

# 茨城大学 教授 鈴木秀人 教育研究活動の紹介

## 知的材料システムによるエネルギー/環境維新の実現

### 主たる教育研究成果

- (1) マテリアルリサイクル技術の開発
- (2) DLC被膜による高性能化機械の開発

これらのテーマを中心に別表の25名のドクターを指導する。

現在開発中の知能材料システムによるDLC被覆製品について  
下記の順序で解説する。

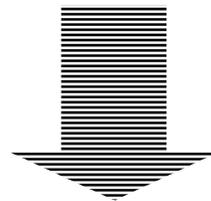
- (1) DLC被膜とは？
- (2) 知能材料システムとは？
- (3) DLC被膜を活用した歯車とプレス金型の高性能化について

### < 連絡先 >

茨城大学 工学部知能システム工学科 教授 鈴木 秀人  
TEL 0294-38-5189 E-mail belltree@ibaraki.ac.jp  
URL <http://btl.dse.ibaraki.ac.jp/>

学問のススメ

人材の育成



人材の活用

# 茨城大学の 社会人に対する教育システム

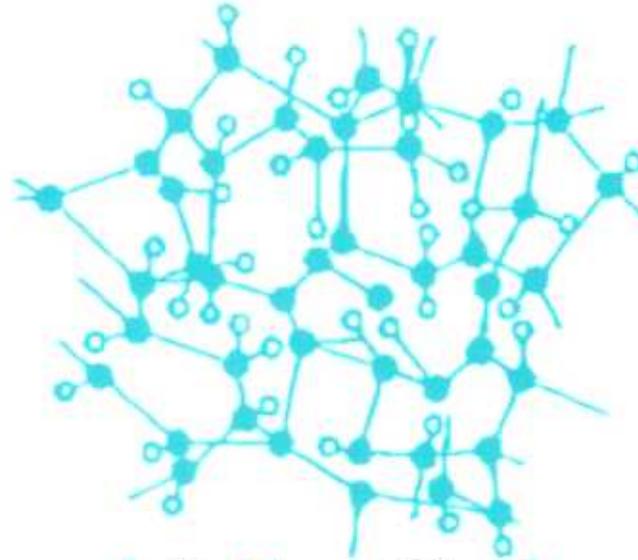
大学院 理工学研究科  
社会人 博士コース

工学部 知能システム工学科  
夜間主 学士コース

## 鈴木秀人研究室 ドクター一覧

NO	学位取得年度	氏名	博士論文タイトル
1	平成8年	中沢 淳一	先進強化ナイロン46の疲労信頼性に関する研究
2	平成8年	中山 光幸	光ファイバの断割加工面のアコースティック・エミッションによる判定法の構築
3	平成9年	伊藤 金彌	金属材料におけるメゾ因子の最適化制御による疲労信頼性向上の発現
4	平成10年	中村 雅史	プラスチック製高温機器の高温疲労信頼性保証に関する基礎的研究
5	平成10年	福永 久雄	リサイクル先進強化FRTPの疲労き裂進展特性に果たすメゾ構造因子の役割
6	平成10年	横田 正二	先進アルミニウム合金の疲労信頼性に及ぼすメゾ構造因子の影響
7	平成10年	金子 了市	蒸気タービン回転体の信頼性向上に関する研究
8	平成10年	渡辺 孝	タービン発電機ロータの予防メカ診断法の構築に関する実証的研究
9	平成11年	米倉 清治	メゾ構造化複合樹脂膜プリンタ用紙摩擦による摩耗の解析と応用に関する研究
10	平成12年	王 俊柱	リサイクル繊維強化プラスチックの疲労信頼性に及ぼすマトリックス樹脂劣化の影響
11	平成12年	片平 和俊	スーパー表面改質材の疲労信頼性に及ぼすメゾ組織因子の影響
12	平成13年	渡邊 裕	超耐熱性PEEK製機器の高温疲労信頼性に及ぼす疲労・クリープ相互作用の影響
13	平成13年	押久保 武	熱 構造連成メカデザインの構築に関する基礎的研究
14	平成14年	大屋 邦雄	製品設計とプレス成形技術の融合に関する研究
15	平成14年	川名 淳雄	DLC被膜PEEK材およびアルミニウム焼結合金の表面改質効果の評価
16	平成14年	村住 拓也	リサイクル・FRTPの強度信頼性に係わる三層構造の影響およびその成形プロセス
17	平成15年	齋藤 一樹	表面改質Mg合金鋳物の疲労強度及び摺動特性に及ぼす皮膜の影響に関する研究
18	平成16年	粕谷健志	表面メゾ構造最適化による高温・高速稼働機器の高性能化に関する研究
19	平成17年	久芳俊一	遮熱コーティングを有するガスタービン動翼の信頼性に関する基礎的研究
20	平成17年	人見 聡一	工業用白金合金の高温疲労特性に関する研究
21	平成17年	佐藤真人	DLC先進複合表面改質処理の疲労信頼性および自己潤滑機能に及ぼす影響
22	平成18年	土屋 文隆	DLC表面改質による射出成形金型の離型性改善
23	平成19年	三尾 淳	機械材料へのイオン注入による表面特性改善に関する研究
24	平成19年	野村博郎	DLC複合表面改質によるアルミニウム合金の摩耗特性と疲労特性の改善
25	平成20年	逢澤 俊勇	超急速高周波焼入れとDLC被膜による複合表面改質鋼の摩擦摩耗特性および疲労特性

# DLC膜とは何か



## Diamond Like Carbon

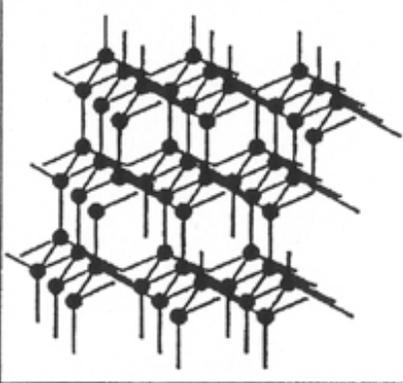
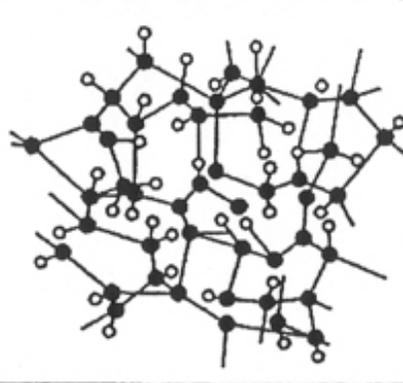
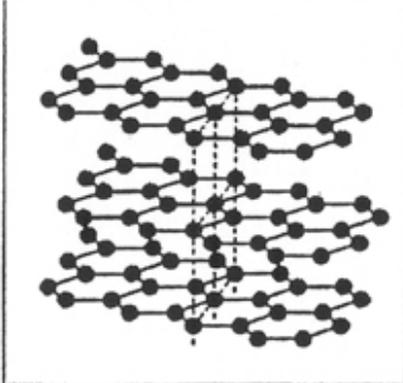
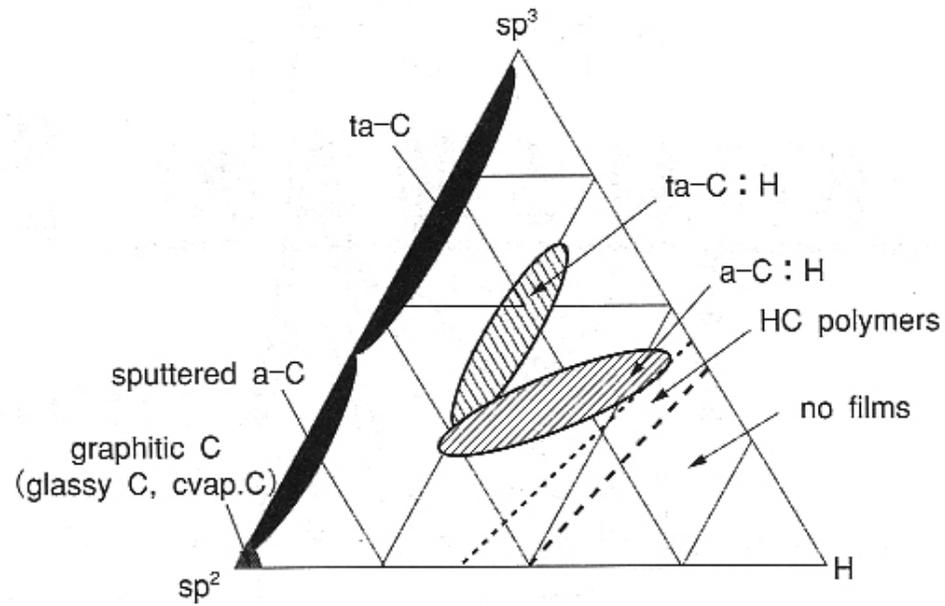
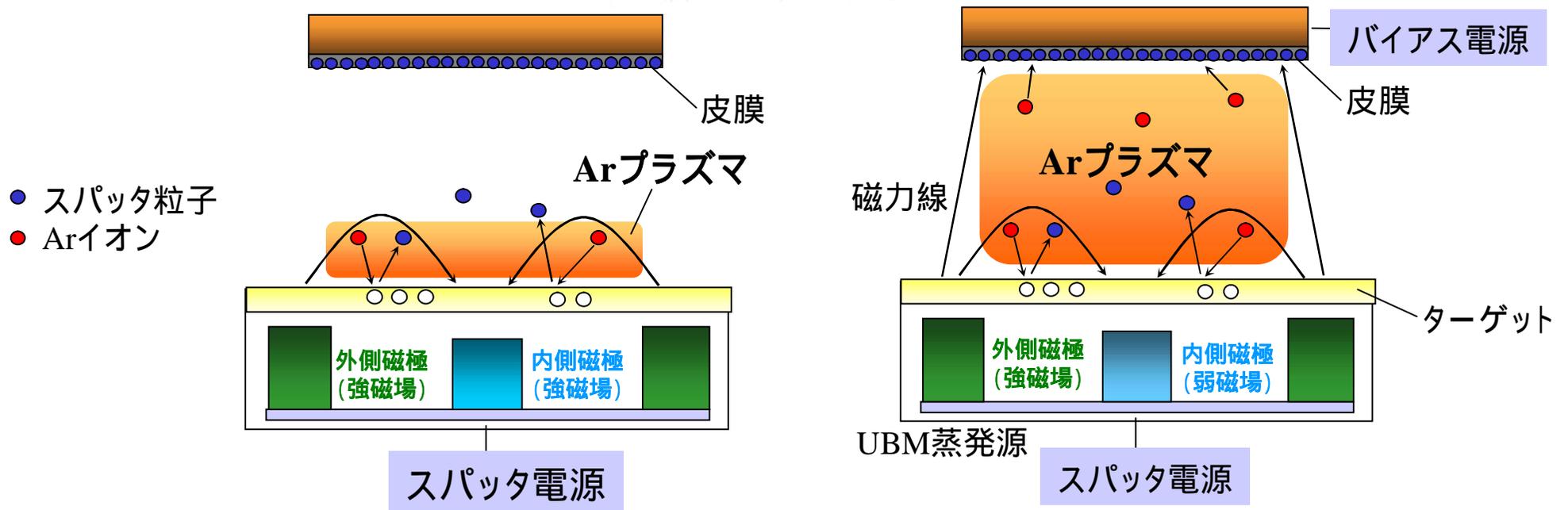
ダイヤモンド	DLC (Diamond Like Carbon)	グラファイト
		
