

**Techno Scope**

データセンターなどの  
サーバールーム



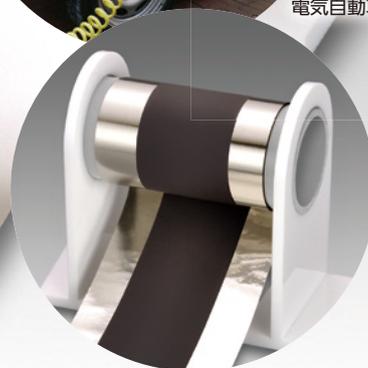
サーバーなどのハードディスクドライブにはステンレス箔を用いたサスペンションが使用されている  
(写真提供: Hutchinson Technology, Inc.)

# 電子部品に使用される ステンレス箔

強度があり、耐食性の高いステンレス箔は、電子部品をはじめとして様々な分野で活用されている。例えばハードディスクドライブの主要部品に使用されており、リチウムイオン電池への適用も期待されている。ステンレス鋼は薄肉化が難しい材料であるが、高精度な圧延技術によって安定した品質を実現しており、高機能化する電子部品を支えている。



電気自動車



電気自動車に搭載されるリチウムイオン電池の集電体として、ステンレス箔の適用が期待されている

## 情報化社会を支えるステンレス箔

スマートフォンなどのデジタルデバイスやIoT (Internet of Things) の進展などにより、保存されるデジタルデータは増加の一途をたどり、2020年には全世界の年間情報量が40 ZB (= 40兆 GB、Z:ゼタ = 10<sup>21</sup>) を超えるとの予想もある。これは2013年の約10倍にあたる情報量である。

これらの膨大なデジタルデータの大部分はデータセンターの「ニアラインストレージ」と呼ばれるHDD (ハードディスクドライブ) に保存されている。ニアラインストレージとは、常時稼働と高速なアクセスが求められるオンラインストレージと、長期保存用アーカイブなどに用いられるオフラインストレージの中間的な役割を担うストレージである。オンラインストレージほど高性能を要求されないが、必要な時にオフラインストレージよりも高速なアクセスが可能なニアラインストレージの需要が、情報量の増大とともに増加している。

### ■HDDの基本構造 (図1)

磁気ヘッドを移動させるためのアームにステンレス箔製のサスペンションが取り付けられている。



サスペンション



### ■サスペンションの構造例 (図2)

磁気ヘッドの表面は凹凸に加工され、ディスクが回転することによる空気の流れで生じる圧力と、サスペンションが与える荷重によって、磁気ヘッドの浮上高さが一定に保たれる。



(資料提供: 日本発条 (株))

## 進化し続けるHDD

データセンターで使用されるニアラインストレージ用の3.5インチHDDの記憶容量は、現在、1台あたり10 TBから14 TBの製品が市販されている。しかし、増大するデータを効率的に保管するためには、より大容量のHDDが求められている。

HDDの大容量化には2つのアプローチがある。1つがディスク1枚あたりの記録密度の向上であり、もう1つが1台あたりのディスク枚数の増加である。

ディスク1枚あたりの記録密度を向上させるためには、1 bitあたりのデータの記録領域を狭小化していく必要がある。しかし、記録領域を小さくすることで保持力が弱まり、熱揺らぎによるデータ消失が生じる。これを解決するためには、ディスク表面の磁性体の改良による保磁力の強化が有効だが、保磁力が強すぎると、今度は情報を書き込めないという課題が発生する。そのため、次世代の磁気ヘッドではデータの書き込みの際にレーザーなどでディスク表面を加熱する熱アシスト方式の開発が進められている。

