

摺動部品・精密金型・治工具用  
CERTESS セルテス<sup>®</sup> DLC コーティング



アルミ・銅合金冷間／温間加工金型



プラスチック成形金型



2輪エンジン部品



自動車エンジン部品



自動車・ロボット用駆動力伝達歯車



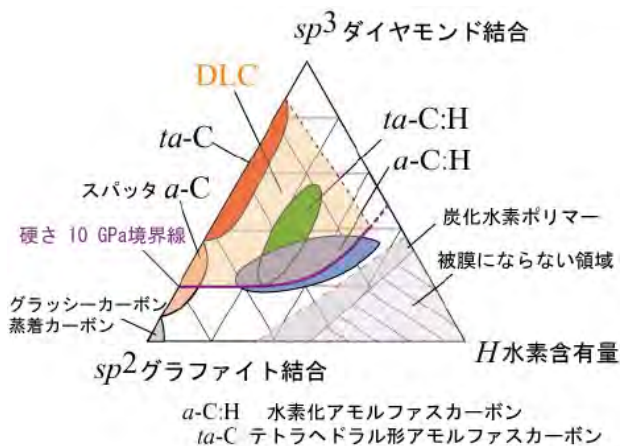
アルミ製缶金型

## DLC被膜の構造

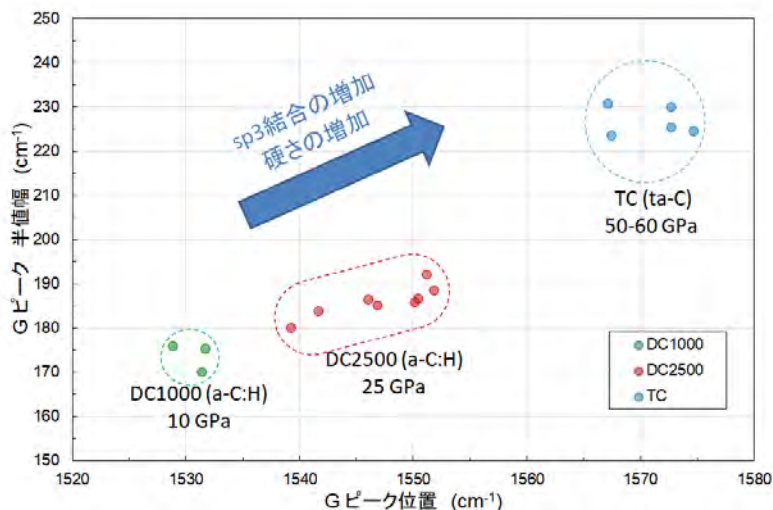
DLCはDiamond-Like Carbonの略で、ダイヤモンド状炭素被膜です。ダイヤモンドほどの硬さはありませんが、低温（200℃以下）処理ができる、表面が平滑、摩擦係数が低いといった特徴を生かして、摺動部品や精密金型に広く利用されています。

さまざまなプラズマプロセスを用いて成膜されますが、主に炭化水素ガスを原料とする方法（プラズマCVD等）と固体炭素（グラファイト板等）を原料とする方法（真空アーク等）があります。

プロセスや成膜条件を制御していろいろな特性を持つDLC被膜ができるので用途に合った特性のDLCを選ぶことが重要です。炭素の結合状態と水素含有量で整理した分類（下左図）がよく用いられます。またラマン分光分析のGピーク解析によりta-C（水素フリーDLC）とa-C:H（水素含有DLC）の違い、a-C:Hの水素含有量の違いが簡便に識別できます。（下右図）



DLC 被膜の分類 (J.Robertson, 大竹尚登による)



