}$$

となる。X軸方向にも同様の式が得られる。

また、光束密度 $I \{ x, y \}$ がガウス分布をしているとすると、

$$I \{ x, y \} = W_0 \exp - \frac{x^2 + y^2}{s^2}$$

ここで、sはビームの直径である。

以上の関係から、XY平面上での光束密度 $\sigma_{X,Y}$ は次の如くなる。ここで、fはレンズ焦点距離である。

$$\sigma_{X,Y} = \frac{f^2}{B^2} W_0 \exp \left\{ - \frac{f^2 (X^2 + Y^2)}{S^2 B^2} \right\}$$

カライドスコープ出力端面上における光束密度 $\sigma_{x,y}$ は次式で表わされる。ここでKは反射係数m, nはそれぞれx軸方向, y軸方向の反射回数である。

$$\begin{aligned} \sigma_{xy} = & \frac{f^2}{B^2} W_0 \exp \left\{ - \frac{f^2 (x^2 + y^2)}{S^2 B^2} \right\} \\ & + \frac{f^2}{B^2} W_0 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ K^n \exp \left\{ - \frac{f^2 (mb + (-1)^n x)^2}{S^2 B^2} \right\} + K^n \exp \left\{ - \frac{f^2 (-mb + (-1)^n x)^2}{S^2 B^2} \right\} \right\} \\ & + \frac{f^2}{B^2} W_0 \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ K^m \exp \left\{ - \frac{f^2 (x^2 + (na + (-1)^m y)^2)}{S^2 B^2} \right\} + K^m \exp \left\{ - \frac{f^2 (x^2 + (-na + (-1)^m y)^2)}{S^2 B^2} \right\} \right\} \\ & + \frac{f^2}{B^2} W_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ K^{m+n} \exp \left\{ - \frac{f^2 (mb + (-1)^n x)^2 + (na + (-1)^m y)^2}{S^2 B^2} \right\} \right. \\ & \quad + K^{m+n} \exp \left\{ - \frac{f^2 (-mb + (-1)^n x)^2 + (na + (-1)^m y)^2}{S^2 B^2} \right\} \\ & \quad + K^{m+n} \exp \left\{ - \frac{f^2 (-mb + (-1)^n x)^2 + (-na + (-1)^m y)^2}{S^2 B^2} \right\} \\ & \quad \left. + K^{m+n} \exp \left\{ - \frac{f^2 (mb + (-1)^n x)^2 + (-na + (-1)^m y)^2}{S^2 B^2} \right\} \right\} \end{aligned}$$

この式に $a = b = 10 \text{ mm}$, $B = 100 \text{ mm}$, $f = 10 \text{ mm}$, $S = 2.5 \text{ mm}$ を代入して、Kを変数としてカライドスコープの光透過率および、出力面での出力の変動を求めると図2, 図3の如くなる。

これは、金属中空角柱内の光の伝播であるが、損失をなくすために、石英や光学ガラスの如き、誘電体を使用したときは、光の伝播は、全反射角内のものに限られる。この制約を加え、光透過率と、出力の変動を示すと、図3, 図4の如くなる。図4において、 $S = 7.5 \text{ mm}$, $f = 8.94 \text{ mm}$, $B = 60 \text{ mm}$, その他は図2と同一である。

図2. 「カライドスコープ」の長さとお透過率との関係

図3. 「カライドスコープ」の長さとお様率との関係

図4. 全反射方式の光出力強度分布

最大値を0で表わし、 -0.1 dB (約2%)ごとに1, 2で示してある。したがって最大約8%の変動ということになる。

実際には $B = 100 \text{ mm}$ のものを使っており、このときは -0.15 dB (3%)となる。実測値では12%が得られており、これは寸法精度その他に起因する誤差と考える。

3. むすび

四角で平坦なレーザ出力を得るための「カライドスコープ」は皮膚表在性疾患の治療に有用である。本方式は正方形に限らず、長方形のものも可能である。