

■受領No.1297

免震ゴムのサステナビリティ ーロシアタンポポ天然ゴムの伸長結晶化に関する研究ー

代表研究者

池田裕子

京都工芸繊維大学 教授



1. 研究目的

現在、天然ゴムは大型トラック用タイヤや飛行機用タイヤなどの素材として安全走行・飛行のため必要不可欠なものとなっている。そして、地震対策用の免震システムの構成成分としても天然ゴムは欠かせない物質である。しかし、現在、使用されている天然ゴムの98%以上は東南アジアで栽培されているヘベア樹から採取されたものであり、しかも栽培ヘベア樹のほぼ全てが、ウィッカムがアマゾンのタパジヨス河左岸で採取したもの（ウィッカム樹）の子孫と考えられるので、遺伝子の多様性の点で問題があり、一旦歯車が狂うと絶滅しやすい状況にある。例えばそれは、ヘベア樹には、南アメリカ枯葉病に対する病理学的に有効な対策が未だ無いからである。従って、学術書^{1,2)}でも取り上げられている通り、ヘベア天然ゴム産出量の維持は我々人類にとって、極めて重要な課題になっている。

これまで人類は有機合成化学により、天然物を合成物で置き換える歴史を歩んできた。しかし、天然ゴムに関しては、いまだ完全化学合成は達成されておらず、また、仮に可能となっても将来の石油枯渇の事態を考えると、天然ゴム産生植物の新たな可能性調査と対策の検討を急がねばならない。これは、紛れも無く、国家の一つの重要課題と言っても過言ではない。天然ゴムが軍需物質であることから、アメリカでは既に非ヘベア天然ゴムに関する大型国家プロジェクトが動いている。

中国は天然ゴム栽培地を求めての南下を続けている³⁾。この問題は特に、地震国日本における免震ゴムの需要が急激に増加すると予想される中、安全・安心な生活を送るために極めて危険な懸念要因となる。従って、ヘベア天然ゴムのみ依存しない社会を構築することが緊急の課題と位置付けられ、ヘベア天然ゴム代替物質の活発な研究が求められている。

そこで本研究では、現在、最も有望視されている代替天然ゴムの一つであるゴムタンポポ（ロシアタンポポ）天然ゴムの高性能化と実用化への展開のために、その最も重要な特徴である伸長結晶化（SIC）挙動を研究する。そして、地震対策用の免震システム用ゴムの観点からその有用性について考察する。



図1 ゴムタンポポ天然ゴム。

2. 研究概要

アメリカオハイオ州立大学コーニッシュ教授より提供して頂いた図1に示すゴムタンポポから採取された天然ゴムの加硫反応を行い、硫黄架橋体（S-DR）を作製した。架橋試薬として酸化亜鉛と

ステアリン酸と *N*-シクロヘキシル-2-ベンゾチアゾールスルフェンアミドと硫黄を用いて、二本ロールで混練後、熱プレスして作製した。網目鎖密度の評価を行うとともに、引張試験と動的粘弾性分析を行って力学的性質を評価した。また、元素分析とフーリエ変換赤外吸収スペクトル測定により非ゴム成分を分析し、ゴムタンポポ天然ゴムにおける非ゴム成分の特徴を検討した。さらに、小型引張試験機をSPring-8のビームラインに設置して、図2に示すように、時分割広角X線回折(WAXD) / 引張試験同時測定を引張速度100mm/min、X線照射時間約70msの条件で、歪み8.0まで伸長した後に元の状態に戻す条件下、繰り返し変形に伴うSIC挙動を探究した。そして、解析ソフトPOLARを用いWAXDパターンの画像解析から結晶化度(CI)と配向性アモルファス成分の指標(OAI)を計算し、Scherrerの式から微結晶の平均体積を求めた。さらに、得られたCIと微結晶の平均体積より平均微結晶数を算出した。また、生成した微結晶の配向の揺らぎは(200)結晶面の回折スポットの方位強度分布から見積もった。

