



東北大学

本件の取り扱いについては、下記の解禁時間以降でお願い申し上げます。

日本時間 10月12日(水)

平成23年10月6日

報道機関各位

東北大学大学院理学研究科

右巻・左巻らせん型最短カーボンナノチューブの化学合成

世界初：最短カーボンナノチューブ光学活性体の化学合成に成功

<概要>

東北大学大学院理学研究科化学専攻の磯部寛之教授らの研究グループは、右巻・左巻らせん型カーボンナノチューブ最短構造のボトムアップ化学合成に、世界で初めて成功しました。有機合成化学を駆使した手法により、6種類の最短カーボンナノチューブを合成し、それぞれの分離、完全構造決定に成功したものです。合成した6種のうち4種類がらせん型最短カーボンナノチューブであり、「光学活性」という右手と左手の関係性をもつ性質をもった最短カーボンナノチューブの世界初のボトムアップ合成例となります。本研究成果は、英科学誌「ネイチャー・コミュニケーション」に10月12日(日本時間)に発表されます。概要詳細につきましては、別添配布資料をご参照ください。

(お問い合わせ先)

東北大学大学院理学研究科 化学専攻
教授 磯部 寛之 (いそべ ひろゆき)
FAX: 022-795-6589, TEL: 022-795-6585
電子メール: isobe@m.tohoku.ac.jp



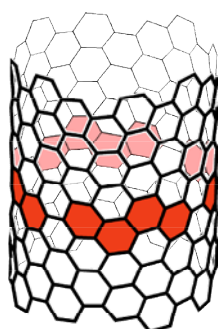
東北大学



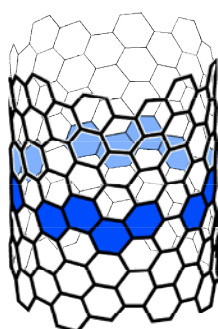
右巻・左巻らせん型カーボンナノチューブの化学合成

世界初：最短カーボンナノチューブ光学活性体の化学合成に成功

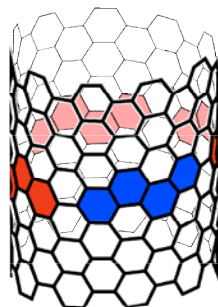
解禁日時 日本時間 2011年10月12日 (水)



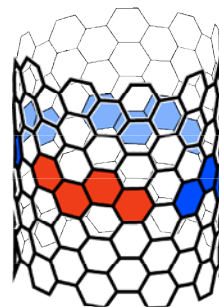
(P)-(12,8)



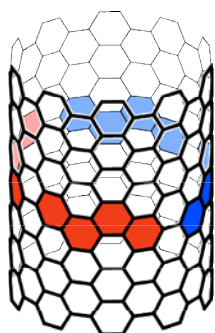
(M)-(12,8)



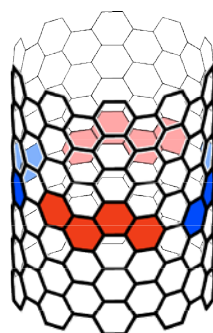
(P)-(11,9)



(M)-(11,9)



(10,10)_{AABB}



(10,10)_{ABAB}

構造の異なる6種の最短ナノチューブを一挙に化学合成、完全分離・完全構造決定に成功した。

色つきの部分が今回の研究で、化学合成した最短カーボンナノチューブ。

上段の2組（4つ）が、らせん型で右巻き構造（P）と左巻き構造（M）となっている。

（P）型を鏡に映すと（M）型になり、両者は右手と左手の関係にあることがわかる。

下段の2つはアームチェア型。



1 発表タイトル **右巻・左巻らせん型カーボンナノチューブの化学合成**

世界初：最短カーボンナノチューブ光学活性体の化学合成・分離に成功
「できた！わけた！きめた！右巻き・左巻き最短カーボンナノチューブ」

2 注意事項 **解禁日時 日本時間 2011年10月12日 (水)**
(ケンブリッジ標準時間2011年10月11日 (火) 16:00)
解禁日時の規定について：<http://www.nature.com/authors/policies/embargo.html>

