

令和 4 年 10 月 24 日

広島大学の「持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点」が 文部科学省の令和 4 年度世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) に中四国で初めて採択されました

広島大学の「持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点 (International Institute for Sustainability with Knotted Chiral Meta Matter, 以下 SKCM²)」が 10 月 13 日に、文部科学省の令和 4 年度世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) の新規採択拠点として決定されました。このプログラムは、“世界から目に見える”きわめて高い研究水準を誇る研究拠点の形成を目的とし、そのための大学・研究機関の自主的なシステム改革等を強力に支援するものです。中四国地域の大学および研究機関で初めての採択となります。

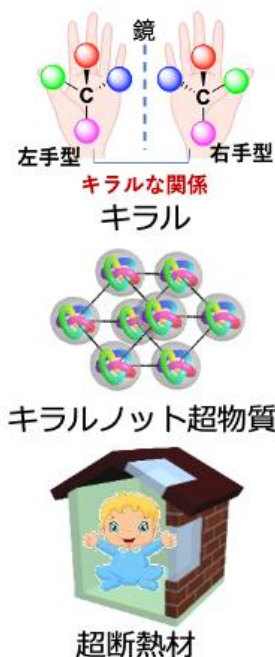
拠点名にあるキラルとは、右手と左手の関係のように鏡像が互いに重ならない物質の状態を意味します。地球上の生命を構成しているアミノ酸のほとんどは、左手型のキラル分子ですが、生命がどのようにして片方のキラル分子を選択したのかはわかっていません。SKCM²では、このような片方に偏る性質を模擬した結び目をもつ、キラルノット物質を創り、その構造が生じる原因とその性質を明らかにします。

また、その研究成果をもとに、生命と素粒子・宇宙のキラリティ (対掌性) の偏りの起源に挑みます。この壮大な自然科学のテーマについて、数学、物理学、化学、生物学、材料科学、宇宙・惑星科学などの多様な分野の研究者が取り組み、キラリティが支配する自然の摂理を明らかにする新たな学術分野「キラルノット超物質創成学」を確立します。ここでの成果は、エネルギー・資源の枯渇、難治性の疾患など、多くの問題を解決するグリーンテクノロジーや医療イノベーションの創出に貢献します。

SKCM²の拠点長である Ivan Smalyukh (イワン・スマリユク) 先生 (広島大学コンサルタント・米国コロラド大学ボルダー校教授) は、米国ホワイトハウスの大統領キャリア賞をはじめ、多くの賞を受賞している材料研究の世界的リーダーです。彼は、これまでに、キラルノット超物質によって作成した超断熱材の開発 (窓ガラスに用いる) に成功しており、この新材料を建物全体に広げていくことにより、快適な室内環境を保ち、全世界のエネルギー消費量の約 40% を占める建築物の省エネへの貢献が可能になります。

本拠点で実施する基礎研究は、増大するエネルギー需要の削減や、エネルギーを生成することによって引き起こされる気候変動の緩和といった、地球規模の大きな課題に対応する技術革新を促進します。