ラマン分光分析による各種DLC被膜の分類

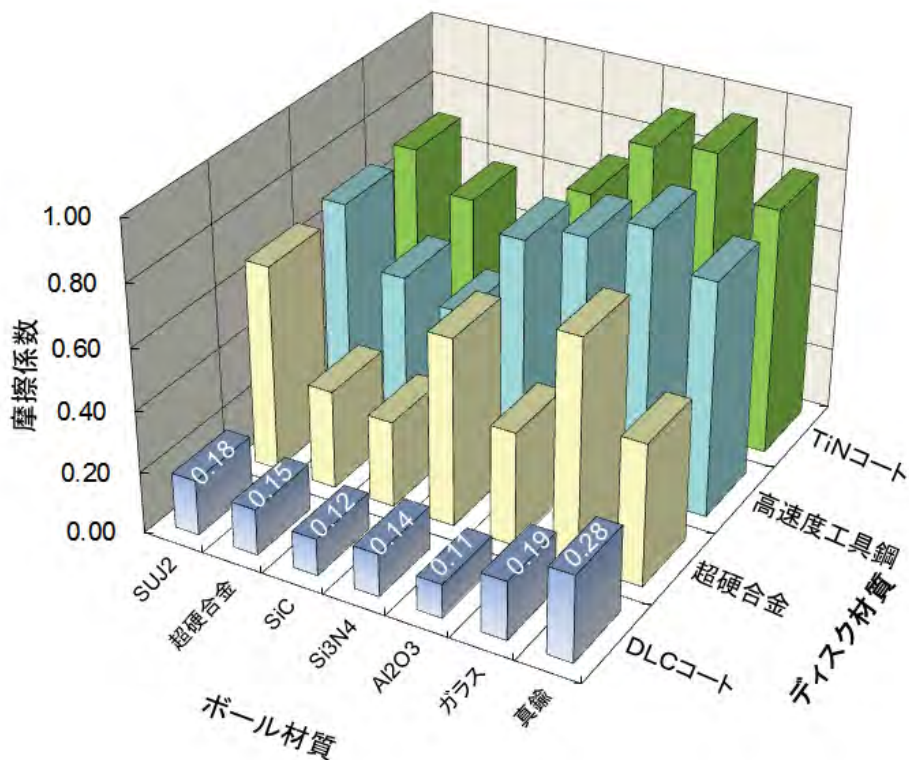
## 摩擦係数

DLCの大きな特徴は無潤滑下での低摩擦係数です。右図のようにDLCは相手材にかかわらず0.1～0.2の低摩擦係数を示し固体潤滑特性を有します。

無処理工具鋼やTiNコートでは相手材によって摩擦係数が大きく変化するのに対してDLCはほぼ同等の摩擦係数を示します。これは摩擦係数が相手材との摺動でDLC表面に形成される潤滑層によって決まっていることを示唆します。

低摩擦係数は、機械部品の摩擦や発熱によるエネルギー損失を低減し省エネルギーに貢献するとともに、潤滑油の使用量を減らし環境への負荷も低減します。

DLCはエコな薄膜材料です。



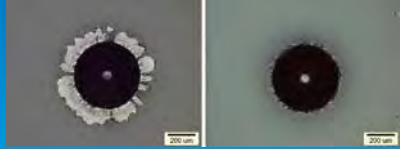
各種ボールとディスクの摩擦係数 (大気中無潤滑, 荷重 5N, 摺動速度 10 mm/s)



# セルテス DLC の3つの強み

## 低温処理で高密着力

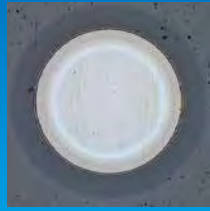
新プラズマ源採用により 180℃以下の低温処理が可能です。PVD とプラズマ CVD のハイブリッドプロセスにより高密着力が可能となりました。



単層 DLC 2.6μm セルテス DC2500 2.5μm  
ロックウェル圧痕による密着力試験 (母材 SUJ2)

