

第8回 ハードディスクドライブ用サスペンション

日本発条㈱ 半谷 正夫

ハードディスクドライブ用サスペンション(以下サスペンション)は文字通りハードディスクドライブ(HDD)に使用されるばねであり、データを読み書きする磁気ヘッドに一定荷重を付加する役割を担っている。一般的なサスペンションは図1のようにベースプレート(BP)、ロードビーム(LB)、フレキシャー(FX)で構成される。LBはZ方向剛性の高い部分と低いばねの部分からなり、前者はフランジ部、後者はヒンジ部と呼ばれている。フランジ部はその剛性を得るための曲げ加工(箱曲げ)が施されている場合が多い。ヒンジ部は荷重を得るための曲げ加工(荷重曲げ)が施される。磁気ヘッドが接着されるFXは低剛性に設計され、LBに形成されたDimpleを介して荷重が付加される。それはナノメーターオーダーでうねっているディスクに磁気ヘッドが追従できるようにするためである。またFXには磁気ヘッドの電気信号をプリアンプまで導くための配線も施されている。今回は説明を省くが配線にはインピーダンスマッチングや低損失などの電気特性が求められる。

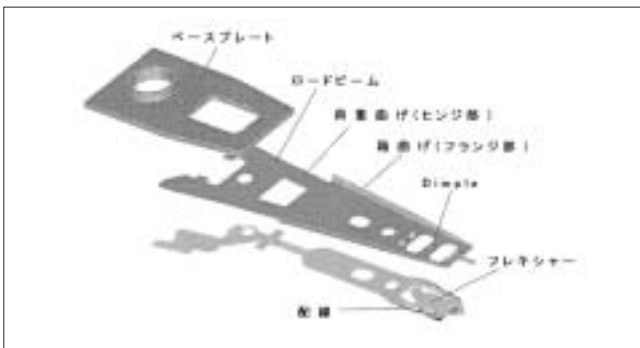


図1 サスペンションの構造

図2に代表的なHDD構造を示す。磁気ヘッドが接着されたサスペンションはキャリッジにかしめられ、Voice Coil Motor (VCM)によってトラックのほぼ中心に磁気ヘッドが位置決めされている。

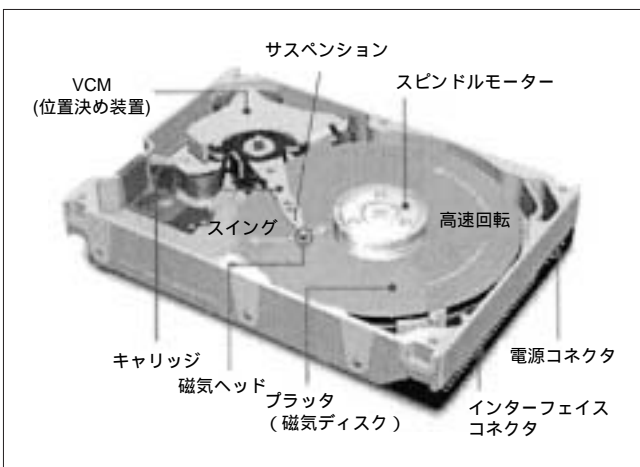


図2 HDD概略図(富士通HPより)

一方、磁気ヘッドは回転するディスク上をその空気流によって10nm前後浮上している。この磁気ヘッドの位置決めと浮上がいろいろな条件(温湿度、高度、ディスク位置など)で常に一定に保たれることによってHDDは正常な動作をすることができる。サスペンションはこの精密な動作が要求される磁気ヘッドを支えるばねであるため、一見単純な板ばねであるが荷重を与えるばかりでなく様々な特性が求められるのである。以下に求められる基本的な特性を説明する。

1. 磁気ヘッドの浮上特性

浮上特性のキーパラメータは以下となる。

- (1) 磁気ヘッドに働く荷重
- (2) 磁気ヘッドに働くトルク

トルクに関しては図3に示すように、FXの角度×FX剛性、Dimple位置×荷重、がトルクとして磁気ヘッドに働く。したがって、これらはキーパラメータとして管理され、特にばらつきが出やすいFXの角度と荷重に関しては個々に調整が施される。