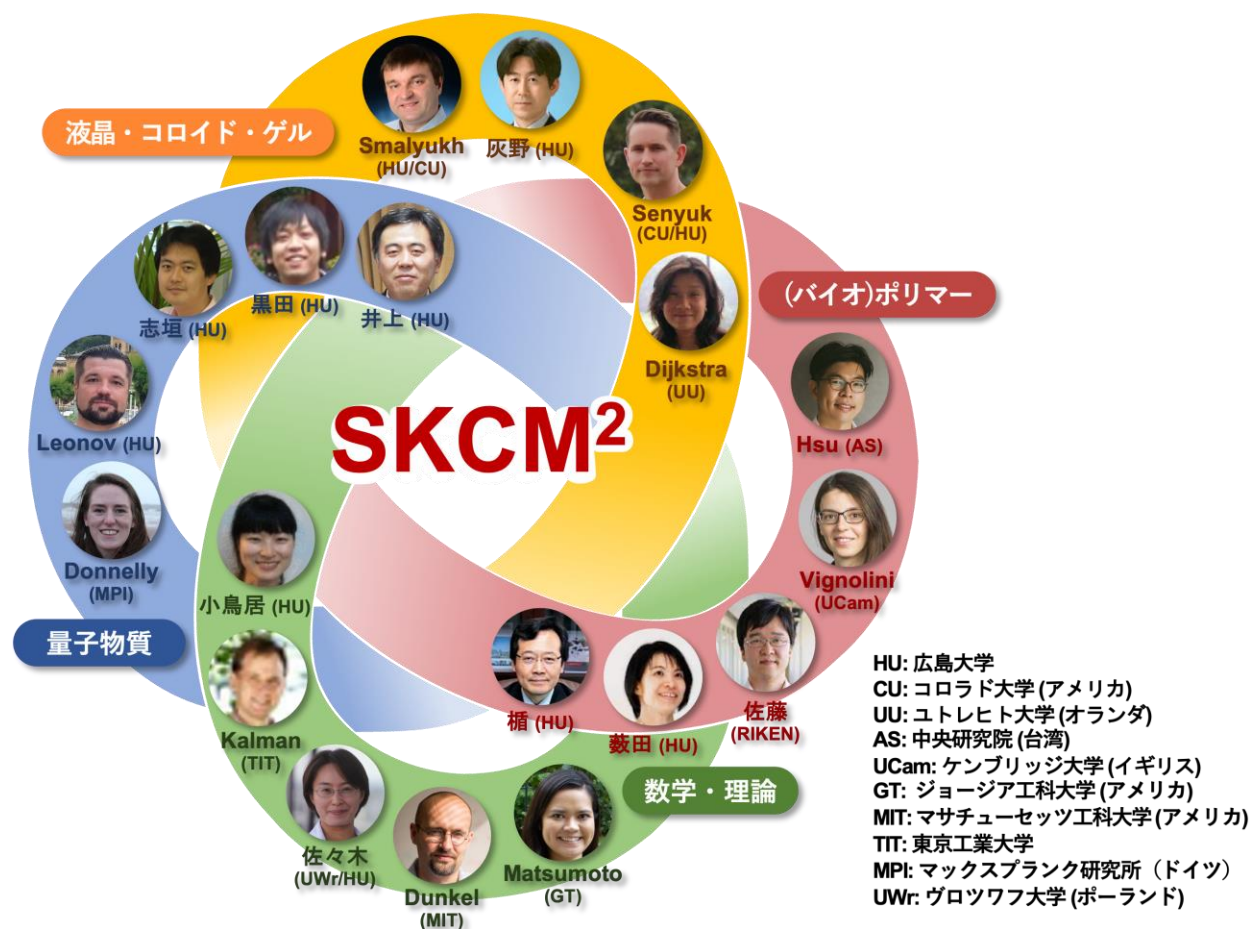
また、キラルノット超物質の特性を自在にデザインする新技術を確立し、例えば、エネルギーロスゼロの情報伝送素子、高密度記憶素子などを開発します。



さらに、アルツハイマー病などの疾患の原因とされているタンパク質の誤った結び目構造を制御し、疾患の治療法の開発にも挑戦します。

本拠点では、8人の広島大学の主任研究者に加え、英国ケンブリッジ大学、米国マサチューセッツ工科大学（MIT）、ドイツ・マックスプランク研究所などの世界トップクラスの研究機関から11人の主任研究者を招聘します。SKCM²に参画する若手研究者は、これらの世界水準の研究者・研究機関との共同研究の機会を得ることができます。