## 多層構造で高耐荷重

鋼と強密着力の Cr 系下地層と韌性に富んだバッファー層で耐荷重性・耐衝撃性が向上し高面圧・繰り返し衝撃でも剥離しません。



セルテス DCY 3μm カロテスト研磨痕

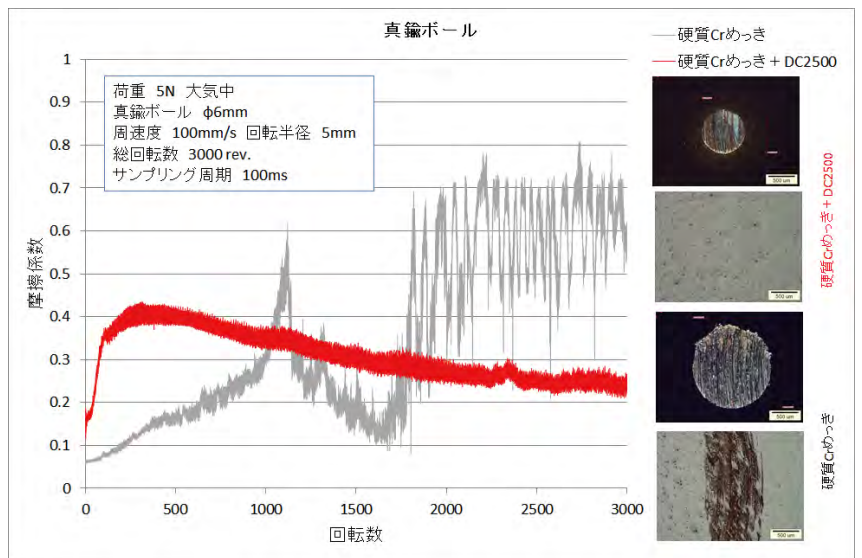
## 豊富なラインアップ

用途や使用条件に応じて被膜特性や膜厚を調整できます。  
硬さ 15GPa の金属ドーブ DLC (セルテス DT : 導電性 DLC) から硬さ 25GPa の水素含有 a-C:H 被膜セルテス DC2500、硬さ 50GPa の水素フリー ta-C 被膜セルテス TC など豊富なラインアップがあります。

## 耐凝着性

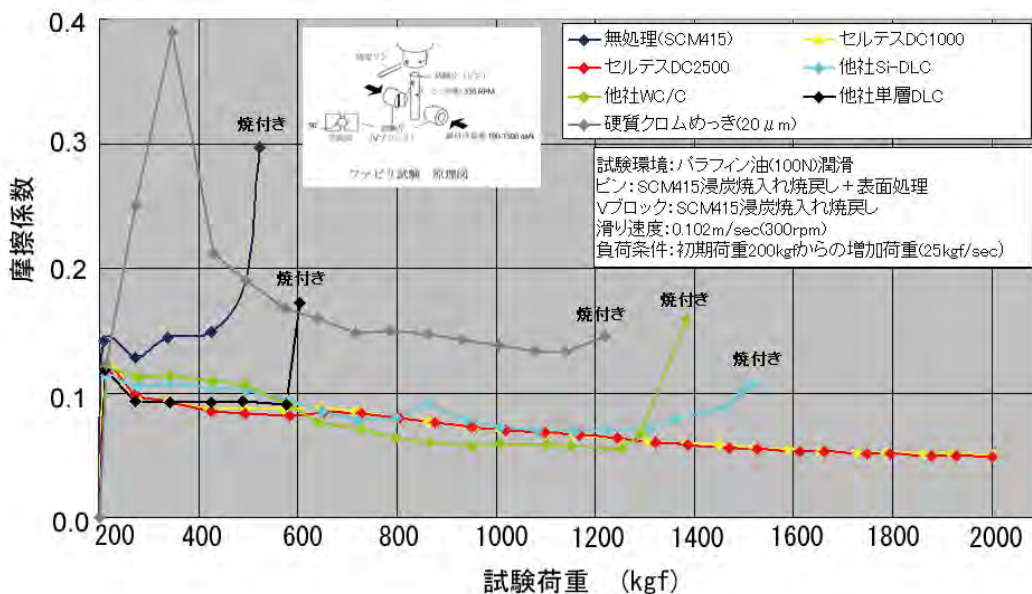
DLC の開発当初から利用されている用途にアルミ合金・銅合金・はんだめっき等の軟質金属の塑性加工があります。アルミ飲料缶・銅管加工・リードフレーム加工・マグネシウム温間加工等において軟質金属の凝着を防ぎ長期間無保守加工が可能になります。

