

光ピックアップにおけるダンパー剤の機能と評価

はじめに

CD、MD、DVDを始めとしたオプティカルデバイス（以下OPD）は家電、パソコン、ゲーム機、カーナビゲーションなどに搭載されるようになってかなりの年月が経ちました。昨年の実績予測として3億台、今年はさらに10%前後の伸びが期待される一般的な記録デバイスです。その心臓部ともいえる光ピックアップレンズはレーザをディスク上の凹凸に照射させその反射光を読みとるため、デバイス内外に発生するわずかな振動やサーボ機能（位置制御）による反作用をすばやく抑えるために振動吸収剤＝ダンパー剤が用いられています。本稿では昨年開発したダンパー剤に着目し、その役割と要求特性、評価方法を中心に紹介します。

目 次

はじめに	1
1. ダンパー剤の役割	2
2. 弊社製品の特長	4
3. 評価方法	5
①針入度	5
②レーザードップラー振動系	5
③レオメーター	6
おわりに	8

1, ダンパー剤の役割

OPD はディスクに記録された凹凸=ピットの有無をレーザーで検出することにより再生（記録）するデバイスです。ピット間の距離はCDの場合 $1.6\mu\text{m}$ で、これは髪の毛1本の間に30本トラックがあることとなります。1枚のCDにはおよそ10億個のピットが存在するので、高密度にピット（情報）が詰まっていることとなります。またレーザー（波長 $0.78\mu\text{m}$ ）の小さく絞った焦点をディスクに合わせるため $1\mu\text{m}$ 以下でないと信号が読みとれません。CDの制御はスパイラル状に線密度一定で並んでいるピットを読むため内周と外周の回転数を調節する回転サーボ、レーザー光の焦点を合わせるためピックアップ自体を上下に動かし焦点を合わせるフォーカスサーボ、ピットの列をレーザー光が正確にトレースするように左右を調整するトラッキングサーボからなっています。その3つのサーボから発生する振動や応力（モータの回転から発生する「振動」や、フォーカスサーボ、トラッキングサーボによる位置修正時の反作用）や外部からの「振動」を吸収し、ピックアップレンズへ影響を与えないように常に機能しているのがダンパー剤と呼ばれる材料です。

振動を低減する代表的な技術として、①防振、②制振、③動吸振、④衝撃緩衝の4つが挙げられます。①防振とは、

外部から伝達する振動または外部へ伝達する振動を、できるだけ小さくして伝えないようにすることです。②制振とは、振動伝達部位に直接内部減衰の高い材料を貼り付けることにより振動エネルギーを熱エネルギーに変換し、振動を低減させることです。③動吸振とは、振動発生部位に質量(m)、バネ定数(k)、粘性減衰係数(c)からなる動吸振器を設け、主振動系の問題となる周波数の振動エネルギーを動吸振器系にて吸収し減衰させること。④衝撃緩衝とは、物体に衝撃が加わった場合、物体に作用する衝撃力を低下させ、緩衝剤の内部減衰によりエネルギーを熱に変換し、反発エネルギーを低下させることです。以上よりピックアップに用いられるダンパー剤には特に①と④の役割が要求されます。

近年のピックアップ形状の傾向として細いワイヤー4本によりピックアップレンズを支持する構造が主流となっており、ワイヤーの根元付近にダンパー剤が使用されます。ダンパー剤は固形のタイプと液状のものを塗布しそれを硬化させるタイプに大別できます。ピックアップ周辺の接着には紫外線硬化性樹脂の使用実績が多数ありますが弊社はダンパー剤として加熱硬化型と紫外線硬化型の樹脂を上市しています。

