

力学熱量効果測定における幾つかの試み

力学熱量効果は、温度を記録しつつエラストマー試料を外力で変形させることによって測定されます。試料にかなり大きい力を掛ける点で通常の熱測定と異なり、試料ごとに適切な加力機構を工夫する必要があります。今年の熱測定討論会で4つの装置を報告しましたが、紙面の都合でその2つを紹介します。

電動スライダーによる試料延伸 コンピューターからの信号によって、試料台の位置を0.01 mmまで正確に、指定した速度で移動させる装置(電動スライダー)があります。これを試料の駆動に使うことによってきわめて正確に試料の伸長・収縮が可能となります。

試料は長さ60 mm、幅12 mm、厚さ1 mmのゴムリボン2枚を重ね、両端を金属クリップで挟みます。上を張力計のフックに掛け、下のクリップを、プラスチック棒(40 cm 長)を介してスライダーの移動台に固定にします。これはスライダーの発熱による擾乱を遠ざけるための工夫です。温度安定化のために試料部を25 cm×5 cm×5 cmのアルミ箱で囲い、さらに50 cm×20 cm×20 cmの箱に入れます。これらの容器の上下面に設けた穴を通して張力が伝えられます。また、箱の内部を1 Wの微小ファンで攪拌します。2枚の試料の間に熱電対(0.05 mm 径 chr/const)を挿入し、参照接点は試料箱内で支持柱に固定します。

この装置による天然ゴムの測定結果を Fig. 1 に示します。これは600 秒の間に16回の伸縮を行ったときの張力と温度変化を表し、最大長さは約170 %です。

スライダーの利用によって非常に詳細な伸長の設定ができるようになり、例えば、変形の小さい $t < 160$ 秒の領域では、伸長によって温度が低下することがわかります。また、大変形領域の温度変化に見られるように、各ピークについて、温度上昇の方が温度下降より大きいことがわかります。これはゴムの変形に伴うエネルギー散逸の効果と思われる、変形速度依存性があるだろうと考えられます。スライダーの速度可変機能を用いて詳しい測定ができるだろうと思います。

ずり変形における力学熱量効果 ずり変形でも力学熱量効果があると思われますが、測定は報告されていません。今回測定を試みました。

Photos 1, 2は、あるゴム材(免振材として使われるポリマー、主成分ポリスチレン)の上面に右向けにずり応力を与えと結果の変形を示します。試料の大きさは43 mm×12.0 mm×9.2 mmです。2つのローラーの下にアクリル板製の押さえ板があり、下の写真では試料の上面が右に変位しています。試料(4.6mm 厚のもの2枚)に挟んだ熱電対もわずかに見えるかもしれません。ずり変形の大きさは試料に描いた縦線の変位角(θ)を用いて $\gamma = \tan \theta$ と書かれます。

ずり変形を与えるには少し工夫が必要でした。滑らないように試料台面に金属メッシュを貼り付け、その上に試料を置きます。上面を押さえるアクリル板にもメッシュを貼り付け、そのアクリル板を2つのローラーで押さえます。ローラーは金属棒に固定され、上に逃げることはできないので、これによって力をロスすることなくずりの力を与えることができました。アクリル板は張力計を介してワイヤーで変位させました。それには張力計をネジ止めした金属板に6 mm ナットをハンダ付けし、ナットに長いステンレス製6 mm ボルトを組み合わせておきます。ボルトを回転させると金属板と張力計が平行移動し、ワイヤーがアクリル板を引くことになります。ネジのピッチから変位距離が計算されます。

この装置で得た結果を Fig. 2 に示します。ずりを与える力に即応して温度変化が生じ、ここでもすべてのピークについて温度上昇が温度下降より大きいことがわかります。なお、ずり変形の大きさ

はこの実験では最大で $\gamma = 0.71$ でした。

これらの実験結果から、張力から試料に移行した力学エネルギーと温度変化として測定された熱量の関係を定量的に比較することができます。また、伸縮率またはずり歪の関数としてエントロピーの減少値が得られ、それから、エラストマーの特性値として部分鎖数密度（あるいは、架橋点数密度）が得られます。同じモデルでずり応力の測定値からも部分鎖数密度が得られ、両測定値の比較が可能です。また、温度上昇と下降の差からエネルギー散逸の大きさが得られ、これらの解析も興味あるテーマです。

本熱学レポートの研究紹介「プラスチックの変形熱と力学熱量効果」において、もう一つの装置と測定結果を記載しましたので、そちらもご覧ください。

(鈴木 晴, 松尾隆祐)

発表

鈴木 晴, 松尾隆祐, 第 55 回熱測定討論会(東大阪), P65 (2019).

