

安全性の高い光通信向けに、光が持つ雑音を制御した「アンチスクイズド光」を提案 商用光通信システムでの利用を目指し汎用光部品を用いて実現

株式会社日立製作所 基礎研究所(所長：長我部 信行／以下、日立)は、このたび、国立大学法人 東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構(機構長：荒川 泰彦(先端科学技術研究センター教授、生産技術研究所教授))と共同で、安全な光通信に適した新たな光源として、光の振幅方向と位相方向^{*1}の雑音(揺らぎ)の大きさを非対称にした「アンチスクイズド光」を提案しました。

光の振幅方向や位相方向の一方の雑音成分を、雑音の最小量以下にした光は「スクイズド光」と呼ばれていますが、その際、対になるもう一方の雑音成分は拡大します。この雑音を制御した光は通常、縮小された雑音成分が着目され「スクイズド光」と呼ばれますが、今回は拡大した雑音成分に着目して「アンチスクイズド光」と名づけました。アンチスクイズド光を用いた光通信は、量子暗号や量子通信の知見や技術を応用したのですが、商用システムを構成するための条件を満たすように改良されたものです。光ファイバの伝送損失など、環境の影響を受けてもアンチスクイズド光の性質が容易に失われることなく増幅も可能で、さらに通信の安全性を高める効果があることを理論的に示しました。また、半導体レーザなどの汎用の光通信部品を用いてアンチスクイズド光を生成し、将来、商用の光通信システムに適用できる可能性があることを示しました。

光通信は、大規模な情報を高速で伝送する情報化社会の神経網として、生活に欠かせないものとなっています。光通信の原理は、光の強度変化を、光ファイバを通して受け手に送り電気信号に変換して利用するのですが、近年半導体レーザ(コヒーレント光)の波の性質を利用した光多値伝送方式などが開発され、さらなる高速化、大容量化が進展しています。一方、現代社会から強く求められている情報の安全性に対しては、暗号やデジタル署名などのソフトウェア技術の発展によって対応していますが、将来、量子コンピュータができると情報の安全性は脅威にさらされるという予測もあり、光の物理的性質を利用して物理法則的に通信の安全性を確保する量子暗号の研究が進められています。量子暗号(量子鍵配送。典型的には単一光子状態を利用)は安全性が極めて高いことが理論的に示されていますが、量子力学的性質を利用するため、損失に弱く、原理的に増幅が許されません。このため、鍵生成レート、伝送距離、システム形態に原理的限界も存在します。

これに対して、通常的光通信で利用されるコヒーレント光を用いて安全性を高めた通信を行おうとする研究も進められています。

今回、日立は、ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構と共同で、量子暗号や量子通信の知見や技術を応用することにより、現在の光ネットワークシステムでの利用が可能で、かつコヒーレント光に比べても安全性に有利な特性を持つ、高い安全性を必要とする通信に適した光として「アンチスクイズド光」を提案し、市販の光部品で生成できることを確認しました。詳細は、以下の通りです。

1. 「アンチスクイズド光」の提案

光の振幅や位相は高い精度で制御できるようになってきましたが、無限の精度で制御できるわけではなく、「量子揺らぎ」と呼ばれる雑音の最小量で制限されます。この量子揺らぎは、これ以上小さくすることのできない最小量ですが、例えば、位相方向の揺らぎを拡大させる代わりに振幅方向の揺らぎをゼロに近づけることができます。このように、ある揺らぎ成分を量子揺らぎ以下にした光は「スクイズド光」と呼ばれ、量子力学的性質を示す典型的な光として知られ、量子通信や量子暗号

への応用が研究されています。しかしながら、スクイズド光は光ファイバによる伝送損失など環境の影響を受けた場合に、ゼロに近づいた揺らぎが容易に元に戻ってしまい、量子力学的性質を失います。これが量子情報技術の実用化への大きな壁になっています。

そこで今回、揺らぎが拡大したもう一方の成分(アンチスクイズした成分)に着目しました。理論的検討の結果、①揺らぎをゼロに近づけた成分(スクイズした成分)が伝送損失等により量子力学的性質が失われても、揺らぎが拡大した成分は拡大した状態を維持し、その結果、非対称な揺らぎ状態はそれを維持できること、②汎用の光部品を用いて増幅した場合も非対称な揺らぎ状態は維持できることがわかりました。重要な点は、このような損失耐性と増幅耐性が、スクイズした成分が量子揺らぎ以下になっているかどうかに関わらず成り立つことであり、このような特徴を持ったゆらぎ成分の大きさが非対称な光に「アンチスクイズド光」と名づけました。

2. 安全性の高い光通信に適した「アンチスクイズド光」

乱数によって信号波形の位相をランダムに変えて送る暗号方式に、アンチスクイズド光を適用した例を検討しました。ランダムな位相情報を知った受け手はそのランダム分を取り除き十分な S/N (信号対雑音比)で受信できますが、ランダムな位相情報を持たない場合は大きな揺らぎの影響を受け、十分な S/N で信号を検出できないことを理論的に示しました。すなわち、アンチスクイズド光は、ランダムな位相成分の重畳による暗号化においてその暗号化効果を増強するものであり、安全性の高い光通信に適している光であると言えます。

3. 光通信部品によるアンチスクイズド光の生成

光通信の波長帯で生成されるスクイズド光は、これまで光源に固体レーザーや高額な光ファイバ(偏波保持ファイバ)を用いた実験系で生成されていました。将来、市場の光通信システムに適用することを視野において、光通信のレーザーダイオード(LD)光をエルビウム添加ファイバアンプ(EDFA)により増幅し、通常の通信用光ファイバの非線形効果を用いてアンチスクイズド光を生成しました。即ち、今回提案したアンチスクイズド光は、光通信の部品により生成できることを実験的に示しました。

本成果によって、量子情報技術を応用した新たな光通信用光源「アンチスクイズド光源」が、高い安全性を必要とする光通信に威力を発揮する可能性があること、また市場の光通信システムで実用化できるポテンシャルを持つことを示しました。これまで、量子暗号・通信の分野では、単一光子を利用する方式(BB84^{*2)}等)、コヒーレント光を利用する方式(Y00^{*3)}がすでに考案され、多くの研究が進められています。今回、新たな光源として提案した「アンチスクイズド光」は既存の暗号・通信方式に適用することも可能ですが、今後は「アンチスクイズド光」に適した方式を開発することが課題と言えます。

なお、本研究成果は、2007年9月3日発行の米国光学会誌 Optics Express に掲載される予定です。また、2007年9月4日から北海道工業大学で開催される「第68回応用物理学学会学術講演会」において発表する予定です。

本研究の一部は、文部科学省科学技術振興調整費の支援を受けています。

■注釈

- *1) 厳密には二つの直交位相成分の方向であり、近似的に位相と振幅方向に対応する。
- *2) 1984年にベネットとブラサードが発表した鍵配送プロトコル。量子暗号の出発点となったもので、単一光子を用いることにより送受信者間で安全に暗号鍵を共有する方法を示した。
- *3) 2000年にユエンが発表したプロトコル。コヒーレント光を利用することを念頭において考案され

た。いくつかの呼び名があるが国内では Y00 と呼ばれることが多い。

■照会先

株式会社日立製作所 中央研究所 企画室 [担当:花輪、木下]

〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 280 番地

電話 : 042-327-7777 (直通)

以 上

このニュースリリース記載の情報(製品価格、製品仕様、サービスの内容、発売日、お問い合わせ先、URL 等)は、発表日現在の情報です。予告なしに変更され、検索日と情報が異なる可能性もありますので、あらかじめご了承ください。