ピックアップ駆動部（アクチュエータ）での振動特性で重要な特性は共振点の周波数、特に一次共振点（F0）とそのピーク高さにあたるQ値です（図2）。

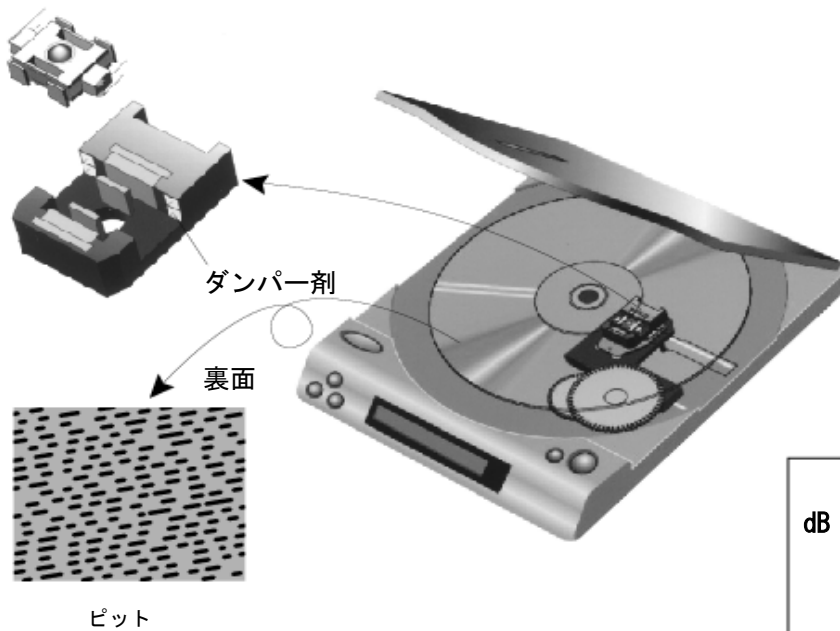


図1. ピットとピックアップ中心部

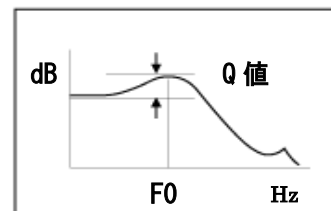


図2. アクチュエータのF0とQ値

一次共振点について少し述べます。図3のような固定された1自由度の金属板（矢印）をハンマーでたたく（振動を与える）とその金属板は振動します。その振動を細かく分けると①+②+③+…のように分けられます³⁾。その周波数応答曲線は図4のように表せますが①のような最初の共振点を一次共振点と呼びます。一次共振点は通常低周波数であり、振幅が大きく力学的影響が大きくなる傾向があります。

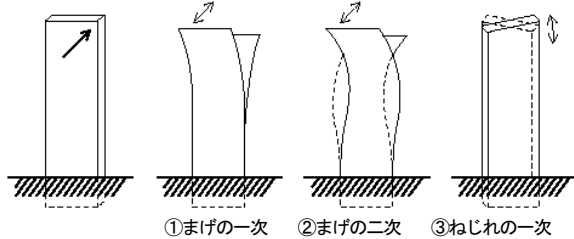


図3. 金属板の振動

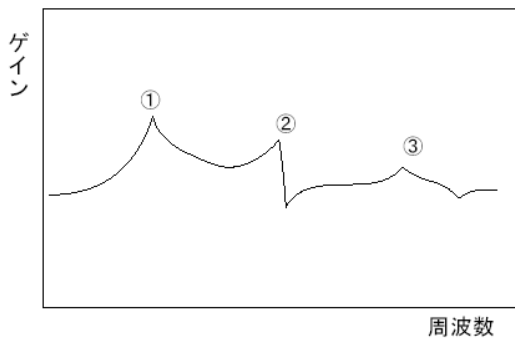


図4. 周波数応答曲線

同様なことがピックアップにも言えます。図5はピックアップの周波数応答曲線です。上から入力信号（スイープサイン波）、出力信号、周波数応答関数です。周波数応答関数はゲイン特性と位相特性で表します。ゲイン特性とは系を信号が通過することによって振幅がどう変化するかを表すもので、X軸は周波数、Y軸は入力に対する出力の振幅比（dB）で表示されます。また位相特性は入力信号と出力信号との間の位相の進み、遅れを表すもので、X軸は周波数、Y軸は度またはラジアンで表示されます。