このような拠点形成が可能となった背景には、副拠点長である井上克也教授（広島大学）が2015年から主導している日本学術振興会・研究拠点形成事業（Core-to-Coreプログラム）「スピキラリティを軸にした先端材料コンソーシアム」の成果があります。広島大学は、このプログラムの運営に成功した経験を活かしながら、SKCM²での若手研究者、女性研究者、外国人研究者の育成および登用に力を注ぎ、日本全体の教育・研究改革の起点である学術界の国際化とダイバーシティの推進を図っていきます。



【お問い合わせ先】

未来共創科学研究本部 研究戦略推進部門
E-mail : ura@office.hiroshima-u.ac.jp

世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)とは？

■ 背景

優れた頭脳の獲得競争が激化する科学の世界において
トップレベルの研究人材を世界中からひきつける「**国際頭脳循環のハブ**」となる研究拠点が日本に必要

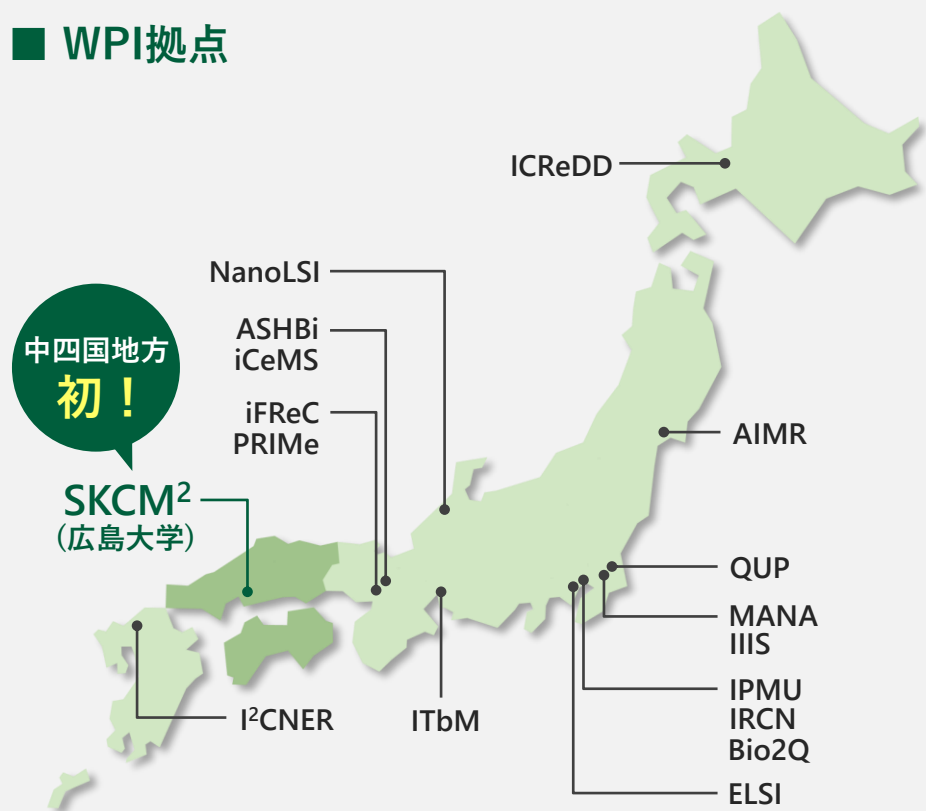
■ 事業目的

大学等への集中的な支援を通じてシステム改革等の自主的な取組を促すことで、**高度に国際化された研究環境**と世界トップレベルの研究水準を誇る“**国際頭脳循環のハブ**”となる研究拠点の充実・強化を着実に進める

■ ミッション

- 世界を先導する卓越研究と国際的地位の確立
 - 世界最高水準の研究成果
 - 分野融合性と多様性による学問の最先端の開拓
- 国際的な研究環境と組織改革
 - 研究力向上のための国際頭脳循環の達成
 - 分野や組織を越えた能力向上
 - 効果的・積極的かつ機動的な組織経営
- 次代を先導する価値創造
 - 基礎研究の社会的意義・価値
 - 次代の人材育成: 高等教育段階からその後の職業人生まで
 - 内製化を見据えた拠点運営、拠点形成後の持続的発展

