

自動車ブレーキに生じるメタルピックアップ生成要因 Analysis for Formation Process of Metal Pickup within Automobile Brake

野田 寛和^a, 武井 貴弘^b, 熊田 伸弘^b
Hirokazu Noda^a, Takahiro Takei^b, Nobuhiro Kumada^b

^a(株)アスクテクニカ, ^b山梨大学

^aAsk Technica Corporation, ^bUniversity of Yamanashi

メタルピックアップ(以下 MPU)は、自動車用ディスクブレーキのブレーキパッド表面に金属塊が発生する現象である。高輝度 X 線を用いて、いくつかの運転条件下で発生した 4 種類の MPU、それぞれの MPU に対応するロータ材およびブレーキダストから採取した Fe_3O_4 の粉末 X 線回折測定を行い、MPU およびロータ材は $\alpha\text{-Fe}$ の、ブレーキダストは Fe_3O_4 の結晶子径を算出した。結果は、ロータ材よりも MPU の結晶子径は小さく、ロータ材の結晶子径の大きさの序列が、MPU のそれと一致していた。これらの結果から、ロータを出発原料とした場合、MPU になる過程で溶解、酸化あるいは還元によって結晶子径が小さくなったと推測される。

キーワード： ブレーキ、メタルピックアップ、結晶子径、Williamson-Hall

背景と研究目的：

自動車用ディスクブレーキは、通常は鋳鉄を主成分としたディスクからなるロータ部と、無機物複合体を有機結合材で固めたブレーキパッドからなる。自動車は地域によって千差万別な環境で使用されており、メタルピックアップ(以下 MPU)が一つの問題となっている。図 1 にブレーキパッド表面に発生した MPU の写真を示す。MPU はブレーキパッド表面にミリメートル以下～数センチメートルの金属塊が生成することにより、ロータを傷付け、ブレーキノイズをはじめ、著しいブレーキ性能低下を招く現象であるが、これまで MPU 生成機構は解明されていない。この現象を防止する動きとして、国際標準化機構(ISO)および日本自動車規格(JASO)において、MPU 生成試験の規格化が進められている[1]。この活動において、MPU 生成過程を解析することは必須であり、1 mm 以下の小さな MPU の結晶構造解析を行うには、SPring-8 の高輝度 X 線での解析が必要不可欠である。図 2 に予想する MPU の組織モデルを示す。今回はロータ材($\alpha\text{-Fe}$)、MPU($\alpha\text{-Fe}$)およびブレーキダスト(Fe_3O_4)の XRD パターンから、結晶構造の定性および結晶子径を求め、MPU に対して、MPU の出発原料と考えられるロータ材およびブレーキダストと比較することでそれら結晶子径の差異から、相関関係や熱履歴の有無を推測することが目的である。



図 1. ブレーキパッド表面に発生した代表的な MPU

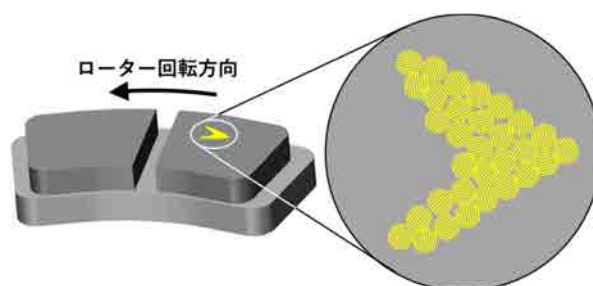


図 2. 予想する MPU の組織モデル

実験：

MPU およびロータ材は可能な限り負荷の少ない方法によって、1 mm 以下になるように加工し、直径 1 mm のキャピラリーに各物質を充填したものを試料に用いた。測定は粉末 X 線回折を行った。使用装置は、BL19B2 ラインの粉末 X 線回折装置を用いた。測定条件は、X 線エネルギーが 30 keV 程度とし、0.399883 Å の短い波長の X 線を用いて広範囲の XRD 測定を行った。

結果および考察：

4種類のMPUとそれに対応したロータ材、ブレーキダストのXRDパターンを同定した。その後MPUおよびロータ材の主成分である α -Feに対して、ブレーキダストは同定されたマグネタイト(Fe_3O_4)に対して、次に示すWilliamson-Hallの式を用いて結晶子サイズを求めた。なお、算出には同一方位の結晶面の回折を用いることとし、 α -Feに対しては110面および220面、マグネタイトに対しては220面および440面をそれぞれ用いた。