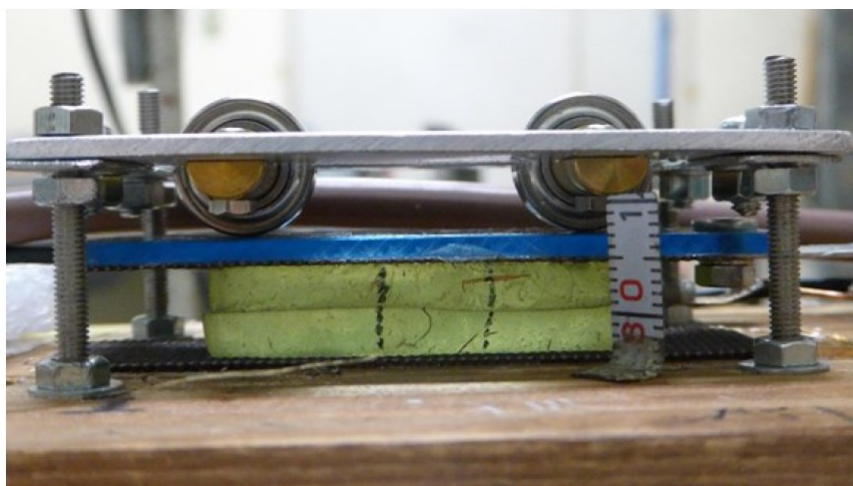


Photo 1. A styrene-based elastomer sample set on the shearing apparatus.

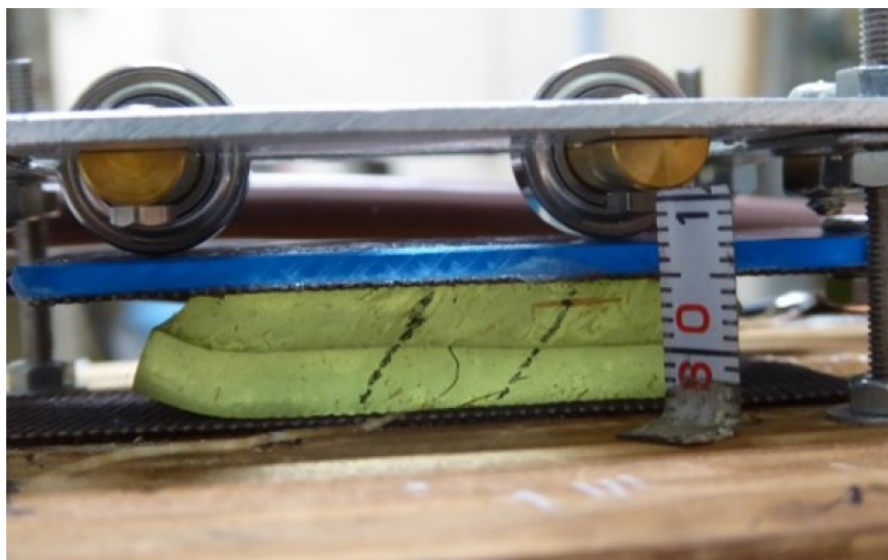


Photo 2. The same as in Photo 1 but shear-stressed to a limiting extent.