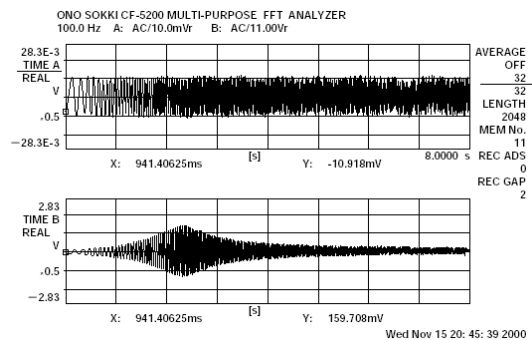
ピックアップに一次共振周波数がかかり続けると力学的に大きな影響を与えてしまうため、その共振周波数が発生しないように設計されています。従って、F0（通常30～50Hz）は耐久試験後に初期値から変化しないこと、Q値はなるべく小さい方が振動を早く吸収できるため、また一次共振点での振幅を小

く抑える必要があるため10dB以下（理想では10～5dB）が要求されます。

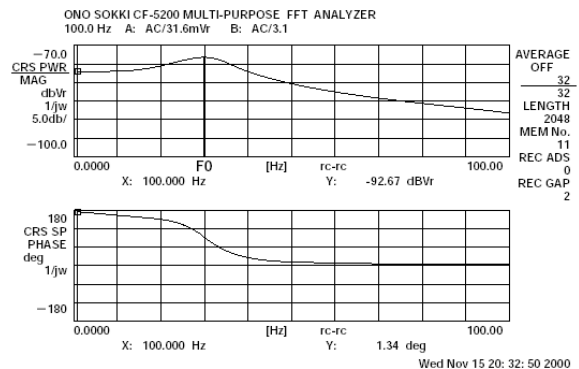
図1に示したアクチュエータは2方向に自由度があるため2軸アクチュエータと呼ばれています。ワイヤーの片側でレンズを支持しもう片方が固定されている1自由度のパネとして考えることができ、支持体の質量(m)、ヤング率(E)、直径(d)、長さ(l)が判ればF0値は理論上計算で求めることができます。またQ値は振動の減衰比(ζ)に反比例し、また材料の損失係数(tan δ)に比例することが判っています。

$$F0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{36\pi E \cdot d^4}{m \cdot l^3}} \dots\dots(1)$$

$$Q \doteq \frac{1}{2\zeta} \quad Q = \frac{1}{2} \tan \delta \dots\dots(2)$$



入力信号（上）と出力信号（下）



ゲイン（上）と位相（下）

図5. アクチュエータの特性

粘弾性体であるゲル材料の振動特性は、その分子構造と平均分子量、極性構造と、添加される充填剤の粒子の形状、粒子径、表面構造などに大きく影響を受けます。ゲルに応力、ひずみがかわると、主鎖のマクロブラウン運動と側鎖のミクロブラウン運動による分子間の摩擦や充填剤との摩擦により、振動エネルギーが熱エネルギーに変換され振動吸収現象が起こります。

実際のダンパー剤の設計は以上のような理論から希釈オイル量を増やしてただ軟化させるだけでなく、オリゴマーの構造の制御、架橋密度の調整、充填剤の配合量や粒子の形、希釈オイルの分子量や極性などが重要なファクターとなります。

2. 弊社製品の特長

ダンパー剤は主にシリコーンを主成分としたプレポリマーによって構成されている樹脂です。振動吸収を目的とした材料は様々ありますが、シリコーン樹脂に特筆する理由として、温度の変化に対して弾性・粘性の変化が他の高分子材料と比較して小さいことが挙げられます。一般にシリコーン樹脂は「ゴム材料」としての認識が高いですが、ダンパー剤に用いるシリコーン樹脂は特殊な性状を有しており、硬化後の性状は「ゲル状」となります。これはダンパー剤が要求される周波数での振動吸収能力を高くするために取られた形態です。振動吸収能力をより高めるためにはゴムの持つ弾性のみでなく液体が持つ粘性が必要となるからです。弾性・粘性につきましては後述で詳細を示します。

