

## 2020年度共同利用研究報告書

2022年04月14日

所属・職名 一般社団法人ドレスト光子研究起点・理事

佐久間弘文

		整理番号	20200013	
1.研究計画題目	解析から設計に向けたオフシェル数理科学			
2.新規・継続	継続			
3.種別	一般研究			
4.種目	研究集会(II)			
5.研究代表者	氏名	佐久間弘文		
	所属 部局名	一般社団法人ドレスト光子研究起点	職 名	理事
6.研究実施期間	2022年02月22日(火曜日)～2022年02月22日(火曜日)			
	2022年02月24日(木曜日)～2022年02月24日(木曜日)			
7.キーワード	オフシェル科学、ドレスト光子			
8.参加者人数	21人			

### 9.本研究で得られた成果の概要

コロナ感染症で1年間の延期があったが、本研究は前年度からの継続研究である。当初は、未解明現象としてのドレスト光子の理論構築に軸足を置いてのスタートであったが、理論研究に大きな進展があった為に、前年度においては、社会的ニーズが大きいナノ光学分野における応用技術を促進する為に必要となる、実用モデルの構築という事を目指し、量子ウォークモデルに焦点した研究をスタートさせた。従って、今年度の主な研究活動は、この事に関するものと言える。具体的には、昨年度より多い若手研究者にこのテーマに挑戦してもらい、数多くの優れた研究成果を国際誌 *Symmetry* の Special Issue として10編の論文を発表し、更には、これまでの全体的研究の進捗を、欧州光学学会の研究誌に招待解説論文として発表した。

H. Sakuma, I. Ojima, M. Ohtsu and T. Kawazoe, "Drastic advancement in nanophotonics achieved by a new dressed photon study," *J. Eur. Opt. Soc. - Rapid Publ.* 17, 28 (2021).  
<https://doi.org/10.1186/s41476-021-00171-w>

## 成果報告書

### 研究会が開始された経緯

ドレスト光子研究は、ナノ光学分野におけるユニークな研究テーマである。如何なる意味において、ユニークであるのかという点を一言で述べると、それは、21世紀の始めの10年において、実験的にはその存在が確定された“ドレスト光子現象”を用いて、様々な応用技術が発展したものの、その現象を説明できる理論モデルが未だに完成されていない研究テーマであるという点である。それ故に、6年程前に、その理論モデルの完成を目指しながら、様々な応用研究も更に発展させる目的で、ドレスト光子研究起点 (RODreP) という研究組織が設立され今に至っている。従って、RODrePの目的は、当初、理論研究に重きを置いたがそれに留まるものではなく、社会に役立つ応用技術の開発も重要なテーマである為に、2018年から、九大IMIが公募する研究集会という形態の共同研究に採択され、幅広い研究活動を、これまで展開して来た。

### 研究活動の広がり

今回の研究集会は、その様な活動の現時点での総決算的なものと位置付ける事ができる。これまでに蓄積された実験データを基にして推進される理論モデル構築の試みと、それを更なる応用研究へと繋げる歩みは、満足すべき理論がないという現状においては、当然“試行錯誤”的な試みに成らざるを得ないが、何らの方向性を持たない試行錯誤では、意義のある成果を得る見込みも大変低いものになってしまうと思われる。そこで、研究を暫定的に牽引する“大きな方向性”として二つのものを掲げる事にした。

第一のものは、量子場理論というより広い観点から、未解明の“ドレスト光子現象”を眺めてみた時に、何が根本原因となって理論構築が阻まれているのかという視点である。これについては、既存の量子場理論は、場の粒子性という側面を、on-shell条件を用いて、過度に強調する形をとっており、場の相互作用で重要になるoff-shell性は、積極的な意味では殆ど顧みられていないという現状がある。そこで、“ドレスト光子現象”を解明するための重要な視点は、このoff-shell性をより深く理解する事であるという視点を打ち出した。言うまでもなく、光が関与する電磁相互作用は、物理世界においては、非常に重要且つubiquitousな現象である為、off-shell性の研究は、“ドレスト光子現象”という枠組みを超えた非常に大きな研究テーマであると言える。従って、その様な意味を含めて、これまで、“off-shell科学”というスローガンを打ち立ててドレスト光子の理論研究を推進して来た。