右図は真鍮ボールの摺動に対する DLC と硬質 Cr めっきの摩擦係数の比較です。セルテス DC2500 表面にはまったく凝着が起きず安定した低摩擦係数を示します。



## 耐焼付き性

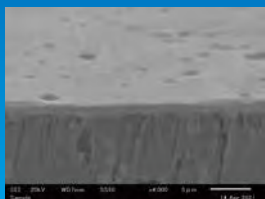
回転するピンを 2 個の V ブロックではさんで焼付限界荷重を評価するファビリ (ファレックス) 試験では、他社 DLC 被膜や硬質 Cr めっきは低い荷重で焼付きを起こしますが、セルテス DC2500・DC1000 被膜は試験限界荷重の 2000kgf まで焼付きをおこしません。ステンレス加工金型や実装機部品等に利用されています。



# 水素フリー DLC (ta-C) セルテス TC 3 つの特長

## 高硬度と耐摩耗性

水素を含まない sp<sup>3</sup> 混成軌道 (ダイヤモンド構造) の炭素の割合が多い ta-C 構造のため硬さは 50 GPa 以上で、従来の水素含有 a-C:H 被膜を超える耐摩耗性を有します。

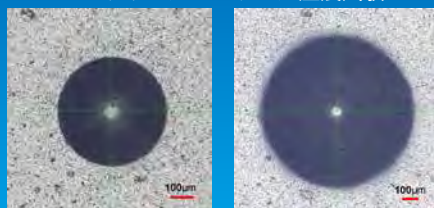


鋼上の TC 1.8 μm 破断面 SEM 像 (成膜後研磨)

## 鋼への強密着力

最適化された下地層・バッファー層により各種鋼への強密着力を実現しました。工具鋼だけでなくステンレス鋼上の密着力も極めてすぐれています。

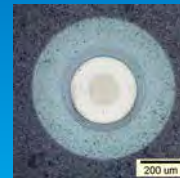
ロックウェル C スケール 圧痕試験



工具鋼上の TC 3.0 μm SUS304 上の TC 2.6 μm

## 低温処理で厚膜可能

HEF 独自のスパッタリング・プラズマ CVD・真空アークの 3 つのプロセスを複合したハイブリッド+プロセスにより、180°C 以下のプロセス温度を量産ベースで実現しました。工具鋼だけでなく低焼戻し温度の各種鋼材が硬度低下なく成膜可能です。また 2 μm 以上の厚膜も量産ベースで可能です。



HEF グループでは、水素含有 DLC の自動車部品・金型での量産実績をベースに、新たに水素フリー DLC (ta-C) の量産システムとプロセスを開発しました。従来の ta-C と比べ鋼への密着力が極めて高く、低温処理で 2 μm 以上の厚膜も可能です。是非、貴社の問題解決にご検討ください。

## 各種 ta-C コート超硬合金ピンの純アルミによる摩耗比較

使用装置：Anton Paar Tribometer

速度：31.4 mm/s (最大線形速度)

固定試験片：Φ5.5 mm A1050 ボール

環境：無潤滑大気中

荷重：10 N ストローク：1 mm (周波数：10 Hz)

サイクル数：10000 (摺動距離 20 m)

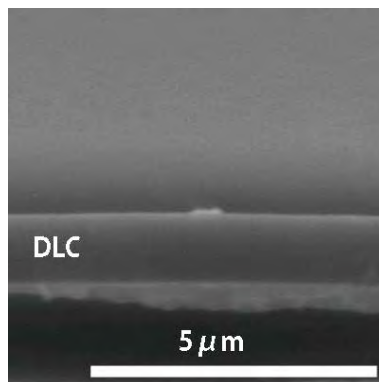
往復動試験片：Φ6 mm 超硬合金 (V30) ピン (コーティング側)