■ WPI拠点



■ 拠点の要件

- 総勢70～100人程度以上
- 世界トップレベルのPIが7～10人程度以上
- 研究者のうち、常に30%以上が外国からの研究者
- 事務・研究支援体制まで、すべて英語が標準の環境



拠点長
イワン・スマリユク

右手と左手、右旋回と左旋回の関係のように鏡像が互いに重ならない物質と運動の状態をキラルという。スマリユクは、一方のキラル分子が集積すると、結び目構造(キラルノット)が形成されることと、キラルノットは、自発的に凝集して、特異な物性を示す「超物質」になることを発見した。本拠点では、素粒子から宇宙のような広大な時空間スケールにおいて、キラルな物質が生み出す新たな構造・特性を見出し、その原理を解明して、キラルノット超物質創成学を確立する。

■ 目標

本拠点では、分子や原子などの自然界を構成する要素の人工類似体を開発し、自然界をより深く理解することを目指す。また、自然界には存在しない材料特性を持つ、新しいタイプの人工材料を自在に創成して、地球規模の問題を解決し、持続可能な未来を実現するための技術革新の基盤を構築する。

このような研究を進めながら、日本や世界の研究活動を基盤とする大学院教育改革の先行事例を作り、若い才能をグローバルにつなげ、自然科学と社会科学をリンクさせて、持続可能性の一層の向上を図る。

■ 特徴：世界で唯一のキラルノット研究の拠点

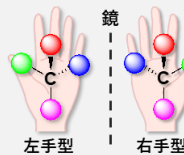
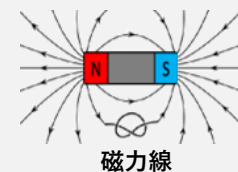
- 構成要素としてノットの構造を設計・開発し、「キラルノット超物質」という新しいパラダイムを導入する
- 人工的に設計可能なノット(粒子)から材料を創り出し、自然の限界を克服する非常に優れた特性を示すノットキラル超物質を創出する
- 数学的結び目理論とキラリティに関する知識を分野を超えて交換する



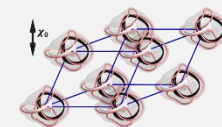
■ 研究内容

糸で結び目を作るように、物理的な力線(磁石が作る磁力線など)にも結び目(ノット)を作ることができる。このノットは人工原子のように粒子として振る舞う。右手と左手の関係のように鏡像が互いに重ならない物体の性質をキラルという。このキラルの性質を利用すると、磁石や液晶などの材料中にノットを自在に作り出せる。私たちは、このような物理的な力線のノットを構成要素とする「キラルノット超物質」の研究パラダイムを確立する。

液晶のような実験可能な系で自然現象を再現することにより、素粒子から宇宙全体までのスケールで、自然界の基本法則を探る。そのために、純粋・応用数学の知識と物理学、惑星科学、宇宙論、生物学、物質科学、工学の知識を統合する。水引のように物理的な力線ノットと分子を編み込むことで、自然の謎を解き明かし、自然の限界を超えた新しい物性や必要とされる特性を実現する。本拠点では、キラルノット結晶や自然物質の人工模擬物質を創り、新物質を創成する。例えば、地球上の全エネルギー消費量の40%を占めるビルの冷暖房に無駄なエネルギーを節約するために必要な超断熱を可能にする。私たちの材料を用いてこのエネルギーを節約すれば、世界のエネルギー需要を減らし、気候変動を緩和することになる。



キラルな関係
キラル



キラルノット超物質



超断熱材

■ 連携先

米国(マサチューセッツ工科大学、コロラド大学ボルダー校、ジョージア工科大学)、オランダ(ユトレヒト大学)、英国(ケンブリッジ大学)、ドイツ(マックスプランク研究所)、ポーランド(ヴロツワフ大学)、台湾(中央研究院)、日本(理化学研究所、東京大学、東京工業大学)等

Selected for The World Premier International Research Center Initiative (WPI)

■ Background

In the world of science where we see an escalation of competition to attract talented researchers, Japan needs a new research center that can attract top-notch researchers from around the world so as to be “a hub within global brain circulation”.