ダイヤモンド構造 (SP3) 構成元素：C	アモルファス (SP3を含む) 構成元素：C, H	グラファイト構造 (sp2) 構成元素：C

図 DLCの構造比較



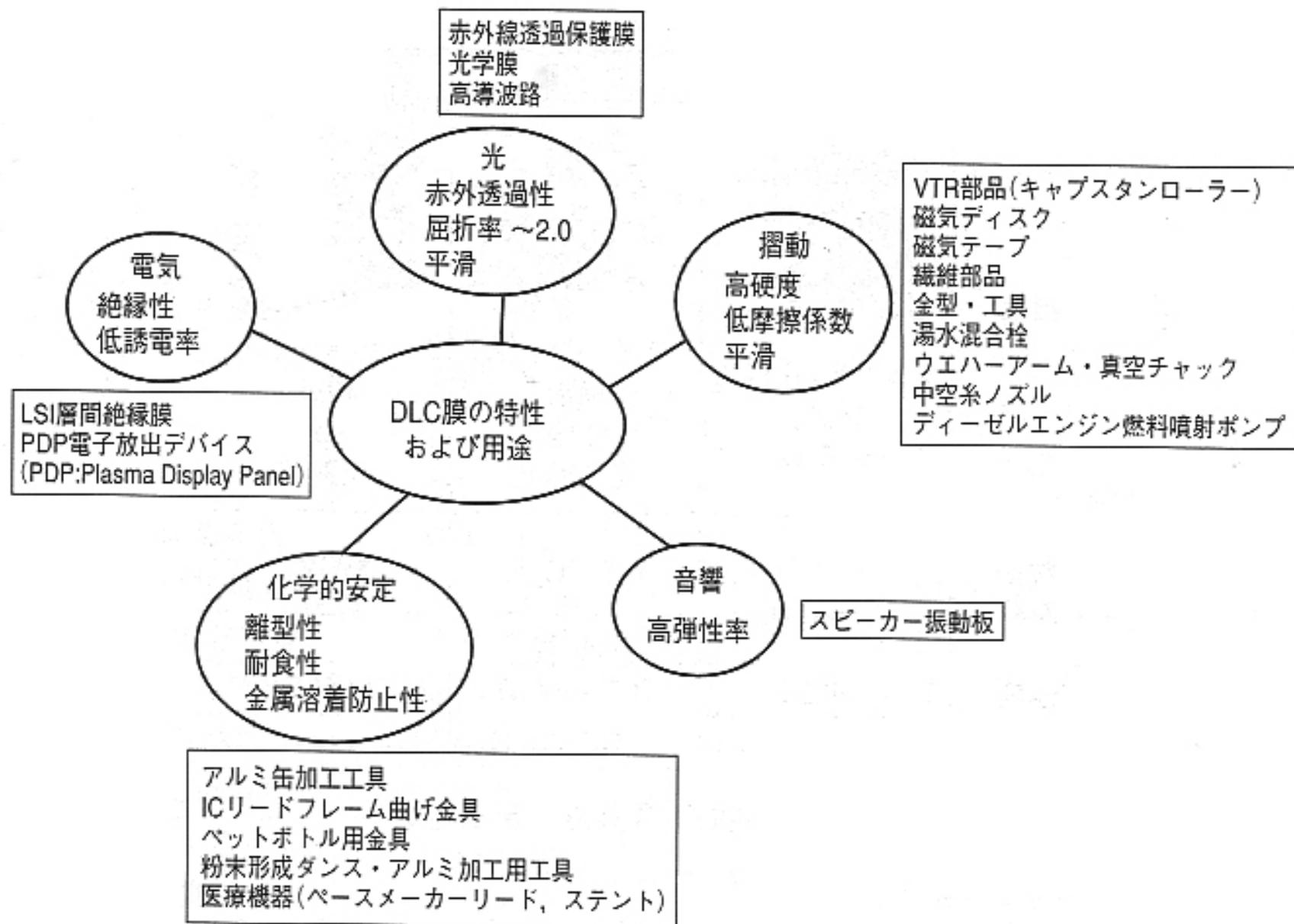
アモルファスカーボンの sp<sup>2</sup>-sp<sup>3</sup>-H 3元状態図



