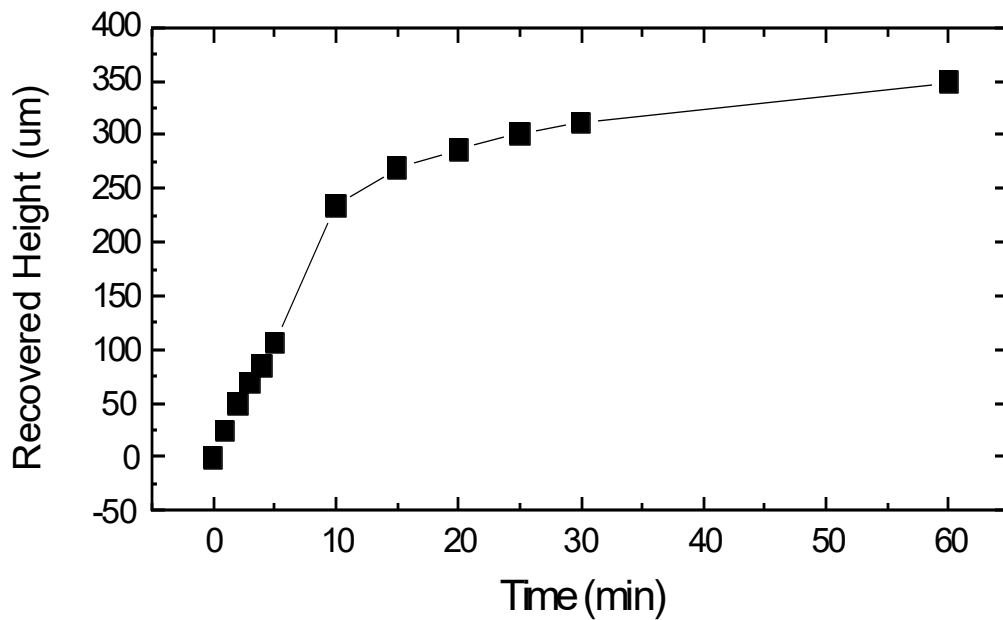
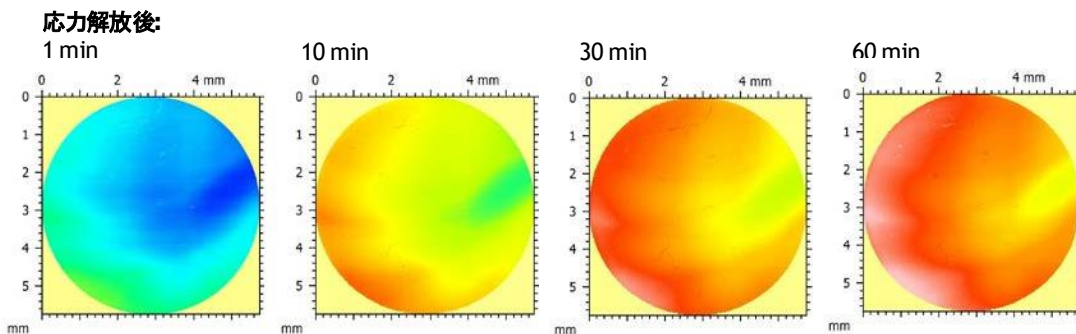


圧縮永久ひずみ後の ゴムサンプルのリカバリ 非接触 3D光学測定による観察



Prepared by
Duanjie Li, PhD

はじめに

材料の圧縮永久歪みは、ASTM D395i で定義されているように、事前に加えられた圧縮荷重が取り除かれたときに残る永久変形です。ゴムは、機械への取り付け、振動ダンパー、バルブ、蛇口、ベアリングなどの幅広い用途で、空気または液体などの媒体中で大きな圧縮応力にさらされます。長期間の圧縮応力後に弾性特性を保持する能力は、サービスの品質と機能にとって極めて重要です。たとえば、圧縮蛇口は、バルブシートをシールするためのゴムワッシャーに依存しています。ゴム製シールワッシャーの弾性により、蛇口の適切な機能が保証されます。漏れは、バルブアセンブリのゴムワッシャー、シール、またはガスケットが摩耗して弾性が失われると発生します。したがって、圧縮応力が長時間作用した後のゴムの圧縮永久歪みを評価することは重要です。

