

トポロジー理論を用い、 編物の強靱性を高める

広島大学 大学院先進理工系科学研究科
教授 井上 克也

2025年10月23日



SKCM²
WPI HIROSHIMA UNIVERSITY



従来技術とその問題点

- ・ 編物の強靭性はその編物を構成する糸の素材に強く依存する
- ・ 従来、編物の強靭性等の機械的性質について、編み目構造レベルでの研究が行われている
- ・ 編物の機械的性質に係るメカニズムについては解明されていない
 - 素材依存による強度の限界
 - 利用可能な素材は編物の用途に応じて限定される
 - 素材選択でコスト増・用途制限・耐久性不足が発生

新技術の特徴・従来技術との比較

- ・ 素材ではなく構造設計で編物の強靱性を付与
 - トポロジー(位相幾何学)理論で構造設計
 - 素材依存によらず強靱性付与
 - 素材選択の自由度の拡大
 - 素材選択に制約が有っても強靱性向上可能
 - ✓ 軽量・高強度・コスト削減の実現

新技術について

- ・編物の機械的性質に係るメカニズムの解明
 - トポロジー(位相幾何学)的に同一である糸同士の絡み構造の編物は、高い強靭性を有し、局所的な破断や劣化を抑制することが可能
 - 編地の素材となる糸の性質に依存することなく、編地の機械的特性を高めることができる
 - 素材のコストを低減しつつ、編地及びこれを用いる編物の機械的強度を向上させることができる

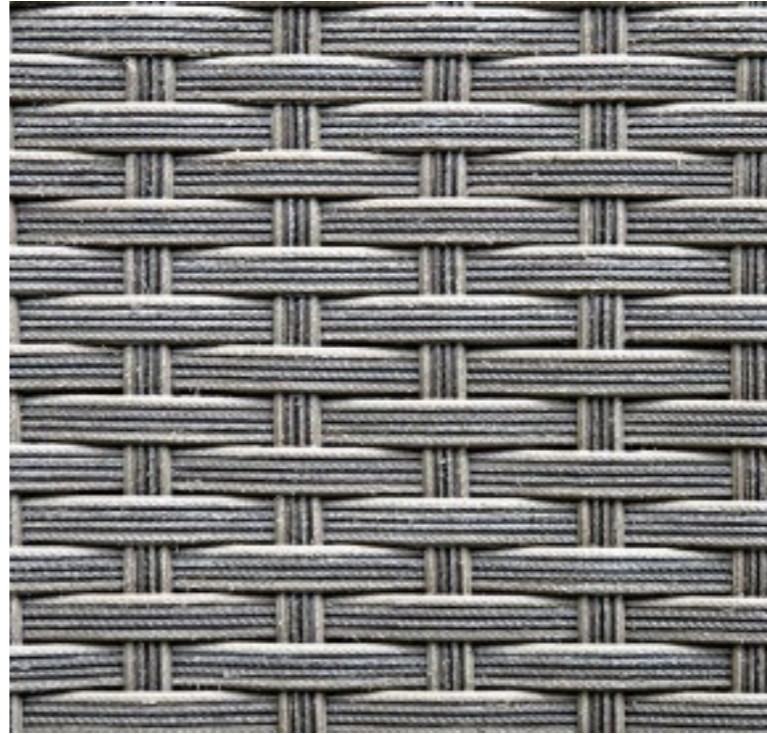
トポロジー的に同一とは

- 図形や空間の連続的な性質に着目する位相幾何学の観点から同じ形であることを表し、切ったり貼り合わせたりすることなく、物体の形を自由に伸ばしたり縮めたりねじったりして同じ形にできることをいう
- 編地を構成する糸同士の絡み構造についてトポロジー的な同一性を考える
- それぞれの絡み構造について、空間的なつながり方が同じであることを、トポロジー的に同一であるという

編み物や織物は結び目が二次元に広がった構造をしている



出典: Pixabay (フリー素材)



出典: Pixabay (フリー素材)

織り物
(縦糸と横糸が絡み合っている)



出典: Pixabay (フリー素材)