さて、弊社では加熱硬化タイプと紫外線硬化タイプの2つの異なる硬化媒体の樹脂を上市しています。いずれの樹脂も硬化後の物性変化（特にダンピング特性）が著しく少なく、また各硬化媒体にて速やかに硬化します。加熱硬化タイプは付加反応と呼ばれる反応（厳密にはヒドロシリル化反応という）によって硬化し、一液性と二液性があります。一液性はそのまま塗布すれば良いため、ハンドリングの煩わしさはありません。しかし保存温度を二液性のものよりも低くしなければならぬという欠点があります。一方、二液性タイプは1:1の混合により所定温度にて硬化します。硬化条件による硬化度は一液性のものに準じますが、未混合では硬化が進行しないことから、保存性が良いという長所があります。

また紫外線硬化タイプは紫外線の照射によるラジカル重合によって硬化が進行します（反応メカニズムにつきましては

既報 No.10 をご参照下さい）。光ピックアップ製造工程の作業環境に応じて、自動化ラインでは紫外線硬化タイプを、またライン設備上紫外線照射機を導入できない場合には加熱硬化タイプのバッチ処理を推奨しています。

昨年上市した樹脂は加熱硬化型の TB1230H（2液）、TB1238（1液）と、紫外線硬化型の TB3168 です。以下にそれぞれの特徴を示します。

TB1230H, TB1238 の特長

① 主成分は加熱硬化型のシリコーン樹脂

主成分はシリコーン樹脂で付加反応によって硬化します。

②低温硬化

TB1238 は従来の一液付加硬化型シリコーンと比較して低温・短時間で硬化が可能です。

・使用上の注意

ヒドロシリル化反応は活性の高い金属触媒を使用しています。イオウ・リン・窒素化合物・有機金属塩等と接触することで触媒の活性が失われ、硬化阻害を起こす可能性がありますので、そのような物質との接触または混合は避けて下さい。

TB3168 の特長

① 主成分は紫外線（UV）硬化型のシリコーン樹脂

低温高温の広い範囲で同様な柔軟性を有するシリコーン樹脂に UV 反応性基を持たせたプレポリマーです。

② 速硬化性、UV 過積算時の特性変化少

ゲルは架橋点＝反応基が少ないので UV 硬化も遅くなる傾向にあります。光硬化性の良い触媒や構造の工夫によりこれを実現しています。

③高耐久性

速硬化性による未反応成分の減少と充填剤による効果的な補強で耐久性試験における変化を少なくしています。

④高信頼性

ロット毎にゲルのレオロジー特性（後述）を測定し、バラツキを最小限にしています。

・使用上の注意

樹脂成分中の充填剤が沈降しやすいので使用前に必ず攪拌して下さい。

表 1. 性状と特性

商 品 名		スリーボンド1230H	スリーボンド1238	スリーボンド3168
外 観		無色透明	無色透明	白色液体
硬 化 方 法		二液加熱	一液加熱	紫外線照射
粘 度	Pa・s (P)	0.44(4.4) A剤B剤とも	0.52(5.2)	15(150)
比 重		0.97 A剤B剤とも		
針 入 度 ※ (硬 化 条 件)		90 (80°C×60分)	80 (100°C×60分)	100 (3KJ/m ²)
G * (3 0 H z)	Pa	6100	5500	6000
t a n δ (3 0 H z)		1.1	1	0.9
体 積 抵 抗 率	Ω・m	1.13×10 ¹³	3.30×10 ¹³	2.74×10 ¹²
表 面 抵 抗 率	Ω	2.7×10 ¹⁴	9.45×10 ¹⁴	5.40×10 ¹³
誘 導 率 (1 M H z)		2.39	2.01	2.31
誘 導 正 接 (1 M H z)		-	-	0.0032

*1/4 コーン 9.38g荷重

3. 評価方法

先ほど特長について述べましたが、それを測定する方法として弊社では以下に示す3種類を用いています。この3種類の方法によりダンパー剤の硬化度や信頼性の測定ができるため、樹脂の設計にはいずれも欠かせない装置です。

