

(京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科) 池田裕子\*

[yuko@kit.jp](mailto:yuko@kit.jp)

人類社会に必要な不可欠な天然ゴムについて「天然ゴム架橋体の伸長結晶化に関する研究」と「廃棄天然ゴム製品からのケミカルリサイクルに関する基礎研究」を紹介し、そのサステナビリティ科学の重要性を述べる。

## 1. 緒言

天然ゴム(NR)は、合成ゴムでは代替不可能な宇宙船、飛行機、トラックなどの大型タイヤや免震ゴムの素材として、また、エイズ予防のための筒型の医療材料として、人類社会に欠かせない物質である。世界のNRと合成ゴムを合わせた総消費量が2003年度実績で1935万トンであり、そのうちの41%をNRが占めることからその重要性は判る。2020年にはNRの需要が供給のおよそ1.4倍になると予想されているにもかかわらず、NR園の維持は社会の近代化や地球規模での異常気象の発生に伴って困難になっている。従って、このまま放置すれば人類の生活レベルは維持できなくなり、大きな社会問題を生む。さらに、バイオマス“天然ゴム”は、二酸化炭素吸収面で地球環境の改善にも有効であり、その産出量を今後も維持し、増加させることは地球環境保全の観点からも極めて重要な課題である。植物から産出される唯一の高分子量炭化水素であるNRは有用なゴム製品の原料となるばかりでなく、その廃棄物は、現在、有用な熱源として利用されており、目前に迫った石油・石炭の枯渇化に伴う資源・エネルギー問題解決にも大きく関連している。従って、今、NRの有用性をグローバルに啓発し、NRの価値を上げるサステナビリティ学の確立が急務となっている。

熱帯雨林気候の下で生育するNRを日本で農産物として産出することは現在の所できないが、優れた化学工業を背景に、日本においてNRに関するサステナビリティ科学を発展させることは意義深く、日本のゴム工業の技術の進展にも役立つと考えられる。我々は、高分子科学の観点からNRのサステナビリティ科学に貢献すべく研究を展開してきた。本発表では、「NR架橋体の伸長結晶化に関する研究」と「廃棄NR製品からのケミカルリサイクルに関する基礎研究」について述べる。前者は、NRの材料価値を上げるための、後者はNRのリサイクル有効利用のための研究である。



図1 NR.

## 2. 天然ゴム架橋体の伸長結晶化に関する研究

シンクロトン放射光引張試験同時広角X線回折測定を行って、伸長に伴うNR架橋体の結晶化挙動を研究した<sup>1)</sup>。試料は、NRと合成天然ゴムであるイソプレンゴム(IR)をそれぞれ、ゴム100重量部(phr)にステアリン酸2phr、活性化亜鉛1phr、硫黄と加硫促進剤を変量して混練した後、140熱プレスにより作製した加硫シートである。一例として図2に、各試料の伸長に伴う結晶化の指標(Crystallinity index、CI)の変化を示す。ここで、試料コードの数字が小さいほど網目鎖密度( )は大きいことを示す。NRもIRも、応力(ストレス)を検出しながらも、ストレスが一定の大きさになるまでは何ら反応せず、ある閾値を超えて初めて対応(結晶化)すること、伸長結晶化が開始される伸長比( )は にほとんど影響されず、NRでは約3.5、IRでは約4.5から

伸長結晶化が生じ、NRの方が小さい歪で伸長結晶化することが判った。これは、NRの高い立体規則性によると考えられる。また、結晶化速度はNRの方が緩やかな傾向にあり、NRのタフネスに影響を及ぼしていると考えられる。さらに、2 MPa以下の小さい応力領域では、IRよりNRの方が配向したアモルファスの指標(OAI)の応力による上昇は遅く、低応力領域ではIRよりNRの方が応力を担う配向したアモルファス鎖は少ないことが判った。これらの結果は、NRの物性がIRより優れていることを支持した。