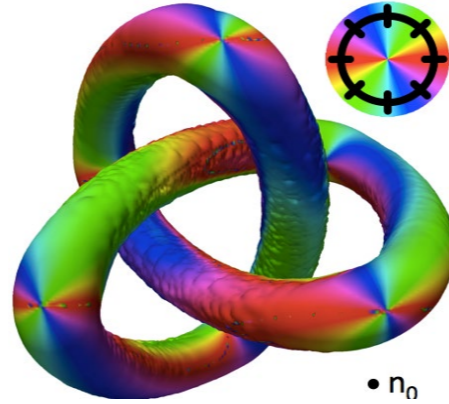
編み物
(糸がループを作りそのループに通る)

結び目は右手、左手のキラリティを持つ場合がある



キラル結び目 (三葉結び目)

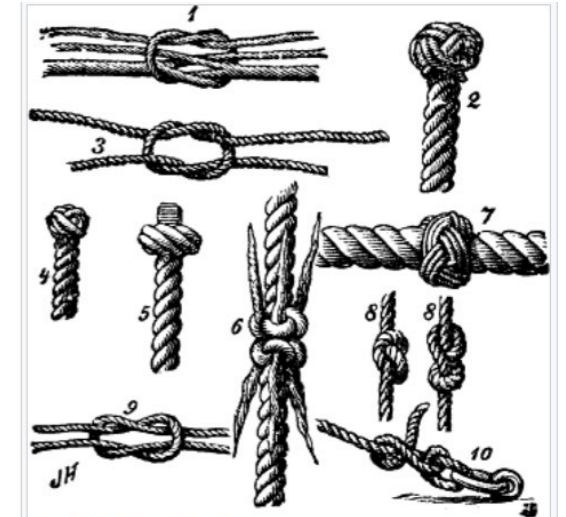
複数の結び目はキラリティが同じ場合と異なる場合がある



右+左

右+右
または
左+左

ちょうちょ結び 右+左
縦結び(緩む悪い結び方) 右+右または左+左



Nordisk familjebok knots:

1. Yarn knot (ABoK #2688)
2. Manrope knot (ABoK #847)
3. Granny knot (ABoK #1206)
4. Wall and crown knot (ABoK #670, #671)
5. Matthew Walker's knot (ABoK #681)
6. Shroud knot (ABoK #1580)
7. Turk's head knot (ABoK #1278-#1397)
8. Overhand knot, Figure-of-eight knot (ABoK #514, #520)
9. Reef knot, Square knot (ABoK #1402)
10. Two half-hitches (ABoK #54)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Knot>

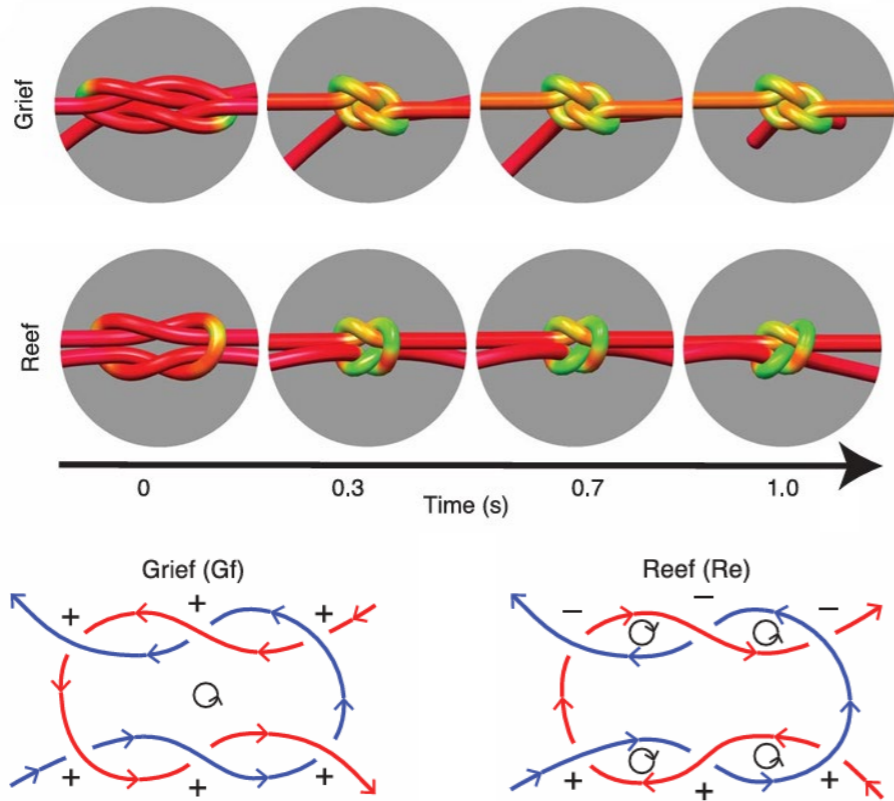
(CC BY-SA)