一方、ディスク枚数を増やすためには、

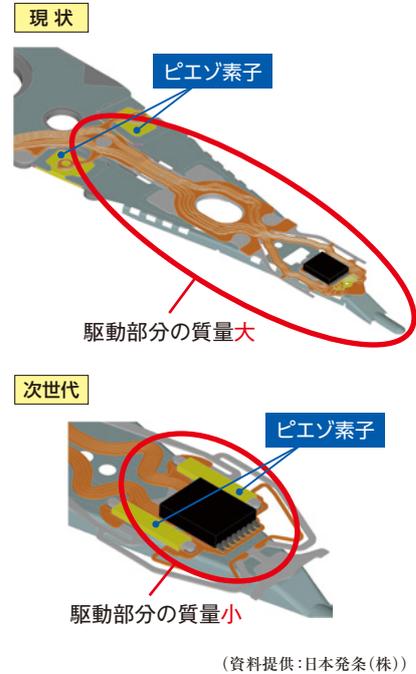
ディスクそのものの薄肉化や駆動機構の薄型化が必要になる。しかし、ディスク厚を薄くすると、剛性が不足し、安定した回転が難しくなる。そこで現在、HDD内の空気をヘリウムで置換したモデルが開発され、市場に投入されている。熱伝導率が空気よりも高いヘリウムを充填したことで、従来モデルと比較すると約30%もの省エネルギー効果もある。

これらのアプローチに加えて、磁気ヘッドの位置決め精度には、いっそうの高精度化が求められている。そのため、磁気ヘッドの位置を圧電素子（ピエゾ素子）を使って微調整する位置決めシステムが開発され、実用化されている。しかし、現状のピエゾ素子付きサスペンションでは、駆動部分の質量が大きいため取り付けられているアームの振動が問題となっている。そこでピエゾ素子がサスペンション先端に設けられた、次世代サスペンションが既に量産されている（図3）。

これらの技術開発によって、2020年には1台あたりの容量が20 TBの製品が実用化される見込みである。

### ■次世代のHDDサスペンション（図3）

ピエゾ素子による可動部分を小さくして質量を削減することで、振動発生を抑えている。



（資料提供：日本発条（株））

ニアラインストレージ用のHDDも、その基本構造は通常のHDDと同様である。「スピンドルモーター」によって回転する情報を記録する「ディスク」と、「ボイスコイルモーター」により駆動する「アーム」とその先端に取り付けられ、情報の書き込み・読み込みを行う「磁気ヘッド」から構成されている（図1）。

高速回転するディスク表面と磁気ヘッドの距離は約0.01  $\mu\text{m}$ で、この大きさの比率は地上0.6 mmを飛ぶジャンボジェット機に例えられることが多い。磁気ヘッドの安定性はHDDの性能を左右する重大な特性であるが、これを支えるサスペンションとして、ステンレス箔による精密板バネが採用されている。

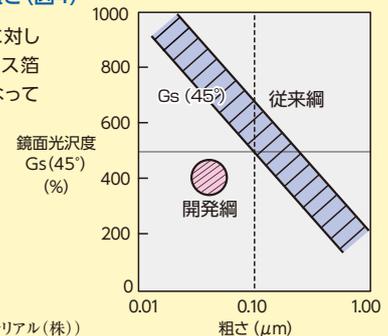
サスペンションに使用される鋼材は、バネ・強靱鋼向けに加工硬化させたSUS 304で、ビッカース硬さ400、引張強度1300 N/mm<sup>2</sup>の材料が使用される。サスペンションは一般的に、「ベースプレート」とバネの役割を果たす「ロードビーム」、磁気ヘッドや配線を搭載する「フレキシャー」から構成される（図2）。ロードビームの板厚は30  $\mu\text{m}$ が主流で、 $\pm 1.0 \mu\text{m}$ の板厚精度が要求される。ロードビームの板厚は、磁気ヘッドを安定させる共振モードや荷重に影響を与えるため、高い板厚精度が要求される。ロードビームは曲げ加工などが施され、同様に板バネの役割を果たすフレキシャーなどとレーザースポット溶接にて組み立てられる。