■圧縮永久歪み試験における 3D 形状測定的重要性

ゴムは、圧縮応力が除去された後、徐々にその形状を回復します。圧縮永久歪みの応力除去後の形状変化をその場で正確に測定することで、材料の回復メカニズムについて重要な洞察が得られます。

さらに、表面状態のリアルタイム監視は、塗料の乾燥や3Dプリンティングなどのさまざまな材料用途に非常に役立ちます。ナノビア3D非接触光学プロファイラは、サンプルに触れることなく材料の表面状態を測定するので、スライディングスタイラスなど接触測定によって生じる可能性のある傷や形状の変化がありません。

測定の目的

このアプリケーションでは、ライン光学センサーを備えたナノビアST400非接触光学3Dプロファイラを使用して、1時間の圧縮永久歪みの応力を負荷したあとのゴムサンプルの表面変化を測定します。連続的な形状変化を伴う材料のリアルタイム 3Dプロファイル測定ができるナノビア非接触表面形状計の能力を紹介します。



図1: 光学ラインセンサーによるゴム表面測定

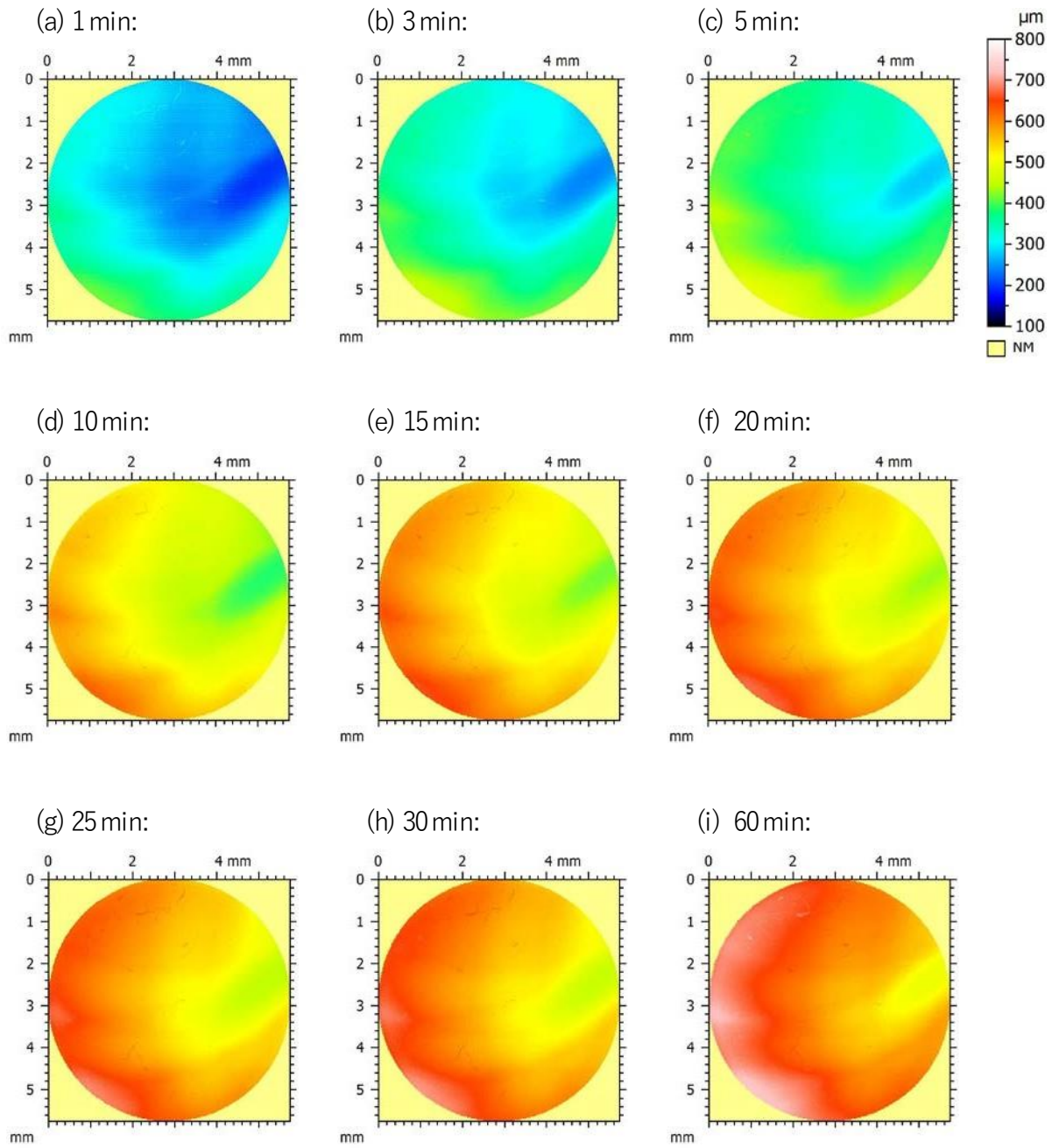
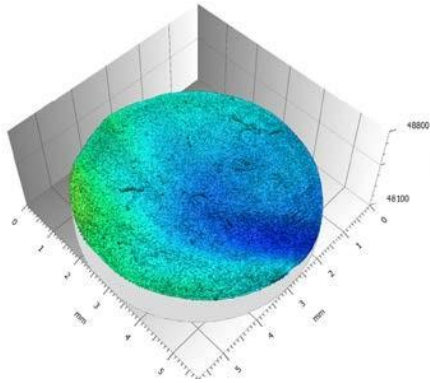
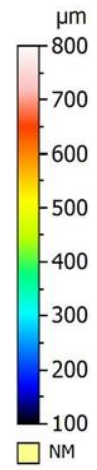
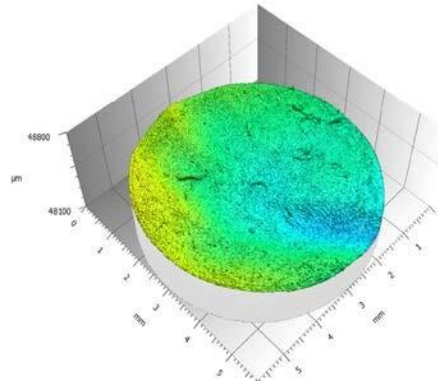