3 発表者 国立大学法人 東北大学
大学院理学研究科 化学専攻 磯部 寛之

4 発表概要

右巻・左巻らせん型カーボンナノチューブの、ボトムアップ化学合成に世界で初めて成功しました。4つのベンゼン環がジグザグに連なったクリセンと呼ばれる芳香族分子4つを、カップリング反応により環状につなげることで、最短カーボンナノチューブを化学合成したものです。この方法により、それぞれ構造の異なる最短カーボンナノチューブを6種類、一挙に合成することに成功しました。加えてコレステロールを利用した分離法の開発により、これら6種類すべての最短カーボンナノチューブを分離、さらに分光分析法と理論計算法を組み合わせることでその完全構造決定を実現しました。合成したナノチューブのうち、4種類がらせん型であり、光学活性な最短カーボンナノチューブの世界初の合成・単離例となりました。

5 発表内容

国立大学法人東北大学大学院理学研究科の磯部寛之教授の研究グループは、右巻きと左巻きのらせん型の最短カーボンナノチューブのボトムアップ化学合成に世界で初めて成功しました。有機合成化学を駆使したナノチューブ製造法の今後の発展に、大きく寄与するものと期待されます。

次世代の新材料として期待の高まるカーボンナノチューブ。一方で、現在入手可能なカーボンナノチューブは、多種多様、さまざまな構造体が混ざった状態でつくられ、提供されています。ごく最近になり、短いカーボンナノチューブを、一種類の物質としてボトムアップ化学合成・分離しようとする試みが、世界中で始まりました。2008年末から2010年初頭にかけて、カリフォルニア州立大学バークレー校、名古屋大学、京都大学の3グループが、独立に、ほぼ同時期に「最短カーボンナノチューブ」の化学合成を報告し、相次いで「アームチェア型」最短カーボンナノチューブの選択的合成が実現されました。一方で、より複雑な構造をもつ「らせん型カーボンナノチューブ」の化学合成は非常な困難を伴います。例えば今年4月には、同じ名古屋大学のグループが、らせん型ナノチューブの化学合成を試みましたが、チューブ状構造を保つことが難しく、右巻き・左巻きの構造が消失してしまう問題を報告しています。この先行研究により、最短カーボンナノチューブでは、右手と左手の関係性である光学活性を保つことが極めて困難であることが、より明確となっていました。

磯部寛之教授らは、独自に2008年にクリセンと呼ばれる芳香族分子の合成法を開発していま

した。クリセンは、4つのベンゼン環がジグザグに連なった構造をもった芳香族分子です。磯部教授らは、クリセンの構造が、カーボンナノチューブやグラフェンの部分構造であること、とくに、らせん型最短カーボンナノチューブの化学合成に最適な構造であることに着目しました。今回の研究で、磯部教授らの研究グループは、クリセン分子4つを、カップリング反応を用いることで環状につなげることに成功しました（図1～3）。このボトムアップ化学合成法により、異なる構造をもつ最短カーボンナノチューブを一挙に6種類合成しました。カーボンナノチューブは異なる構造体であっても、非常によく似た性質を示すことから、個別分離と構造決定が次の難題となります。磯部教授らはコレステロールを活用した分離法を開発することで、そのすべてを個別に分離し、つづいて、分光分析法と理論計算法を駆使することで、6種すべての最短ナノチューブの完全構造決定に成功しました。分離した最短ナノチューブのうち、4種類が右巻き・左巻きの構造を保った「らせん型光学活性カーボンナノチューブ」であることを明らかにし、この成果により、右巻・左巻最短カーボンナノチューブを化学合成できることが世界で初めて実証されました。なお、本研究の合成法は、京都大学山子茂教授が2010年に開発したアームチェア型ナノチューブの合成経路を基にし、この方法論が、より複雑な分子骨格をもつ芳香族分子に適用可能であることを示したのとなります。

磯部教授らの研究グループではさらに、最短カーボンナノチューブの右巻き、左巻きのつくりわけ（不斉合成）を試み、ボトムアップ化学合成の際に、コレステロールを添加することで、右巻きを優先的につくることを明らかにしています。現時点での左右の識別効率は、最高17パーセントとそれほど高いものではありませんが、ただ一つの光学活性最短カーボンナノチューブを、選択的に合成し得ることを示す世界で初めての例となりました。

近い将来、有機合成化学を活用したカーボンナノチューブ化学合成法が進展することで、単一の構造をもつカーボンナノチューブの化学合成が実現されることが期待されています。本研究の成果は、ボトムアップ化学合成により、複雑な構造をもつ光学活性カーボンナノチューブの選択的合成までも実現可能となることを示したものです。さらに、最短カーボンナノチューブは、明確な分子構造をもっていることから、ナノチューブ基礎構造のもつ化学的性質を解き明かすために、貴重な基準物質となることが期待されます。