第二のものは、その様な研究の現状において、純粋な理論研究と具体的な実験結果を繋ぐ働きを担う、言わば“作業仮説”を検証するための簡易モデルとしての「量子ウォークモデル」の活用という事である。これまでに蓄積されたドレスト光子の実験結果の中には、エネルギーの移動特性に関する知見も含まれている。その知見によれば、ドレ

ドレスト光子の振る舞いは、古典的なランダムウォークよりは、むしろ量子ウォークの振る舞いにかかなり近い事が示されている。この事実に基づき、2, 3年前より物質中を移動するドレスト光子の振る舞いを再現し、理解する為の量子ウォークモデルの開発に特に力を入れて、今年度は、その研究が大きく進展した年となった。

以上の二つの大きな“大きな方向性”を持つ研究活動においては、その二つを繋ぐ研究も重要である事は、言を俟たない。今年度は、その様な研究においても、注目すべき成果が出た年であった。紙面の制約上、以下にこの点に関して、二つの研究成果を簡単に述べる。ドレスト光子は、電磁場と物質場の off-shell 的相互作用により生成されるものではあるが、一旦生成されると、それは、物性理論で良く知られた「電子—正孔対」の様なナノスケールの準粒子として、量子化された格子振動としてのフォノン場の中を動き回る。第一の成果は、この量子化条件と、異なるエネルギー準位へ移動する際に発する特異なスピンの光の存在を強く示唆する実験結果を理論的に説明できた事である。第二の成果は、今後更に発展させるべき新たな量子場理論として、圏代数という新たなアイデアを導入した理論を提案できる段階にまで、研究が進んで事を挙げる事ができる。この圏代数というアイデアは、現在進行中の量子ウォークモデルを発展させるという観点からも非常に有望な試みであると言える。

## 2021 年度の論文発表

以上に、これまでの研究成果の大枠について簡単に触れたが、今年度は、国際誌 Symmetry からドレスト光子研究に関する Special issue を発刊する提案があった為に、それを受託して、査読論文 10 篇を掲載した Special issue を完成させた。本年度の IMI 研究会で発表した研究の多くは、この成果に基づくものである。また、上記の Special issue とは別に、欧州の光学会から、ドレスト光子研究に関する解説論文の依頼も来た為に、総合的な解説と共に、ドレスト光子という研究テーマは、光学という分野を超え、今後大きく進展すると見込まれる“off-shell 科学”の先駆けとなる重要な研究テーマである事を、Journal of the European Optical Society-Rapid Publication 誌上で発信した。この様な大きな成果を頂けた事は、IMI との共同研究を含めて、ここに至るまで、少なからぬ方々からの有形・無形のご支援を頂き、特に若手の研究者が、最先端のドレスト光子研究に参画できた事が大きな要因であると思われるので、この場を借りて、関係各位の皆様方に心からの感謝の意を表する次第である。

## List of papers

[Special Issue “Quantum Fields and Off-Shell Sciences”, edited by M. Ohtsu]

L. Matsuoka, K. Yuki, H. Lavička and E. Segawa, “Maze Solving by a Quantum Walk with Sinks and Self-Loops: Numerical Analysis,” *Symmetry* **2021**, 13, 2263. <https://doi.org/10.3390/sym13122263>

S. Sangu and H. Saigo, “Description of Dressed-Photon Dynamics and Extraction Process,” *Symmetry* **2021**, 13, 1768. <https://doi.org/10.3390/sym13101768>

H. Saigo, “Quantum Fields as Category Algebras,” *Symmetry* **2021**, 13, 1727.  
<https://doi.org/10.3390/sym13091727>

H. Saigo and J. Nohmi, “Categorical Nonstandard Analysis,” *Symmetry* **2021**, 13, 1573.  
<https://doi.org/10.3390/sym13091573>

H. Ochiai, “Symmetry of Dressed Photon,” *Symmetry* **2021**, 13, 1283.  
<https://doi.org/10.3390/sym13071283>

K. Okamura, “Towards a Measurement Theory for Off-Shell Quantum Fields,”  
*Symmetry* **2021**, 13, 1183.  
<https://doi.org/10.3390/sym13071183>