現在、ロードビームやフレキシャーに使用されるステンレス箔は

100%が日本のメーカーにより供給されており、そのうち約90%を日鉄ケミカル&マテリアル（株）（旧社名：新日鉄住金化学、新日鉄住金マテリアルズ）が製造している。同社は3.5インチHDDの黎明期より材料供給を行い、サスペンション材料に適したステンレス箔を開発してきた。それが表面粗さと鏡面光沢度を制御した特殊なステンレス箔である。一般的に、表面粗さが小さくなれば、鏡面光沢度が増加する（図4）。しかし、製造工程における外観上の問題で、板厚が薄くなっても以前の製品同様の表面光沢が求められ、表面粗さに対して、より低い鏡面光沢度を持つ材料が求められていた。さらに圧延目（圧延ロールの研磨痕で圧延方向に伸びる筋状の凹凸）を含む表面性状の不均一

### ■ステンレス箔の鏡面光沢度と表面粗さ（図4）

一般的なステンレス箔に対して、開発されたステンレス箔の鏡面光沢度は小さくなっている。



（資料提供：日鉄ケミカル&マテリアル（株））

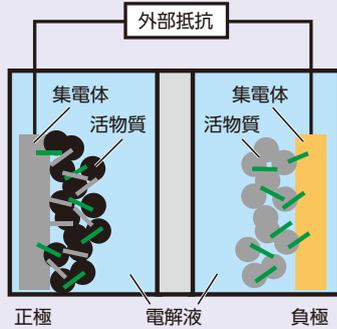
性を無くす必要もあり、表面に圧延目が残らない仕上げ技術(ミルクホワイト(MW)仕上げ)が開発された。この板厚 $30\ \mu\text{m} \pm 1.0\ \mu\text{m}$ という板厚精度と適度な鏡面光沢を持つステンレス箔はサスペンション材料として事実上の標準材料となっている。

### 期待されるリチウムイオン電池への適用

世界各国で電気自動車(EV)の導入が進み、本格的なEV時代の到来が現実のものになってきた。そこでリチウムイオン電池の一層の高容量化が求められている。その様な背景の中、ステンレス箔の新しい適用分野として期待されているのがリチウムイオン電池の集電体(電極)である。

#### ■リチウムイオン電池の基本構造(図5)

一般的なリチウムイオン電池は、それぞれ活物質が塗布された正極と負極、セパレーター、電解液から構成される。



一般的リチウムイオン電池の基本構造は、コバルト酸リチウムのような正極活物質とアルミニウム箔集電体からなる正極、黒鉛のような負極活物質と銅箔集電体からなる負極、正極と負極の短絡を防ぐセパレーター、電解液で構成される(図5)。

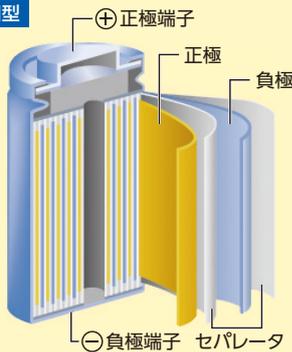
リチウムイオン電池メーカー各社は、正負の活物質やセパレーター、電解質の組み合わせの最適化により、高容量化などに取り組んできた。近年、ニッケル含有量の多い正極活物質の使用が検討されてきたが、活物質の製造工程における残留アルカリ成分が多く、正極集電体には高い耐アルカリ性が求められることになった。また、負極活物質にシリコンを用いることで高容量化が実現できるが、充放電により体積が変化するため、負極集電体にはこれまで以上の強度が求められる。そこで正極集電体のアルミニウム箔や負極集電体の銅箔に代わる材料として注目されているのが、耐食性と強度が高いステンレス箔である。

正極と負極のいずれにも使用できるステンレス箔の使用には、もう1つのメリットもある。それが正極活物質と負極活物質を1つの集電体上に形成するバイポーラ型のリチウムイオン電池の実現である。バイポーラ型は内部抵抗が少なく、薄膜化によっていっそうの電池の小型化・軽量化が可能になるという利点がある。特に、EV車載用のリチウムイオン電池の主流になると期待される積層型リチウムイオン電池では(図6)、バイポーラ型のメリットが十分に生かすことで、高容量化が進むと考えられる。