図2：経過時間ごとのゴムサンプル表面変化（疑似色表示）

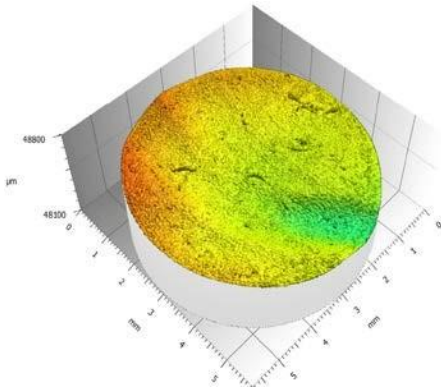
(a) 1 min:



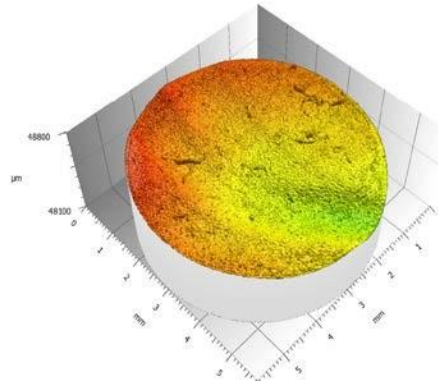
(b) 5 min:



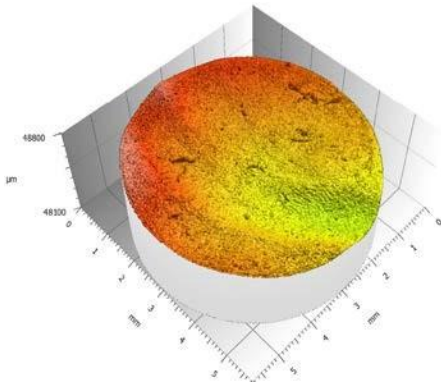
(c) 10 min:



(d) 20 min:



(e) 30 min:



(f) 60 min:

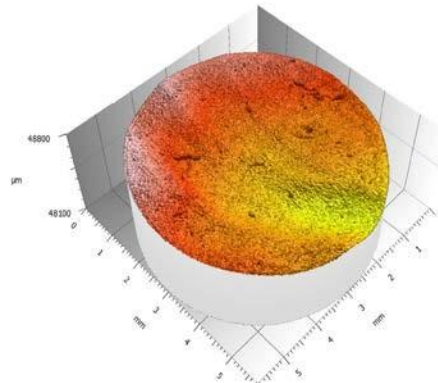


図 3 : 時間経過ごとのゴムサンプル表面変化 3D表示

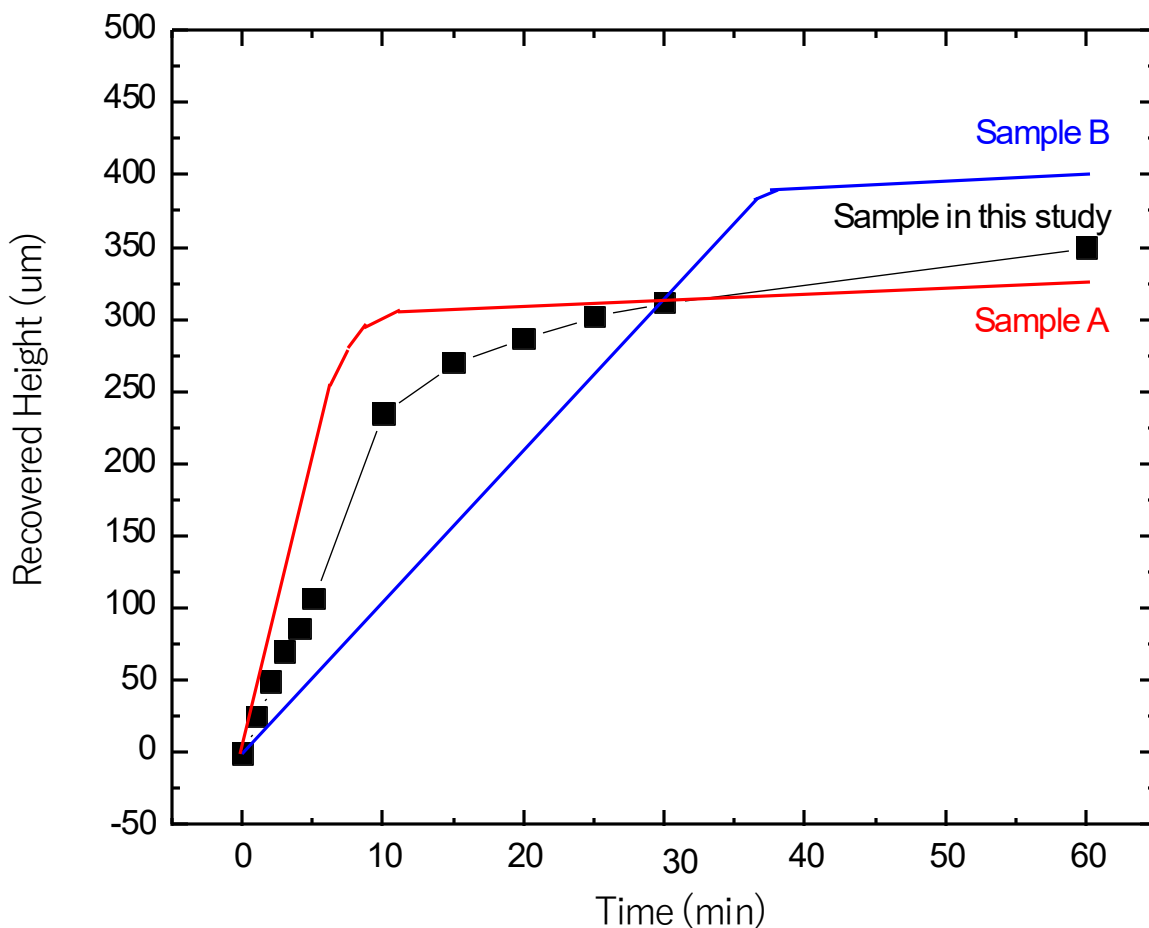


図4：応力解放後のゴムサンプル表面高さ変化グラフ

ISO 25178					
Roughness Parameters		1 min	30 min	60 min	
Sq	μm	46.3	53.9	53.8	Root-mean-square height
Ssk		0.295	-0.101	-0.135	Skewness
Sku		2.7	2.36	2.31	Kurtosis
Sp	μm	142	134	126	Maximum peak height
Sv	μm	110	127	127	Maximum pit height
Sz	μm	252	262	253	Maximum height
Sa	μm	37.6	44.7	44.7	Arithmetic mean height
ISO 12781					
Flatness Parameters					
FLTt	μm	208	229	224	Peak-to-valley flatness deviation
FLTp	μm	118	113	108	Peak-to-reference flatness deviation
FLTv	μm	89.3	117	116	Reference-to-valley flatness deviation
FLTq	μm	43.2	51	50.9	Root-mean-square flatness deviation

表1：表面粗さ、平滑度を粗さ指数表示（1分後、30分後、60分後）

結果と考察

ゴムサンプルを室温で24時間、150Nの通常荷重で圧縮しました。おもりを取り除いた後、その残留変形の3D表面トポグラフィーを、ラインセンサーを備えたナノビアST400非接触光学3Dプロファイラを使用してその場で一時間監視しました。測定機のマクロ機能で、指定された時間間隔（1、2、3、4、5、10、15、20、25、30、60分）で3D表面状態を自動的に測定および記録するようにプログラムしました。光学式ラインセンサーは、図1に示すように192点の輝線を生成します。これらの192点がサンプル表面を同時にスキャンすることで、スキャン速度が大幅に向上し、各3Dスキャンを3秒で終了できるようになり、スキャン中の大幅な変形を回避できます。