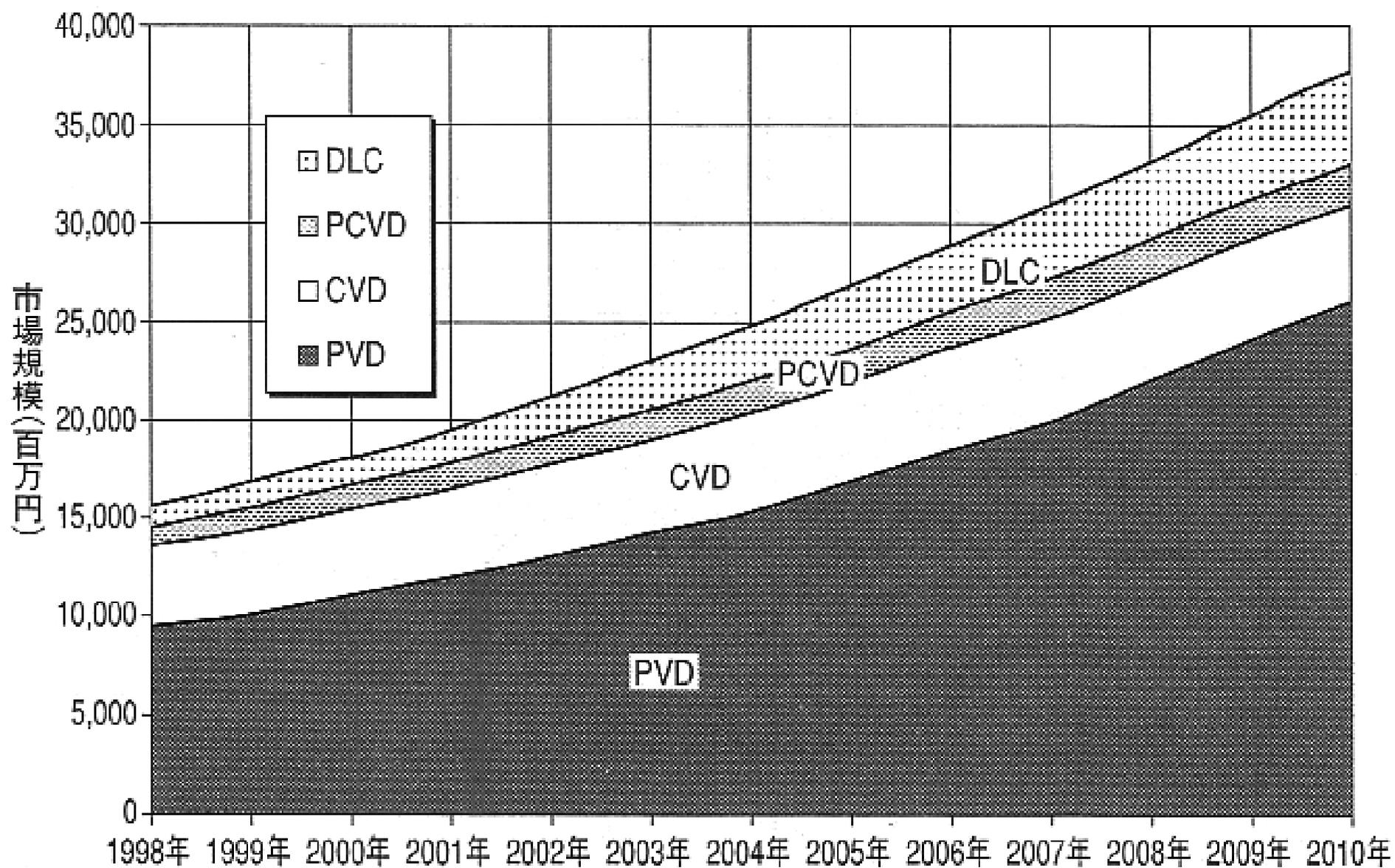
(a)従来型

(b)UBM型

従来型マグネトロンとUBMスパッタ蒸発源の構造の違い



DLC の特性と用途

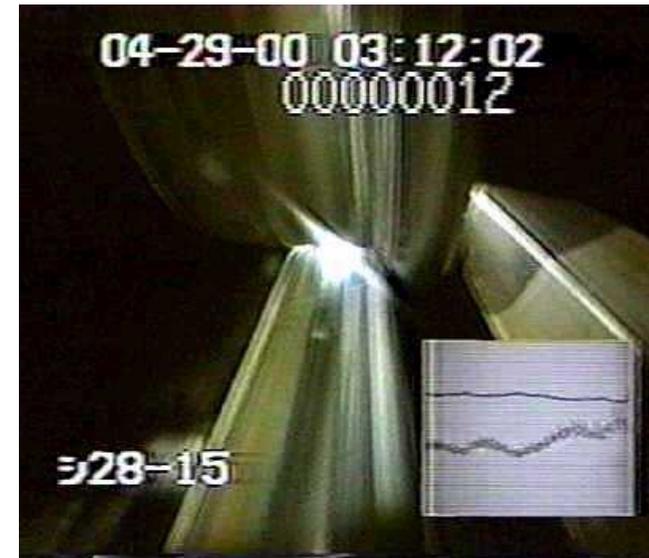
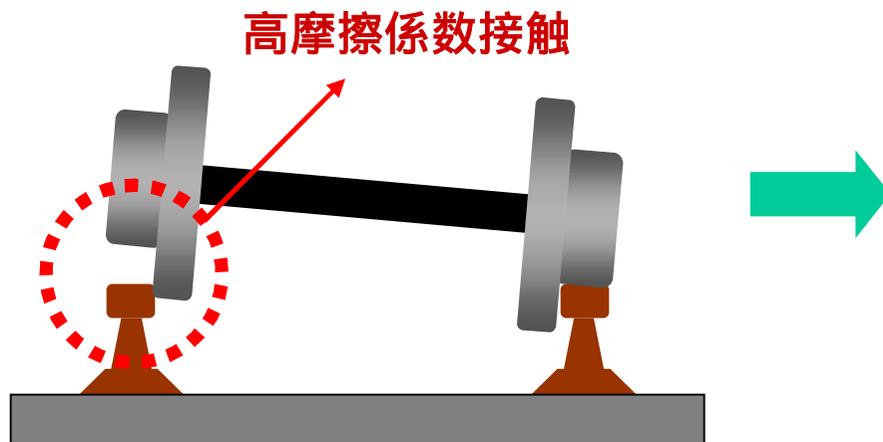