H. Saigo, “Category Algebras and States on Categories,” *Symmetry* **2021**, 13, 1172  
<https://doi.org/10.3390/sym13071172>

N. Konno, E. Segawa, and M. Štefaňák, “Relation between Quantum Walks with Tails  
and Quantum Walks with Sinks on Finite Graphs,” *Symmetry* **2021**, 13, 1169.  
<https://doi.org/10.3390/sym13071169>

K. Higuchi, T. Komatsu, N. Konno, H. Morioka, and E. Segawa, “A Discontinuity of  
the Energy of Quantum Walk in Impurities,” *Symmetry* **2021**, 13, 1134.  
<https://doi.org/10.3390/sym13071134>

H. Sakuma and I. Ojima, “On the Dressed Photon Constant and Its Implication for  
Novel Perspective on Cosmology,” *Symmetry* **2021**, 13, 593.  
<https://doi.org/10.3390/sym13040593>

九州大学IMI共同利用・研究集会 (II)

**解析から設計に向けたオフシェル数理科学**  
(Off-shell mathematical science toward system's analysis and designing)

日 時： 2022年2月22日 (火) 10:00 ~ 15:45  
2022年2月24日 (木) 10:00 ~ 16:15  
場 所： Zoom ミーティングによるオンライン開催  
研究代表者： 佐久間弘文 (一般社団法人ドレスト光子研究起点)



※プログラムは都合により変更になる場合がありますので予めご了承ください。  
最新情報はホームページをご覧ください。

2022年2月22日 (火)

9:50 ~ 10:00

開会の辞 佐久間弘文 (ドレスト光子研究起点)

セッションI：ドレスト光子研究概観

10:00 ~ 10:45

基調講演：大津元一(ドレスト光子研究起点)

演題：オフシェル科学理論のためのドレスト光子実験研究の進展

10:45 ~ 11:30

民間セクターからの招待講演：三宮俊 (株式会社リコー 先端技術研究所)

演題：ドレスト光子—自由光子の変換とナノ構造形成に関する考察

11:30 ~ 12:15

坂野斎 (山梨大学工学部)

演題：ドレストフォトンが関わる量子的散逸構造の理論

12:15 ~ 13:30

昼食休憩

セッションII：量子ウォークによるドレスト光子研究、比較研究としての光合成

13:30 ~ 14:15

瀬川悦生 (横浜国立大学)

演題：量子ウォークの Comfortability

14:15 ~ 15:00

松岡雷士 (広島工業大学)

演題：ネットワーク量子ウォークモデルにおける迷路解決挙動

15:00 ~ 15:45

矢吹哲夫 (北星学園大学経済学部)

演題：量子コヒーレンス・デコヒーレンス指標とその時間発展についての考察 (光合成の研究解析に向けて)

2022年2月24日 (木)

セッションIII：量子場理論からの様々なアプローチ

10:00 ~ 10:45

西郷甲矢人 (長浜バイオ大学)

演題：圏代数としての量子場

10:45 ~ 11:30

岡村和弥 (ドレスト光子研究起点/名古屋大学)

演題： $C^*$ -代数的量子論におけるシュレディンガー描像

11:30 ~ 12:15

廣島文生 (九州大学数理学研究院)

演題：ニュートン・マクスウェル方程式を非相対論的 QED と連立させた準古典近似

12:15 ~ 13:30

昼食休憩

セッションIV：ドレスト光子の新理論周辺の数理研究

13:30 ~ 14:15

佐久間弘文（ドレスト光子研究起点）

演題：オフシェル物理における双対場の役割について

14:15 ~ 15:00

福本康秀（九州大学マス・フォア・インダストリ研究所）

Rong Zou（ハワイ大学土木・環境工学科）

演題：流体およびMHDに対するネーターの第1、第2定理と南部括弧

15:00 ~ 15:45

落合啓之（九州大学マス・フォア・インダストリ研究所）

演題：ドレストフォトンの対称性とグラスマン多様体

15:45 ~ 16:15

総合討論