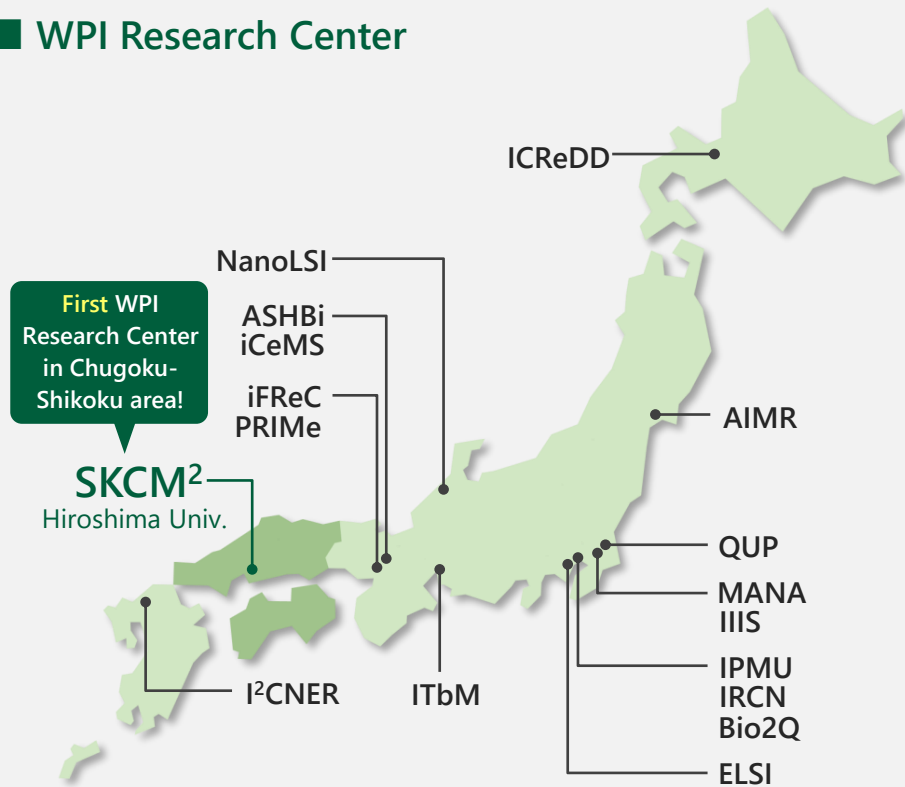
■ Project Purpose

By encouraging independent initiatives such as system reforms through intensive support to universities and other institutions, the WPI will steadily improve and strengthen research centers that will become ‘hubs of international brain circulation’ with a highly internationalized research environment and world-leading research standards.

■ Mission

- To establish world-leading research excellence and international position
 - World-class research outputs
 - Pioneering the cutting edge of science through interdisciplinarity and diversity
- Global Research Environment and System Reform
 - Enabling Global Brain Circulation to enhance research capabilities
 - Interdisciplinary and Inter-organizational Capacity Building
 - Effective, Proactive and Agile Management
- Values for the Future
 - Societal Value of Basic Research
 - Human Resource Building: Higher Education and Career Development
 - Self-sufficient and Sustainable Center Development

■ WPI Research Center



■ Requisite for the Research Center

- A total of at least 70-100 staff members as a target, including young postdoctoral researchers, research support staffs, and administrative employees.
- At least 7-10 of the world’s top principal investigators within the host institution.
- At all times, at least 30% of the researchers should be from overseas.
- Be it administrative or research support personnel, establish English as the primary language for work-related communication.