Williamson-Hallの式
$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{2\varepsilon \sin \theta}{\lambda} + \frac{K}{D}$$

β ：ピーク幅、 λ ：波長、 ε ：歪、 D ：結晶子径、 K ：定数(β が積分幅の場合は1)

※($2 \sin \theta$)/ λ に対して($\beta \cos \theta$)/ λ のプロットをすることで、切片から D を計算できる。

図3にSPring-8(BL19B2)で測定したMPU、ロータ材およびブレーキダストのXRDパターンを、図4にMPUおよびロータ材の α -Feの回折結果とWilliamson-Hallの式から導いたプロット図を、図5には図4と同様にマグネタイトの回折からのプロット図を、表1には最終的に算出した結晶子径をそれぞれ示す。

表1の結晶子径から、全てのMPUの結晶子径は、ロータ材のそれよりも小さくなっていた。また、ロータ材間の結晶子径の大きさの序列と、MPU間の序列が一致していた。これらの事から、ロータ材をMPUの出発原料と仮定した場合、 α -Feの溶融や酸化、還元などによって結晶子径が小さくなり、MPUの大きさはロータ材の結晶子径に依存すると推測した。

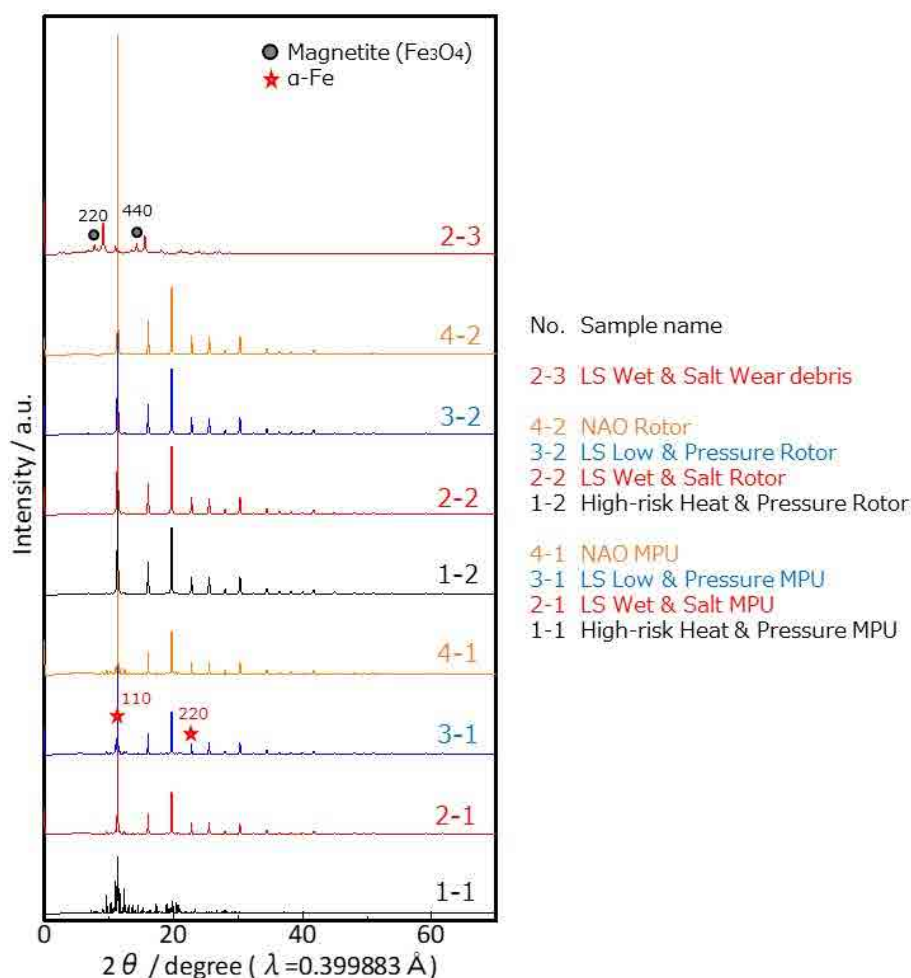


図3. SPring-8(BL19B2)で測定した試料のXRDパターン(SXRD)