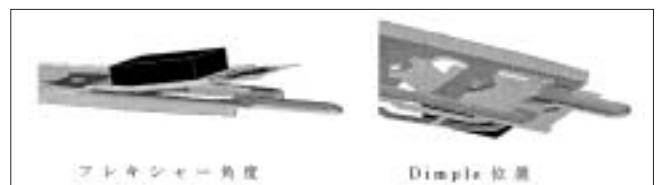


図3 磁気ヘッドに働くトルク

2. 磁気ヘッドの位置決め特性

HDDは高密度、高速化にともない近年著しいトラック密度と回転数の増大が進んでいる。トラック幅が狭くなるにもかかわらず風乱や外部振動などの外乱による振動が高い周波数まで及ぶために、磁気ヘッドをトラック中心に維持することは極めて困難となっている。そのため、振動の抑制を図るとともに制御帯域を上げる必要が生じている。しかしながら、アクチュエータから磁気ヘッドまでの構造部材であるキャリッジとサスペンションの共振モードを変えずに制御帯域を上げることは難しい。そこで以下の項目が磁気ヘッドの位置決め上必要となる。

- (1) サスペンション共振モードのゲインコントロール
- (2) サスペンション共振モードの高周波数化
- (3) サスペンションの風乱対策

(1) サスペンション共振モードのゲインコントロール
サスペンションの代表的な周波数応答と共振モードを図4に示す。1st Bending (B1) はゲインとしては現れないが、1st Torsion (T1) は比較的低い周波数でゲインを持ちやすいためゲインコントロールは必須となる。最近では2nd Torsion (T2) のゲインコントロールも求められることが多い。その方法はLBの形状

を図5のようにコントロールすることでできる。具体的にはフランジ部の形状とヒンジ部の荷重曲げ位置によって調整する。Swayに関してはサスペンションの主モードであるためゲインコントロールはできない。

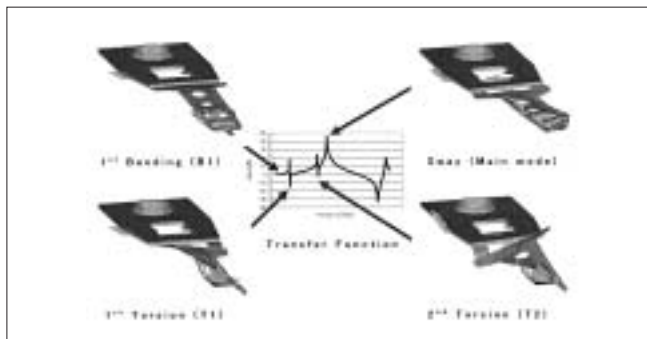


図4 サスペンションの周波数応答と共振モード

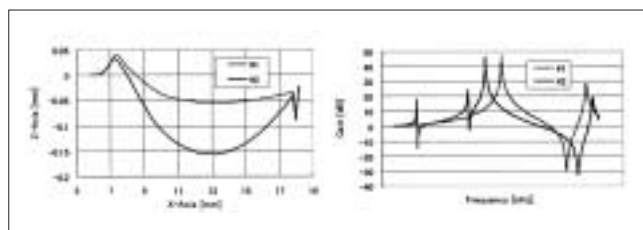


図5 ロードビーム形状と周波数応答ゲインコントロール

(2) サスペンション共振モードの高周波数化と風乱対策

前述したように、サスペンションやキャリッジの風乱は大きな問題となっている。一般にHDDの制御系は制御帯域以下の外乱は圧縮されるが、制御帯域からキャリッジ主モード(5 - 6kHz)までの帯域で外乱は増幅される場合が多い。したがってこの増幅領域に共振モードが存在しないことが望ましい。また、キャリッジ主モードも存在しないことが望ましい。キャリッジ主モードよりも高いT1周波数が求められる所以である。