加わる力、エネルギーとキラリティの関係

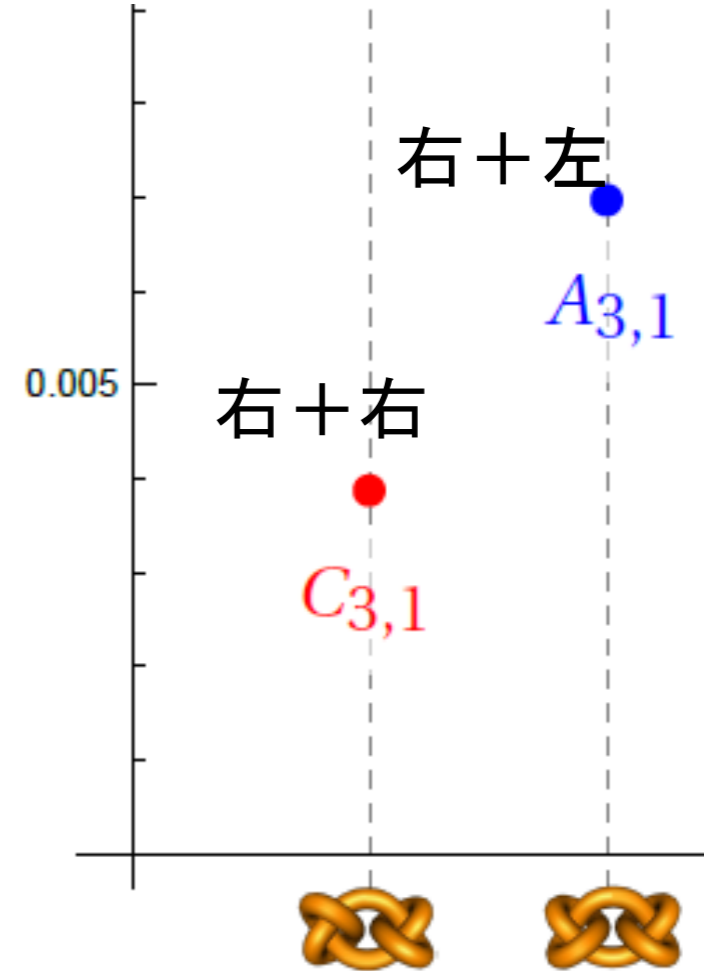
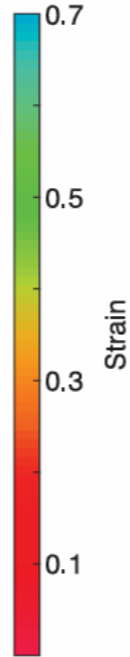
糸に加わる力

