

# 転がり滑り環境下における水素フリーDLCの摺動特性

Tribological properties of hydrogen-free DLC under sliding-rolling contact condition

日本アイ・ティ・エフ株式会社 三宅 浩二(非)

Koji Miyake

Nippon ITF INC.

概要： 電動化車両においては、駆動系に使用される歯車や転がり軸受の摩擦係数低減や耐久性向上が重要となる。歯車部品に水素フリーDLCを適用した場合のトライボロジー特性を報告する。



背景

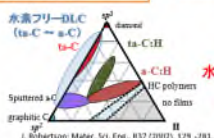
NIPPON ITF INC.

## 次世代電動車両における駆動システムの課題

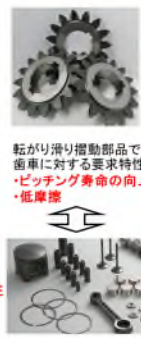
駆動システムの小型化 → モーターの高速回転化

20,000rpm  
⇒ 50,000rpm

摺損損失の低減  
冷却効率向上 → 潤滑油の低粘度化



水素フリーDLC膜の特徴  
・高硬度、高い耐摩耗性  
・油中低摩擦



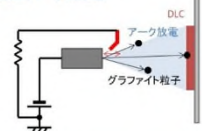
【目的】 転がり滑り摺動における水素フリーDLC膜のポテンシャルを明らかにする



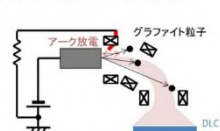
## 水素フリーDLCの製法と表面粗度

NIPPON ITF INC.

真空アーク蒸着法



フィルタード真空アーク蒸着法



## 水素フリーDLCの製法と物性

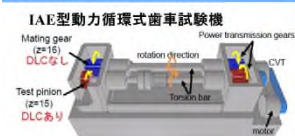
NIPPON ITF INC.

	DLC1	DLC2	DLC3
Deposition Method and Machine	Cathodic Vacuum Arc M500	Filtered Cathodic Vacuum Arc MF720	
Thickness	0.5 μm	1.0 μm	1.0 μm
Roughness Ra	0.018 μm (Polished)	0.028 μm (As-deposited)	0.031 μm (As-deposited)
Hardness	61 GPa	28 GPa	16 GPa
Young's Modulus	555 GPa	317 GPa	149 GPa
ID/IG	0.68	2.90	5.41
G Peak Position	1572 cm <sup>-1</sup>	1559 cm <sup>-1</sup>	1574 cm <sup>-1</sup>



## 歯車耐久試験

NIPPON ITF INC.



	Test Pinion	Mating Gear
DLC	Coated	Non-Coated
Material	SCM420, Case-hardened • Young's Modulus: 206 GPa • Poisson Ratio: 0.3	
Number of Teeth	15	16
Face Width	5 mm	18 mm

Rotation Number	1800 rpm
Maximum Hertzian Stress	1.8 GPa
Temperature	80°C ± 5°C
Supply rate	750 mL/min
Density	0.863 g/cm <sup>3</sup>
Flash Point	194°C
Kinetic Viscosity	33.03 mm <sup>2</sup> /s @ 40°C 7.013 mm <sup>2</sup> /s @ 100°C
Viscosity Index	181

Patting Image (DLC1: N = 2.08 × 10<sup>3</sup>)

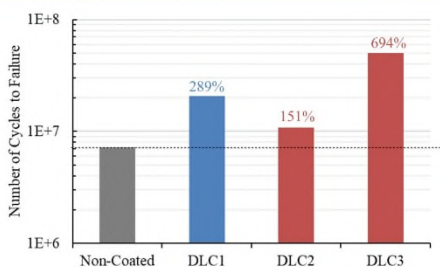


ピッチング疲労寿命  
ピッチングが全接触面積の1%になる繰返し数をピッチング寿命として評価



## ピッチング疲労寿命

NIPPON ITF INC.

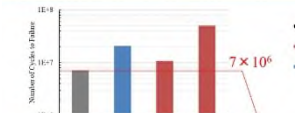


DLCをコーティングすることでピッチング疲労寿命が向上  
特にDLC3において大幅に向上

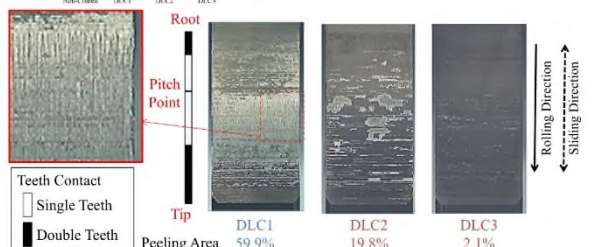


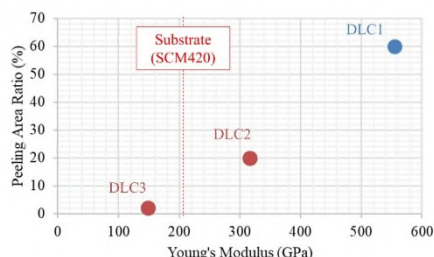
## 剥離状態

NIPPON ITF INC.



