

## アト秒ピコメートル精度の時空間量子エンジニアリング ～ 極低温分子からバルク固体まで ～

(分子研) ○大森賢治

物質の波動関数の干渉を光で制御する技術をコヒーレント制御と呼ぶ。その応用は、量子コンピューティングなど先端テクノロジーを生み出し、量子論的な世界観の検証を可能にする。我々は、気相孤立分子の電子振動波束にアト秒精度で制御されたレーザー電場の位相情報を転写するという方法を用いて、アト秒ピコメートル精度の時空間コヒーレント制御法を開発した[1-6]。我々が開発したアト秒位相変調器 (APM) はアト秒精度で二つの光パルスの電場振動のタイミング (位相) を操る装置である。我々は、APMから出力された二つのフェムト秒レーザーパルスを照射することによって分子の中にそれぞれのパルスの位相を記憶した二つの振動波束を発生させ、それらの干渉をほぼ完全に制御する事に成功した。さらに、このような波束干渉の時空間模様をピコメートルレベルの空間分解能とフェムト秒レベルの時間分解能で多彩に加工し可視化することにも成功した (→図1) [2,7]。

最近では、この技術に応用した分子コンピューターの開発に成功している。波形整形したフェムト秒レーザーパルスによってヨウ素分子の複数の振動固有状態の複素係数に数値入力を行い、これらの時間発展を利用して離散フーリエ変換を実行した。

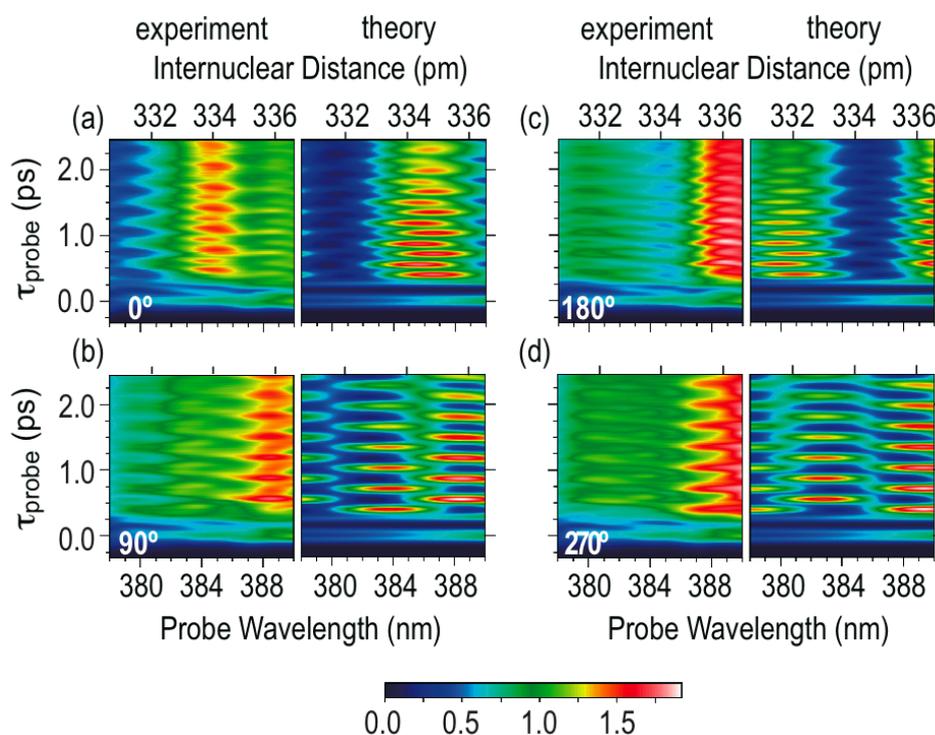


図1. アト秒ピコメートル精度でデザインし可視化された波束干渉の時空間模様。ヨウ素分子内で対向して運動する2個の振動波束の相対位相を(a) 0度; (b) 90度; (c) 180度; (d) 270度に固定した。文献[2]から引用。

演算結果を波束干渉によって読み出し、0.9を超える高い忠実度で変換が実行されている事を確認した(→図2)[1]。時間発展に要した時間は145フェムト秒であり、これは世界最速レベルのIBM Power6のクロック周期の3桁短い。このような電氣的に中性な物質の波動関数を用いた情報処理は、電流漏れが熱やエラーを誘発するシリコンベースの情報処理の限界を超える可能性を秘めている[1,3]。

将来的には、この分子コンピューターを固体中で連結し大規模化することが望まれる。このために我々は、ビスマスや固体パラ水素などのバルク固体を対象にしたコヒーレント制御法の開発を進めており、固体中の原子の2次元運動やFrenkel 励起子干渉の制御に関する画期的な成果を得ている[8,9]。同様に、分子コンピューターを光トラップ中で連結する準備も進めており、つい最近、極低温Rb<sub>2</sub>分子を生成することに成功した。

最後に、コヒーレント制御が物質の波動性にに基づく限り、これを極低温分子から巨視的な固体に至る様々な環境で追求すること自体が、量子論的な世界観の検証であるはずだ。例えば、我々の身の回りの巨視的な世界では物質波の干渉は見られないが、原子分子レベルの物質が示す波の性質が系の複雑化とともにいかにして失われて行くかはまだ良く理解されていない。本研究の途上に、この100年来のミステリーをより良く理解するためのヒントが隠されているかもしれない。

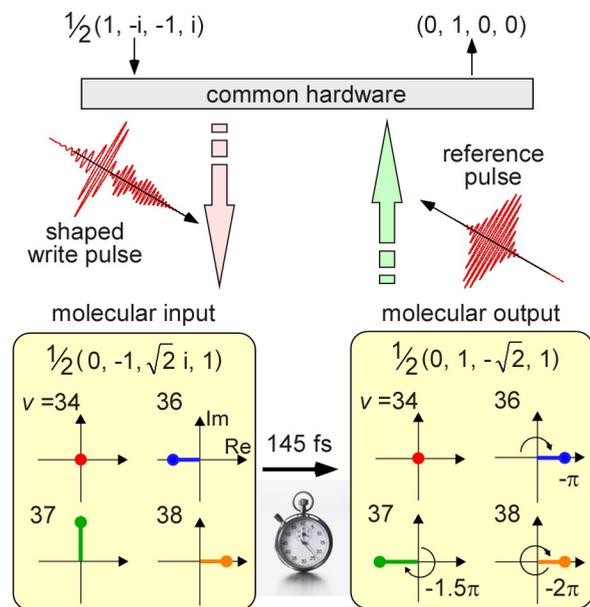


図2. 分子コンピューターによる離散フーリエ変換の概略。ここでは  $\frac{1}{2}(1, -i, -1, i) \rightarrow (0, 1, 0, 0)$  を例にとっているが、あらゆる複素入力を変換できる。文献[1]から引用。

#### 【参考文献】

- [1] K. Hosaka *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **104**, 180501 (2010).  
(See also *Physics* **3**, 38 (2010); *Nature* **465**, 138-139 (2010).)
- [2] H. Katsuki *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **102**, 103602 (2009).
- [3] K. Ohmori, *Annu. Rev. Phys. Chem.*, **60**, 487-511 (2009).
- [4] H. Katsuki *et al.*, *Phys. Rev. A* **76**, 013403 (2007).
- [5] K. Ohmori *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 093002 (2006).
- [6] K. Ohmori *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **91**, 243003 (2003).
- [7] H. Katsuki *et al.*, *Science* **311**, 1589-1592 (2006).
- [8] H. Katsuki *et al.*, to be submitted.
- [9] H. Katsuki *et al.*, to be submitted.