セラミックコーティング受託加工市場規模の実績と予測<sup>12)</sup>

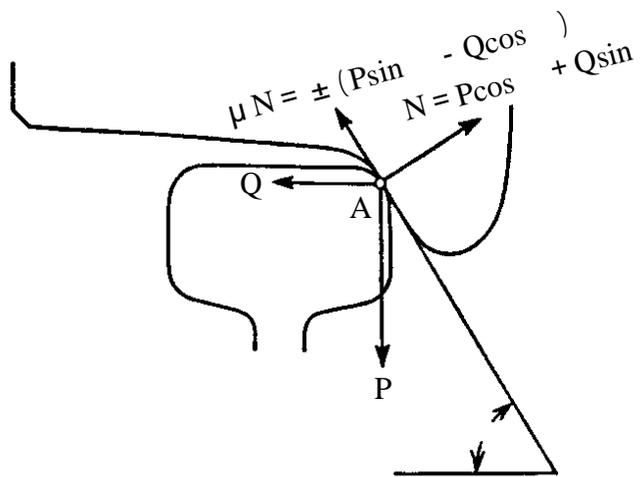
# DLC成膜技術

## 知能材料システムによるDLC表面改質技術の構築

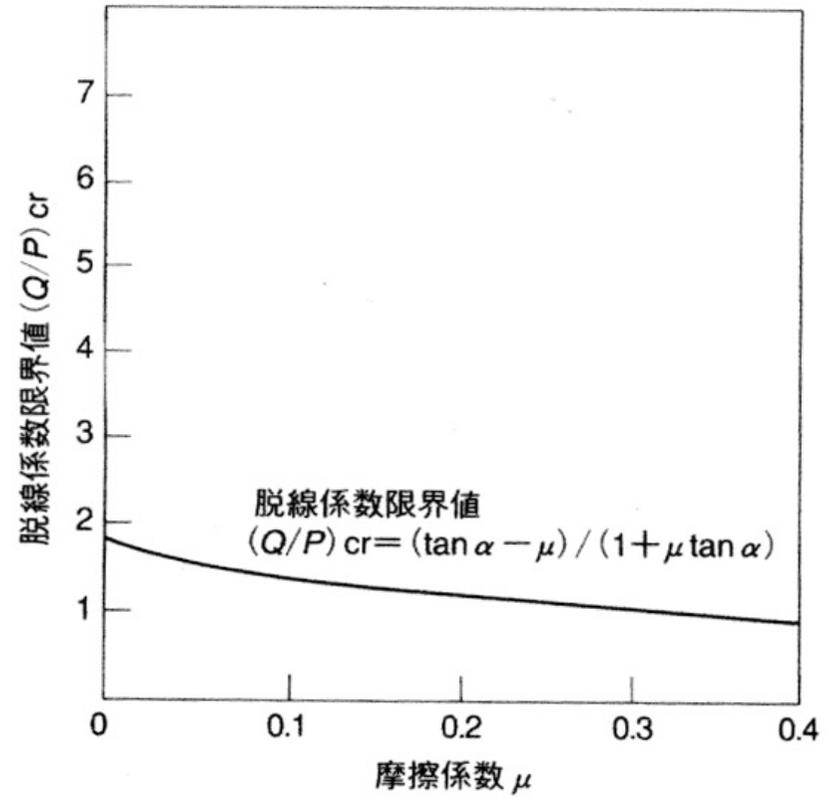
なぜ複合表面改質なのか？



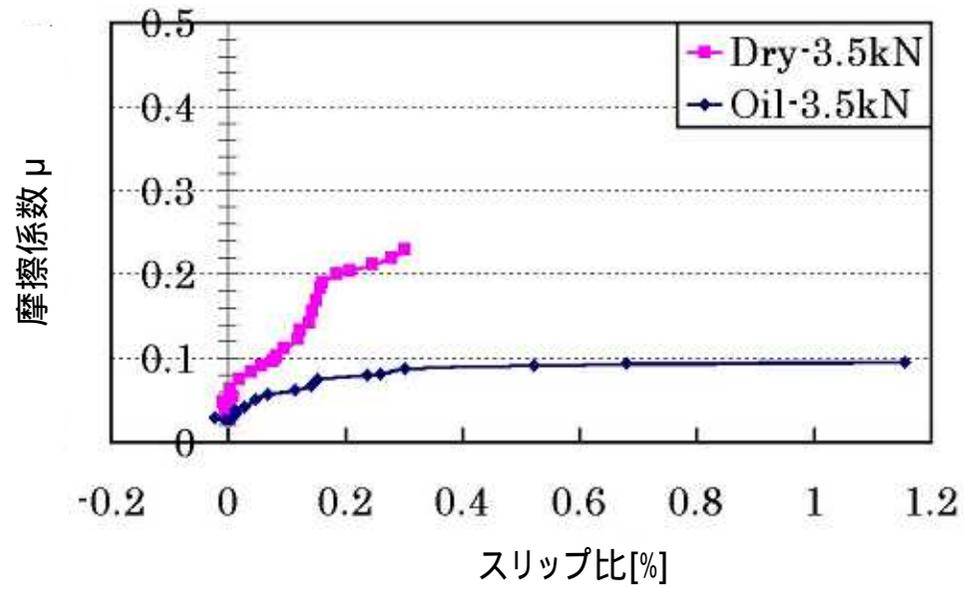
カーブ走行時の車輪とレールの接触



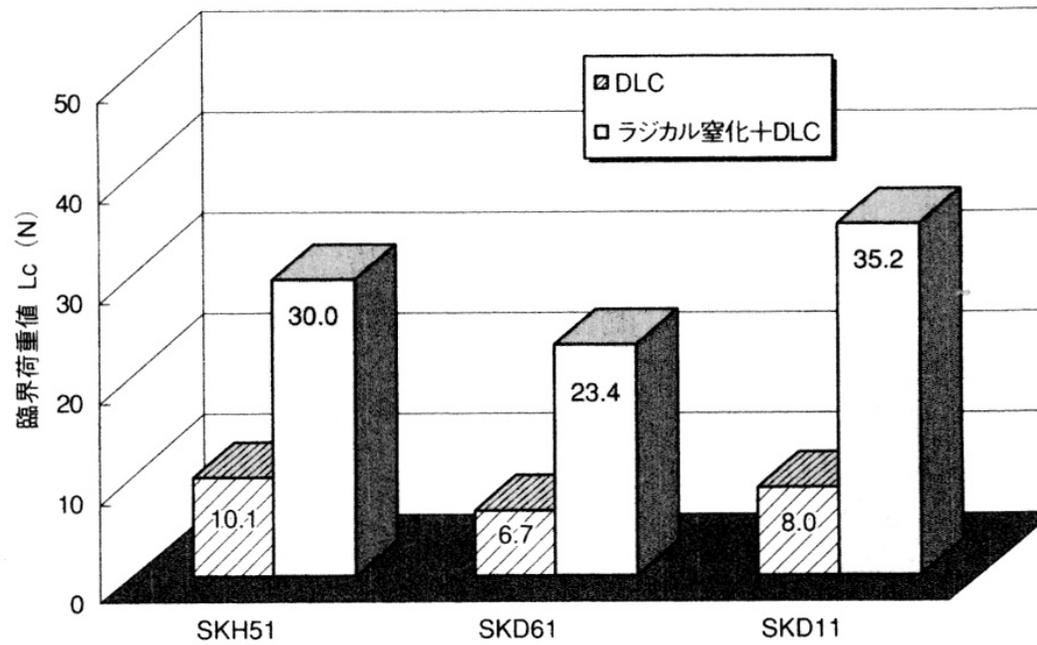
力学的解析



脱線係数限界値



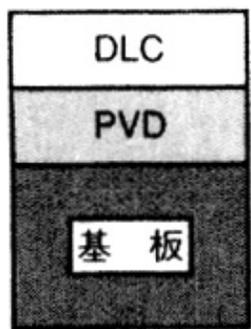
### 2円筒転がり接触試験結果



レベテスト型スクラッチ試験による DLC 膜の密着性評価



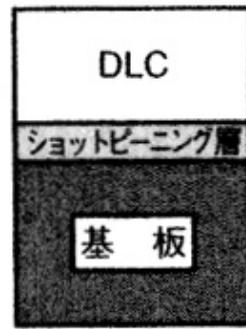
a) 金属+  
DLCの  
多層膜



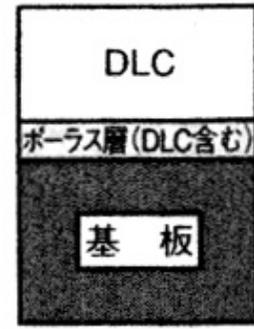
b) PVD(たとえば  
TiN, CrN,  
TiAlNなど)  
+DLC



c) ラジカル  
窒化  
+DLC



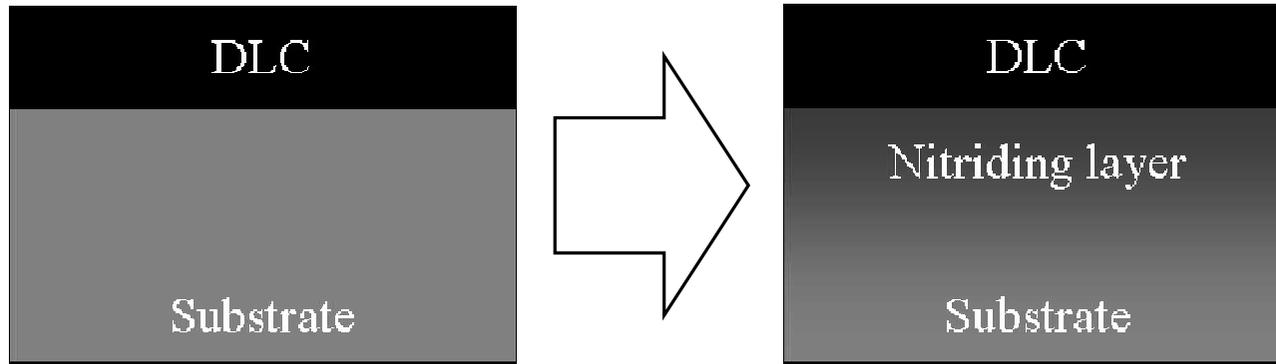
d) ショットピ  
ーニング  
+DLC



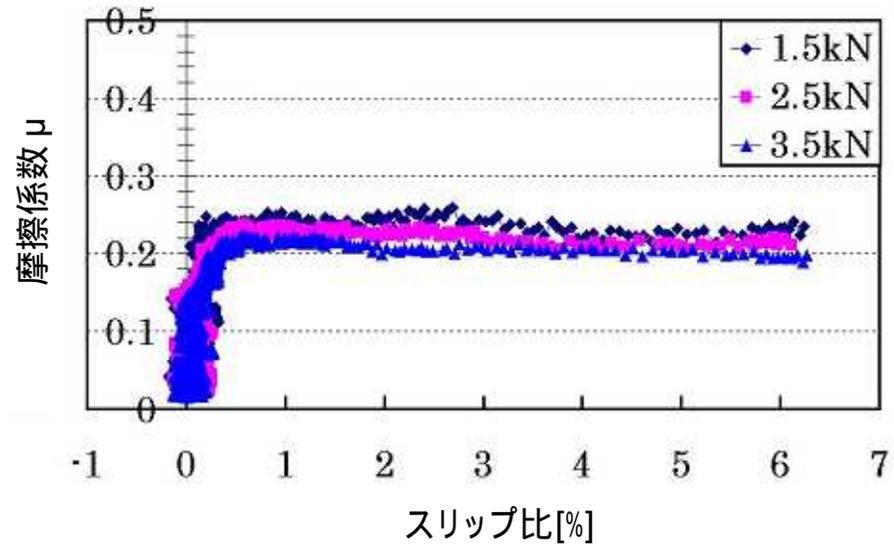
e) ポーラス層  
+DLC

基板の界面

DLC 膜を含む複合表面改質プロセスの膜構造例



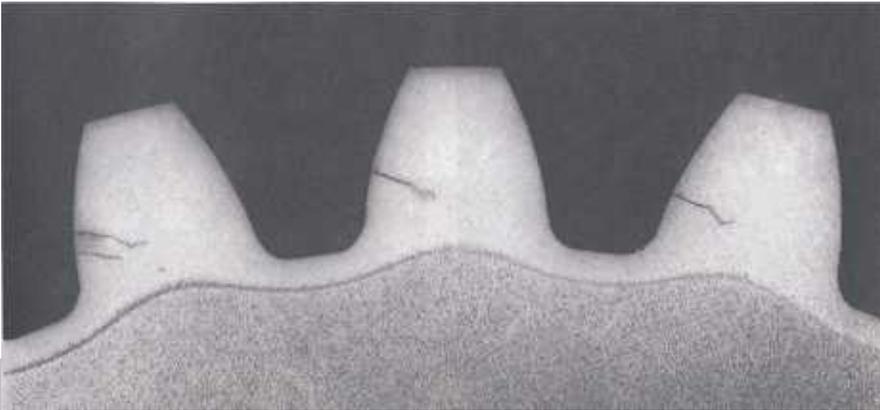
RN-DLC



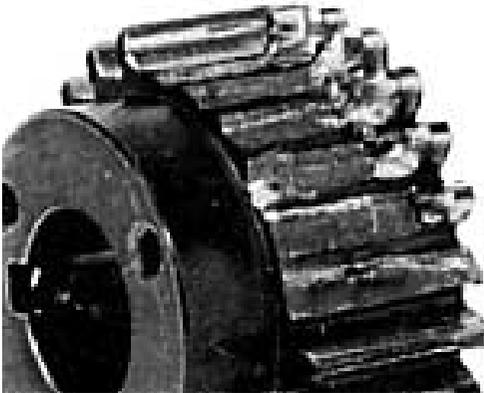
2円筒転がり接触試験結果(乾燥状態)