右+右

右+左

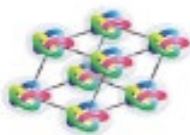
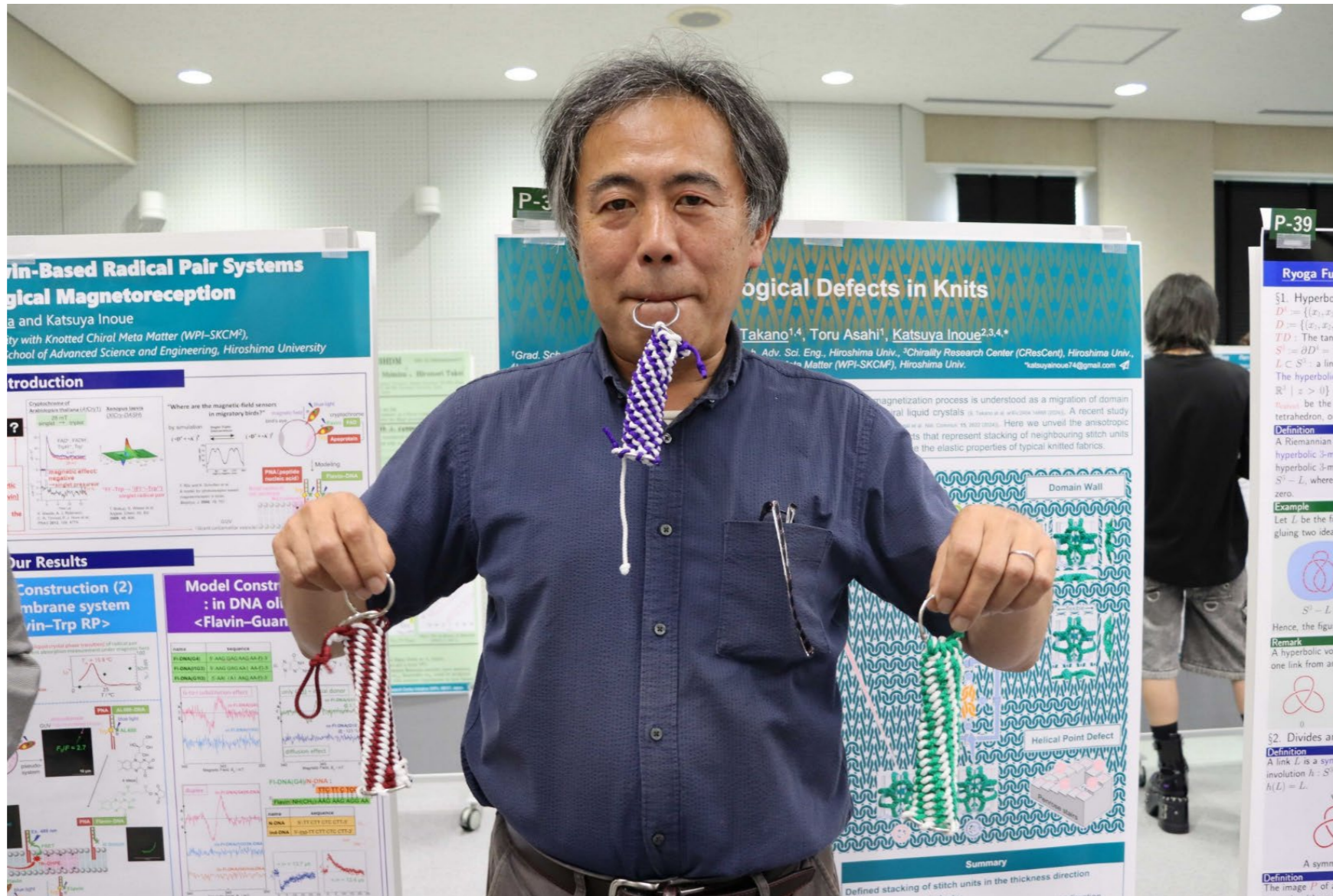


内部エネルギー



[2] V. P. Patil, J. D. Sandt, M. Kolle, J. Dunkel, *Science*, 2020, 367, 71

Samuele Faglioni, Katsuya INOUE, 2025.



