PRESS RELEASE

世界へ、そして未来へ 神奈川大学

報道関係者各位

2026 年 11 月 26 日
神奈川大学

ドーナツ型分子でレーザー発振を達成
―大環状π共役分子の有機レーザー材料としての可能性を実証―

神奈川大学理学部 辻 勇人 教授らの研究グループは、スペインのアリカンテ大学、マラガ大学との国際共同研究により、「ドーナツ型」の大環状π共役分子(注 1)が有機レーザー材料として動作することを実証しました。さらに、大環状分子に特徴的な光吸収と、光励起後の分子構造変化がレーザー発振に重要な役割を果たすことを示し、従来とは異なるレーザー発振のメカニズムを提案しました。

有機レーザーは、軽量・柔軟で波長設計がしやすい次世代光源として、センシング、ディスプレイ、バイオイメージング、光通信などへの応用が期待されています。本研究で明らかにした発振メカニズムは、光の再吸収を抑え、レーザー発振に必要な反転分布(注 2)を効率よく形成するための分子設計指針を与えるものです。

本研究成果は、2026 年 11 月 24 日(現地時間)に化学専門誌「Journal of the American Chemical Society」に掲載されました。

研究成果のポイント

●「ドーナツ型」の大環状π共役分子が有機レーザー材料として動作することを実証
●[12]シクロパラフェニレン([12]CPP)を基盤とする大環状π共役分子からのレーザー発振を世界で初めて実証し、大環状π共役分子が有機レーザー材料として機能することを明確化
●環状構造を活用した高効率・波長制御可能な有機フォトニクス材料やレーザーデバイスへの展開が期待される

研究の背景

有機分子を用いるレーザーは、軽量・柔軟で、分子設計により発光色を調整できる光源として期待されています。様々な有機分子がこれまでに開発されていますが、そのほとんどは直鎖状または平面状の分子でした。一方で、ベンゼン環などのπ共役系基本骨格が環状につながった「大環状π共役分子」が 2010 年前後に開発されていますが、これらがレーザー発振するかは明らかではありませんでした。

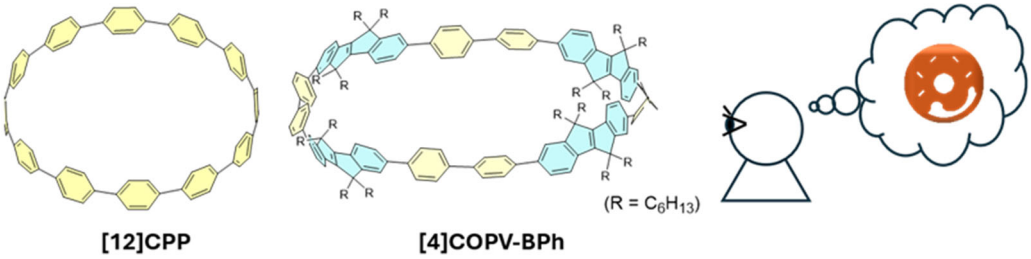


図 1 本研究に用いた大環状π共役分子の構造

研究の内容

本研究では、12 個のベンゼン環からなる既知の[12]シクロパラフェニレン([12]CPP)と、ベンゼン環と剛直スチルベン骨格を組み合わせた新しい大環状π共役分子([4]COPV1-BPh)(図1)を対象に、光吸収・発光特性、過渡吸収分光、薄膜中での増幅自然放出(ASE)、分布帰還型(DFB)レーザーデバイスとしての動作を調べました(図 2)。その結果、これらの大環状π共役分子が、有機レーザー材料として動作することを実証しました。

また、このレーザー発振では、大環状π共役分子に特徴的な光吸収と、光励起後の大きな構造変化が重要な役割を果たすことがわかりました(図3)。このような励起状態での構造変化は、CPP などの大環状π共役分子においてこれまでにも報告されていましたが、本研究では、それがレーザー発振に有利な 4 準位サイクルを形成することを明らかにしました。

すなわち、本研究で扱った大環状π共役分子では、光を強く吸収する状態と、発光に関わる状態が異なります。通常の環境下における状態(準位①=基底状態)にある分子が、光を吸収して準位②に到達した後、速やかに発光しやすい準位③に変わります。この、準位②から③への変化の過程で分子構造が大きく歪みます。最後に、準位③から発光し、構造が歪んだままの準位④を経て、最後にもとの安定な状態(準位①)へ戻ります。

この一連の過程により、吸収に関わる状態と発光に関わる状態が分かれ、発光した光の再吸収が抑えられるとともに、レーザー発振に必要な反転分布が形成されやすくなります。このような4準位を用いる挙動は、大環状分子の構造変化をレーザー発振に利用する新しいメカニズムと位置づけられます。