# 知能材料システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質による小型精密歯車の開発

## 《歯車破損の事例研究》



き裂進展



スポーリング



ピッチング

# 知能材料システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質による小型精密歯車の開発

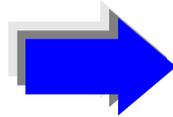
《知能システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質技術の構築》



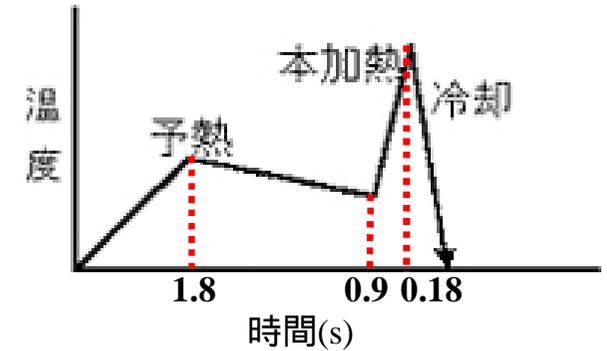
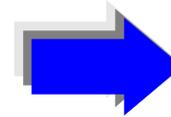
**Super Rapid Induction heating and Quenching**  
超急速短時間加熱焼入れ



Pre Heat  
(0.5 ~ 2s)



Final Heat  
(0.15 ~ 0.3s)



Heat-treatment process

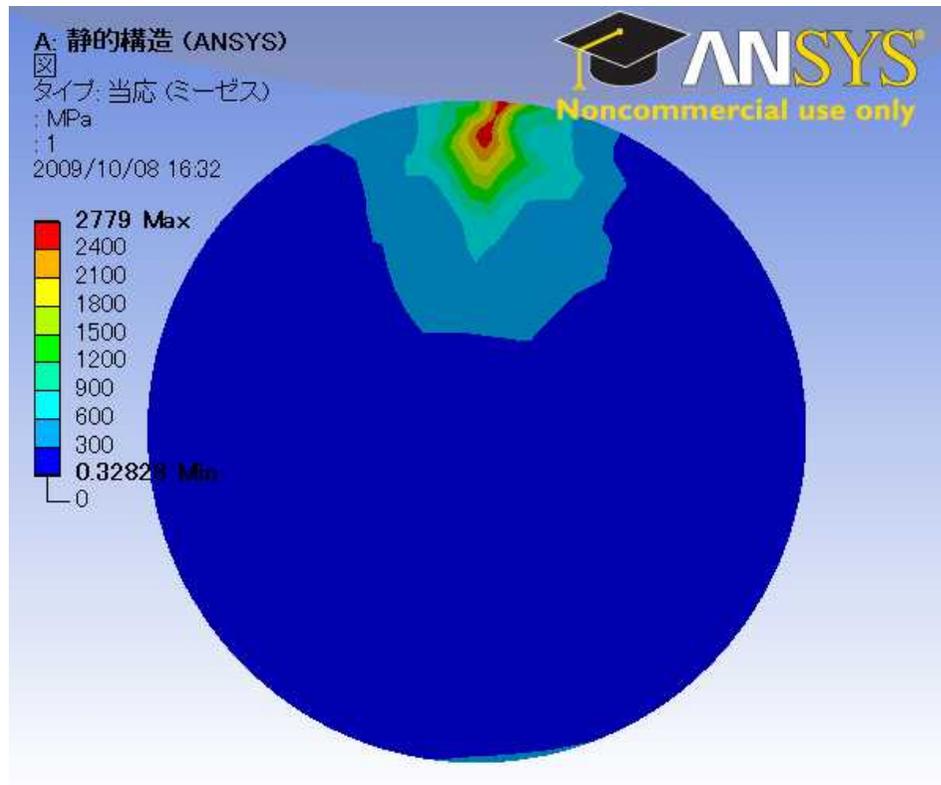


hardening pattern of gear

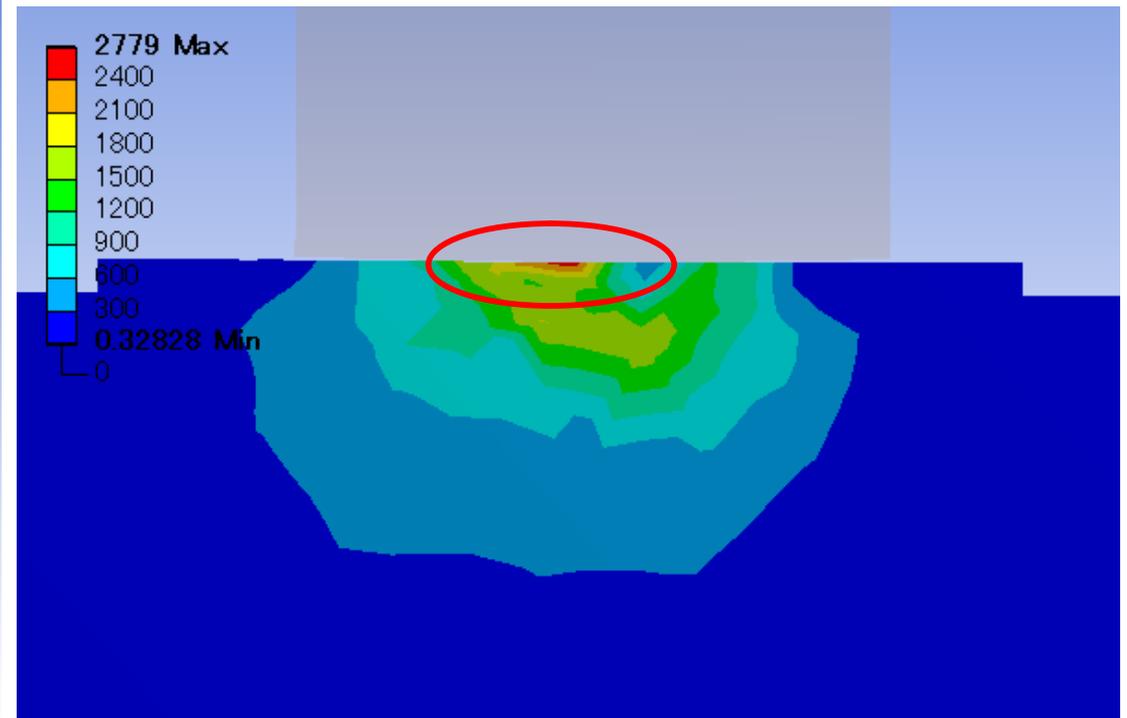
# 知能材料システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質による小型精密歯車の開発

《知能システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質鋼の有限要素法解析》

SRIQ材  $\mu = 0.8$



横断面図



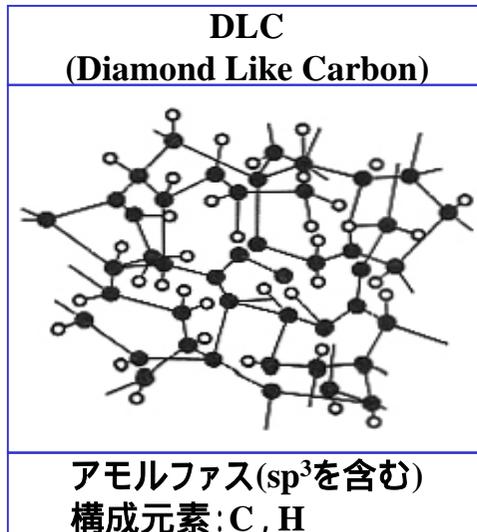
縦断面図

# 知能材料システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質による小型精密歯車の開発

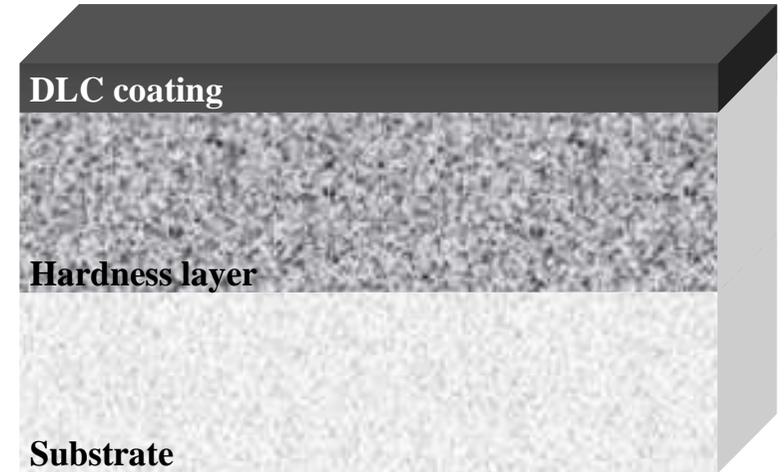
《知能システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質技術の構築》