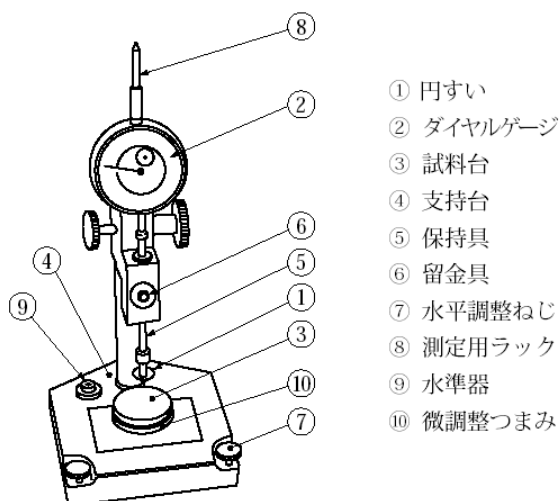


図 6. 針入度計

①針入度

樹脂そのものの硬さを測定する一般的な手法で、JISK 2220 に準じた方法で測定しています。測定のおしきみは硬化物に傘の様な形状のコーンを突き刺し、その刺さった mm 数×10 で表現しています。例えばコーンが 5mm さされば針入度は 50 となります。コーンの重さは 9.38g と 50g があります。

②レーザードップラ振動計

これは実際のアクチュエータをメーカーから提供してもらい、ピックアップレンズを電氣的に振動させながら周波数特性（前述の F0 や Q 値）を測定する方法です。FFT とのユニットにより振動体の周波数と速度を測定し、その微積分により変位と加速度を演算します。⁴⁾

実機での測定はメーカーと同じ評価方法であるため信頼性の高いデータを得られるメリットがありますが、反対にアクチュエータ自身の持つ種々のファクターも含まれることにより、樹脂そのものの評価とは異なった特殊な試験方法といえます。また当然ですが設計初期で形状が決まっていないときや、機密保持のためにアクチュエータの提供がなければ測定できません。アクチュエータのご提供に際しては機密保持の締結を行うこともあります。（前述図 5 参照）

③レオメーター

この測定機は本来流体（未硬化時）の粘度や粘弾性測定が主目的の装置です。流体の粘性はチクソトロピー付与の場合や、塗布時（応力がかかっている時）と静置時、樹脂温度によって挙動（流れ性）が異なります。塗布にはスクリーン印刷やディスペンス塗布、転写など様々な方法があり、塗布方法にあわせた粘度の調整、設計が要求されています。従来の回転粘度計よりも情報量が多く液体の塗布性能評価に用いています。典型的な粘弾性挙動を示すダンパー剤の評価（樹脂の設計、改良、検査時）にも測定を行っています。

測定は試料に力学的ひずみ（応力）を与えた時に生じる応力（ひずみ）を時間の関数として検出します。これらは粘度、粘弾性として表すことができます。ダンパー剤が持っている高分子材料本来の弾性率（これを貯蔵弾性率といい、 G' で表す）と弾性を緩和する粘性（これを損失弾性率といい、 G'' で表す）は振動吸収特性に大きく関与します。

また G' と G'' の比を損失正接 ($\tan \delta$ で表す)⁵⁾ はダンパー剤を設計する上で一つの指針となります。これらのパラメーターを用いて樹脂の硬化度合、信頼性試験前後の変化、紫外線の最適量を測定しています。