代表的な時刻におけるゴム表面トポグラフィーの疑似カラー表示と3D表示をそれぞれ図2と図3に示します。画像内の疑似色により、容易に識別できない特徴の検出が容易になります。異なる色は、サンプル表面の異なる領域での高さの変化を表します。3Dビューは、ユーザーがゴムサンプルをさまざまな角度から観察するための理想的なツールを提供します。ゴムサンプルは、右上部領域の高さがわずかに低くなります。圧縮重量を取り除くと、測定の最初の10分間にゴム表面の疑似色が急速に寒色系から暖色系に変化し、この期間に急激に伸長することがわかります。

平均回復高さを圧縮永久歪み時間の関数としてプロットしたのが図4です。最初の10分間の測定中に、サンプルの高さが約 $23 \mu\text{m}/\text{min}$ という高速で速やかに回復することがわかります。その後、残りの1時間のテストでは時間が経過するにつれて、このような回復速度は徐々に遅くなります。

従来のゴム特性の圧縮永久歪み試験では、圧縮装置から取り出してから30分後に試験片の残留変形量（厚み）をダイヤルマイクロメータで1回測定するだけでした。したがって、プロットでは30分の時点で1つのポイントのみが測定されます。図4では、仮想的にサンプルA（赤色）とサンプルB（青色）を想定し、時間の関数としてプロットしサンプルの高さの変化を表しています。サンプルAは圧縮永久歪みの初期段階ではるかに速い高さの回復を示し、その後は安定しますが、サンプルBは30分段階では依然として高速回復段階であることとなります。これらは、圧縮応力が長時間作用した後も弾性特性を保持する能力がサンプルごとに大きく異なることを示しています。しかしながら、従来の圧縮永久歪み試験方法では、サンプルAとサンプルBは同じ残留変形として測定されることとなります。この特性の相違を正確に測定するためには、その場で3Dサンプル表面の変化をモニタリングすることが重要で、圧縮永久歪みのメカニズムについてのさらなる材料に対する洞察が得られます。