被膜	被膜構成	ピン摩耗痕	摩耗痕プロファイル (深さフルスケール 1 μm)
セルテス TC (中間層あり)	中間層 0.2 μm ta-C 層 0.8 μm		 最大摩耗深さ 0.09 μm
セルテス TC (中間層なし)	全体層 0.4 μm		 最大摩耗深さ 0.24 μm
他社 ta-C A (フィルターなしアーク)	全体層 0.4 μm		 最大摩耗深さ 0.48 μm
他社 ta-C B (フィルタードアーク)	全体層 0.6 μm		 最大摩耗深さ 0.77 μm

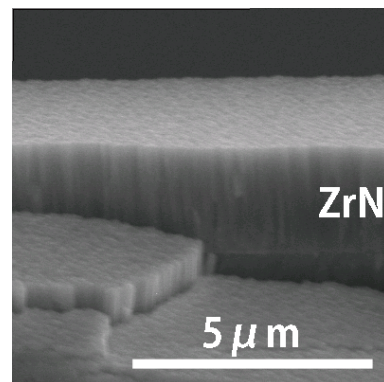
## a-C:H 被膜の表面平滑性

DLC の特徴のひとつに表面の微視的な平滑性があげられます。これは DLC がアモルファス構造で結晶粒界を持たないことに起因します。一般的な窒化物セラミック硬質薄膜 (TiN, CrN 等) は多結晶構造のため結晶粒界があります。(右図)

アモルファス構造は、摺動時の亀裂伝播を防いだり、粒界に沿った腐食の進行を防ぐなどの利点があります。



DLC 破断面 (アモルファス構造)



ZrN 破断面 (多結晶構造)

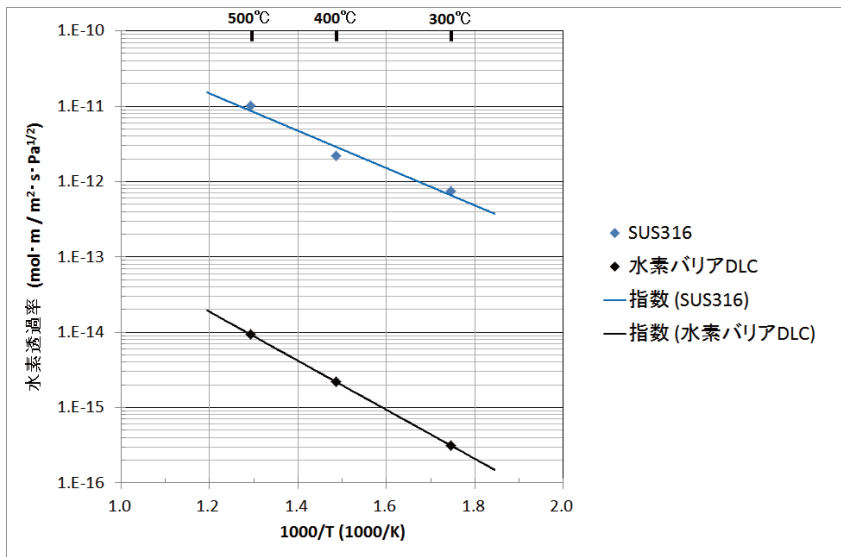




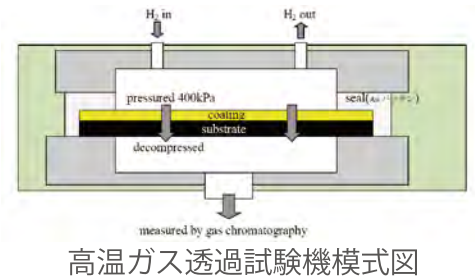
HEF グループ本社の燃料電池セパレータ用インライン成膜装置

## セルテス水素バリア DLC コーティング

セルテス水素バリア DLC コーティングは、電気通信大学との共同研究により開発された極めて低い水素透過率を有する DLC 被膜です。SUS316 鋼材と比べて水素透過率は 1000 分の 1 以下です。水素関連機器（バルブ・センサー等）への応用が期待されます。



