

木材由来ナノカーボン添加潤滑下における軸受鋼の転がり疲労損傷  
Rolling Contact Fatigue Damage of Bearing Steel under  
Lubrication with Wood-derived Nano-carbon

香川大（正）\*大宮 祐也 岡山大・工（非）林 大雅 兵庫県立大（正）木之下 博  
岡山大（正）塩田 忠 岡山大（正）藤井 正浩

Yuya Omiya\*, Taiga Hayashi\*\*, Hiroshi Kinoshita\*\*\*, Tadashi Shiota\*\*, Masahiro Fujii\*\*  
\*Kagawa University, \*\*Okayama University, \*\*\*University of Hyogo

1. はじめに

グラフェンやフラーレンなどのナノカーボン材料を潤滑添加剤として使用する研究<sup>(1)</sup>がなされている。本研究ではカーボンニュートラルの観点から開発された、木粉から炭化・精製した木材由来ナノカーボン（WNC：Wood-derived Nano-carbon）を潤滑添加剤として使用した場合について検討した。WNCを酸化させたoWNCを添加剤として往復摺動試験を行った場合、低摩擦、低摩耗となる効果を確認<sup>(2)</sup>されている。しかし、より幅広い利用を鑑みると転がり疲労挙動についても明らかにする必要がある。そこで本研究では、ボールオンディスク型転がり疲労試験機によりWNCを添加した潤滑油の転がり疲労寿命・表面損傷について検討した。

2. 木材由来ナノカーボン(WNC)の合成および潤滑油

予め5 mass%の硝酸鉄水溶液を含浸させたスギ木粉を原料に窒素雰囲気下で炭化させることでWNCを合成した。炭化温度は850℃とした。炭化後のWNCには鉄イオンが含まれるため、酸洗浄を行った。酸洗浄後、ホモジナイザーを用いて、微細化及び均一化処理を行った。図1は合成後の粉末状WNCの外観の示す。図2は合成したWNCをTEMで観察した結果を示す。これらの観察結果から1次粒子径は30 nm前後と推定される。次に、表1はJISに基づく粉体の測定結果を示す。比表面積は一般的なカーボンブラックと比較して大きな値を示している。

本試験では、373Kにおいて動粘度が3.9cStであるポリアルファオレフィン(Poly alpha olefin :PAO)を基油として用いた。PAOは現在広く用いられている合成潤滑油である。構造に酸素を含まないため、極性を持たず、化学的に安定である。表2はPAOの性状を示す。



Fig.1 Appearance of WNC powder

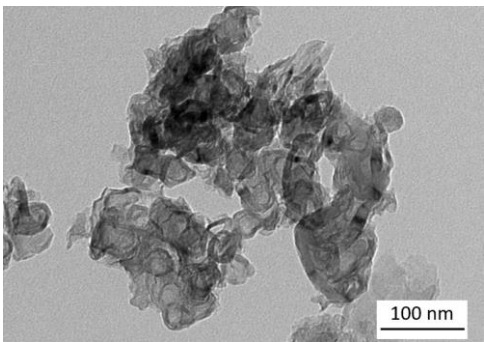


Fig.2 TEM micrograph

Table 1 Measurement results of WNC properties

	WNC
Iodine adsorption ability, mg/g	218
Specific surface area (BET), m <sup>2</sup> /g	269
DBP absorption, ml/100g	101

Table 2 Lubricant properties

Density g/cm <sup>3</sup>	288K	0.82
Flash point K		426
Viscosity mm <sup>2</sup> /s	313K	16.8
	373K	3.9
Viscosity index		124

3. 転がり疲労試験

図3は本試験に用いたボールオンディスク型転がり疲労試験の概要を示す。ワッシャと試験ディスク間に3つの試験ボールを設置し、固定した試験ディスク下方から荷重を与え、上部ワッシャを回転させた。試験ボールの間隔はリテーナにより保持した。負荷した荷重は、ロードセルを用いて測定し、ワッシャの回転速度は2550rpmとした。潤滑油は転動面が十分に浸かるようにした。試験温度は室温とした。転がり疲労試験は、試験機へ振動センサを取りつけ

ピッチング損傷が発生した際の振動を感知して停止するように設定した。試験に用いた試験ボール、試験ディスク、ワッシャはすべて SUJ2 材とした。試験ボールの直径は 4mm とし、表面粗さは  $0.002\mu\text{mRa}$  程度とした。試験ディスクの表面粗さは  $0.2\mu\text{mRa}$  程度とした。これらの接触応力（ヘルツ接触応力）は、 $6.0\text{GPa}$  とした。

表 3 は本試験に用いた潤滑油を示す。WNC を添加した場合の転がり疲労挙動への影響を考察するため WNC を基油に 0.1mass%, 0.5mass%, 1mass%, 2mass% の割合で添加した。添加した WNC は、目視確認であるが大きな凝集はなく基油に対して十分に分散していた。ただし、長時間経過で WNC の沈殿が発生した。しかし、本試験では転動部が潤滑油で満たされており、潤滑油が主軸の回転により攪拌され続けている状態であるため、時間経過による WNC 沈殿の影響はないとみなした。