この研究は、磯部寛之教授、一杉俊平氏（博士後期課程学生）、中西和嘉講師らが、JST「震災地域を対象とした研究シーズ探索プログラム」、文部科学省「科学研究費補助金」などを使って行ったものであり、英科学誌「ネイチャー・コミュニケーションズ（Nature Communications）*」で公開されます。

*ネイチャー・コミュニケーションズ誌は、オンライン版に特化し迅速な論文発表を目指したネイチャー誌の姉妹紙。2010年4月創刊。詳しい紹介は以下のURLに掲載されています（日本語）

<http://www.natureasia.com/japan/ncomms/about/>

研究者の氏名・所属：

磯部寛之（いそべひろゆき）：	東北大学大学院理学研究科化学専攻	教授
一杉俊平（ひとすぎしゅんぺい）：	東北大学大学院理学研究科化学専攻	博士後期課程学生
中西和嘉（なかにしわか）：	東北大学大学院理学研究科化学専攻	講師
山崎孝史（やまさきたかし）：	東北大学理学部化学科	学部学生

6 発表雑誌

ネイチャー・コミュニケーションズ

(ネイチャー速報誌、Nature Communications)

日本時間 2011 年 10 月 12 日 公開 (英国時間 10 月 11 日 16 時)

論文名: Bottom-up synthesis of finite models of helical (n,m) -single-wall carbon nanotubes
(らせん型 (n,m) -単層カーボンナノチューブのボトムアップ化学合成)

論文 URL: <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms1505>

ネイチャー・コミュニケーションズ誌 URL: <http://www.natureasia.com/japan/ncomms/>

7 問い合わせ先

国立大学法人 東北大学大学院理学研究科 化学専攻 教授 磯部 寛之

Tel: 022-795-6585 Fax: 022-795-6589 Email: isobe@m.tohoku.ac.jp

国立大学法人 東北大学大学院理学研究科 化学専攻 講師 中西 和嘉

Tel: 022-795-6588 Fax: 022-795-6586 Email: wnak@m.tohoku.ac.jp

研究室ホームページ: <http://www.orgchem2.chem.tohoku.ac.jp/>

* 解禁日時の規定等について: <http://www.nature.com/authors/policies/embargo.html>

8 用語解説

カーボンナノチューブ

飯島澄男教授 (東北大学大学院理学研究科出身、現名城大学) が 1991 年に発見した、ダイヤモンド、非晶質、黒鉛、フラーレンに次ぐ 5 番目の炭素材料。グラフェンシートが直径数ナノ (10 億分の 1) メートルに丸まった極細チューブ状構造を有している。カーボンナノチューブはその丸まり方、太さ、端の状態などによって、電気的、機械的、化学的特性などに多様性を示し、次世代産業に不可欠なナノテクノロジー材料として、現在、世界中で最も注目されている材料である。なお、「らせん型」は、カーボンナノチューブの最初の報告 (1991 年) において発表された、最初のカーボンナノチューブの型であるが、これまで 20 年間、ボトムアップ化学合成は実現されていなかった。カイラルインデックスというナノチューブの分類では「らせん型」は (n,m) 、「アームチェア型」は (n,n) となる。 ($n \neq m$)

参考情報 [<http://ja.wikipedia.org/wiki/カーボンナノチューブ>]

ボトムアップ化学合成

小さな構造体から、大きな構造体をつくりあげる方法がボトムアップ法と呼ばれる。とくにナノスケールの構造体の構築法に用いられることが多く、なかでも化学的手法を用いた化学合成法に、大きな期待が寄せられている。本研究では、「カップリング反応」という有機合成手法を活用することでボトムアップ化学合成が実現された。

参考情報 [<http://ja.wikipedia.org/wiki/ナノテクノロジー>]

光学活性

右手と左手の関係性を持ち得る分子はキラルと呼ばれる。（「キラル」はギリシア語の「手」を意味する言葉に由来する。）この右手と左手のように鏡像関係にあるキラルな分子のうち、どちらか一方のみが存在する物質、あるいはその特性は、光学活性と称される。

参考情報 [<http://ja.wikipedia.org/wiki/キラリティー>]

