

ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	1. 分子分光学および分子集合体の構造
中項目	1-2. 時間分解分光
小項目	1-2-7. コヒーレント制御

概要（200字以内）

コヒーレント制御は、物質の波動関数の振幅と位相を光で操作する技術である。コヒーレント制御の概念が生まれたのは1980年代半ばのことである。当初は、化学反応を制御する目的で考案された。最近では、このような技術を、固体や表面あるいはナノ構造のダイナミクスや、原子や分子の内部量子状態を用いた情報処理に応用しようとする新たな展開も見られるようになり、その応用分野は急速な広がりを見せている。

図1. コヒーレント制御の概念図

現状と最前線

原子や分子に位相ロックされた二つのレーザーパルスを連続的に照射すると、単一の原子や分子の中に二つの電子波束や振動波束が発生し干渉を起こす。これらは波束干渉法と呼ばれている。コヒーレント制御の中でも波束干渉法は最も基礎となる技術であり、この10年来、原子のリュドベリ電子波束を中心に開発が進んで来た。最近では、各々のリュドベリ状態をビットと見なして、波束干渉によって情報の読み書きをするような画期的な試みも始まっている。このような情報処理においては、回転や振動などより多くの内部量子状態を備える分子を用いた方が圧倒的に有利である。一方、こういった情報処理はアンサンブルを用いて行われるが、内部自由度が豊富な分、分子アンサンブルは原子アンサンブルよりも量子位相緩和が激しい。ごく最近、分子アンサンブルの位相緩和を桁違いに軽減する手法が開発され、振動固有状態をビットと見なしたコードの読み書きが実現している。以上のような原子分子の内部量子状態を用いた情報処理は、コヒーレント制御の最近の進歩の一つである。

化学反応制御の分野では、空間光変調器を用いたパルス整形技術と遺伝アルゴリズムに基づくフィードバック制御を組み合わせた手法が大きな成果を挙げつつある。このような手法では、制御したいシステムのハミルトニアンを知る必要がないので、解析的な制御シナリオが想像できないような複雑な系にも適用できるという特徴がある。実際、液体の中の化学反応に適用され成功した例が報告されている。

また、原子分子系以外にも、半導体量子構造や金属の電子ダイナミクスをコヒーレント制御することによって、量子ビットの開発や電子緩和メカニズムの解明を試みる研究なども行われるようになってきている。

量子波の干渉は、原子分子レベルの世界では普遍的な現象であるから、これを光で制御する技術もまた普遍的に有用である。既にコヒーレント制御の対象は、気相中の孤立原子から半導体ナノ構造に至るまで極めて広い範囲に及んでいる。その目的も、物理現象のメカニズムの解明から量子メモリーの開発に至るまで実に様々である。最近では光合成システムのような複雑な分子集合体における量子コヒーレンスの役割も実験的に解明されつつあり、原理的には生体系もコヒーレント制御の対象になり得る。一方、今後このように様々な環境で実用的なコヒーレント制御を実現するために乗り越えなければならない壁も多い。その一つはデコヒーレンスの制御である。例えば溶液中の分子はフェムト秒オーダーの時間間隔で常に周りの分子からの衝突を受けているので、せっかく分子の中に適切な量子波をデザインしても反応が起こる前に乱されてしまう。今後コヒーレント制御を液体や固体などの実用的な環境に拡張していくためには、デコヒーレンス制御は迂回路のない関所である。一方、制御というと極めて工学的な側面のみを思い起こさせるが、コヒーレント制御の生命線が物質の波動性にある以上、その追求は量子力学的な世界観の検証とも深く結びついているはずである。

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
 - デコヒーレンスの検証
 - 固体のコヒーレント制御
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
 - デコヒーレンスの制御
 - 観測理論の検証
 - 量子情報ネットワークの実用化
 - 生体系のコヒーレント制御

キーワード

波束、コヒーレンス、デコヒーレンス、量子、干渉

(執筆者： 大森 賢治)