SKCM²
WPI HIROSHIMA UNIVERSITY





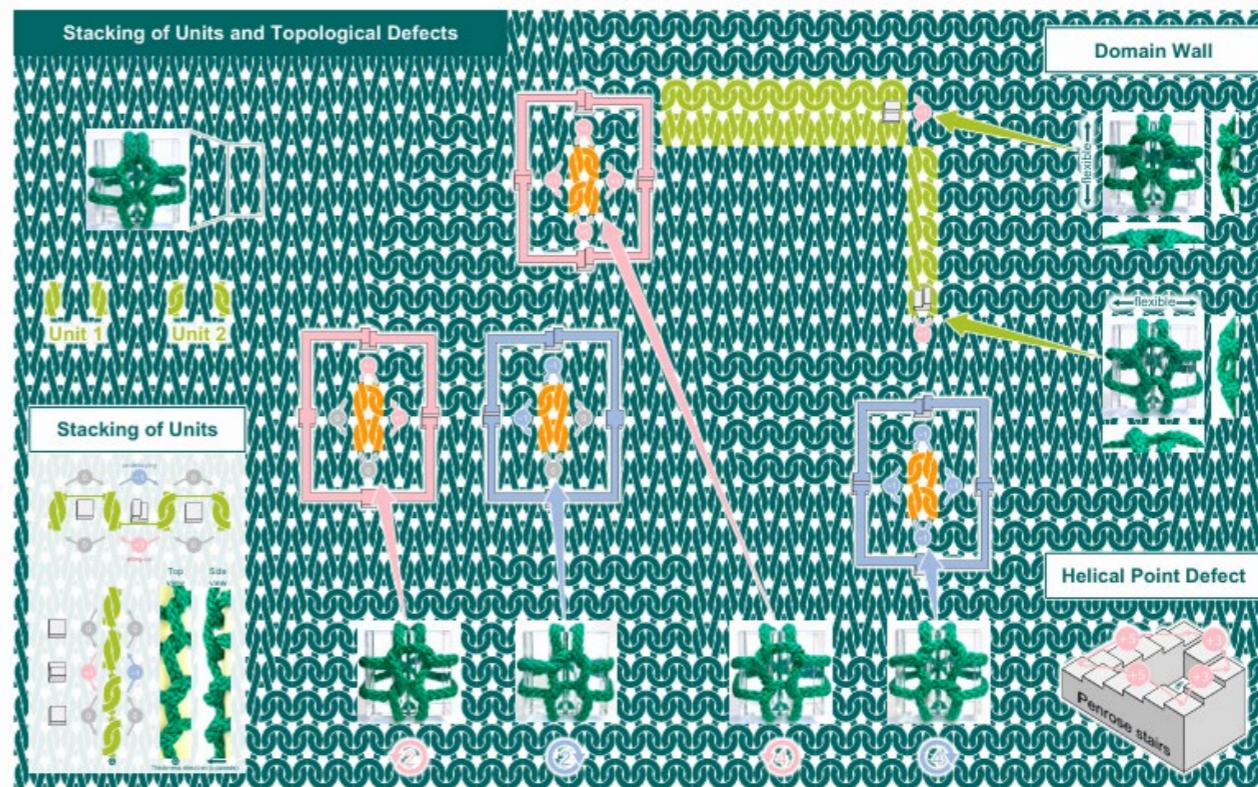
From Dr. S. Matsumoto (WPI-SKCM² PI) Homepage

Topological Defects in Knits

○ Shunsuke Takano^{1,4}, Toru Asahi¹, Katsuya Inoue^{2,3,4,*}

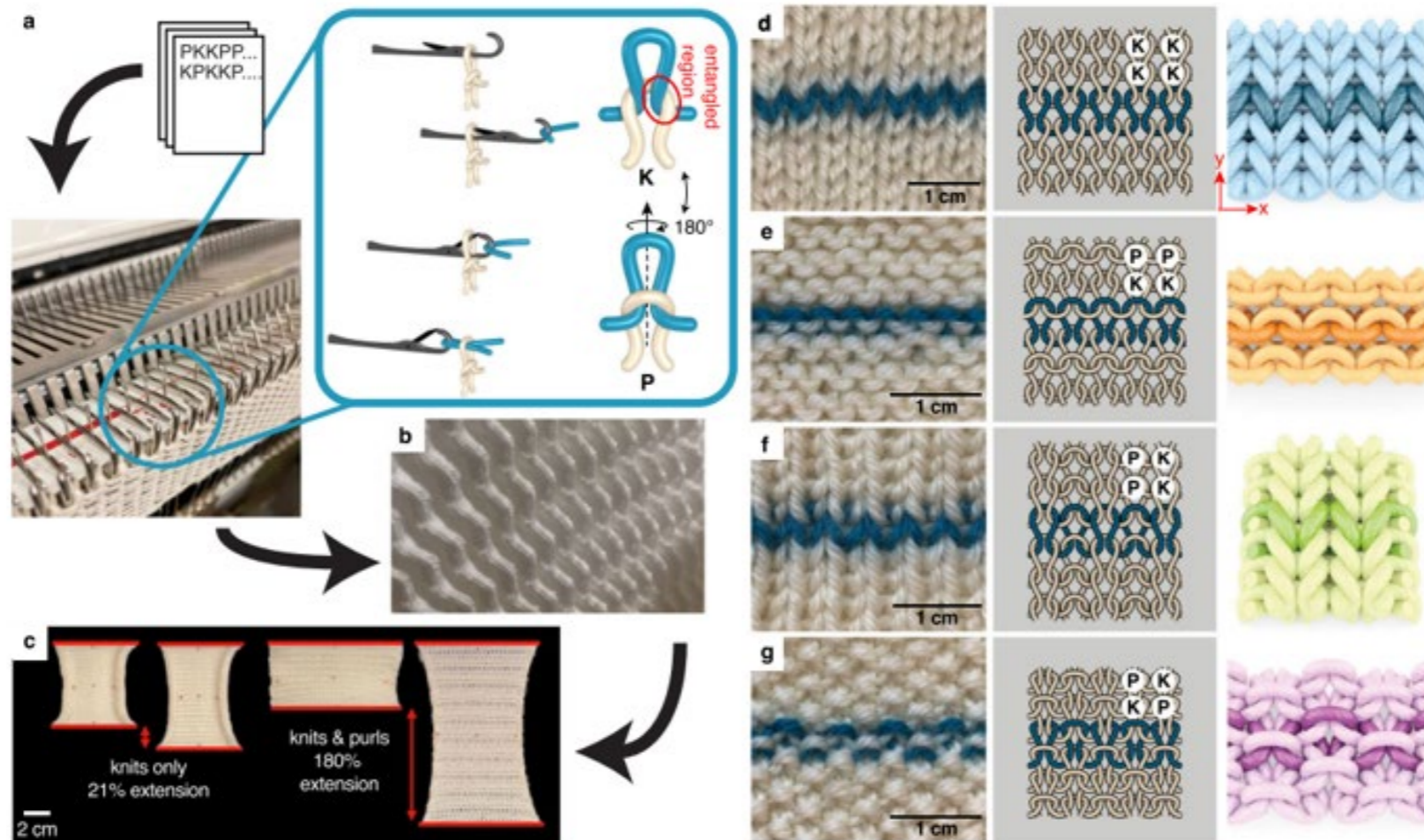
¹Grad. Sch. Adv. Sci. Eng., Waseda Univ., ²Grad. Sch. Adv. Sci. Eng., Hiroshima Univ., ³Chirality Research Center (CResCent), Hiroshima Univ., ⁴International Institute for Sustainability with Knotted Chiral Meta Matter (WPI-SKCM²), Hiroshima Univ. *katsuyainoue74@gmail.com

