

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 理 学 ）	氏名	久世 雅和
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論 文 題 目			
Control of spatio-temporal patterns in a spherical field (球形の自律振動子における時空間パターンの制御)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	中田 聡	
審査委員	教 授	飯間 信	
審査委員	教 授	泉 俊輔	
審査委員	准教授	田中 晋平	
〔論文審査の要旨〕			
<p>久世雅和氏は、球体上の化学振動反応について博士論文を作成した。球体表面又は内部で時空間伝播するパルス波を再現する実験系の構築は、細胞で見られるカルシウム振動やニューラルネットワークの機構解明あるいは同期 (Synchronization) の工学的応用研究において重要である。具体的には Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応を使用し、直径約 800 μm の陽イオン交換樹脂ビーズに BZ 反応の触媒であるフェロイン (Fe^{2+} と 1,10-フェナントロリンとの錯体) を吸着させた球体系 (以下 BZ ビーズと呼ぶ) を使用した。ここで BZ 反応とは触媒の酸化と還元が交互に繰り返される化学振動反応である。本論文は次の 3 つの内容から構成される。</p> <p>1 つ目は、触媒を球体表面 (2D) 又は内部 (3D) に吸着させ、3 種類の化学波 (局所的な酸化状態: Traveling wave (TW), Global oscillation (GO), Spiral wave (SW)) を伝播させる研究である。具体的には、触媒の吸着時間により 2D と 3D 系を作成し、これらの断面を切り取って触媒の濃度分布を確認した。次に TW, GO, SW を選択的に発現・伝播させたところ、2D と 3D で特徴的な様相が得られるとともに、数値計算結果と同じ軌跡となった。つまり、理想的な 2D と 3D における化学波の伝播様相を実験的に再現することに成功した。本研究は、M. Kuze, Y. Hiranishi, Y. Okamoto, A. Shioi, and S. Nakata, “Coupling of Two Microbeads Exhibiting Different Features of Oscillations in the Belousov-Zhabotinsky Reaction”, <i>Chemistry Letters</i>, 2019, 48, 847–85 に掲載された。</p> <p>2 つ目は、2 個の非線形振動子のカップリングによる、時空間同期パターンに関する研究である。従来の同期系では時間情報の解析が主流であったが、本研究では空間情報が同期に反映される系を構築した。その結果、基板とビーズの接点から TW が発現する 3D ビーズ 2 個のカップリングについて、BZ ビーズ間距離を結合強度パラメータにしたところ、特徴的な時空間同期パターンが生じることを見出した。この実験結果について、反応拡散方程式を立て数値計算したところ、活性因子の拡散速度と化学波の伝播速度の両方に依存してビーズ間を伝播する実験結果と同様の特徴的な同期パターンを再現した。このように、時空間同期パターンを実験と理論の両方から再現した。本研究は、M. Kuze, H. Kitahata, and S. Nakata, “Traveling Waves Propagating through Coupled Microbeads in the Belousov-Zhabotinsky Reaction”, <i>Physical Chemistry Chemical Physics</i>, 2021, 23, 24175–24179</p>			

に掲載された。

3 つ目は、電極反応を用いた時空間パターン制御に関する研究である。具体的には、作用電極である白金電極板に BZ ビーズを置き、電圧を正から負又はその逆方向に走査したところ、等方的な振動である GO と異方的な振動である TW のどちらかが選択的に表れること、電位をパラメータとしてこれらの中に分岐と履歴が存在することを見出した。そして、活性因子が生じる電位領域で TW が、抑制因子が生じる電位領域で GO が生じることで GO 又は TW の選択が決まり、走査初期電位による電極近傍の抑制因子または活性因子濃度により履歴が生じることを議論した。本研究は、M. Kuze, M. Horisaka, N. J. Suematsu, T. Amemiya, O. Steinbock, and S. Nakata, “Switching between Two Oscillatory States Depending on the Electrical Potential”, *The Journal of Physical Chemistry B*, 2021, **125**, 3638–3643 に掲載された。

これら 3 つの研究により、球体振動場において表面と内部を伝播する化学波の再現、2 個の球体振動子のカップリングによる空間軸が反映する同期パターン発現、及び 2 種類の化学波の電気化学的制御に成功した。さらにこれら実験結果のいくつかは理論的にも解明された。細胞膜内外又は表面におけるカルシウム波等の時空間伝播の機構を明らかにするために、構築されたモデル実験系は有効であることから本研究は高く評価できる。

以上、審査の結果、本論文は統合生命科学研究科学位論文評価基準を満たし、著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。