

## 1 制御のいらない制御

制御のいらない制御では、限られた種類の測定を使って量子系の操作を可能にする。

理化学研究所F. Noriグループ[1]の研究成  
果は最近、Nature誌の“News and Views”欄  
に“量子制御”に関する論文[2]として掲載された。  
下に示すものはその研究[1]の要約である。

制御理論は科学・工学の様々な分野で利用さ  
れている。例えば、ある装置(デバイス)は一定の  
条件下で操作される必要があるが、環境からの揺  
らぎの影響により最適操作条件から逸脱してしまう  
場合、デバイス・パラメータを安定化し、デバイ  
スの性能を向上させるために制御理論が適用され  
る。この種の制御は閉ループ制御またはフィード  
バック制御と呼ばれている。閉ループ制御システム  
の基本構造は2段階から成っている：測定および  
フィードバック制御の2段階である。第1段階では、  
システムの状態に関する情報を取得し、目標とする  
状態からどれほど逸脱しているかを知る。第2段階  
では、システムの状態を変化させ、目標とする望ま  
しい状態へと導くために、システムに対し、ある“制  
御”、すなわち信号または力が加えられる。

古典物理学(量子論以前の)において、測定過  
程で引き出されるのはシステムの状態に関する情  
報のみであり、(理想的な条件の下で)対象システ  
ムの状態がそれにより変化することはない。この事  
実は過去一世紀にわたり、制御システムの設計に  
おける基本原理のひとつであった。

量子力学においてはこの原理は破綻する：測  
定そのものが、それがいかに理想的であろうと、シ  
ステムの状態を変えてしまうのである。古典物理学  
と量子物理学の間の根本的な相違は制御システ  
ムの設計に影響を及ぼす。量子論的(な対象の)  
制御の諸問題を扱うには、古典的(巨視的対象  
の)制御の諸問題を取り扱う場合とは異なった考え

方を取り入れる必要がある。

測定に起因する不可避な反動に対処する最も  
分かりやすい方法は、影響による変化を計算し、そ  
れに応じて制御信号を設計することである。この方  
法は、1980年代後半から今日まで量子制御に関  
する多くの研究において用いられてきた。もうひとつ  
の可能性、それは概念的にはさらに抜本的である  
が、システムの状態を操作するための唯一の手段  
として、測定によって生じた変化を利用すること  
である。この場合には、閉ループフィードバック制御は  
測定段階のみから成るため、“制御”はもはや必要  
でなくなる。

過去2、3年の間に、測定(過程)のみから成る  
フィードバック制御の実現性を検討する研究は、そ  
れほど多くないものの、いくつか行われてきた。

最初の研究では、実施される測定において特別  
な制約のないものが仮定されていた。つまり、多く  
の場合、強い測定の標準的な理論または代わりに  
弱い測定の理論のいずれかが適用されてきた。

引用文献[1]の著者はこうしたアイディアをさら  
にすすめ、利用可能な制御パラメータとして測定強  
度を調整できることを使い、こうした量子制御シス  
テムのパフォーマンスを向上させた。彼らはさらに、  
単一の測定設定のみを使って、望みの量子状態を  
準備できるという、制御システムに関する伝統的な  
思考法では不可能であるかに見える概念を報告し  
ている。

### References:

[1]S. Ashhab and F. Nori, Control-free control: manipulating a  
quantum system using only a limited set of measurements, Phys.  
Rev. A 82, 062103 (2010).  
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.82.062103>

[2]Howard M. Wiseman, Quantum control: Squinting at quantum  
systems, Nature 470, 178 (2011).  
<http://www.nature.com/nature/journal/v470/n7333/pdf/470178a.pdf>  
<http://www.nature.com/nature/journal/v470/n7333/full/470178a.html>

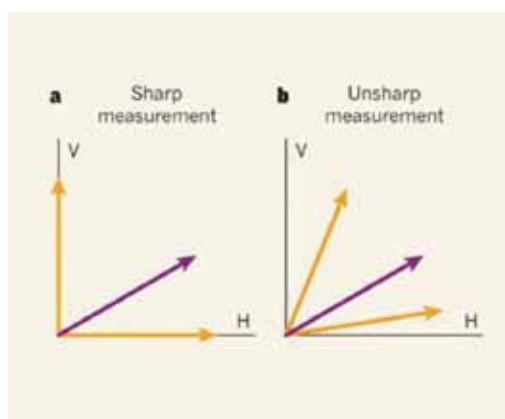


図:引用文献[2]より この図の中の紫色の矢印は2次元量子システム一例  
例えば光子の偏光の初期状態を概略的に示している。ここに、方向Vは垂直  
偏光状態を、方向Hは水平偏光状態を表している。ここでの初期状態(紫色の  
矢印)はこれら状態のある特定の(VよりHにより近い)重ね合わせである。偏光  
の鋭いまたは強い(射影)測定の後では、(a)に示すように、光子はV(垂直)偏  
光状態またはH(水平)偏光状態のいずれかにある(オレンジ色の矢印)。不鋭  
度測定または弱い測定(ここでは鋭度または強度が50%)の後では、(b)に示  
されるように光子はまだ重ね合わせ状態にあるが、Vに関する測定の効果が  
状態をV(垂直)偏光状態(上側のオレンジ色の矢印)に向かわせる程度より  
もHに関する測定の効果の方が状態(下側のオレンジ色の矢印)をH(水平)  
偏光状態により近く向かわせる。引用文献[1]の著者は、測定の強度を正しい  
値に調整することにより、測定により引き起こされる状態の変化が最適化され  
ることを示している。