

研究助成研究成果報告書

令和6年9月26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

平川 靖之



記

1.研究課題名

和 文

ゴム練り工程評価のための電流曲線の等価電気回路による理解

英 文

Understanding of electric current curves by equivalent circuits for rubber mixing processes evaluation

2.申請者名(代表研究者)

氏 名 平川靖之	ローマ字表記 Yasuyuki HIRAKAWA
所属大学・機関名 久留米工業高等専門学校	英訳表記 National Institute of Technology, Kurume College
学部・部課名 電気電子工学科	英訳表記 Department of Electrical and Electronic Engineering
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) 権藤豊彦	元 久留米工業高等専門学校・技術長
(英訳表記) Toyohiko GONDO	(英訳表記) former Chief of Technicians, National Institute of Technology, Kurume College
(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)

Our research group has proposed the rubber evaluation method by using electrical current measurements, and a collaborator has developed and sold ELICALMETER®, which uses this method to estimate carbon black distribution. This method and the instrument are helpful for the research and inspection of rubber production. However, the factors causing electrical current variation measured by the ELICALMETER® have been clarified. The equivalent electrical circuits were derived and studied in this study to study the factors. The characteristics based on electrical circuits could help understand the chemical reactions in rubber products, including vulcanization.

The tested samples are as follows: (1) crude polymer, (2) premixes mixing, (3) masterbatch mixing, (4) final mixing, and (5) vulcanized rubber based on NBR polymer. The NBR polymer has a polarity, which leads to relatively larger electrical currents. A chemical impedance analyzer measured the electrical complex impedance of the samples. It was found that all the samples indicated capacitive semicircles or distorted semicircles on Cole-Cole plots, which is a kind of Nyquist chart. An equivalent circuit has one or two RC parallel circuits with a series of connected resistances. A special circuit element, such as Warburg impedance or constant phase element (CPE), was needed to regress the Cole-Cole plots obtained in the experiments. Various points still need to be clarified. Therefore, detailed studies using samples with different experimental conditions are necessary.

5. 研究目的

申請者等は、加熱・圧縮したゴム試料に電圧を印加して流れる電流により、様々な状態の評価が可能であることを見出した。これまで、各練り工程、配合剤分散、ポリマー、加硫反応、試薬新旧の影響等の評価が可能であることが分かっている。しかし、その電流変化がゴム試料内部のどのような化学的変化に起因しているのか、学術的な追求が十分ではなく、本評価法の普及の妨げにもなっている。

電流によるゴム評価であるので、直接化学的なアプローチをするよりも、まず電気的な特性を理解し、それを化学反応に結びつけて考えるのが順当である。そこで、本研究では、インピーダンス計測から、ゴム試料の等価電気回路を導出し、電気的な面から電流変化を理解することを目的とする。等価回路の電気抵抗、コイル、コンデンサ、それぞれの成分がどのように変化しているのかを追跡することで、架橋による網目鎖の成長、電流エネルギー蓄積、電荷エネルギー蓄積の情報を、温度特性や電圧依存性などからは、活性化エネルギーや電荷のキャリアなどの情報を得て、計測される電流変化を理解することができると考えている。そして、電気的な基礎特性を解明することで、ゴム製品製造に関係する化学反応（一種の電荷の移動現象ということもできる）特定のための基礎を構築したい。そして、電流による評価法の地位を確たるものとし、ゴム業界の発展に寄与したいと考えている。

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

本研究では、基本的な組成・条件の白ゴムについて、ある程度の等価回路の候補を導出することができた。しかし、等価回路中の各素子の役割で明らかとなったのは、直列接続抵抗（高周波極限抵抗） R_0 が電極と試料との接触抵抗である、という点のみであり、他のRC並列回路部の具体的な役割は、配合等の諸条件を振りながら等価回路を求める必要がある。

電気化学インピーダンス法は、電気の研究者には親和性は高いが、詳細な理論はかなり複雑であり、その理解・習得にも時間を要することになる可能性はある。しかしながら、ゴム試料の原材料は潤沢にあるため、今後は、本研究の研究費で作製した金型やソフトウェアを活用して、一つ一つ等価回路を明らかにしながら、継続して研究を進めたいと考えている。

8.本助成金による主な発表論文、著書名

現在のところ、論文発表はありませんが、ゴム協会誌から電流計測関係での投稿依頼がずっと来ていますので、今年度か来年度には投稿すると思います。

[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。