レーザードップラ振動計によるダンパー特性評価よりも簡易的で、評価項目数が多くより詳細な樹脂本来の特性が測れます。

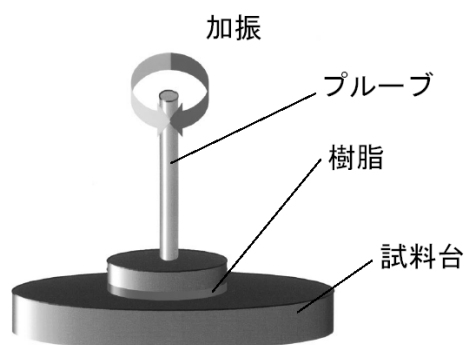
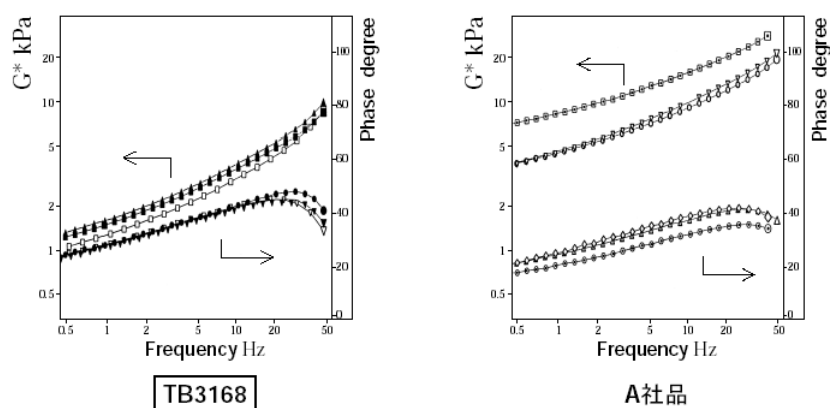


図7. レオメータープループ

レオメーターによる耐久性測定例

—初期、80°C × 1.2W—



初期と80°C × 1.2W後の粘弾性変化

図8. 耐久性 (80°C) データ

測定条件

装置：REOLOGICA 社製 DAR-100

測定モード Oscillation strain control

ジオメトリー P25 Gap 1.00mm

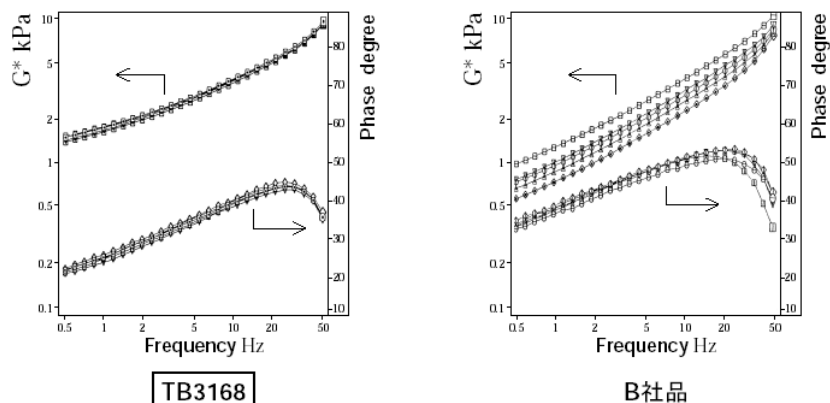
周波数 0.5-50Hz

測定温度 25°C

Strain 0.007

図8はレオメーターにより G^* （複素弾性率：後述）と Phase degree（位相角 δ ：後述）の環境試験前後の変化を測定した結果です。TB3168はA社品に比べて初期と環境試験後の粘弾性特性の変化が少なく耐熱性が高いといえます。この結果は当然、ピックアップのダンパー剤として用いられた場合にも反映されます。

レオメーターによる耐久性測定例 2



紫外線3, 6, 9, 15J/cm²照射時の粘弾性変化

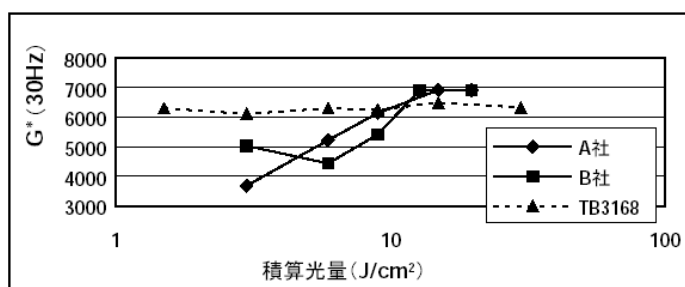


図9. 紫外線硬化性と耐過積算性

図9はレオメーターで紫外線硬化性を測定した結果です。紫外線照射1パスを3J/cm²とし、最高15J/cm²まで照射した4つの試料の測定グラフを1つに重ねたチャートです。TB3168は3J/cm²から15J/cm²までの曲線はほぼ重なり、その間のレオロジー特性が変わっていないことを示しています。一方、B社品については特にG*の曲線が帯状に広がっています。これは紫外線硬化性が遅く、また15J/cm²照射してもレオロジー特性が飽和していないことを示しています。