表1は、1、30、および60分の圧縮永久歪み時間におけるゴム表面の粗さと平坦さのパラメーターをまとめたものです。最初の30分間に平均粗さ S_a が37.6から44.7 μm に回復し、その後はほぼこの値を維持します。その間、FLTqのrms平坦度も約43 μm から約51 μm に増加します。

結論

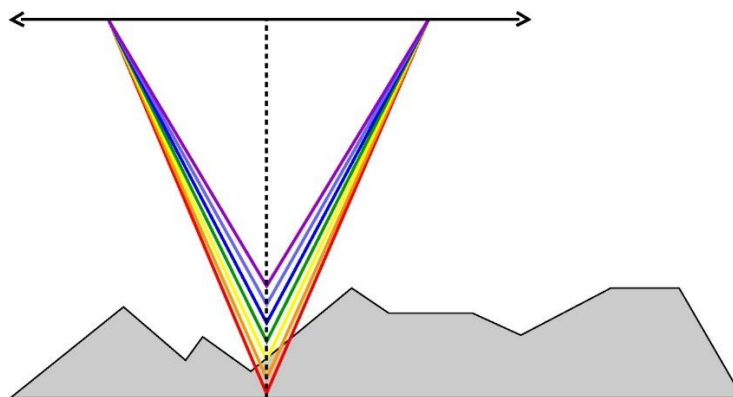
このアプリケーションでは、ナノビアST400非接触光学3Dプロファイラが、150Nなどの所定の圧縮永久歪み時間後に圧縮から回復するゴムサンプルの表面の変化を測定することを紹介しました。光学式ラインセンサーは、サンプル表面を同時にスキャンする192個の光スポットからなるラインを生成し、スキャン速度の大幅な向上につながります。測定ソフトウェアのマクロ機能により、その場での3D表面形態の自動測定時間をプログラムすることができます。ゴムの高さは圧縮重量を取り除いた後も伸長し続けます。

ゴムサンプルは応力解放後の初期に最高速度で高荷重圧縮から回復することが観察されました。このような回復は時間の経過とともに徐々に遅くなります。ここに示されているデータは、分析ソフトウェアで利用可能な計算の一部のみを表しています。ナノビア3D光学プロファイラは、半導体、マイクロエレクトロニクス、太陽光パネル、光ファイバー、自動車、航空宇宙、冶金、機械加工、コーティング、製薬、生物医学、環境などの分野の事実上あらゆる表面を測定します。

Learn more about the [Nanovea Profilometer](#) or [Lab Services](#)

光学プロファイラ測定原理

軸上色収差技術では白色光源が使用され、光は高度の色収差を伴う対物レンズを通過します。対物レンズの屈折率は光の波長に応じて変化します。実際、入射白色光のそれぞれの波長は、レンズからの異なる距離(異なる高さ)で再度焦点が合います。測定されたサンプルが測定可能な高さの範囲内にある場合、ひとつの単色の点に焦点が合い画像イメージを形成します。システムの共焦点構造により、焦点を合わせた波長のみが高効率で空間フィルターを通過するため、他のすべての波長は焦点から外れます。スペクトル分析は回折格子を使用して行われます。この技術は、各波長を異なる位置で偏らせ、CCDのラインを遮断します。これにより、最大強度の位置が示され、Z高さ位置との直接の対応が可能になります。



ナノビア光学ペンはサンプルの反射率の影響を受けません。また、測定サンプルの前処理が不要で、高い表面角度を測定できる高度な機能を備えています。広いZ測定範囲が可能。そして、透明/不透明、鏡面/拡散、平滑/粗いなど、あらゆる材質を測定します。

ⁱ <https://www.astm.org/Standards/D395.htm>



〒274-0812 千葉県船橋市三咲7-22-7
TEL:047-449-2961 FAX:047-449-2926