**Diamond Like Carbon**



Structures of DLC

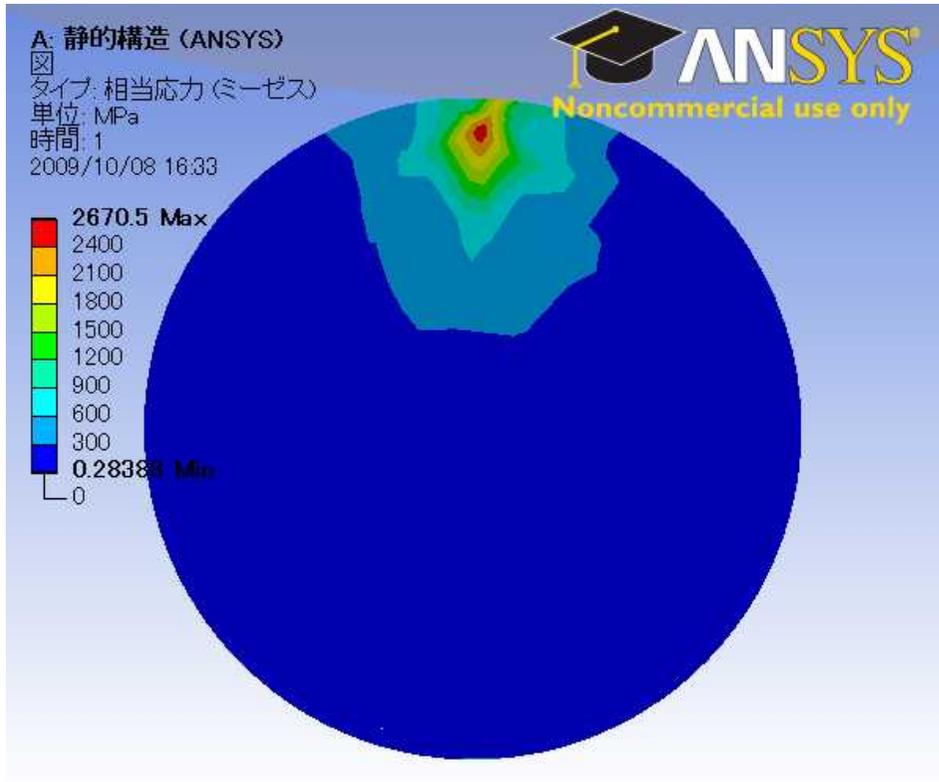


DLC/SRIQ series

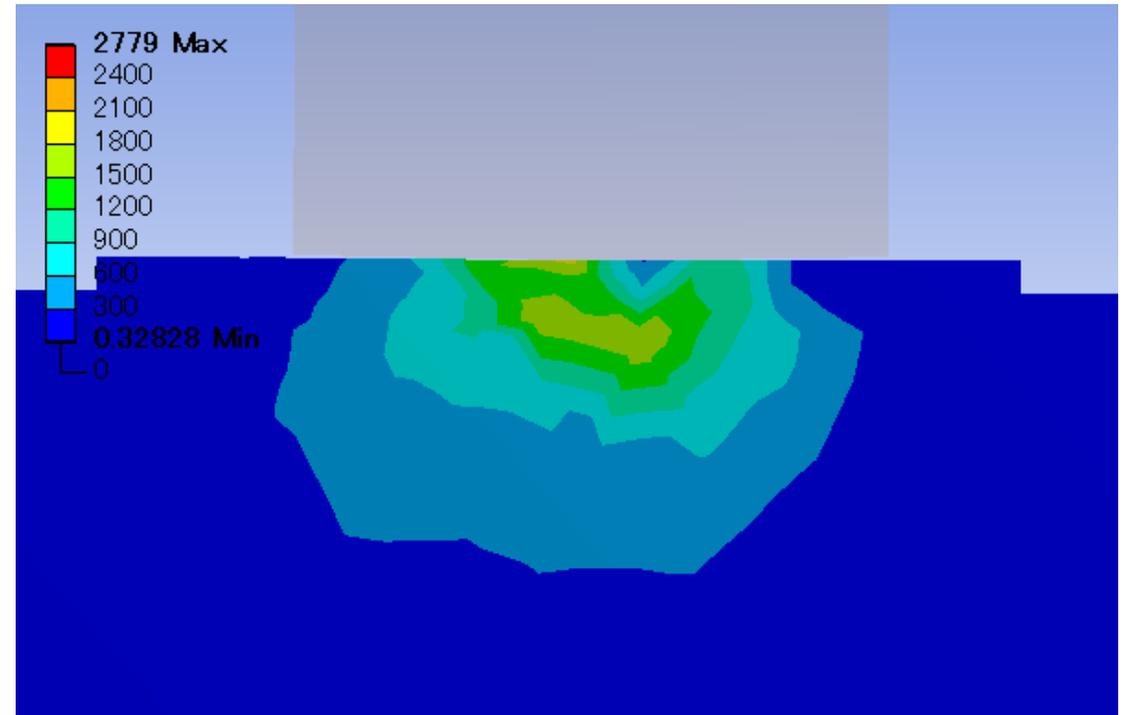
# 知能材料システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質による小型精密歯車の開発

《知能システムに基づくDLC/SRIQ複合表面改質鋼の有限要素法解析》

DLC材  $\mu = 0.1$



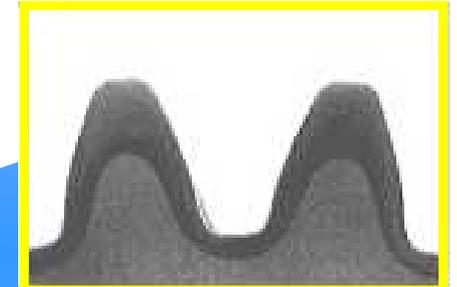
横断面図



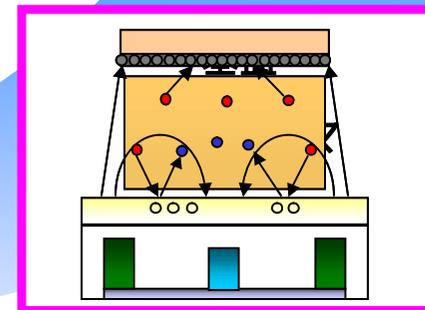
縦断面図

# 知能材料システムによるDLC複合表面改質精密部品の加工精度改善 ～ マイクロX線によるマルチスケール残留応力評価技術の構築～

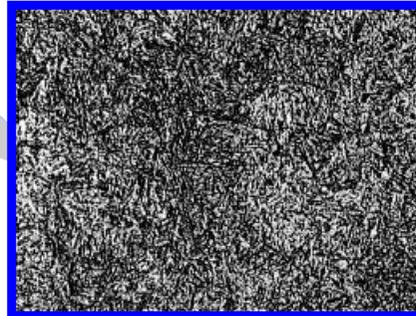
ナノからマクロまで



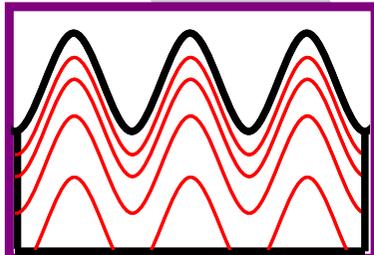
マクロ組織



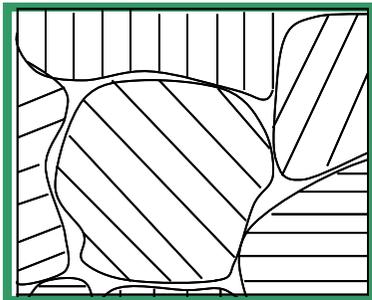
ナノコ-ティング  
(DLC成膜)



