



Title	Theoretical and experimental study on local expansion and transformation of photonic W states
Author(s)	田嶺, 俊之
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49606">https://hdl.handle.net/11094/49606</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	た し ま と し ぬ き
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 23028 号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学位論文名	Theoretical and experimental study on local expansion and transformation of photonic W states (局所操作による光子系W状態の拡張と変換に関する理論提案と実証実験)
論文審査委員	(主査) 教授 井元 信之 (副査) 教授 北川 勝浩 教授 竹内 繁樹 准教授 小芦 雅斗

## 論文内容の要旨

量子情報分野においてエンタングルメントは量子計算や量子通信の重要なリソースとなる。その最もよく知られた例は、二者間で行われる量子テレポーテーションや量子暗号に利用されるベル状態と呼ばれる二体間エンタングルメントである。このベル状態は、局所操作と古典通信によりどのような二体間エンタングルメントにも変換可能であることが知られている。一方で、三体間以上になるとエンタングルメントの種類が多様になり、GHZ状態、クラスター状態、W状態などの代表的な状態がある。このうちW状態はすべての部分系間にエンタングルメントが共有されるweb構造のような特徴をもち、部分系に損失があった場合にも残りの二体間になるまでエンタングルメントが残る性質がある。このW状態はこれまで全系にまたがった量子操作により生成されていた。GHZ状態やクラスター状態で研究されているような部分系での局所量子操作を用いた全系の拡張や複数ベル状態からの変換といった形でのW状態の生成は、web構造の複雑さのため行われてこなかった。

本研究では線形光学素子を用いた局所操作によるW状態の生成や拡張に焦点を絞り研究を行った(図1)。光子系のW状態の拡張と融合を行うための光学ゲートの三つの提案と、局所操作と古典通信を用いた二つのベル状態からのW状態変換実験を行った。三つの提案の一つ目は、偏光依存ビームスプリッターを利用したW状態の拡張ゲートである(図2(a))<sup>[1]</sup>。二つ目は、偏光に依存しないビームスプリッターを二つ利用したW状態の拡張ゲートである(図2(b))<sup>[2,3]</sup>。三つ目は、パーティチェック操作を線形光学素子の組み合わせにより実現したW状態の融合ゲートである(図2(c))。また、W状態変換実験では77.8%の fidelity を達成し、ベル状態からのW状態への変換が実際に見えることを証明した(図3)<sup>[4]</sup>。

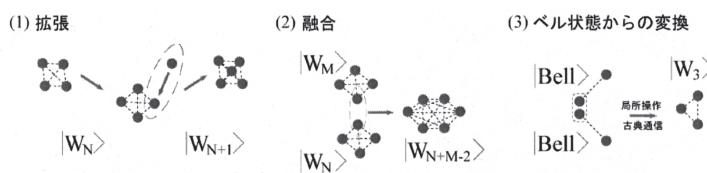


図 1. (1): W状態拡張、(2): W状態融合、(3): ベル状態からW状態変換

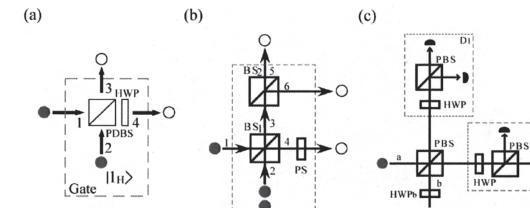


図 2. (a) と (b): W状態拡張ゲート、(c): W状態融合ゲート

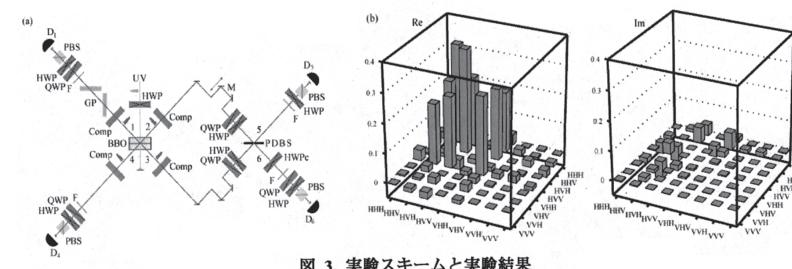


図 3. 実験スキームと実験結果

- [1] T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto, quant-ph/0810.2850. (To appear in New J. Phys)
- [2] T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto, Phys. Rev. A 77, 030302 (R) (2008).
- [3] T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto, Theory of Quantum Computation, Communication, and Cryptography Third Workshop TQC 2008 Tokyo, Japan, January/February 2008 Revised Selected Papers, Lecture Notes in Computer Science, Springer, pp70-80 (2008).
- [4] T. Tashima, T. Wakatsuki, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto, quant-ph/0812.3255. (Submitted for publication)

## 論文審査の結果の要旨

量子情報処理において最も重要な概念はエンタングルメント(量子もつれ)である。これは離れた二つの系が独立に確定した量子状態でないような状態で、さらに確定した状態の確率的混合でならないような状態のことを指す。日常経験からは理解し難い不思議な性質を示すため、量子情報処理に欠かせないものとなっている。最も簡単なエンタングルメントは二つの粒子の間に形成されるベル状態であるが、近年多粒子系に形成されるエンタングルメント状態としてGHZ状態、W状態、およびクラスターステートの有用性が明らかになって来ており、その物理的発生が望まれている。少数粒子系では既に発生されているが、規模の大きい多粒子間のエンタングルメントを直接発生するのは現時点では困難である。このため、(1)少数粒子のエンタングル状態を用意し、それに一粒子ずつ添加して行って多数粒子のエンタングル状態を作る方法(エンタングルメントの拡張)や、(2)少数粒子のエンタングル状態を二つ用意し、それぞれから一粒子ずつ取り出して反応させることにより多数粒子のエンタングル状態を形成する方法(エンタングルメントの融合)が世界的に研究されている。これまでクラスターステートとGHZ状態については研究が進んでいたが、W状態に対しては拡張法も拡大法も全く考案されていなかった。

田嶋俊之氏はW状態について世界で初めて「拡張法」および「融合法」をいくつか考案し、かつ光子系を用いてその一つを実証実験まで行った。本博士論文はこれをまとめたものである。拡張法の理論提案は2008年Physical Review A誌に掲載され、現実の装置の不完全性に基づく詳しいエラー解析が国際会議「3rd

Workshop on Theory of Quantum Computation, Communication, and Cryptography」のプロシーディングス（査読付き）に同じく2008年に掲載された。また、より制御性のよい拡張法を考案してNew Journal of Physics誌に投稿、2009年1月6日にacceptされた。しかし博士論文の出版論文目録には掲載年月を書く必要があり、審査請求締切日までに掲載年月（2月であることが2月12日に判明）が決定していなかったため、論文目録はPhys. Rev. AとTQC Proceedingsの2件となっている。一方エンタングルメント融合法については理論と実験を一つの論文としてPhysical Review Letters誌に投稿済みの状況である。以上の研究をまとめたのが本博士論文である。博士前期課程では氏は異なる研究を行っていたので、本研究は純粋に博士後期課程の3年間で完成したものである。

審査では研究内容の説明を行ってもらい、質疑を十分に行った。その結果、内容に関する独自性と、研究分野の今後の展開に資する価値が研究結果に認められた。また本人の研究についても今後の発展を予想させる基礎力を有していることが確認された。以上により博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認めるものである。