International Institute for Sustainability with Knotted Chiral Meta Matter (SKCM²)



Center Director
Ivan I. Smalyukh

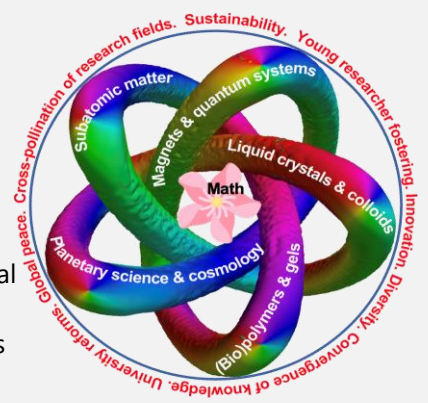
Professor Smalyukh is a World leader in material research and a recipient of many awards, including a presidential career award from the US White House. Within this project, he and the Center aspire to create new types of artificial materials by design, with physical properties not encountered in natural systems. This approach will enable highly desirable material properties needed to help address challenging global problems, like the growing energy demand and climate change.

■ Mission

We will develop artificial analogs of molecules, atoms and even smaller building blocks of nature to gain deeper understanding of the World around us. We will introduce designable materials with highly desirable properties not encountered in nature, as well as create foundations for technological innovation to solve global problems & enable sustainable future. While pursuing this research, we will create a testbed for research-based graduate education reforms in Japan & beyond, connecting young talent globally and inter-linking natural & social sciences for sustainability & global peace.

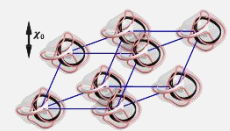
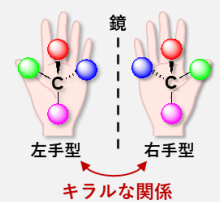
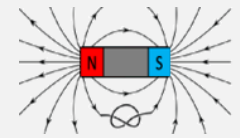
■ Identities: SKCM² is the only institute globally that:

- develops knots in fields as designable building blocks of artificial matter, thus introducing a new paradigm of "knotted chiral meta matter"
- creates materials from such artificial designable particles to exhibit highly unusual & technologically useful properties, overcoming nature's limitations
- cross-pollinates mathematical knot theory & chirality knowledge across disciplines & scales



■ Research

Just like one can make a knot in a string, physical field lines (like the force field lines created by a magnet) can be knotted too. These knots then exhibit properties of particles, which are artificial analogs of atoms. We can create them at will in materials like magnets & liquid crystals with the help of chirality, a property of objects with mirror images not overlapping each other, like our right and left hands. We seek to establish a research paradigm of "knotted chiral meta matter," with such knots in physical fields as its building blocks. We will probe fundamental laws of nature at scales from its smallest building blocks to the entire Universe through recreating natural phenomena in experimentally accessible systems, like the liquid crystals used in displays. To accomplish this, we will integrate knowledge in pure & applied math with that in physics, planetary science, cosmology, biology, material science & engineering. By knotting & knitting physical fields and molecules, much like in the Mizuhiki artforms, we will help reveal mysteries of nature & enable new physical behavior & desirable properties that overcome its limitations. We will create crystals of knots in fields and other artificial analogs of natural matter, making new materials by design. For example, we will enable thermal superinsulation needed to save energy wasted for heating and cooling buildings, which consume 40% of all energy generated globally. Saving this energy by adopting our materials would help reduce the global energy demand and mitigate climate change.



■ Collaboration

SKCM² is a partnership of Hiroshima Univ. with RIKEN, Univ. of Tokyo & Tokyo Tech in Japan & MIT, CU-Boulder & Georgia Tech in the USA, Utrecht Univ. in the Netherlands, Cambridge Univ. in the UK, Max Plank Institute in Germany, Univ. of Wroclaw in Poland & Academia Sinica in Taiwan.

