

研究助成研究成果報告書

令和 7 年 9 月 27 日

公益財団法人江野科学振興財団
理事長 江野 眞 一 郎 殿

貴財団より助成のありました研究の成果について下記のとおり報告します。

申請者名 奥村 剛

印

記

1.研究課題名

和 文 高分子シートに生じる亀裂進展の速度ジャンプ現象の普遍性について
英 文 Universality of the velocity jump in the crack propagation on polymer sheets

2.申請者名(代表研究者)

氏 名 奥村 剛	ローマ字表記 Ko Okumura
所属大学・機関名 お茶の水女子大学	英訳表記 Ochanomizu University
学部・部課名 理学部	英訳表記 Faculty of Science
役職名 教授	英訳表記 Professor

3.共同研究者（下段 英訳表記）

氏 名	所属機関名・学部名・役職
(氏 名) 野原 葵	お茶の水女子大学大学院・理学専攻・修士課程
(英訳表記) Aoi Nohara	(英訳表記) Student of the graduate school of Ochanomizu University
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)

4. 英文抄録（300 語以内）

The velocity jump observed in the crack propagation on a sheet of rubber has been used as a powerful tool for developing tough rubber materials such as automobile tires. In 2017, we proposed an exactly solvable model that reproduces basic features of the velocity jump. According to the theory, the jump could be observed widely for viscoelastic materials. However, the report on a clear velocity jump for non-rubber viscoelastic materials has been very limited and, even in such a case, reproducibility was low. In the present study, a mundane food-wrapping film was used as a sample and the crack propagation velocity was investigated with pulling the sample at a constant speed in the direction perpendicular to the crack. As a result, the jump was successfully observed at a critical strain with high reproducibility. Unexpectedly, we found that the plot of the crack-propagation velocity vs the strain was collapsed onto a master curve by an appropriate rescaling. The collapse shows that the master curve is universal for change in the pulling speed and in the sample height. This universality reveals a key parameter for the jump is the strain, suggesting the existence of a small length characterizing the deformation along the crack. Our results open an avenue for the velocity jump to become a tool for developing a wide variety of tough polymer, setting limitations on future theories.

5. 研究目的

一定のひずみに伸長したゴムシートに切り込みを入れると、試料が十分に長ければ、亀裂進展速度が一定速度に達する。この亀裂進展速度が、ひずみが大きいほど速くなることは直感的にも想像できであろう。しかし、ゴムにおいては、ある臨界ひずみを境にその速度が千倍から一万倍もジャンプすることが知られている。これは速度ジャンプ現象とよばれ、ゴムの開発の指針として使われてきたが、長く、理論的説明が存在しなかった。

代表者らは 2017 年に、この現象を説明する理論を構築し、その起源が亀裂先端でのガラス化であることを解明した (Sakumichi & Okumura, Sci. Rep. 2017)。さらに、より速度ジャンプ現象を検出しやすい動的境界条件による実験法を提案して、ゴムでない高分子材料についても速度ジャンプ現象がおこることを示した (Tomizawa & Okumura, Polymer 2019)。このゴムでない高分子材料は、亀裂進展の間、ひずみを一定に保つ、従来の静的境界条件による実験では、緩和の効果でジャンプが覆い隠されてしまう (Takei & Okumura, MRS Commun. 2018)。しかし、ひずみを一定速度で増加させるという動的境界条件を課して実験を行うことで、速度ジャンプの観測に成功した。ただし、この高分子材料は、燃料電池のセパレータに使われる多孔性のポリマーで、ありふれた高分子材料ではない。

もし、ゴムでない高分子材料についても速度ジャンプ現象が普遍的におこることがわかれば、高分子材料一般の開発に大きく立つと考えられる。そこで代表者らは、ありふれた高分子材料で速度ジャンプ現象がおこることを示すべく、研究を進めてきた。その結果、速度ジャンプがいろいろな身近な高分子で起こることはわかってきているが、系統的な結果としてまとめるには至っていない。さらに、それらの高分子の粘弾性特性を調べてみると、必ずしも、代表者らの理論で基本的な説明ができるわけではない可能性も出てきている。そこで、本研究では、ありふれたゴムではない高分子材料において速度ジャンプ現象がおこることを系統的に確立し、粘弾性測定の結果をベースにした理論的解明への道を開く。

6.研究内容及び成果の本文

別紙に作成添付してください。(冒頭に所属、氏名、研究課題を記載ください)

7.今後の研究の見通し

本研究によって、ありふれた非ゴム材料でも速度ジャンプが起こることが、非常に高い再現性をもって明確に示された。さらに、引っ張り速度と試料の縦幅に普遍的な結果が得られた。粘弾性測定の結果からは、過去の理論が本質として指摘しているガラス転移が起こることが確認でき、定性的には理論との一致を見た。しかし、理論が仮定している単純な粘弾性特性を持っているわけでもないため、ある意味当然ではあるが、理論から予測される定量的な性質との不整合も明らかとなっている。今後、さらに、異なるタイプのありふれた非ゴム材料での速度ジャンプ現象の系統的な実験を積み重ねるなどして、理論の発展につなげ、強靱な高分子材料の開発のツールとしての速度ジャンプ現象を確立していきたい。

8.本助成金による主な発表論文、著書名

Aoi Nohara and Ko Okumura, Universality in the velocity jump in the crack propagation observed for food-wrapping films for daily use (under revision):
<https://arxiv.org/abs/2509.09347>

口頭講演, 野原葵, 奥村剛, 「食品包装フィルムに生じる速度ジャンプ現象の普遍性」, 日本物理学会 第 80 回年次大会, 広島大学, 2025 年 9 月 16 日(火)~19 日(金)

口頭講演, 野原葵, 奥村剛, 「高分子シートの動的亀裂進展法による速度ジャンプについて II」, 日本物理学会 2025 年春季大会, オンライン, 2025 年 3 月 18 日(火)~21 日(金)

口頭講演, 野原葵, 奥村剛, 「高分子シートの動的亀裂進展法による速度ジャンプについて」, 日本物理学会 第 79 回年次大会, 北海道大学, 2024 年 9 月 16 日(月)~19 日(木)

[注 1] 本報告書は、助成金を受けた翌年 9 月末までに必ず提出してください。

[注 2] (お願い)印刷物の郵送と電子媒体の添付ご提供をお願いします。インターネットメールでの送付を歓迎します。< E-Mail: enozaidan@kokoku-intech.com >

[注 3] この報告書を当財団のホームページに掲載させていただきますので、予めご了承ください。

※当財団へのご意見・ご要望がございましたら、下記へご記入ください。

お寄せいただいたご意見・ご要望は今後の参考にさせていただきます。

科研費 B の終了年の翌年度にこの研究費が決まり、大変に助かりました。無事に、科研費 B も取ることができ、本研究費と併せることでさらに幅広く研究を展開することができます。ありがとうございました。

アンケートへのご協力ありがとうございました。

以 上