

2023B1568

BL19B2

磁気ディスク用アルミニウム合金基板の形状変化に及ぼす  
残留応力の影響調査  
Investigation of the Effect of Residual Stress on Shape Change of  
Aluminum Alloy Substrates for Magnetic Disks

北脇 高太郎<sup>a</sup>, 山下 賢哉<sup>a</sup>, 鈴木 賢治<sup>b</sup>, 豊川 秀訓<sup>c</sup>  
Kotaro Kitawaki<sup>a</sup>, Kenya Yamashita<sup>a</sup>, Kenji Suzuki<sup>b</sup>, Hidenori Toyokawa<sup>c</sup>

<sup>a</sup>(株)UACJ, <sup>b</sup>新潟大学教育学部, <sup>c</sup>高輝度光科学研究センター

<sup>a</sup>UACJ Corporation, <sup>b</sup>Faculty of Education Niigata University,  
<sup>c</sup>Japan Synchrotron Radiation Research Institute

磁気ディスク用 Al 合金基板の耐変形性の向上には、製造工程で発生する残留応力を把握し低減することが重要である。本研究では、変形量が異なる基板用ブランクを用い、二重露光法により残留応力を測定し、板厚方向に等分割した応力マップを算出した。変形量の大小に関わらず板厚中央から上半分は引張応力が支配的であったのに対し、下半分は圧縮応力が支配的であった。変形量が異なるブランクの差異としては、変形量が大きいブランクは、下半分の一部において圧縮応力が大きい傾向であった。

**キーワード：** 磁気ディスク、アルミニウム合金、残留応力測定、二重露光法

#### 背景と研究目的：

ハードディスク(HDD)高容量化のため、磁気ディスク用基板には薄肉化と耐変形性の向上が求められている。耐変形性の向上には材料の剛性向上等が有効であるが、基板製造工程で発生する残留応力の低減も重要であることが分かってきた。これまでに残留応力影響調査として、一般の X 線で応力測定を試みたが、測定対象は粗大粒で高精度の評価ができなかった。その理由として、粗大粒では回折中心が成立しないこと等があるが、これらを解決する手法として、放射光を用いた二重露光法(DEM: Double Exposure Method)による測定がある[1-2]。この手法で残留応力分布を表層だけでなく内部も含め高精度に測定できれば、耐変形性に優れる材料をより効率的かつ高度に開発することが可能で、Al 合金ディスクの HDD の高容量化を達成できる。

本研究では、磁気ディスク用 Al 合金基板の形状変化に及ぼす残留応力の影響を調査し、基板変形のメカニズムを解明し、耐変形性に優れる薄板用基板をより効率的かつ高度に開発することを目的とする。

#### 実験：

試料は、Al 合金(Al-4 mass%Mg)の加圧焼鈍後の中空円板(ブランク、サイズ：φ98×φ24×t0.52 mm)で、加圧焼鈍後に加熱処理した際の変形量が異なる 2 種類を用いた。今回は基板での影響を確認する前段階として、板から打抜いた基板用ブランクを用い評価を行った。変形量が異なるブランクとして、変形量 1.8 μm(変形小)と変形量 14.9 μm(変形大)を用いた。変形量は面内の最大山高さと最大谷深さの差を表す平坦度で評価した。ブランクの平均結晶粒径は、変形小が 10.1 μm で、変形大が 9.5 μm であった。なお、回折計の試料ステージの制約の関係で、ブランクの一部を切断したものを試験片とした。放射光測定は、ビームライン BL19B2 で、回折条件は X 線エネルギー 20 keV として、Al 420 回折を利用した。ビームサイズは 0.5×0.2 mm<sup>2</sup> である。L = 400 mm、カメラ長 L0 = 400 mm である。検出器は PILATUS-300K を利用した。

測定の概略について図 1 のレイアウトと図 2 の回折計外観を用い以下に説明する。試験片を 3 軸自動ステージに置き、X 線を試験片に透過させた回折像を P1 に置かれた検出器で測定した。回折計の  $\chi 90^\circ$ にて、円周方向の格子面間隔  $d$  を  $\theta - 2\theta$  により測定した。