令和4年度 世界トップレベル研究拠点プログラムに 応募した16大学・機関と採択された3大学

東北大学

筑波大学

東京大学

東京医科歯科大学

東京工業大学

新潟大学

金沢大学

東海国立大学機構名古屋大学

○大阪大学

神戸大学

○広島大学

九州大学

熊本大学

○慶應義塾大学

理化学研究所

量子科学技術研究開発機構

■拠点長

Ivan I. Smalyukh (イワン スマリユク)

広島大学 持続可能社会を導くノットドキラル超物質拠点 (KCM²S) 拠点長
コロラド大学ボルダー校 物理学科 教授



■学歴・職歴

2017年－現在	コロラド大学ボルダー校 物理学科 教授 (テニユア)
2014年－2017年	コロラド大学ボルダー校 物理学科 准教授 (テニユア)
2012年－現在	コロラド大学ボルダー校 材料科学・工学フェロー
2009年－現在	コロラド大学ボルダー校&NREL RASEI フェロー
2007年－2014年	コロラド大学ボルダー校 物理学科 助教
2004年－2007年	イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 博士研究員
2003年	ケント州立大学 博士課程修了 (PhD in Chemical Physics)
1995年	リヴィウ工科大学 修士課程修了
1994年	リヴィウ工科大学 卒業

■主な受賞歴

2022年	イスラエル、テルアビブ大学モーティマー&レイモンド・サックラー高等研究所 IAS フェロー
2022年	オランダ、アイントホーフエン工科大学 複雑分子システム研究所 ICMS 特別教授
2021年	アメリカ化学会 ラングミュア講演賞
2021年	国際光工学会 SPIE フェロー選出
2018年	国際液晶学会(ILCS) 業績賞
2018年	NASA iTech 賞 (コロラド大学ボルダー校 iFeather チーム)
2017年	CNRS・パリ南大学・ESPCI CNRC チェア&パリサイエンスチェア
2016年	アメリカ物理学会 APS フェロー選出
2015年－2016年	アメリカ物理学会 (ソフトマター部門) GSoft 賞
2014年－2015年	フンボルト財団 フリードリヒ・ヴィルヘルム・ベッセル賞
2013年	米国エネルギー省 若手研究賞
2011年	米国科学アカデミー Kavli フロンティアフェロー選出
2010年	米国ホワイトハウス科学技術政策室 PECASE 賞
2009年	米国国立科学財団 CAREER 賞
2006年	国際液晶学会 グレン・H・ブラウン賞

■主要論文

1. G. Poi, A. Hess, A. Seracuse, S. Žumer & I.I. Smalyukh. *Nature Photonics* **16**, 454–461 (2022).
2. H. Mundoor, J.-S. Wu, H. Wensink & I.I. Smalyukh. *Nature* **590**, 268–274 (2021).
3. I.I. Smalyukh. *Rep. Prog. Phys.* **83**, 106601 (2020).
4. D. Foster, C. Kind, P. Ackerman, M. Dennis & I.I. Smalyukh. *Nature Phys.* **15**, 655–659 (2019).
5. J.-S. B. Tai & I. I. Smalyukh. *Science* **365**, 1449–1453 (2019).
6. Y. Yuan, Q. Liu, B. Senyuk & I.I. Smalyukh. *Nature* **570**, 214–218 (2019).
7. H. Mundoor, S. Park, B. Senyuk, H. Wensink & I.I. Smalyukh. *Science* **360**, 768–771 (2018).

■主な研究業績

Smalyukh 氏は、持続可能な未来に貢献するための学際的な基礎研究を行っている。ホップフィオンのようなトポロジカルソリトン、ノット結晶、単斜晶系ネマチック液晶、二軸性コロイド強磁性体のような新しいタイプの凝縮系物質を発見した。また、建物のエネルギー効率を高める透光性と断熱性に優れたエアロゲルを開発し、これは世界のエネルギー需要を削減する可能性を持つ。