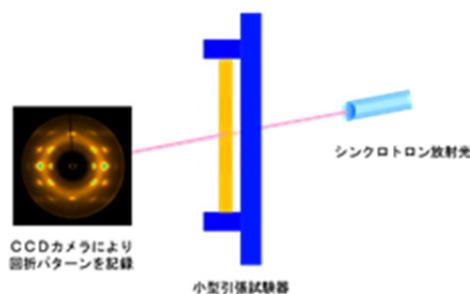


図2 SIC研究で用いた試験機のアウトライン。

繰り返し変形下のS-DRの応力-歪み曲線から、急な応力の上昇が伸張過程の高歪み側で起こり、収縮直後に減少する挙動を確認した。繰り返し変形を経ると応力上昇の開始が遅れ、応力が低下した。図3に示す幾つかの歪みにおけるWAXDパターンから判るように、S-DRにおいても繰り返し変形に伴うリバーシブルなSIC挙動が起こることを確

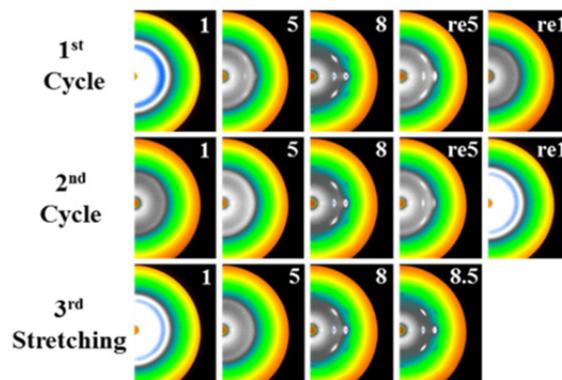


図3 繰り返し変形に対応するWAXDパターン
右上の数字と“re”は、それぞれ、伸長比と収縮過程を示す。

認できた。これらの現象はへべア天然ゴムに見られる挙動と同じであった。しかし、S-DRは比較的低いCIとOAIを示し、微結晶の配向の揺らぎが大きいことからSICで生成した微結晶の伸長方向への配向が非ゴム成分により強く影響を受けることが判った。また、S-DRの繰り返し変形に伴う応力-歪み曲線の低下は、へべア天然ゴムより大きい傾向にあり、さらに、繰り返し変形を経た場合のCIの減少やSICの開始歪みの遅れが大きく、微結晶数の減少やその体積の増加がより明瞭になる傾向があった。これらは、多くの非ゴム成分を含むS-DRの特性とその非ゴム成分の凝集構造の破壊に著しく影響された結果であると考えられる。

上述した傾向は、伸長比を1ずつ変えて繰り返し変形させてえたマリンス効果の結果からも支持された。従って、地震対策用の免震システム用ゴムとしてタンポポ天然ゴムを利用する場合、従来の配合とは異なる非ゴム成分の影響を低減するゴム配合設計を行う必要がある。しかし、ワユール天然ゴムと比較して、よりへべア天然ゴムに似たSIC挙動を示したことから、地震対策用の免震システム用ゴムとして期待されるのは間違いないであろう。

引用文献

- [1] Y. Ikeda, A. Tohsan, S. Kohjiya, “Renewed Consideration on Natural Rubber Yielding

Plants: A Sustainable Development Standpoint”, in *Sustainable Development: Processes, Challenges and Prospects*, Ed. D. Reyes, Nova Science Publishers, 2015)

- [2] A. H. Tullo, “Guayule Rubber Gets Ready To Hit The Road”, *Chem. & Eng. News*, **93**(16), pp.18-19, April 20, 2015.
- [3] C. C. Mann, “Addicted to Rubber”, *Science*, **235**(5940), pp. 564-566, July 19, 2009.

3. 発表 (研究成果の発表)

国内外の学会発表会

- (1) “Study on Guayule and Dandelion Natural Rubbers for a Sustainability”: P. Junkong, Y. Matshishima, K. Cornish and Y. Ikeda, International Rubber Conference 2018 (IRC2018), Sept. 4-6, 2018, Kuala Lumpur, Malaysia. (発表登録受理済、発表予定。)
- (2) “Influence of Strain-Induced Crystallization on Mullin-like Effect of Sulfur Cross-linked Guayule and Dandelion Natural Rubbers”, Y. Ikeda, P. Junkong, T. Phakkeeree, K. Cornish, International Elastomer Conference – 2018, ACS Rubber Division, Louisville, KY, USA, Oct. 9-11, 2018. (発表登録受理済、発表予定。)