水素バリア DLC 被膜の TEM 写真

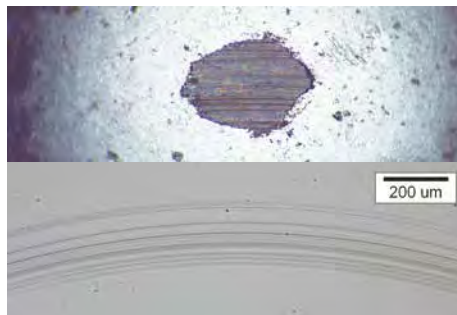


高温ガス透過試験機模式図

(本開発は平成 26 年度補正ものづくり補助金を使用して実施しました)

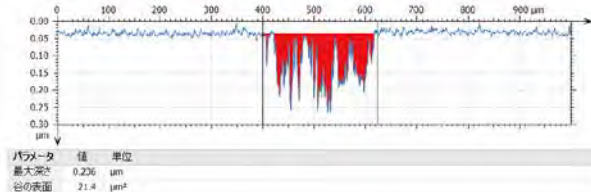
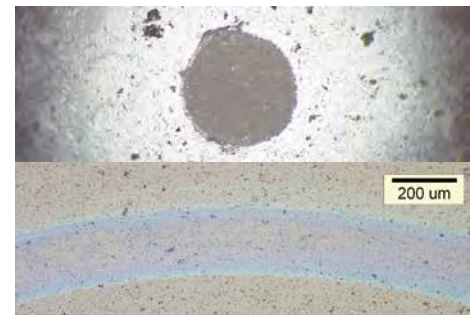
## アルミ合金に対する a-C:H と ta-C の摺動特性比較

A5052 アルミ合金ボールを用いたドライ環境でのボール・オン・ディスク試験において、水素含有 DLC (セルテス DC2500) との 30000 回転摺動ではボール表面に酸化したアルミ摩耗粉が固着し DLC 側に摩耗条痕が発生するのに対して、セルテス TC では摺動痕に条痕は見られずアルミ凝着のないきれいな摩耗痕が得られます。アルミの鏡面加工用切削工具においても耐溶着性の高い ta-C コートは標準になっており、ta-C の被膜構造が耐凝着性の改善に寄与することが示唆されます。

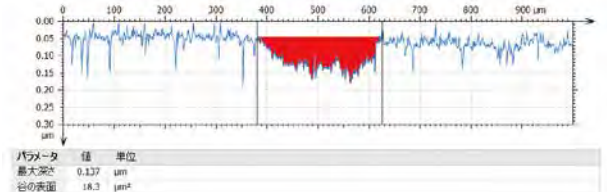


A5052 ボール摩耗痕

成膜ディスク摩耗痕



セルテス DC2500 2.2 μm コートディスク  
算術平均粗さ Ra 0.007



セルテス TC 1.5 μm コートディスク  
算術平均粗さ Ra 0.016

## <実績例>

産業分野	品名	母材材質	加工/摺動相手材	解決策	比較材	改善効果
飲料製缶	スピナー	超硬合金	アルミ缶	セルテスDC2500	他社DLC	保守作業の大幅軽減
空調機器	拡張プラグ	鋼/硬質Cr	銅管	セルテスDC2500	硬質Crめっき	保守作業の大幅軽減(⇒6ヶ月)
板金プレス	バーリングパンチ	SKD	SUS ~2mmt	セルテスDC2500	CVD TiC	焼付き防止
板金プレス	曲げパンチ	SKD	塗装鋼板	セルテスDC2500	他社DLC	凝着防止
二輪エンジン部品	ロッカーアーム他	SCM他	鋼	セルテスDCY	他社DLC	摩耗・摩擦係数低減
四輪エンジン部品	ピストンピン他	SCr他	銅合金ブッシュ	セルテスTC	他社DLC	摩耗・摩擦係数低減
四輪デフ機構部品	遊星歯車	鋼	鋼	セルテスDT	無処理	耐摩耗性・耐焼付き性向上
理化学機器	Oリング	フッ素ゴム	鋼	セルテスDC-R	無処理	耐摩耗性・すべり性向上
工作機械	治具	鋼	工具鋼	セルテスDC2500	他社DLC	保持精度維持・焼付き防止

