

光学論文賞受賞論文紹介

石川正俊氏の論文紹介

石川正俊氏の受賞論文は下記のとおりである。

“Optical associatron: a simple model for optical associative memory,” Appl. Opt., 28, 2 (1989) 291-301.

関連論文として次のものがある。

“Experimental studies on learning capabilities of optical associative memory,” Appl. Opt., 29, 2 (1990) 289-295.

次世代の計算機アーキテクチャとして、光ニューロコンピューティングシステムが提案されている。しかし、光ニューロコンピューティングの本質である並列情報処理をリアルタイムで実証したシステムはほとんどなかった。このような現状にあって、空間光変調管(micro-channel spatial light modulator; MSLM)を用いて、光連想記憶システムを構成し、リアルタイムで学習機構を実現したのが石川正俊氏の受賞論文である。

論文は、浜松ホトニクスが開発した空間光変調管を用いて、自己想起形連想記憶モデルの代表である Nakano のアソシアトロンの設計思想を受け継ぎ、直交性の低いパターンの学習や負の値が表現できない光強度を媒体としたシステムにも適するように、Kohonen により示された直交学習を組み込んだ光による自己想起形連想記憶システムを設計試作したものである。

本論文の最もオリジナルな点は、従来からいくつかのアイデアしか示されていなかった、光ニューロコンピューティングにおける学習の問題を、具体的に実際のシステムの上で実現して学習の意義を指摘している点にある。また、従来はベクトル表現で扱っていた入出力パターンを、光コンピューティングの特徴である2次元の情報処理機能をそこなうことなくそのままの形で扱うための空間コーディング法も開発している。

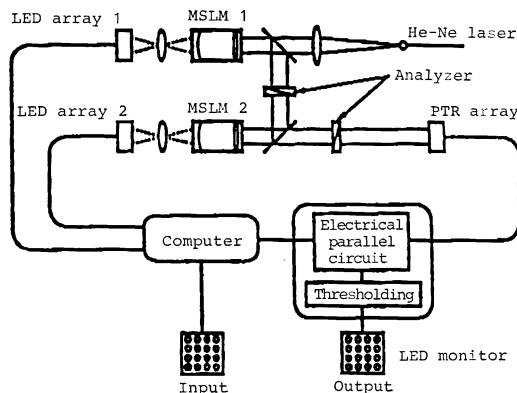
結果として、光アソシアトロンの演算は三つの結像系すなわち、拡大結像系、多重結像系、局所結像系とアダマール積とで構成することができ、光コンピューティングの並列性を生かすことができた。本実験を成功に導いたキーデバイスである空間光変調管は、光パターンに対して動作モードを設定することにより、アナログ書込み、読み出し、記憶の機能を持ち、かつ、記憶されている

情報に対して加減算が可能な光デバイスである。光アソシアトロンのシステム構成を図に示す。実験に用いたシステムは2組の空間光変調管と2組のLEDアレイ、1組のPTRアレイ、および処理のためのアナログ回路と計算機とから構成されている。

実験結果は3段階に分けて説明している。まず LED アレイなどの基本的なデバイスの特性を測定し、その特性が最大 60% もの不均一性を持ったものであることを示し、次に、シミュレーションで得られた記憶行列の値を使って設計どおりの光演算が実現されていることを示している。これらをもとに、最後の学習実験ではパターン A, b, C を例題として、直交学習による閉ループ形の学習を用いることにより、直交性の低いパターンに対しても学習が収束し、しかもレーザー光の面内分布や空間光変調管の位置ずれ等の不均一性をも補償・学習して記憶行列が形成されることを示している。

結論として、光コンピューティング向きに修正されたアソシアトロンの理論を用いて、通常の電子回路と同様にフィードバックが重要な役割を果たすことを光コンピューティングでも認識させたものであり、このことは、光デバイスの不均一性の対応にも大きな武器となりうることを明らかにした。

石川正俊氏は、1979 年東京大学工学部計数工学科マスターコースを修了後、通産省工業技術院製品科学研究所に入所し、広く、マン・マシンインタフェイスの研究に従事した。その年、研究所は筑波研究センターに移転



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)