

## 定常レーザー場を用いた多準位系分布動力学の制御

(慶大理工) 玉木麻耶, 菅原道彦, 藪下聡

### 【序】

レーザー技術の発展とともに、量子制御のためのレーザー場設計が注目を集めている。本研究では、型3準位系における光学遷移をドレスト描像を用いて解析し、目的の量子状態を得るためのレーザー場の理論設計を行った。さらに擬Kobrac-Rice型5準位系<sup>1</sup>の分布挙動を解析し、前述の制御法による分布制御を試みた。

### 【理論】

#### << 型3準位系の分布制御 >>

図1に示す型3準位系において、量子状態の分布制御を目的としたレーザー場の設計を行った。 $|1\rangle, |3\rangle$ は電子基底状態の準位、 $|2\rangle$ は電子励起状態の準位を表し緩和が存在するものとする。この系では、 $|1\rangle$ と $|2\rangle$ の間、 $|2\rangle$ と $|3\rangle$ の間の光学遷移が許されているが、 $|1\rangle$ と $|3\rangle$ の間での遷移は禁制である。また2種類のレーザー

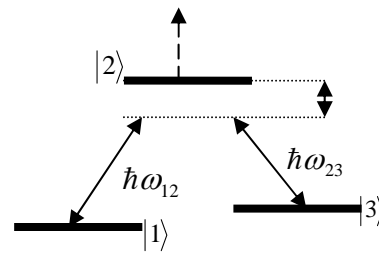


図1 型3準位系

場と系の相互作用強度を  $\Omega$  とし、共鳴からのずれ  $\delta$  が共に等しくなるように、角振動数  $\omega_{12}, \omega_{23}$  は調節されているものとする。以上の条件下で、初期準位 $|1\rangle$ から標的準位 $|3\rangle$ へ短時間高収率で移行させる矩形型レーザー場を設計した。

準位分布の時間依存性を調べるために、ドレスト描像を用いてハミルトニアンをレーザー場の時間変化に依存しない形に書き換え、シュレディンガー方程式の解析解を求めた。時刻  $t$  における各準位 $|i\rangle$ の存在確率  $P_i(t)$  は次式に示すように3種類の振動項と1種類の非振動項の和で表されることがわかった。

$$P_i(t) = I_i(t) + A_i(t) \sin\{at + \delta_a\} + B_i(t) \sin\{bt + \delta_b\} + C_i(t) \sin\{ct + \delta_c\} \quad \dots (1)$$

$$i = 1, 2, 3 \quad a > b > c > 0$$

(1)式の振動項に着目して  $\Omega$  を用いた制御方法を2種類開発した。2つの振動項  $A_i(t) \sin\{at + \delta_a\}$  と  $C_i(t) \sin\{ct + \delta_c\}$  の位相が合致するように  $\Omega$  を調節することで大きな確率の変動を作り出し、分布が最大になるところでレーザー照射を止めて高収率を狙う手法をType Aとした。また緩和によって振幅  $A_i(t), B_i(t), C_i(t)$  は減衰するが、 $\Omega$  を十分大きくすると  $C_i(t)$  の減衰のみが抑えられる事を利用して、確率  $P_3(t)$  を単一の振動項  $C_3(t) \sin\{ct + \delta_c\}$  だけにし、この振動のみで標的準位 $|3\rangle$ の分布動力学が表現できるようにする手法をType Bとした。

<sup>1</sup> K. Bergmann, H. Theuer, and B. W. Shore, Rev. Mod. Phys. **70**, 1003 (1998)

本研究は、文部科学省特定領域研究「強レーザー光子場における分子制御」の助成によって実施された。謝意を表す。

<<擬 Kobrak-Rice 型 5 準位系の分布挙動の解析>>

強光子場での擬 Kobrak-Rice 型 5 準位系(図 2)の分布動力学解析を行った。図 2 で  $|1\rangle$  は電子基底状態,  $|2\rangle, |3\rangle, |4\rangle, |5\rangle$  は電子励起状態を表し,  $|1\rangle$   $|2\rangle$  間,  $|2\rangle$   $|3\rangle$  間,  $|2\rangle$   $|4\rangle$  間,  $|3\rangle$   $|5\rangle$  間,  $|4\rangle$   $|5\rangle$  間の光学遷移が許容である。変数  $\Omega_{ij}$  は,  $|i\rangle$   $|j\rangle$  間の遷移を可能にするレーザー場と系との相互作用強度を示している。この系を見かけ上  $|1\rangle$   $|5\rangle$   $|3\rangle$  の 型 3 準位系と  $|2\rangle$   $|4\rangle$  の 2 準位系に分離し, 取り出した擬似型 3 準位系に先に述べた 型 3 準位系の制御方法を施す。 $|1\rangle$   $|5\rangle$   $|3\rangle$  と  $|2\rangle$   $|4\rangle$  に完全に分離されている系を理想状態とし, 図 2 の系が理想状態に近似されるように相互作用強度  $\Omega_{ij}$  の調節をおこなった。