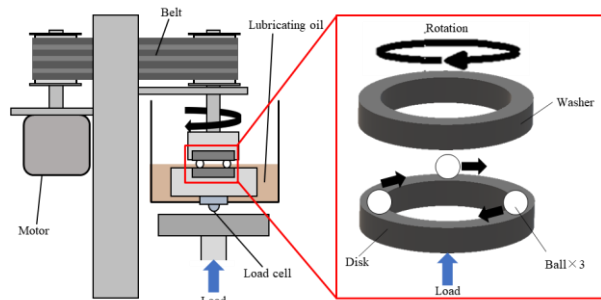


Fig.3 Schematic of rolling contact fatigue machine

Table 3 Test lubricants

Oil name	Additive
Base oil	
0.1mass%	WNC0.1mass%
0.5mass%	WNC0.5mass%
1mass%	WNC1mass%
2mass%	WNC2mass%

#### 4. 転がり疲労試験結果

図 4 は各潤滑油を使用し、転がり疲労試験を行った結果をワイブルプロットで示す。縦軸に損傷確率、横軸に各潤滑油での試験ディスクの疲労寿命を示している。損傷確率の導出には、本試験すべての潤滑油において試験回数が 20 回未満のため、メディアンライク法を用いた。寿命試験の結果、PAO に WNC を添加することで疲労寿命が大きく向上した。WNC の濃度と寿命の関係については、0.5mass% が最も寿命が向上する傾向が得られた。Base oil の最も高寿命の結果と 0.5mass% の高寿命の結果を比較すると約 6 倍以上の寿命となっている。これらの結果より PAO に WNC を添加することによる疲労寿命改善の効果が確認できた。

図 5 はレーザー顕微鏡を用いて試験終了後の転動面を観察した結果を示す。疲労寿命が長くなった WNC を添加した潤滑油では、小さなピットが基油を用いた場合に比べ多く発生していることが分かる。この小さなピットは繰り返し回数が小さいときから発生していた。

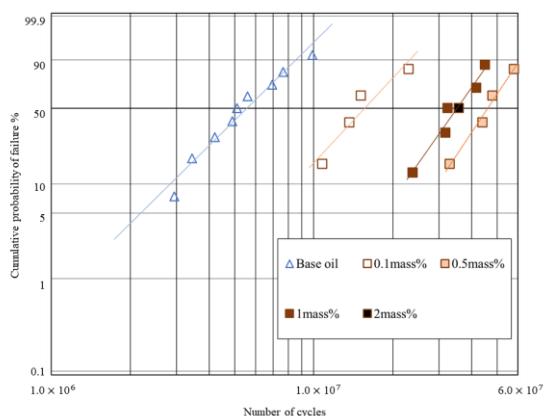


Fig.4 Weibull distribution of rolling fatigue life of specimens

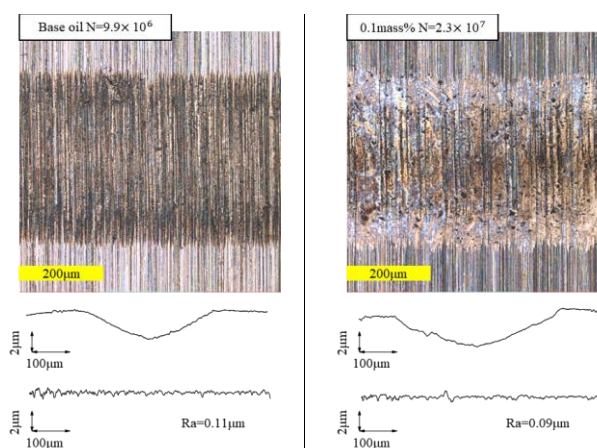


Fig.5 Results of laser microscopic observation of rolling traces

#### 5. 結言

ボールオンディスク型転がり疲労試験機により WNC を添加した潤滑油の転がり疲労寿命・表面損傷について検討した。PAO に WNC を添加することで転がり疲労寿命が大きく向上した。一方で疲労寿命が長くなった WNC を添加した潤滑油では、小さなピットが基油を用いた場合に比べ多く発生した。

#### 文献

- Y. Xu, J. Geng, X. Zheng, K. D. Dearn, X. Hu: Friction-Induced Transformation from Graphite Dispersed in Esterified Bio-Oil to graphene, Tribology Letters, 63, 18 (2016).
- H. Kinoshita, H. Ono., A. A. Alias, Y. Nishina and M. Fujii: Tribological properties of graphene oxide as a lubricating additive in water and lubricating oils, Mechanical Engineering Journal, 2, 6 (2015).