不斉合成

化学反応により光学活性な物質をつくりわけける合成。2001年の野依良治教授のノーベル賞受賞対象として広く知られている。右手と左手の種類のあるキラル物質を、どちらか片方の手のみをつくる方法である。なお、野依教授の最初の不斉合成での、左右の識別効率は10パーセント程度であった。その経緯・背景は、野依教授の近著「事実と真実の敵なり（日本経済新聞社刊）」などに詳しい。

参考情報 [<http://ja.wikipedia.org/wiki/不斉合成>]

クリセン

ベンゼン環構造をもつ自然界にも存在する芳香族分子の一種。4つのベンゼン環がジグザグ型に連なった構造をもっている。鉱物中などにも見いだされるが、その化学合成に有効な手法は限られていた。

参考情報 [<http://ja.wikipedia.org/wiki/クリセン>]

カップリング反応

二つの化学物質を結合させる反応。記憶に新しいものとしては、2010年ノーベル賞受賞対象となった鈴木・宮浦カップリングや根岸カップリングがある。本研究では、「ホモカップリング反応」という同種の分子を結合させる反応が用いられている。

参考情報 [<http://ja.wikipedia.org/wiki/カップリング反応>]

9 添付図版

* 電子ファイルのご要望は報道機関名とともに isobe@m.tohoku.ac.jp までご連絡ください

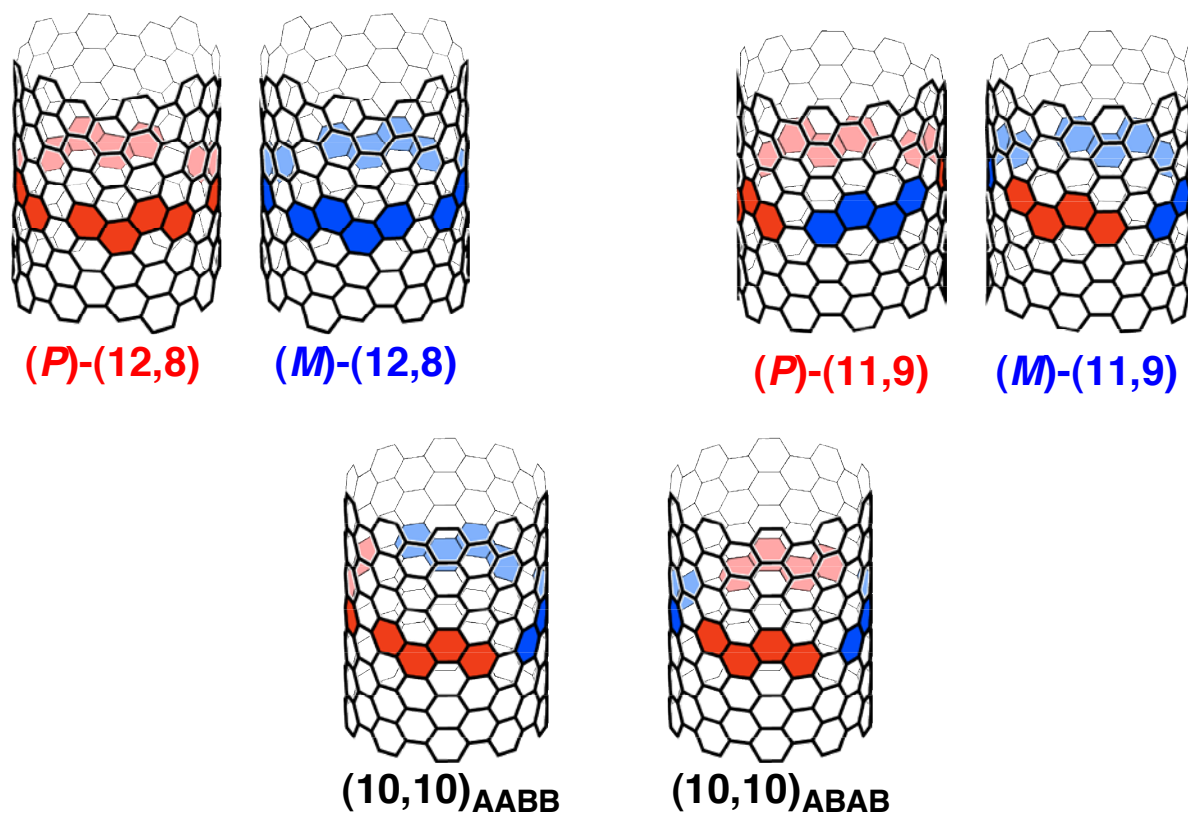


図1：らせん型、アームチェア型カーボンナノチューブの構造。色つきの部分が今回、化学合成された最短ナノチューブ。上段の2組（4つ）が、らせん型で右巻き構造（*P*）と左巻き構造（*M*）となっている。（*P*）型を鏡に映すと（*M*）型となり、両者は右手と左手の関係にあることがわかる。下段の2つはアームチェア型。構造の下の番号は、ナノチューブ構造の種類を示すもので、カイラルインデックスと呼ばれる。