- 7 × 10<sup>6</sup> 回で歯面の状態を確認
- DLC3の剥離が最も小さい
- DLC1では摺動方向に沿った擦り傷が見られるが、DLC2, DLC3には見られない

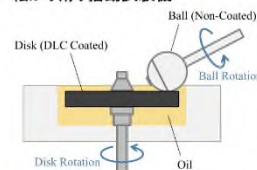




- ・ヤング率と剥離面積に相関がみられる
- ・DLC3は基材よりもヤング率が低く、基材の変形に追従することで剥離しにくくなっていると思われる

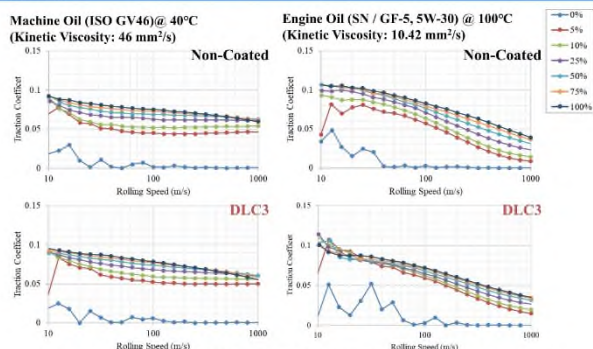
➡ DLC3について、転がり滑り摺動特性を評価

転がり滑り摺動試験機

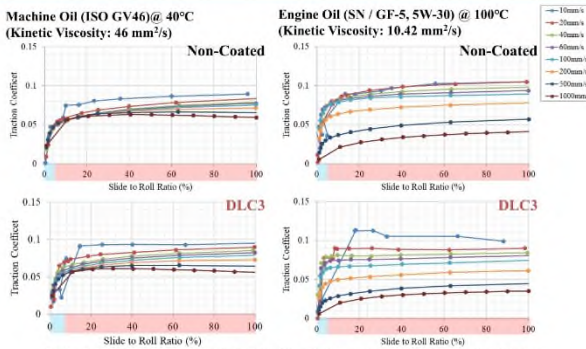


Disk	SUJ-2 / DLC3 Coated or Non-Coated
Ball	SUJ-2 / Non-Coated
Oil	Machine Oil (ISO GV46) @ 40°C ⇒ Kinetic Viscosity: 46 mm <sup>2</sup> /s Engine Oil (SN / GF-5, 5W-30) @ 100°C ⇒ Kinetic Viscosity: 10.42 mm <sup>2</sup> /s

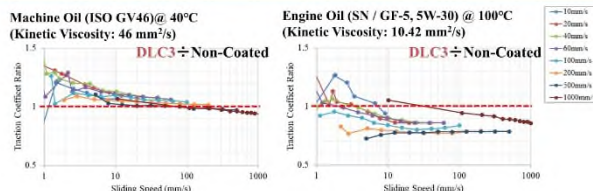
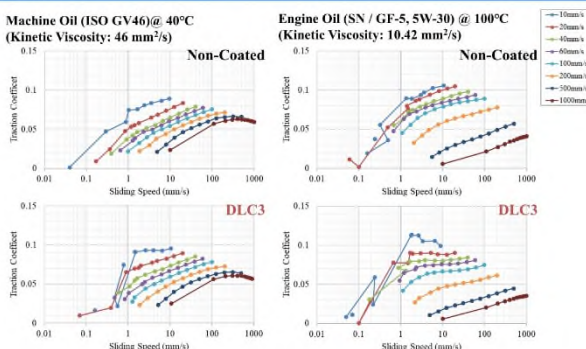
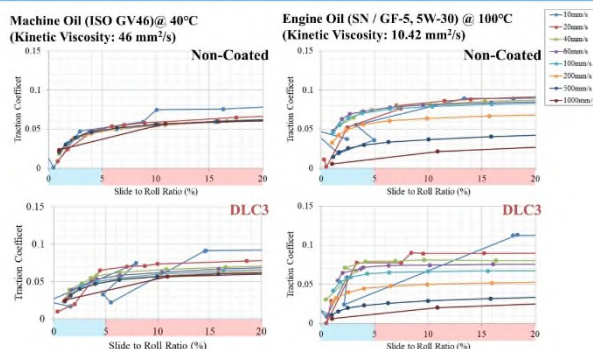
Step	1. Temperature Setting	2. Stribeck Measurement	3. Traction Measurement
Rolling Speed	100 mm/s	1 m/s ~ 1000 m/s	10 m/s ~ 1000 m/s
Slide to Roll Ratio	0%	0% ~ 100%	0% ~ 100%
Load	0.5 N	37 N (Maximum Hertzian Stress: 1.0 GPa)	
Note	Time: 20 min	Rolling Speed is varied	Sliding to Roll Ratio is varied



低粘度、高転がり速度、高すべり率において、DLCが低摩擦になっている



低すべり率域において摩擦係数が急激に変化しており、その後の変化は小さい



DLCと未コートの摩擦係数の比率を取ると...

高すべり速度において、DLCが低摩擦になっている

DLCによる摩擦低減効果が高い環境は  
低粘度、高回転、高すべり率、高すべり速度

- ・DLCを歯車にコーティングすることで、チッピング寿命の向上が見られた
- ・低ヤング率のDLCにおいて、良好な耐剥離性が見られた
- ・低粘度、高回転、高すべり率、高すべり速度の摺動環境において、DLCによる摩擦低減効果が高くなっていた