Abstract Topological defects affect the properties of condensed matter. The magnetization process is understood as a migration of domain walls, and a reversal in thermomechanical coupling stems from disclinations in chiral liquid crystals [S. Takano et al. arXiv:2404.14666 (2024)]. A recent study showed that the stress-strain relations of knits are influenced by stitch topology [K. Singal et al. Nat. Commun. 15, 2622 (2024)]. Here we unveil the anisotropic flexibility of knits by interpreting the inhomogeneous knitting pattern as topological defects that represent stacking of neighbouring stitch units in the thickness direction. We found walls and point defects in knits, whose arrays describe the elastic properties of typical knitted fabrics.



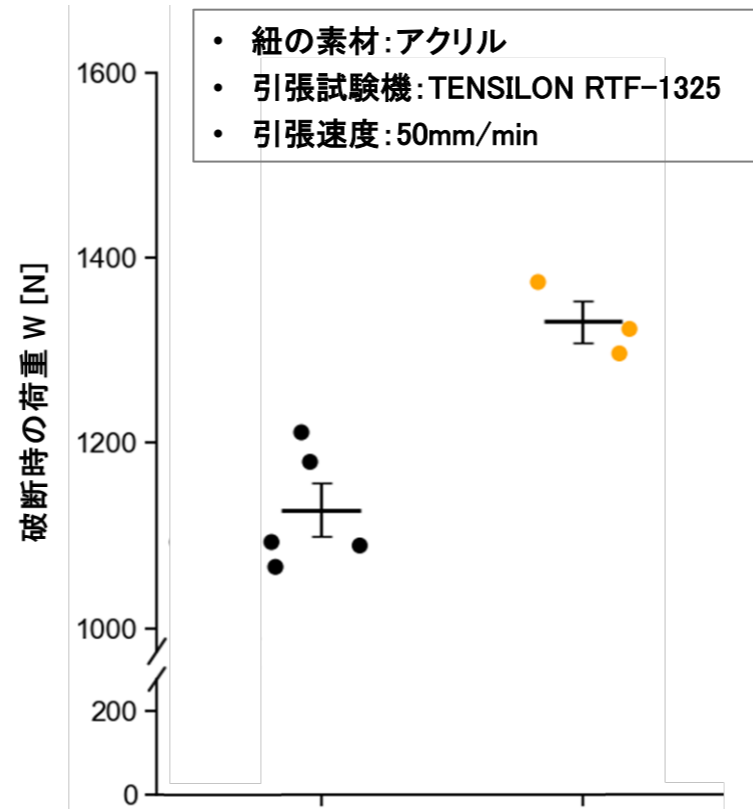
From 2025 WPI-SKCM² Winter Seminar Poster





