

し、そこで開始された大型プロジェクトの一環としての触覚センサシステムの研究を通して、人とかかわる境界領域の研究グループを育成した。その途上において、人間の感覚情報処理機能の精巧さ、とくに並列処理機能に対抗するために、光情報処理の研究を続けた成果の一つ

が本論文である。石川氏は現在母校工学部に新锐助教授として出向されるとともに、製品科学研究所併任主任研究員として活躍中である。今後とも円満な人柄とあわせて、独創的な研究展開を祈るものである。

(製品科研 伴 菊夫)

井元信之氏の論文紹介

近年、量子力学と先端技術の結びつきがますます盛んになりつつある。量子光学と呼ばれる分野は、長い間光の量子的性質を研究する基礎科学であったが、最近ではレーザー分光学や非線形光学との結びつきが深まり、光通信や光計測の研究者からも注目を浴びるようになってきた。背景には、光通信や光計測の技術がいわゆる量子限界に到達しつつあり、新たなブレークスルーをめざして、量子光学的新原理に期待が寄せられていること、従来は思考実験の対象にしかならなかった量子力学のさまざまなパラドクスが光技術を用いて実際に実験することができるようになってきたこと、などが挙げられる。

井元信之氏の受賞はこれらの背景のもとに生まれた成果の一つと考えられる。

論文は、光カーポイントを用いた光子数の量子非破壊測定法の提案と解析、および原理実験からなっている。

量子非破壊測定とは、被測定量に擾乱を与えることなく、くり返し測定を行う新しい測定法で、1974年ソ連の科学者プラジンスキーにより提案された。一般に測定には2種類あり、測定後の被測定量が測定結果により予言できるものと、測定後の被測定量はまったく予測できないものがある。前者は、パウリの第1種測定と呼ばれ、フォンノイマンの射影定理が適用される。後者はパウリの第2種測定と呼ばれ、ほとんどの測定はこれに属する。量子非破壊測定はパウリの第1種測定の特別の場合で、測定の前後で被測定量に変化がないものである。

このようなことは、ハイゼンベルクの不確定性原理に矛盾せずに実現できるだろうか。不確定性原理の要請は、ある測定量の測定精度 $\langle \Delta A^2 \rangle_{\text{meas}}$ と、この測定による被測定量と共役な関係にある別の測定量への反作用雑音 $\langle \Delta \hat{B}^2 \rangle_{\text{back action}}$ の積がある一定値より小さくできない、というものである。したがって、測定の反作用を共役測定量にだけ押し込めることができれば、測定精度をいくらよくしても、何回測定を行っても、被測定量に擾

乱が及ばないようにすることができるはずである。

この考えを実現する方法の一つとして、井元信之氏は光カーポイント中の信号光とプローブ光の相互位相変調を利用する光子数の量子非破壊測定法を提案した。この場合、信号光の光子数が被測定量であるが、その情報がプローブ光の位相にプリントされ、これを光ホモダイヤン検波により破壊測定することにより、信号光子数には擾乱を与えることなく、信号光子数の情報だけが読み出せる。測定精度はプローブ光の位相雑音で決められ、また測定の反作用は信号光の位相に及び、その大きさはプローブ光の光子数雑音で決められる。光子数の測定精度と位相への反作用雑音の間に最小不確定関係が満足されていることが証明でき、この方法が理想的な量子非破壊測定の実現手段であることが判明した。

この原理を実証するための実験を、長さ 10 km の光ファイバ・リング干渉計を用いて行い、信号光子数の情報が光ファイバの持つ光カーポイントを通してプローブ光の位相にプリントされるのを確認した。しかしながら、この実験においては、光ファイバの持つ損失のために、信号光子数は測定の前後で厳密には保存されない。この問題は、あらゆる光非線形が光吸収と無関係には存在しない事実に照らしてみると、基本的な問題である。そこで、量子非破壊測定の概念を拡張して、通常の光子数測定に比べて、同じ損失を信号光に許すとき、より大きな信号対雑音比が実現できる測定と定義しなおして、この条件を明らかにした。

以上が、井元信之氏がこれまでに得た結果である。井元氏は、現在、共振器内の定在波モード (standing photon) に対して発展してきた量子光学理論を、共振器から外に飛び出して伝播していくモード (flying photon) に拡張すべく研究を行っている。これは、量子力学の一つの欠点を解決する試みであり、今後の活躍を祈るものである。

(NTT 基礎研 山本喜久)