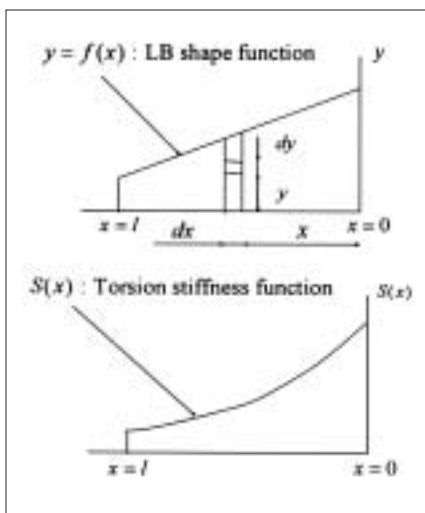


図6 簡略化ロードビーム半面とねじれ剛性分布

図6に簡略化したLBとそのLBのねじれ剛性分布を示す。単位面積当りに働く非正常流体力 $F(t) = 1$ がLB中心軸を境にした半面に働いた時のモーメントと解析で求められたねじれ剛性分布からDimple部のStatic Torsion Angle(STA)が計算できる。

l をLB長さ、 B をLB幅、 h をLB厚とするとSTAは以下の式となる。

$$\theta = \int_0^l \int_0^y \frac{y}{S(x)} dy dx \quad \theta = \int_0^l \frac{x B}{G h^3} dx = \frac{B l^2}{2 G h^3}$$

一方、T1周波数は次式のdimensionで表される。

$$T1 \text{ Frequency} \propto \frac{h}{l \cdot B} \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

ここで、 G は横弾性係数、 ρ は密度である。

以上から風乱に強いSTAの小さなサスペンションは必然的にT1周波数の高いサスペンションとなることがわかる。最も効果的なデザインはLBを厚くすることであるが、ばね定数が著しく増大しばねとして成り立たない。そこで近年は図7に示すように、ヒンジ部に薄い別部材を用いたサスペンションが業界スタンダードとなっている。当社では風乱に強いことから「Fuma(風魔)サスペンション」と呼んでいる。

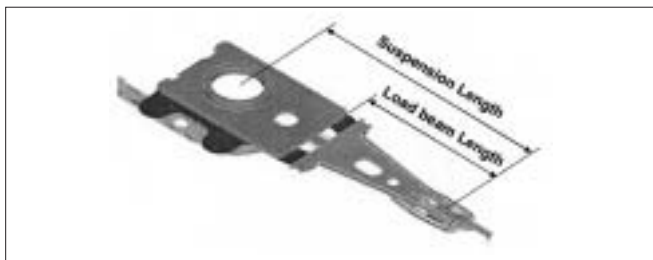


図7 Fumaサスペンション

表1 Fumaサスペンションの特性

	Conventional	Fuma
Suspension Length [mm]	11.0	11.0
Load beam Length [mm]	6.5	7.0
Load beam Thickness [mm]	0.030	0.100
Hinge Thickness [mm]	0.030	0.025
Spring rate [gf/mm]	2.107	2.197
B1 Frequency [kHz]	6.37	6.60
T1 Frequency [kHz]	5.89	10.18
T2 Frequency [kHz]	16.97	29.81
Sway Frequency [kHz]	18.08	23.09
STA [10^{-5} deg]	7.109	0.773

このような構造の場合、表1に示すようにサスペンションの共振モードの高周波数化と耐風乱デザインが可能となる。

HDD業界は技術革新が速く、近年はコンシューマー向けHDDのためのさらなる大容量化と小型化の開発が進められている。大容量化には大型ディスク(3.5インチ)が使用されるためにキャリッジの主モードを上げることができない。したがって、そのゲインをコントロールする技術が開発されている。例えば、サスペンションまたはスライダが駆動する2段アクチュエータなどが代表的なもので製品に採用される日も近いと思われる。また2.5インチ以下の小径ディスクの場合、携帯用機器に使用されることから耐衝撃特性がますます重視されている。耐衝撃特性は位置決め特性と相反する特性となる。特に2.5インチHDDの場合バランスの取れたデザインが求められる。