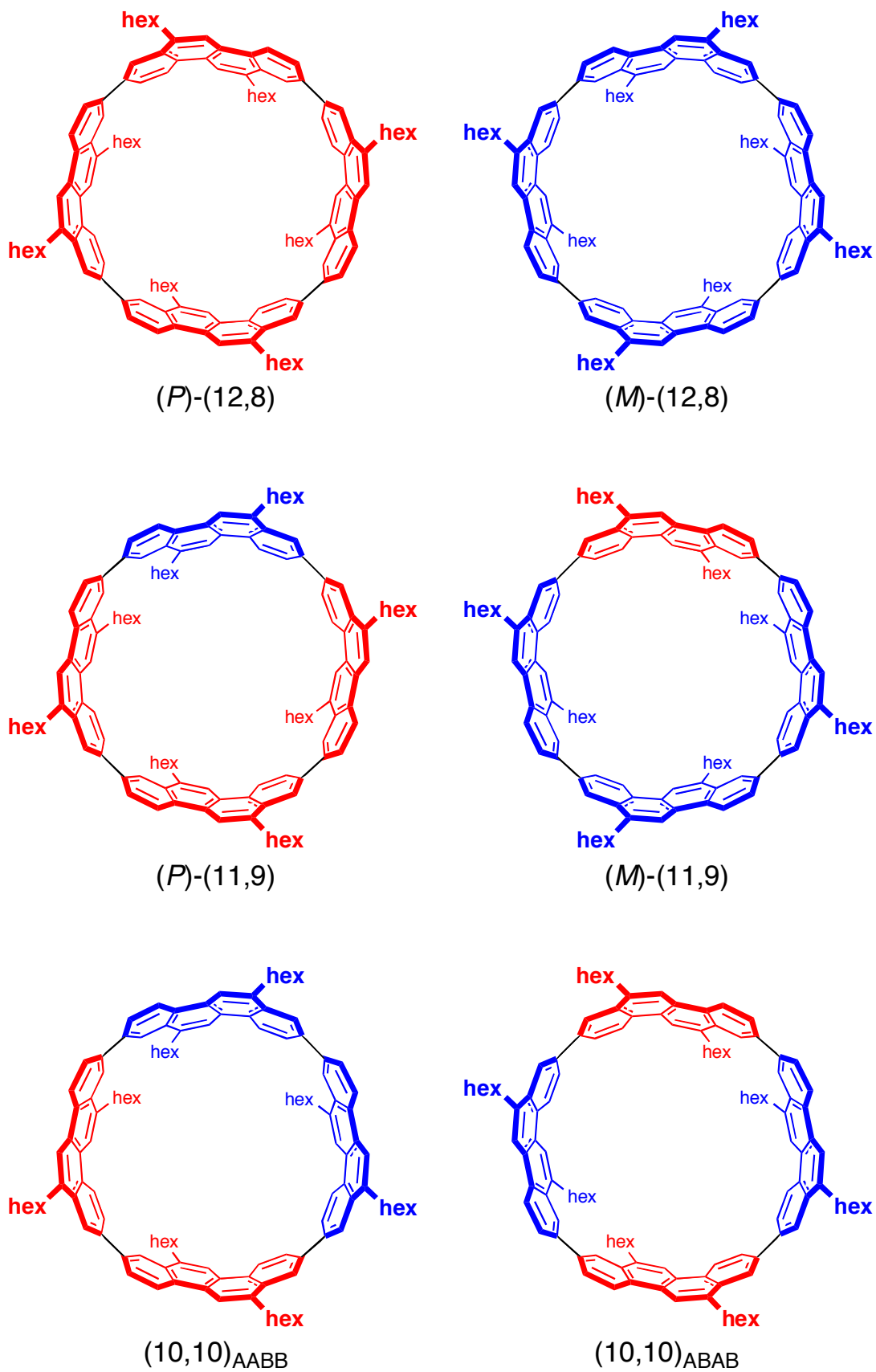


図2：化学合成された最短カーボンナノチューブを上から見た図。上2段（4つ）が、らせん型で右巻き構造（ P ）と左巻き構造（ M ）となっている。（ P ）型と鏡に映すと（ M ）型となり、両者は右手と左手の関係にあることがわかる。最下段の2つはアームチェア型。構造の下の番号は、ナノチューブ構造の種類を示すもので、カイラルインデックスと呼ばれる。