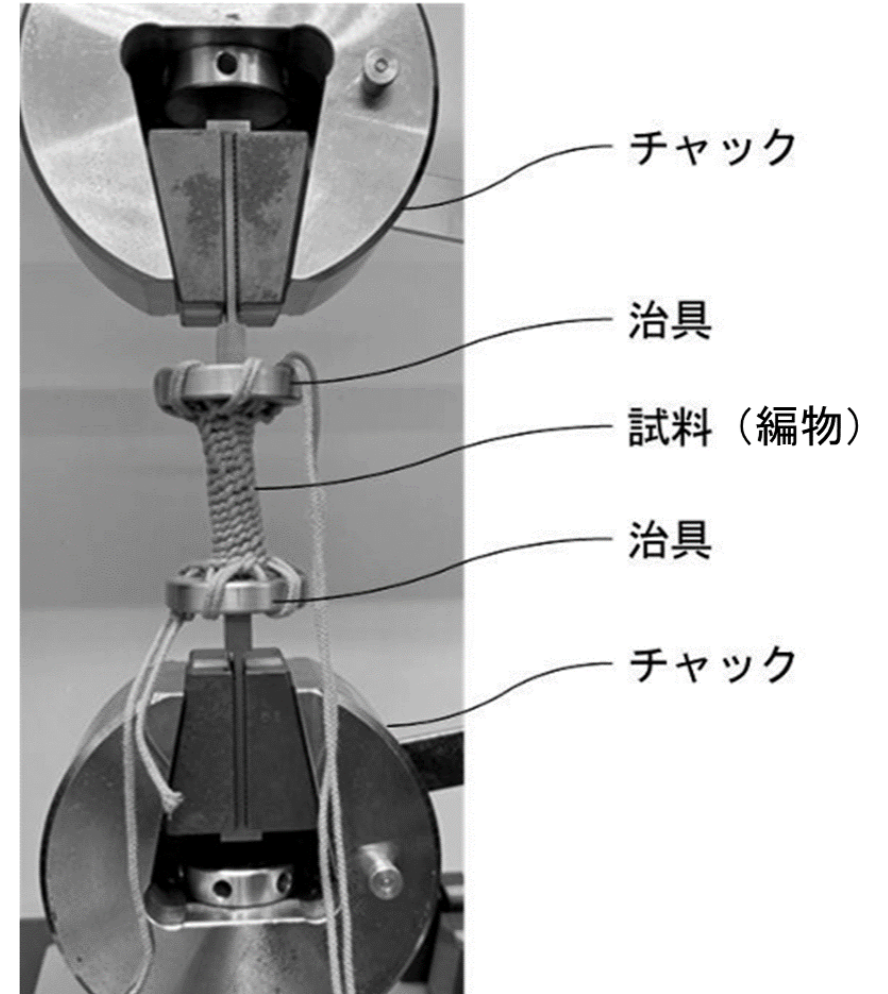
同じ素材で作られた
編物でも絡み構造の
違いによって機械的
強度が異なる

引張試験の結果



トポロジー的に異なる2種類の絡み構造で構成された編物

トポロジー的に同じである単一の絡み構造で構成された編物



想定される用途

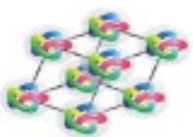
- ・安全・安心社会への貢献
(防弾チョッキ・防刃ベスト・消防服・作業着等)
- ・輸送・モビリティ分野
(材料の軽量化・タイヤ・シートベルト等)
- ・環境・持続可能性
(リサイクル材料の高強度化・長寿命の布地等)
- ・その他の展開可能性
(スポーツ用品・医療用素材 等)