動的粘弾性で基本的な公式は $\sigma = G^* \gamma$ (応力=複素弾性率×歪み)です。これはわかりやすくいえばフックの法則 ($F = k \chi$: 力=バネ定数×変位)と同じ関係になります。レオメーターでは応力または歪みを一定にしてG*を測定しそれからG', G''などのパラメータを計算します。G*とG', G''には次のような関係があります。

$$G^* = G' + i G'' \quad \dots\dots (3)$$

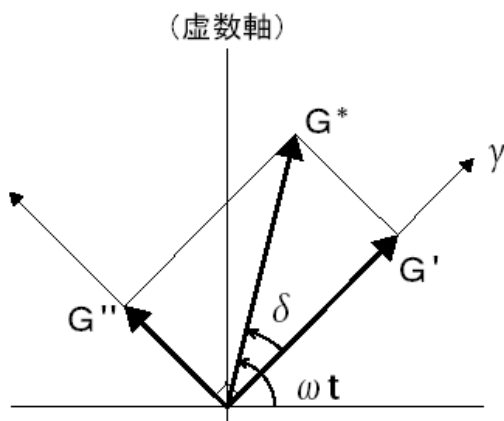


図10. G*, G', G''の関係

高分子材料などの粘弾性体に応力を加えたときの応答の時間的な遅れは位相 (Phase degree = δ) で表し、 δ は0~ $\pi/2$ の範囲に入ります。G' = G'', $\delta = \pi/4$, $\tan \delta = 1$ を境にG' > G''のとき固体的、G' < G''のとき液体的になります。現在アクチュエータで測定したF0とQ値、低域感度などとレオメーターで測定したデータとの相関関係について詳細に検討を行っています。

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots\dots (4)$$

現時点では(4)のようにF0はバネ定数kに比例するためゲルのバネ定数にあたるG*と関係すると考えられます。またQ値については前述のように $\tan \delta$ と比例関係があると考えられますが、必ずしも対応しているとは限らないため今後のデータの蓄積が急務です。

おわりに

昨年上市した樹脂はおかげさまで複数の光ピックアップメーカーで採用になり弊社のスタンダードグレードになりました。各グレードとも優れた硬化性と耐久性を有しています。それは各社での信頼性試験に合格したことも表れています。しかし、今後更なるダンピング特性、特に振動吸収能力の向上（Q値の低下）と、メーカー毎の光ピックアップ特性に合致したダンパー剤の開発をめざして鋭意検討しております。

また、OPD 以外のデバイスの振動防止、防音、緩衝剤としての利用分野を探索していきたいと考えております。

株式会社スリーボンド 研究所

開発部 電気開発課 藤澤 恒俊

岸 克彦

研究企画課 北澤 宏政

参考文献

- 1) コンパクトディスク読本 中島平八郎、小川博司共著 オーム社出版局
- 2) ゲルハンドブック 長田義仁、梶原莞爾 編集代表 株式会社エヌ・ティー・エス
- 3) 振動をみる 田中基八郎、大久保信行共著 オーム社出版局
- 4) FFT アナライザ実践活用セミナー資料 株式会社小野測器編
- 5) 講座・レオロジー 日本レオロジー学会編 高分子刊行会



企画 株式会社 URC 編集室
編集 東京都港区南青山 5-12-3-903
電話 03(3407)0333

発行 株式会社 スリーボンド
東京都八王子市狭間町1456
電話 0426(61)1333 (代)