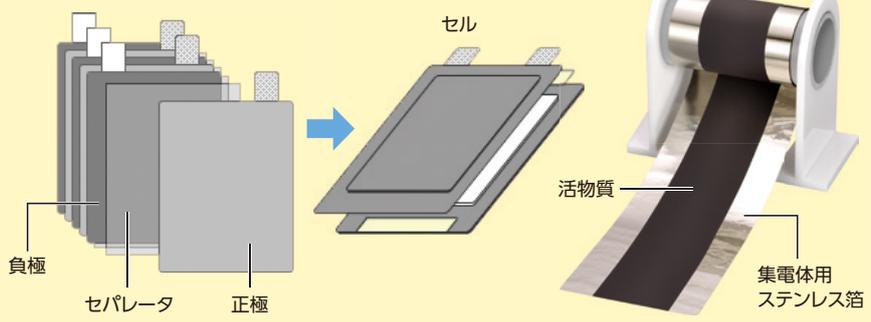
#### ■巻回型と積層型(図6)

乾電池型のリチウムイオン電池には巻回型が多く採用され、ラミネートタイプのリチウムイオン電池には積層型が多く採用されている。写真の集電体用ステンレス箔は一般的なリチウムイオン電池向けのもの。バイポーラ型の場合は、表裏で異なる活物質が塗布される。

##### 巻回型

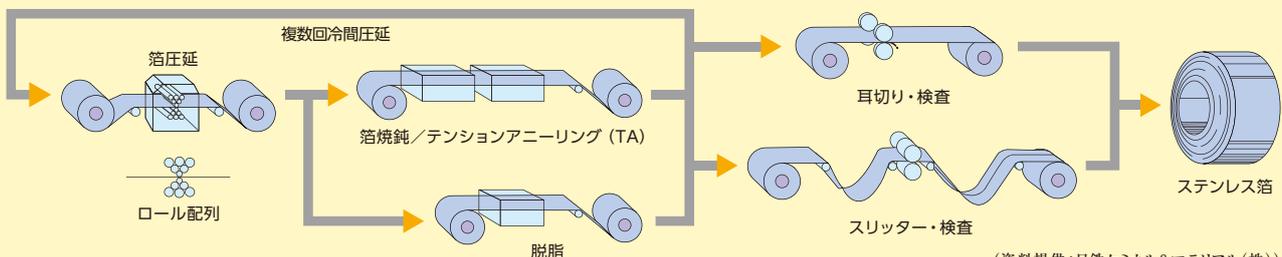


##### 積層型



#### ■ステンレス箔の製造工程(図7)

ステンレス箔のような製品は、原料となる鋼材の成分や前工程の影響が後工程にでやすいため、高品質の製品を製造するためには、工程全体で密接な連携が取りやすい一貫生産が大きな強みになる。



(資料提供:日鉄ケミカル&マテリアル(株))

## 多彩な分野で活用されるステンレス箔

ステンレス箔はHDDのサスペンションやリチウムイオン電池の集電体のほかにも、さまざまな分野で使用されている。

### A バッテリーケース(図8)

リチウムイオン電池では、集電体に加え、電池ケースとしての用途が期待されている。スマートフォンなどのデジタルデバイス向けのリチウムイオン電池には、ラミネート型の電池が用いられ、電池ケースには樹脂フィルムをラミネートしたアルミニウム箔などが用いられている。いっそうの小型化・軽量化のためには、電池ケースの薄肉化が必要であるが従来の樹脂フィルムラミネートアルミニウム箔ではピンホールなどが生じたり、十分な強度を保てないなどの課題がある。ここにステンレス箔を用いることが検討されている。