- (1)この測定を半径方向 37 mm 幅 10 mm の領域で 1 mm 間隔で 418 点測定した。
- (2)試験片を  $\chi 0^\circ$  に回転し、半径方向の格子面間隔  $d$  を得るため(1)と同様に測定した。
- (3)検出器位置を P2 に移動して  $\chi 90^\circ$  にて(1)の測定を繰り返した。
- (4) $\chi 0^\circ$ 、検出器位置を P2 にして、半径方向の格子面間隔  $d$  を得るため(1)の測定を繰り返した。

1 枚の試験片に対して(1)から(4)を繰り返した。測定後、原画に対してメディアンなどの前処理後、二値化して回折斑点を抽出した後、回折位置や回折角  $2\theta$  を算出した。本解析では単純な応力状態として平面応力(面外応力  $\sigma_y = 0$  MPa)状態を仮定し、円周方向および半径方向のひずみを主ひずみと仮定し、応力を算出した。なお、解析方法の詳細については文献で紹介されているため割愛する。

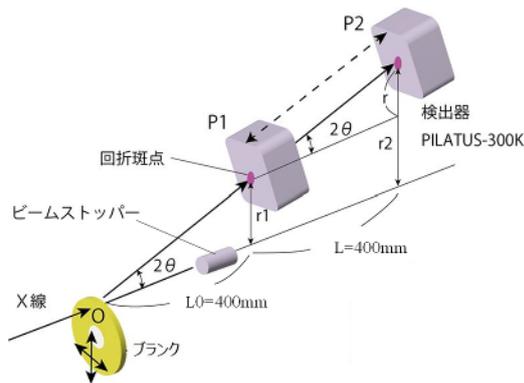


図 1 DEM レイアウト

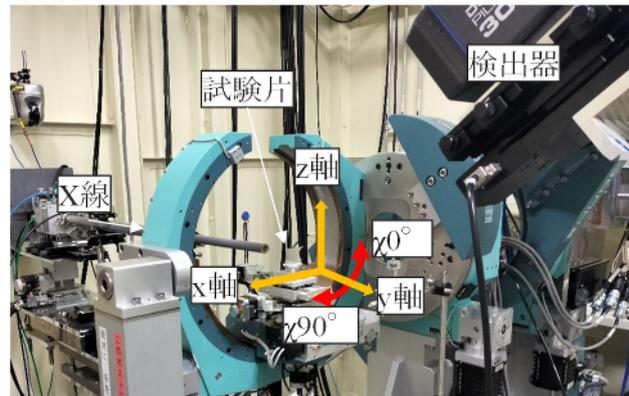


図 2 回折計外観

結果および考察：

図 3(a)に加圧焼鈍後に加熱処理した際の変形量が小さいブランクの円周方向と半径方向の残留応力マップを示す。マップは、各測定点の残留応力の全厚平均を示したものである。赤色系は引張応力を、青色系は圧縮応力を表している。円周方向の応力状態を見ると、外周部側は引張が支配的であったのに対し、内周部側は圧縮が支配的であったが一部引張応力も存在していた。なお、外周部側は  $x = 25\text{--}37$  mm の領域を、中央部は  $x = 13\text{--}24$  mm の領域を、内周部側は  $x = 0\text{--}12$  mm の領域を示す。半径方向も円周方向と似た傾向であったが、円周方向よりも全体的に引張応力が少ない傾向で、内周部側には引張応力はほとんど存在していなかった。図 3(b)に変形量大きいブランクの円周方向と半径方向の残留応力マップを示す。応力の傾向は、変形量が小さいブランクと似ていたが、いくつか差異も認められた。まず、変形量大きいブランクは、内周部側の半径方向の圧縮応力が高い傾向であった。また、変形量が小さいブランクでは内周部側で円周方向の引張応力が一部認められたが、変形量大きいブランクでは、引張応力は極一部であった。