企業様への貢献

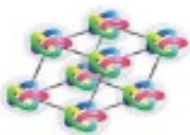
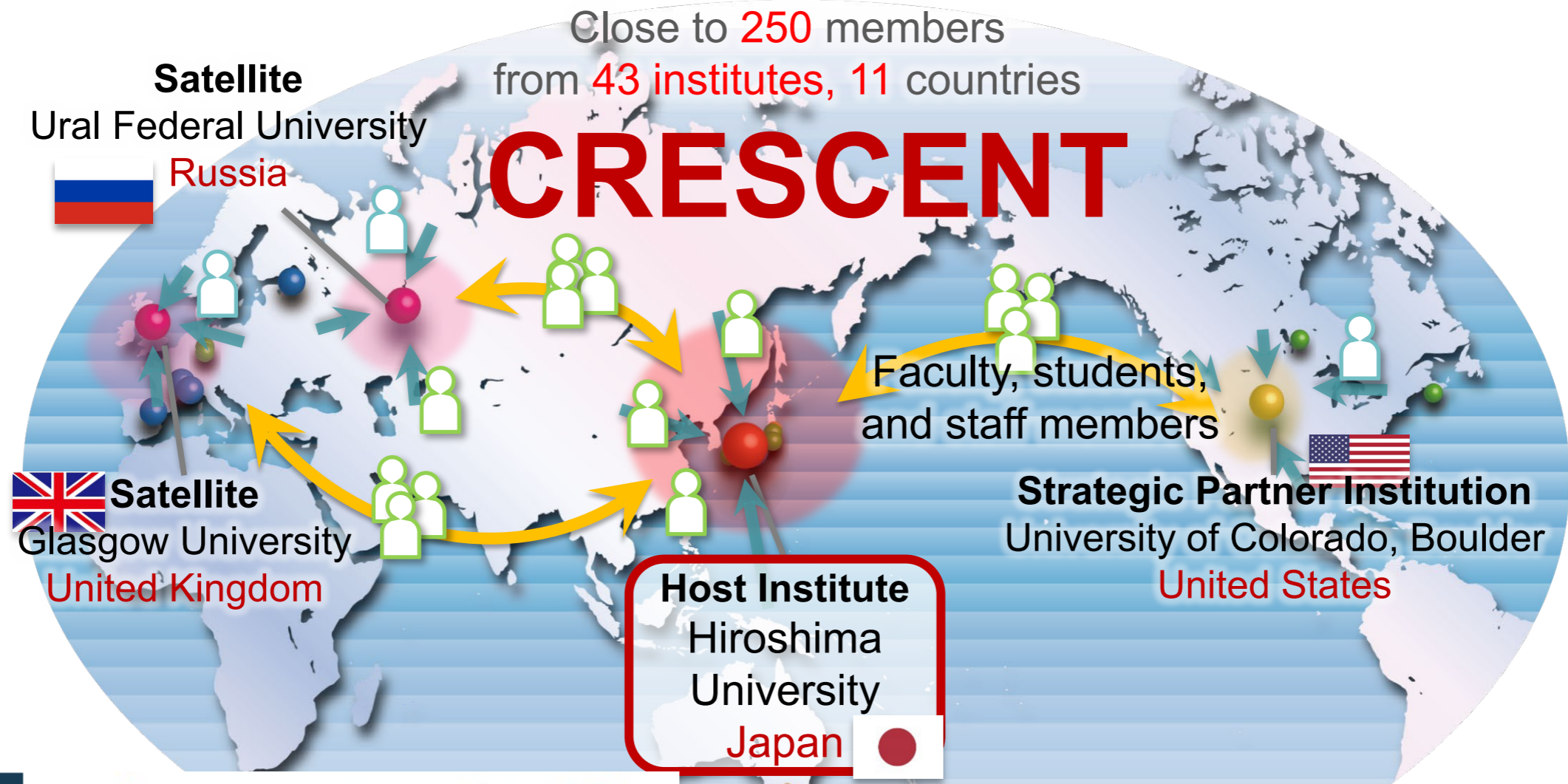
- ・ 用途別最適設計・規格適合化・量産プロセス等の共同研究による貢献
- ・ 共同研究、ライセンス、委託研究、技術者・研究者受入、技術指導等、フレキシブルな対応可能
- ・ 軽量・高強度・コスト削減の貢献
- ・ 新素材研究等との相互補完
- ・ 新市場開拓・環境対応などへの貢献

本技術に関する知的財産権

- 2025年9月16日 特許出願済み
- 出願人 : 広島大学、早稲田大学
- 発明者 : 井上 克也、他2名



広島大学キラル国際研究センター





Hiroshima University

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



2023.03



SKCM²
WPI HIROSHIMA UNIVERSITY

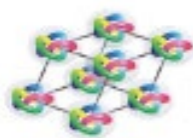


お問い合わせ先

広島大学
産学連携部 産学連携部門

T E L 082-424-4302

e-mail techrd@hiroshima-u.ac.jp



SKCM²
WPI HIROSHIMA UNIVERSITY