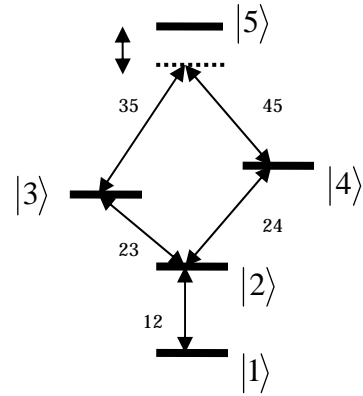


図 2 擬 Kobrak-Rice 型 5 準位系

擬 Kobrak-Rice 型 5 準位系のハミルトニアン行列を(2)に示した。ただし基底の順番は  $|1\rangle, |5\rangle, |3\rangle, |2\rangle, |4\rangle$  である。

理想状態の分布挙動を示す行列  $\tilde{\mathbf{A}}$  がハミルトニアン行列の固有ベクトルであれば, ユニタリ変換  $\tilde{\mathbf{E}} = \tilde{\mathbf{A}}^\dagger \cdot \mathbf{H} \cdot \tilde{\mathbf{A}}$  は固有値を要素とした対角行列になる。このことを利用して,  $\tilde{\mathbf{E}} = \tilde{\mathbf{A}}^\dagger \cdot \mathbf{H} \cdot \tilde{\mathbf{A}}$  が近似的に対角行列になる条件を求めた。

$$\mathbf{H} = \begin{matrix} |1\rangle \\ |5\rangle \\ |3\rangle \\ |2\rangle \\ |4\rangle \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \Omega_{12} & 0 \\ 0 & 0 & \Omega_{35} & 0 & \Omega_{45} \\ 0 & \Omega_{35} & 0 & \Omega_{23} & 0 \\ \Omega_{12} & 0 & \Omega_{23} & 0 & \Omega_{24} \\ 0 & \Omega_{45} & 0 & \Omega_{24} & 0 \end{pmatrix} \quad \tilde{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ -1/\sqrt{2} & 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 0 & 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{pmatrix} \quad (2) \quad (3)$$

摂動論を用いた議論より次の条件が求められた。

$$\Omega_{12} = \Omega_{23}, \Omega_{45} = \sqrt{2}\Omega_{12}, |\Omega_{35}| \ll 1, |2\Omega_{12} / (\Omega_{35} - \sqrt{2}\Omega_{24})| \ll 1 \quad (4)$$

【計算結果】

条件(4)に基づき以下の数値を用い, 初期準位を  $|1\rangle$  として数値実験をおこなった。

$$\Omega_{12} = \Omega_{23} = 1, \Omega_{45} = 1.14, \Omega_{35} = 0.02, \Omega_{24} = 114 \quad (5)$$

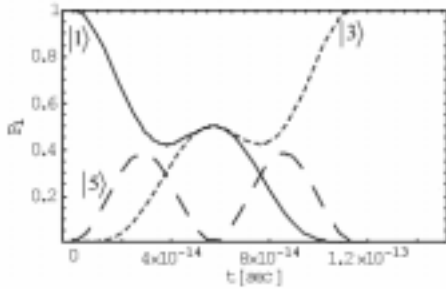


図 3 数値実験 (Type A)

実験結果より, 5 準位系の分布動力学は見かけ上  $|1\rangle$   $|5\rangle$   $|3\rangle$  の 型 3 準位系と  $|2\rangle$   $|4\rangle$  の 2 準位系に分解されることが確認された。また, 擬似型 3 準位系の間準位  $|5\rangle$  に, 共鳴からのずれ (図 2)  $\delta = 1.633\Omega_{12}\Omega_{35}/2$  を導入した時の結果を図 3 に示す。図 3 より, 近似によって作り出した擬似型 3 準位系に前述した制御法が適用できることを確認した。