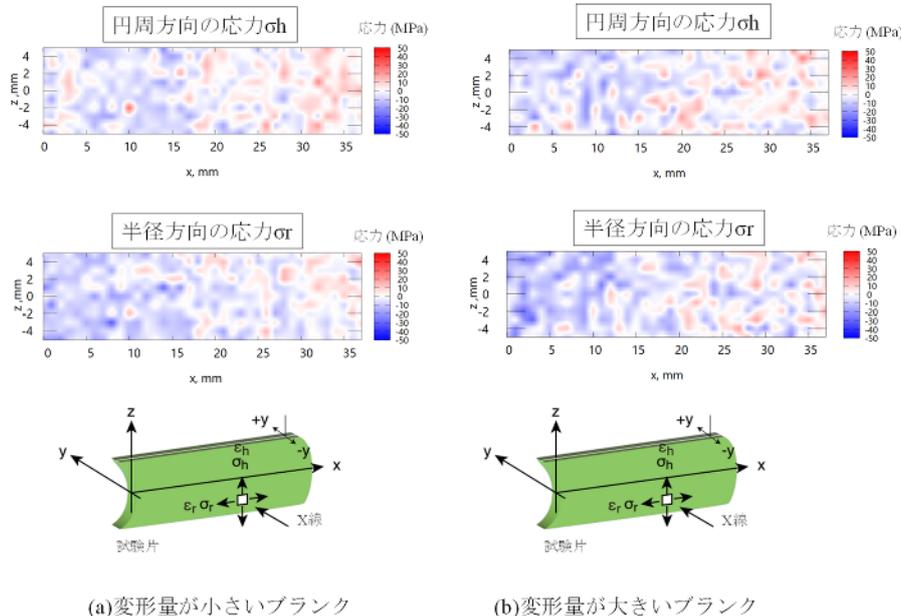


図 3 全厚平均の残留応力マップ

図3の応力マップは全厚平均であるが、DEMは各結晶粒の回折角を直接測定する手法のため板厚方向で分割して応力マップを算出することが可能である。図4に、図3と同じ試験片の板厚方向の中心線( $y=0$ )から上半分(+ $y$ 側)の円周方向の平均応力と、板厚方向の中心線( $y=0$ )から下半分(- $y$ 側)の円周方向の平均応力のマップを示す。変形量の大小に関わらず上半分は、外周部側だけでなく、中央部も引張応力が支配的で、内周部側にも引張応力が存在した。一方、下半分は、上半分と逆の傾向で、全体的に圧縮応力が支配的であった。なお、半径方向の応力も同様な傾向であった。上半分は引張が、下半分は圧縮が支配的なため、加圧焼鈍後に加熱処理した際に応力が解放されることで全体として変形すると考えられる。変形量が異なるブランクの差異としては、変形量大きいブランクは、下半分の内周部側の圧縮応力が大きい傾向であった。図5に、変形量が異なるブランクの外周部側と中央部及び内周部側の上半分と下半分の円周方向の応力を示す。各領域の応力の平均値を算出したもので、下半分の内周部側では約3 MPaの応力差が認められた。応力が大きい分、変形量も大きくなったと考えられる。上半分と下半分で応力の傾向が異なる要因については、加圧焼鈍時にブランクに加わる圧力が不均一なことが影響を及ぼした可能性があるが、さらに検討する必要がある。