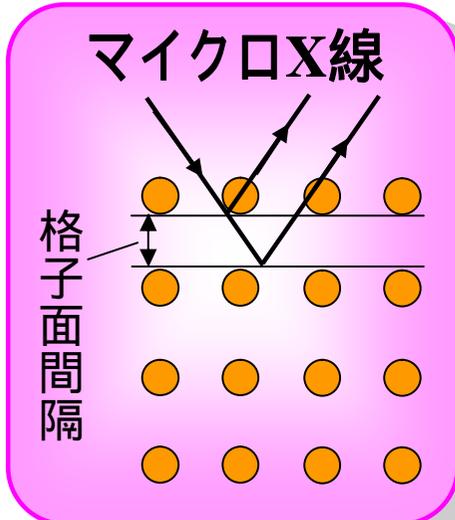
マルチサイト組織



転造による  
塑性流動



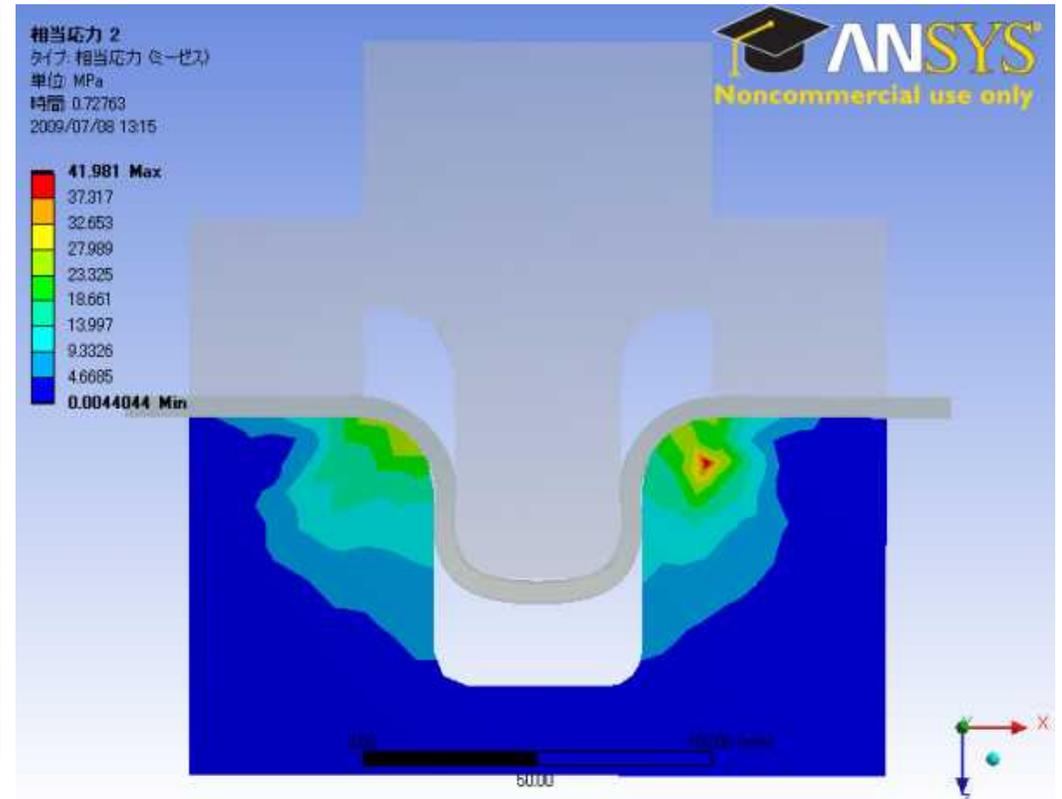
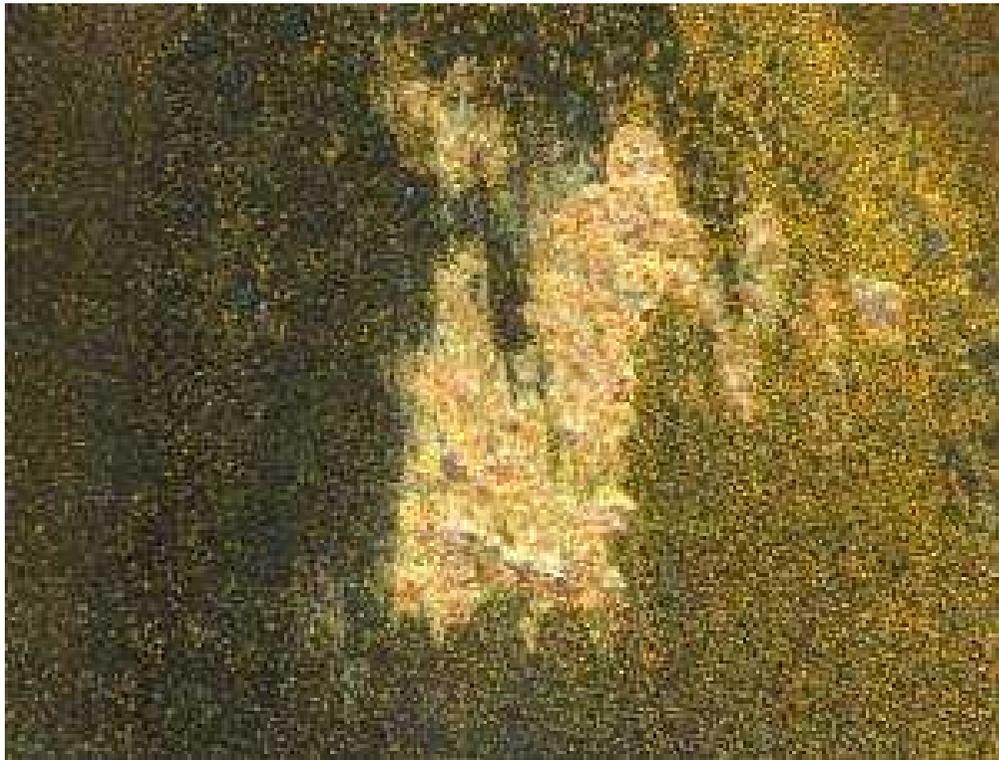
フェライト+パーライト  
混合組織