## コーティング被膜特性

注) 下記特性は代表値です。個別の調整および保証値は別途ご相談ください。

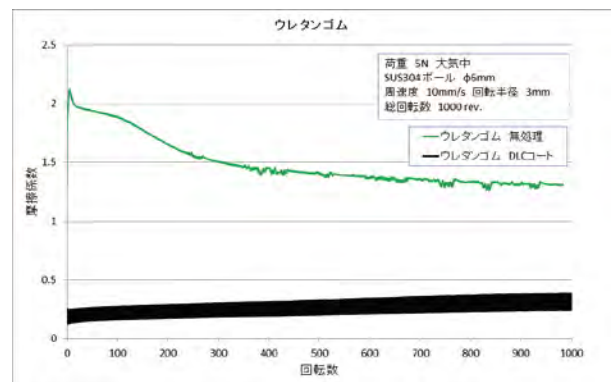
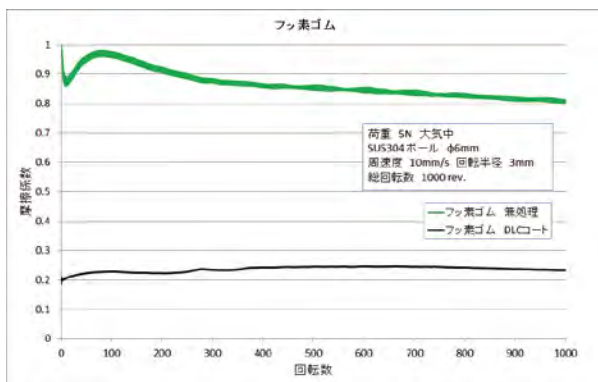
商品名	膜種	下地層	標準膜厚 (μm)	硬さ <sup>1)</sup> (GPa)	摩擦係数 <sup>2)</sup> ドライ対SUJ2	色調	酸化開始温度 (°C)
セルテス DCX(DC2500)	a-C:H 多層	Cr/Cr-N	1・3	28	0.10	黒色	400
セルテス DCY	a-C:H 多層	Cr/WC	1・3	28	0.10	黒色	400
セルテス DCZ	a-C:H 多層	Cr/Cr-N/WC	3	28	0.10	黒色	400
セルテス DC-R	a-C:H		0.2	25	0.20 (対ゴム)	干渉色	400
セルテス DT 導電性 DLC	a-C:H:W	WC	3	15	0.05	黒色	300
セルテス TC	ta-C 多層	Cr/Cr-N	1・2	50	0.08	黒色	550

1) ナノインデンテーション硬さ  $H_{IT}$  (ISO14577) 換算ビッカース硬さの目安には 95 を掛けてください。

2) SUJ2 鋼球 直径 6mm ドライ 荷重 5N 摺動速度 10mm/s

## ゴム部品への DLC コーティング

ゴム部品 (Oリング等) に薄く DLC コーティングすると、母材ゴムの特性を維持しながら表面の摺動性が良くなり耐久性向上やすべり性向上・固着防止効果が得られます。セルテス DC-R コート後と SUS304 ボールとの摩擦係数は無処理と比べ飛躍的に低減されます。



セルテス CERTESS は HEF グループの開発技術で登録商標です

[nanocoat-ts.com](http://nanocoat-ts.com)

[hef.group](http://hef.group)

(2025年1月版)