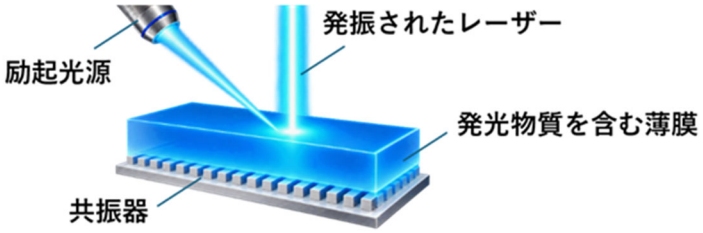


図2 DFB レーザー(注3)デバイスの模式図

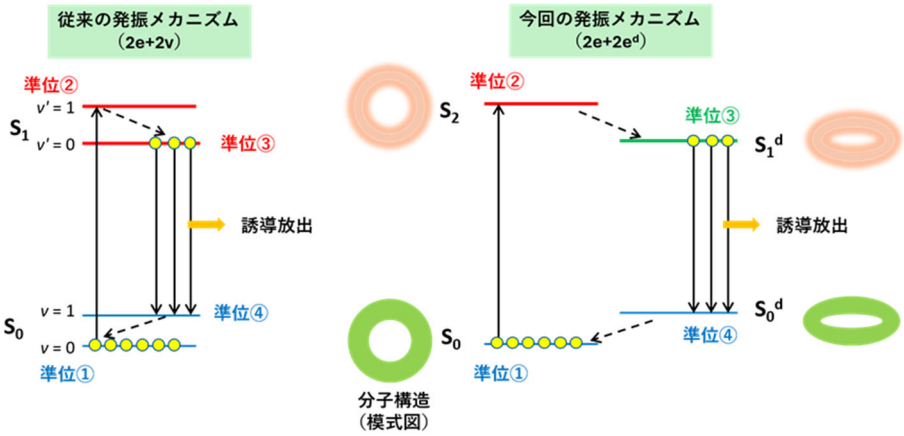


図3 レーザー発振に至るメカニズムの概念図

研究の展開

今後は、大環状構造、分子の剛直性、励起状態での構造変化を精密に制御することで、レーザー発振のしきい値をより低下させる材料や、波長・発光方向・偏光特性を制御できる有機フォトニクス材料への展開を目指します。本成果は、分子の「つながり方」や「かたち」を光機能の設計変数として活用する新しい分子設計の方向性を示すものです。将来的には、軽量・柔軟で波長設計が可能な小型レーザー光源として、センシング、ディスプレイ、バイオイメージング、光通信などへの応用が期待されます。

掲載論文

本研究成果は、2026 年 11 月 24 日（現地時間）に化学専門誌「米国化学会誌（Journal of the American Chemical Society）」に掲載されました。

論文タイトル：A Unique Conformationally Assisted [2+2] Configuration in Cycloparaphenylenes Enables Efficient Laser Devices

著　　者　：Pablo Pasqués-Gramage, Marcos Díaz-Fernández, Hikaru Kimura, Álex Farrando-Pérez, Masaya Kouno, Daniel Aranda, José M. Marín-Beloqui, Pedro G. Boj, Hayato Tsuji*, María A. Díaz-García*, Juan Casado*

※Pablo Pasqués-Gramage、Marcos Díaz-Fernández、Hikaru Kimura は同等貢献。

*責任著者。

掲 載 誌　：Journal of the American Chemical Society

掲 載 URL：https://doi.org/10.1021/jacs.6c15955

謝辞

本研究は、JSPS 科研費（JP19H05716、JP23KK0099）の支援を受けて実施されました。

【用語解説】

（注 1）大環状π共役分子

ベンゼン環などのπ電子をもつ単位が環状につながった分子。直鎖状分子とは異なるトポロジーや対称性を持つことから、特異な電子状態や光物性を示す。

（注 2）反転分布

レーザー発振に必要な状態で、光を放出できる高いエネルギー状態にある分子数が、低い状態にある分子数を上回った状態。図 1 では、準位③と準位④の間がこれに相当する。

（注 3）DFB レーザー

DFB は Distributed feedback を略したもので、日本語では分布帰還型レーザーとも表現する。基板に形成された周期構造（増幅器）を利用して特定の波長の光を選択的に増幅し、レーザー発振させるためのデバイス。

問い合わせ先
【研究に関すること】
神奈川大学理学部 教授 辻 勇人（つじ はやと）
TEL：045-481-5661
E-mail：tsujiha@kanagawa-u.ac.jp

【報道に関すること】
神奈川大学 企画政策部広報課
TEL：045-481-5661
E-mail：kohou-info@kanagawa-u.ac.jp