

共焦点ミラーを用いたトムソン散乱計測

東大理、東大新領域^A

平塚 淳一、山口 隆史^A、高瀬 雄一^A、江尻 晶^A

トムソン散乱計測において、Multi-path の方法を用いた実験が行われてきた。Multi-path を用いることでレーザーの往復による S/N 増加のほか、前方散乱・後方散乱の同時計測を行うことが可能になる。

Multi-path にはポッケルスセルを用いた同軸閉じ込めや平行平板ミラーによる往復といったいくつかの実現方法が考えられるが、今回は比較的単純で往復回数が大きく見込める 2 枚の球面ミラーを用いた共焦点のシステムを使うことで Multi-path を実現することを考える。

Multi-path トムソンではレーザーの光路および、往復回数を増やす光学系の設計が必要になる。共焦点においては、初めは往復するごとにレーザーがミラー中心に近づいていくものの、その後ミラーの収差によって次第にミラーからはずれていく。

共焦点の光学系には (1) 入射角 ϕ (2) 入射位置 z (3) (4) 2 ミラーの焦点距離 f_1, f_2 (5) ミラー間距離 L という 5 つのパラメータが存在する (以下 $f_1 > f_2$ とする)。ミラーの収差を考慮した解析により、レーザーが $n-1$ 往復 ($2n-1$ 回ミラー間を通過) した後にミラーに入射する角度と位置は下式 ϕ_{2n-1}, z_{2n-1} で、 n が十分大きい場合の往復回数は下式 n_{\max} で近似できる。これらの式を用いるとミラー径の上限が与えられた場合、ミラー間距離の最低値が与えられた場合などの、実際の装置による制限に対する往復回数の最適化の指針を与えることができる。

$$\phi_{2n-1} = (-1)^n P_{2n-1}(x) z^3 + (-1)^{n-1} x^{1-n} \phi \quad x = \frac{f_2}{f_1} \quad \hat{z}_{2n-1} = \frac{z_{2n-1}}{2f_1} \quad z = \frac{z_1}{2f_1}$$

$$\hat{z}_{2n-1} = (-x)^{n-1} z + \frac{1}{2} (-1)^n P_{2n-1}(x) z^3 + \frac{1}{2} (-1)^n (x^{n-1} - x^{1-n}) \phi$$

$$P_{2n-1}(x) = \left(\sum_{i=0}^{4n-7} x^{1-n+i} \right) - \left(\sum_{i=0}^{n-3} x^{4-n+4i} \right) - \left(\sum_{i=0}^{n-3} x^{3-n+4i} \right) \quad n_{\max} = 2 + \frac{\log(8f_1^2/z_1^2)}{\log(f_1/f_2)}$$

またミラーの焦点距離の非一様性、アライメントの精度の影響も問題になる。具体的なパラメータ ($f_1 = 768, f_2 = 508$ [mm], $\phi = 0, z = 35$ [mm], ミラー径 $D1, D2 = 76.2, 50.8$ [mm]) を与えたときのレーザーの軌跡を図 1 に、そのときのアライメントの精度 (入射角とミラー間距離) の影響を図 2・図 3 に示す。図 2 は往復回数の ϕ, L 依存性を表す等高線で、線は往復回数 2.5 回ごと、赤線は 10 回・20 回の往復回数の等高線を示している。また図 3 として図 2 についてのより広い範囲 ($\phi: -20 \sim 20$ [mrad], $L: 1220 \sim 1320$ [mm]) での 3D プロットを示した。

図 1: レーザーのミラー入射

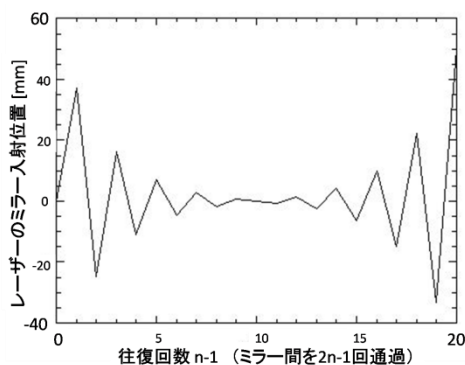


図 2, 3: 往復回数のパラメータ依存性