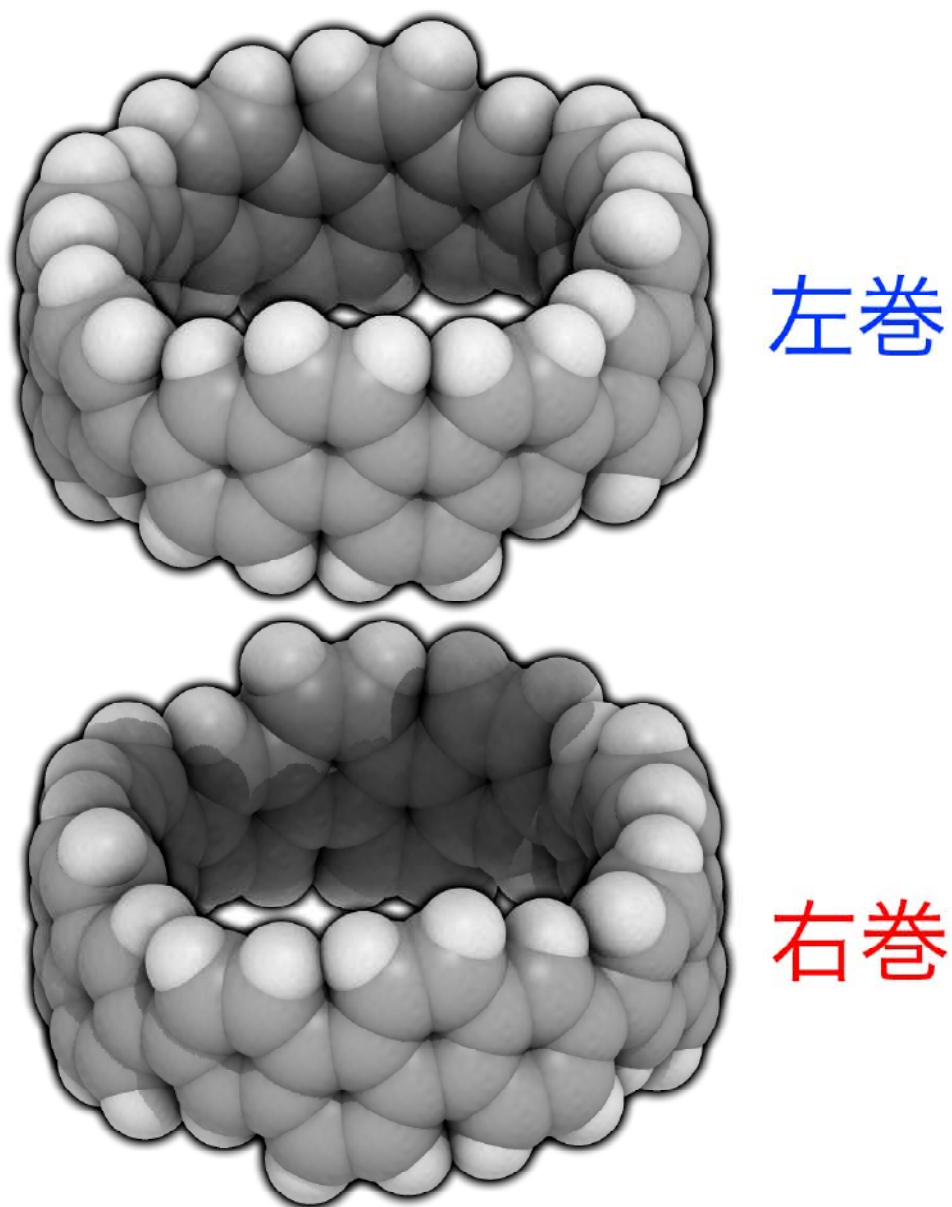


図3：化学合成されたらせん型最短カーボンナノチューブの分子模型（代表例，カイラルインデックス（12,8））。上のらせん構造は左巻、下のらせん構造は右巻きになっており、両者は鏡に映した関係になっている。今回の研究では、これらの左右識別合成（不斉合成）までも実現している。