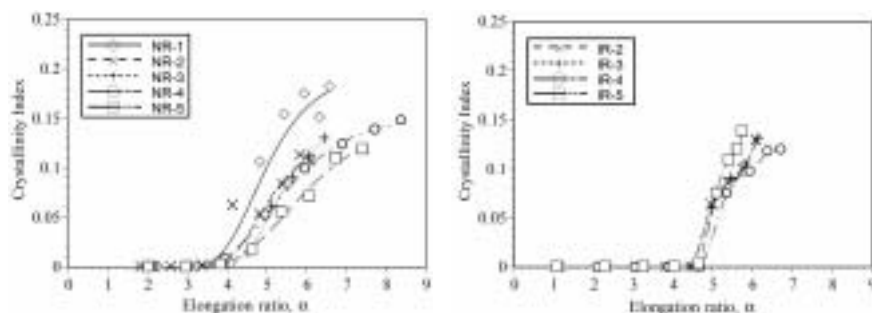


図2 NR加硫物とIR加硫物の伸長結晶化に及ぼすひずみ依存性。

### 3. 超臨界二酸化炭素を用いた天然ゴム架橋体のケミカルリサイクルに関する研究

タイヤに代表されるゴム系廃棄物は世界的に年々増加しており、そのリサイクルが社会問題となっている。現実には、廃棄ゴム製品の約50%が製鉄業などにおける熱エネルギーとして利用されており、マテリアルリサイクル率やケミカルリサイクル率を含めて総合的に評価するとゴム製品は非常に再利用性の高い物質と位置づけることができる。しかし、燃料として用いる方法は廃棄炭化水素系物質にとっては最終処理であり、それに至る前のリサイクルが真に環境適合性循環型社会には必要となる。我々は、超臨界二酸化炭素を利用した天然ゴムを中心とするジエン系ゴム加硫物のケミカルリサイクルについて研究を行った<sup>2)</sup>。超臨界二酸化炭素を反応媒体とすることにより脱架橋試薬ジフェニルジスルフィドをゴム架橋体中に高濃度で、かつ、均一に導入できることを見出し、実際の使用済みトラック用タイヤゴムからモルズに架橋した混練可能なゲル成分と分子量数万のゴム分から成るリサイクル物質が得られ、ブレンド法により再利用可能であることを明らかにした。

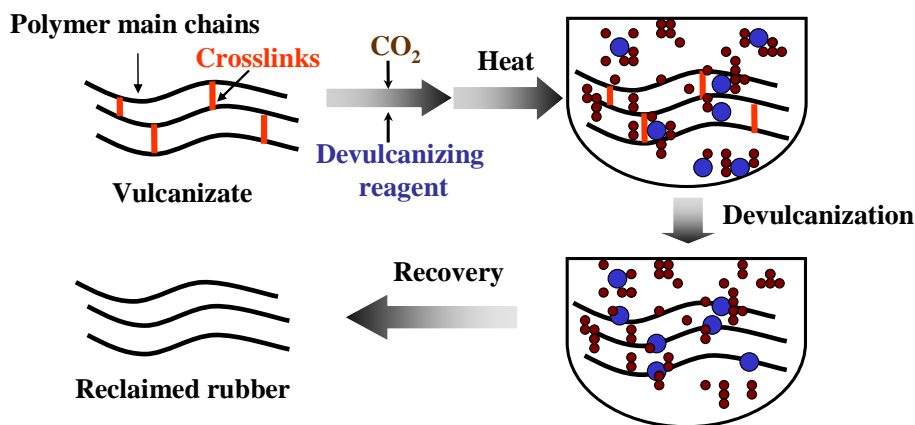


図3 超臨界二酸化炭素中での加硫ゴムの脱架橋反応。

### 4. 結語

平和な持続可能な社会の構築には“天然ゴム”も一つの重要な物質であり、その生産維持とリサイクル利用の両面からのアプローチが不可欠である。天然ゴムのサステナビリティ科学は、今後、益々重要となろう。

**謝辞** 本研究の一部は平成14～15年度産業技術研究助成事業により行いました (ID: 02B67006c)。京都工芸繊維大学、京都大学、東洋ゴム工業(株)、ニューヨーク州立大学の先生方および技術者、学生諸君に感謝する。

**引用文献** 1) M. Tosaka, S. Kohjiya, S. Murakami, S. Poompradub, Y. Ikeda, S. Toki, I. Sics, B. Hsio, *Rubber Chem. Technol.*, **77**, No.4, 711-723 (2004).  
2) 小島正章, 池田裕子, *高分子論文集*, **62**, NO.6, 242-250 (2005).