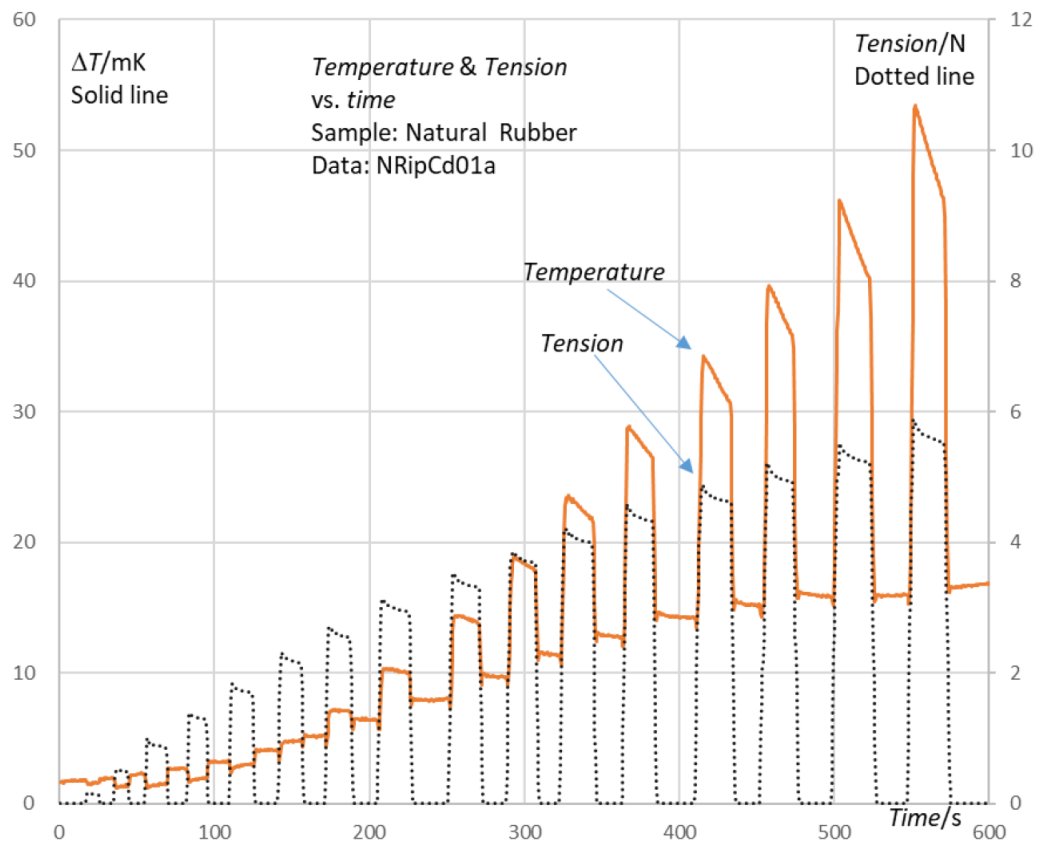


Fig. 1. The temperature and the tensile force on a natural rubber sample against the time recorded while it was stretched and allowed to retract repeatedly.

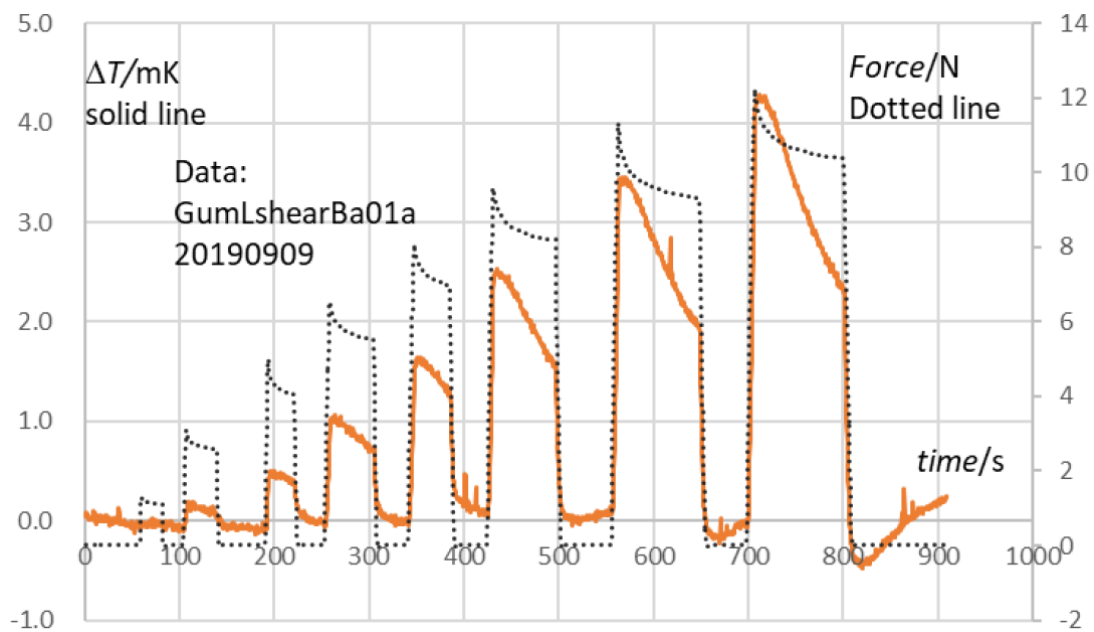


Fig. 2. The temperature and the shear stress on a styrene-based synthetic elastomer undergoing repeated shear deformation.