DEMを用いることで全厚だけでなく、板厚方向で分割して応力を算出することが可能となり、変形のメカニズム解明に繋がる結果であった。

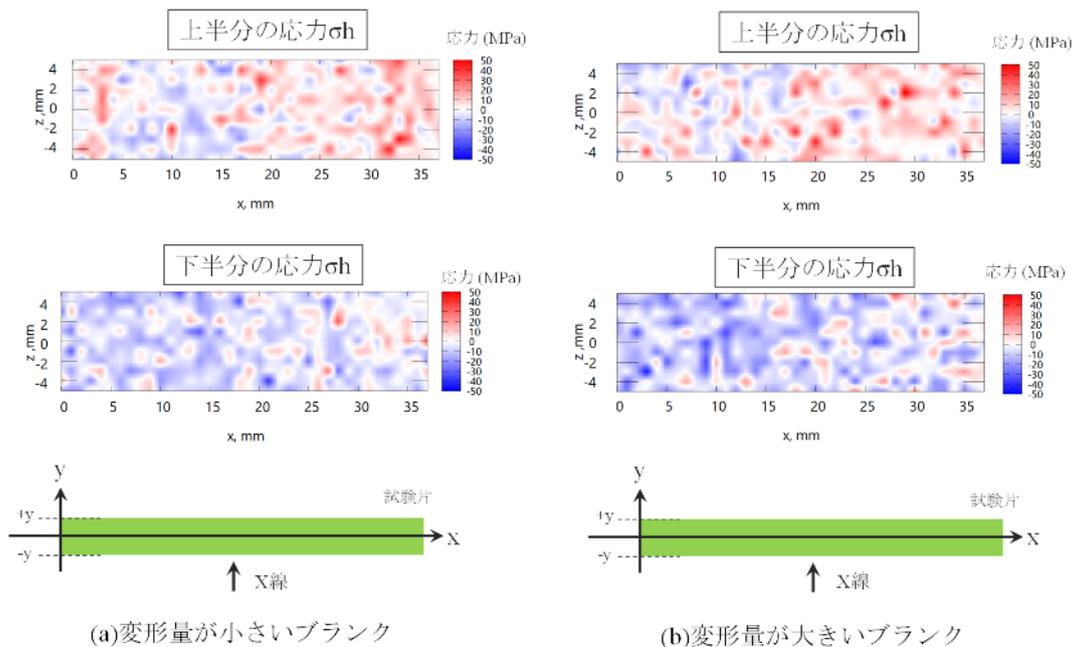


図4 上半分と下半分の円周方向の残留応力マップ

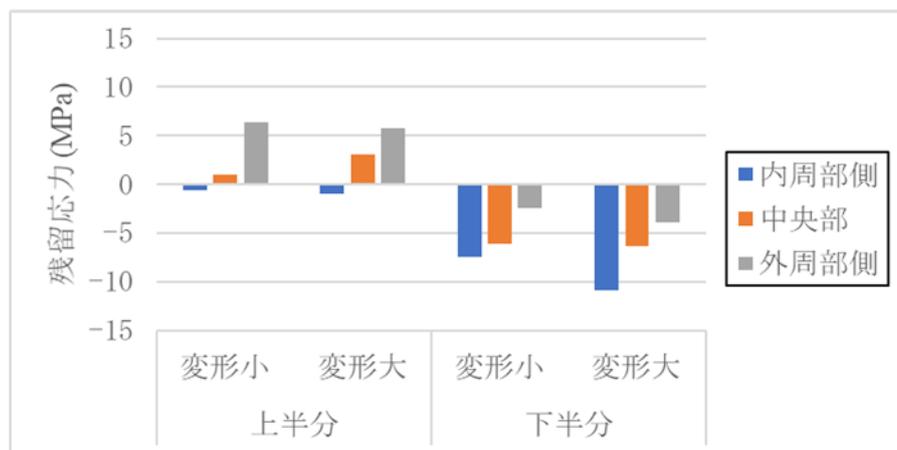


図5 各領域の上半分と下半分の円周方向の平均残留応力

**今後の課題：**

今後は、ブランクにより変化量に差異が生じる原因について調査を行い、変形量が小さくなる製造工程を検討する。また、ブランク以降に製造される基板や磁気ディスクの残留応力の状態も確認し、ブランクの残留応力や各製造工程の影響等を確認する。その際、試料の切り出しは行わずに、円板の状態で測定できるように検討する。

**参考文献：**

- [1] 鈴木賢治 他、材料, **68** (4), 312 (2019).
- [2] 鈴木賢治 他、材料, **71** (4), 347 (2022).

---

(Received: February 9, 2024; Accepted: December 4, 2024; Published: February 28, 2025)