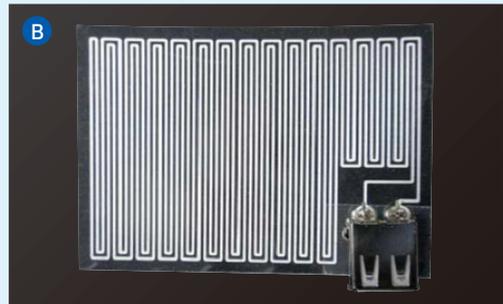
### B 面ヒーター(図9)

ステンレス箔をエッチングすることで回路を形成し、面発熱ヒーターとして使用されている。薄型でさまざまな形状のヒーターを形成できることから、製造ラインをはじめとして、多彩な分野で利用されている。

### C 触媒担体(図10)

ステンレス箔をダンボールのような構造とすることで、触媒の担体として利用することが可能になる。二輪車に搭載される排ガス処理触媒ではセラミック製の担体が一般的だが、衝撃などに弱いという課題がある。ステンレス箔担体であれば、衝撃に強いことに加え、高い熱伝導性からエンジン始動初期から高い排ガス処理性能を発揮できるため、より厳しい環境基準にも適応することができる。

(資料提供：日鉄ケミカル&マテリアル(株))



## より薄く、より均一に、より効率的に

これまで紹介してきたステンレス箔は、HDD用のサスペンションで厚さ30  $\mu\text{m}$ 、リチウムイオン電池用の集電体では厚さ10  $\mu\text{m}$ で、いずれも高い板厚精度が要求されている。これらのステンレス箔はどのような技術によって生産されているのであろうか。

そもそも、アルミニウムや銅と比較して強度の高いステンレス鋼を均一に薄く伸ばすことは難しい。一般的に、圧延する板厚が薄くなるとともに、圧延ロール直径を小さくする。これは、接触弧長を短くする(圧延ロールと鋼材の接触面積を小さくする)ことでより大きな圧力を鋼材に与えるためである。また、生産性を考慮すると圧延する板幅は一定以上を確保する必要があり、そのため小径の圧延ロールは細長い形状になる。細長い小径ロール(ワークロール)は圧延荷重により大きく湾曲するために、それを抑制するためのバックアップロールが必要になり、日鉄ケミカル&マテリアル(株)のステンレス箔の製造では、12段(ワークロール:2本、中間ロール:4本、バックアップロール:6本)の圧延機が使用されている(図7)。

通常の圧延では、板端部と比較して中央部が厚くなる「クラウン(板幅方向板厚差)」の解消が課題になるが、薄板では板厚

300 $\pm$ 10  $\mu\text{m}$ の板厚精度に対し、ステンレス箔では10 $\pm$ 1.0  $\mu\text{m}$ といった板厚精度が求められる。板厚の裕度は10  $\mu\text{m}$ の10分の1になるため、より高度な圧延技術が必要になる。

さらに、板厚が薄いためにワークロールの端部同士が接触し、荷重をかけても鋼材に圧力が伝わらない「キスロール」と呼ばれる現象も薄板などと比較して生じやすくなる課題もある。

また、圧延装置内や製造ライン内での搬送にも高度な技術が必要で、極薄いステンレス箔にシワ、捻じれ、蛇行などがないように高速搬送することで高い生産性を実現している。これらの技術によって、現在、ステンレス箔では、最小板厚10  $\mu\text{m}$ 、最大板幅480 mmの製品が製造可能になっている。

ステンレス箔の製造には、原料生産から熱処理を含む箔圧延まで、高度な技術が必要であり、広く市販品として使用されるためには、生産性も重要になる。また、製品を製造するためには、ステンレス箔の加工技術や組み立て技術も重要である。これらの点で日本のステンレス箔の製造技術や利用技術はアドバンテージを持つため、今後も情報やエネルギーの分野での活躍が期待される。

- 取材協力 日鉄ケミカル&マテリアル(株)、日本発条(株)
- 文 石田亮一