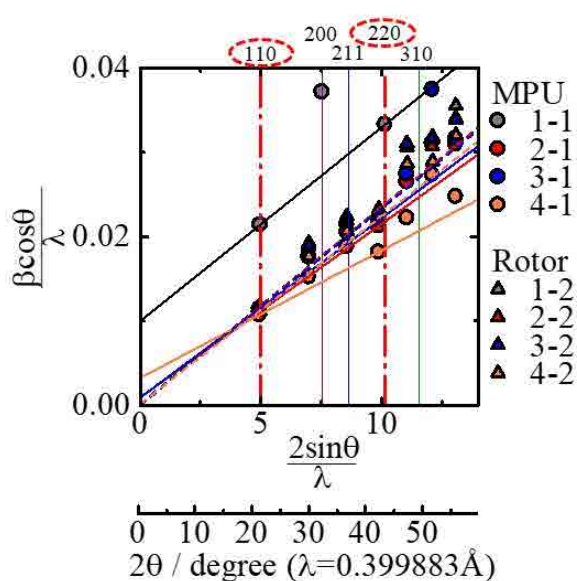


図4. MPUおよびロータ材試料(α -Fe)のWilliamson-Hallプロット

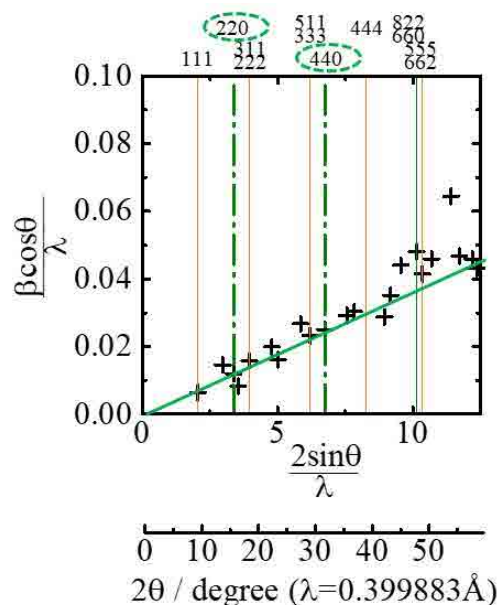


図5. ブレーキダスト試料(Fe_3O_4)のWilliamson-Hallプロット

表1. SXR DパターンおよびWilliamson-Hallの式から求めた試料の結晶子径

	MPU (α -Fe)				Rotor (α -Fe)				Wear debris (Fe_3O_4)
	1-1	2-1	3-1	4-1	1-2	2-2	3-2	4-2	
傾き ($\times 10^{-3}$)	2.30	2.06	2.13	1.51	2.34	2.35	2.33	2.23	3.83
切片 ($\times 10^{-3}$)	9.98	9.35	9.16	3.25	1.78	2.49	1.61	1.76	3.06
歪 (%)	0.23	0.21	0.21	0.15	0.23	0.24	0.23	0.22	0.39
結晶子径 (nm)	10	107	109	31	562	4017	6197	568	33

試料 2-3 のブレーキダスト(マグネタイト)は試料 2-1 の MPU に対応したものである。マグネタイト(Fe_3O_4)が MPU の出発原料になるには、還元して Fe なる必要がある。今回の結果ではマグネタイトの結晶子径は MPU の約 1/3 であった。井上らによると、表面にシリカをコートした場合でもマグネタイトは還元雰囲気中 800°C で α -Fe が粒成長しながら析出する[2]。本研究でも同様に、マグネタイトが還元して α -Fe に相変態したときに粒成長した可能性が高い可能性が考えられる。

また一方で、MPU 由来の α -Fe の結晶子径は、ローター由来 α -Fe の結晶子径よりも極めて小さい。これらのことを併せ考えると、以下のようなメカニズムが推測される。まずローターが酸化されてマグネタイトが生成し、その際に密度が急激に小さくなることから、結晶が膨張して破碎され、結晶子径はおよそ $4\mu\text{m}$ から約 30nm と非常に小さくなる。それが再還元される際に、粒子合体等によって結晶子径が成長して 100nm 以上に成長すると考えられる。

今後の課題：

今後、マグネタイトが α -Fe に還元した場合の結晶子径の変化を実験的に求め、今回の結果と比較することが課題である。

参考文献：

- [1] 坂本繁、早川昌毅、自動車技術、71, 108-109 (2017)
 [2] T. Inoue, Y Tamada, S Yamamoto, S. Nasu, T. Ono, *J. Magn. Soc. Jpn.*, 32, 321-324 (2008)