原子ひずみ評価

# 知能材料システムによる難加工材用プレス金型の開発

## 難加工材用プレス金型の損傷の事例研究



- 高荷重におけるスポーリング疲労事例を観測
  - ヘルツ応力による金型基材の疲労と仮定
    - CAEにより金型基材にヘルツ応力分布を確認

# 知能材料システムによる難加工材料用プレス金型の開発

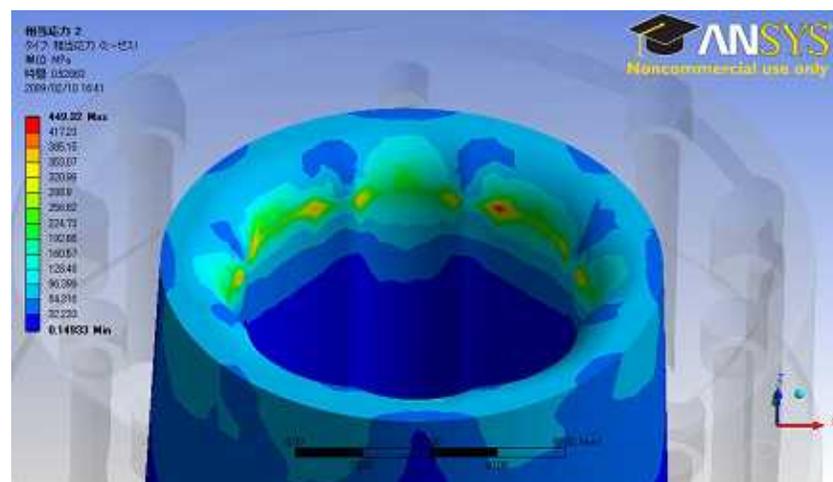
< 熱/構造連成解析による金型変形のシミュレーション >

従来の解析: 構造解析のみ

難加工材: 高面圧・高負荷

➡ 熱の発生

熱と構造の連成解析が必要



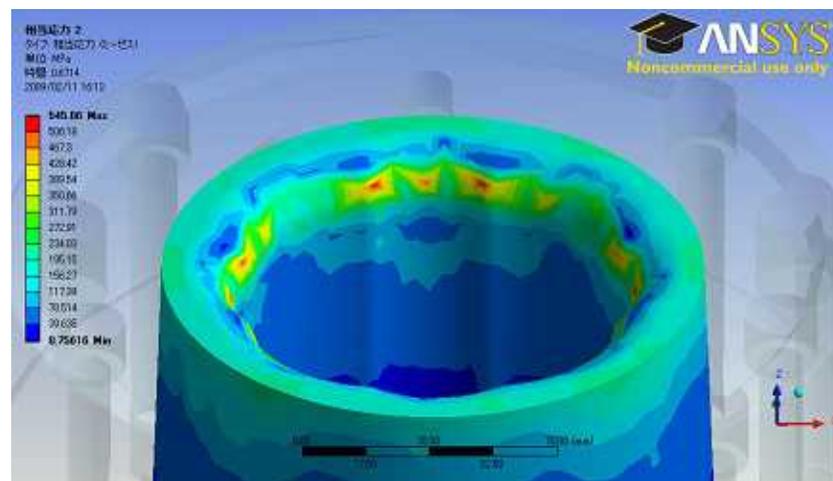
構造解析のみ

連成解析の結果

最大応力21%増加

熱による変形: 27  $\mu\text{m}$

摩擦係数上昇による応力増加



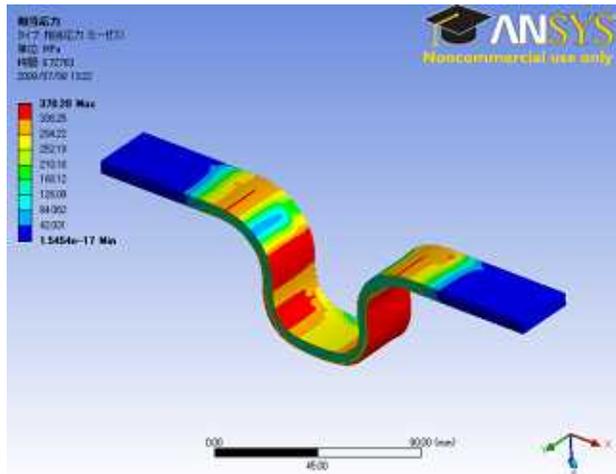
400 連成解析

難加工材用プレス金型

➡ 熱/構造連成解析が有効

# 知能材料システムによる難加工材用プレス金型の開発

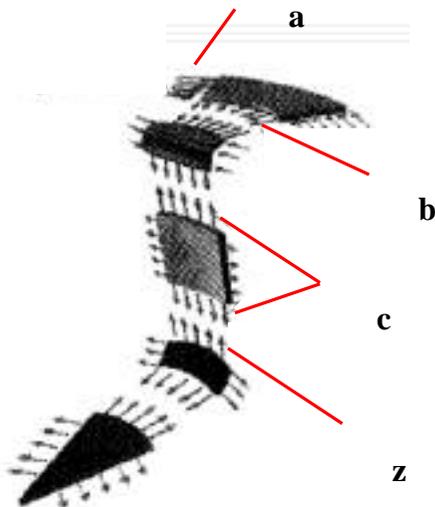
## 摩擦係数軽減によるヘルツ応力低下による金型損傷防止のシミュレーション



金型肩の材料強度  $p$  > ワークの発生応力  $z$

ヘルツ応力  $ms = m (1 + A \mu)$

寿命保障  $ms = w$



ワーク滑り面に分布する応力を可視化

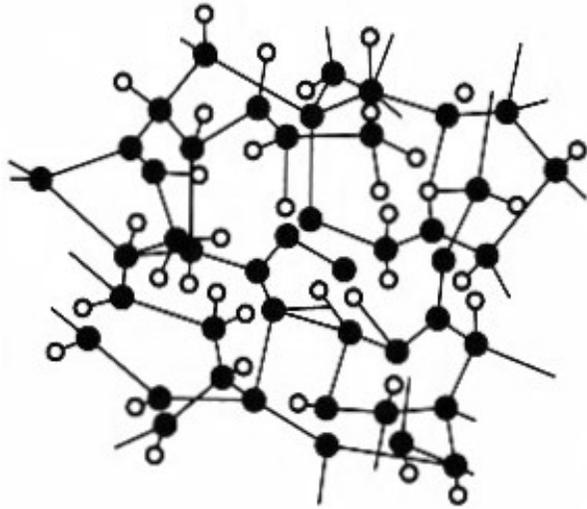
金型の応力低減部分を定式化

ヘルツの式から寿命設計

# 知能材料システムによる難加工材用プレス金型の開発

## 先進炭素トライボ被膜金型の開発

DLC

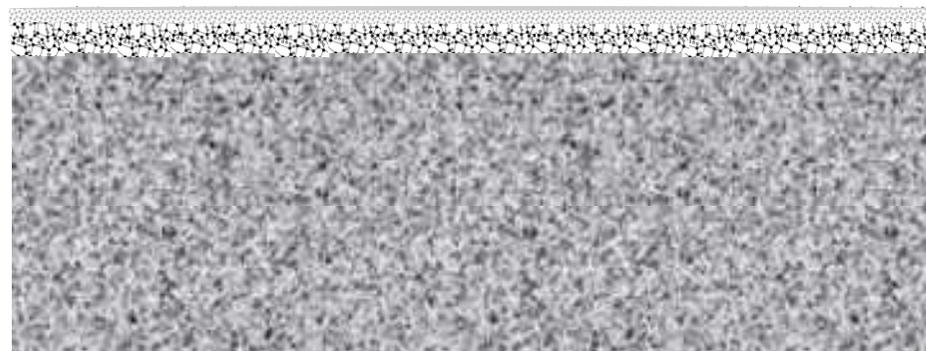


Friction Coefficient  $\mu = 0.1$

CNT



Friction Coefficient  $\mu = 0.015$



Carbon Composite

Substrate

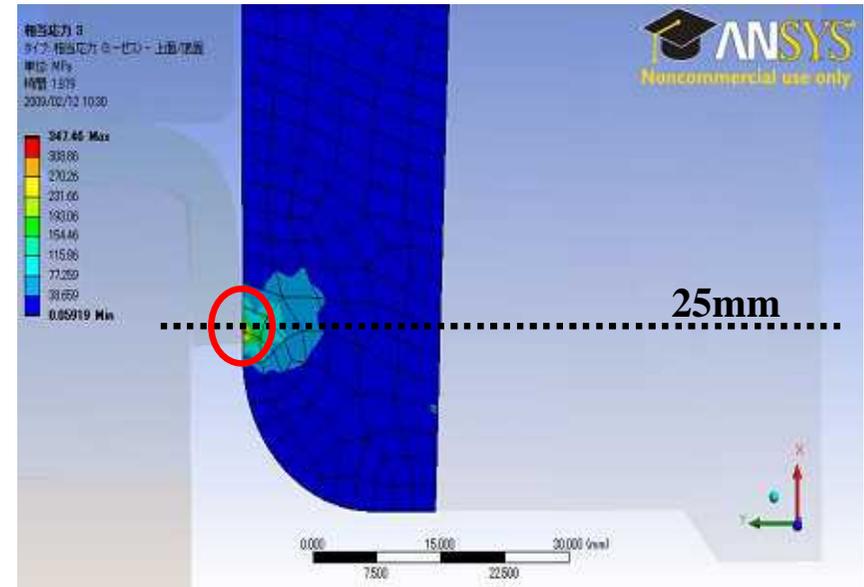
# 知能材料システムによる難加工材用プレス金型の開発

～ CAEによるプレス金型の負荷応力軽減 ～

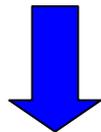
平板から成形までを動的に解析

ワークのエッジと金型の接触  
最大応力発生

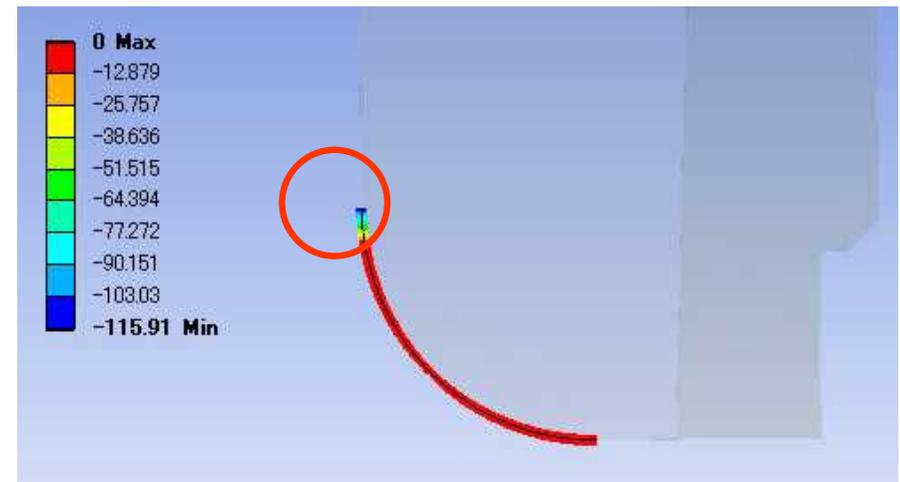
難加工材 金型にかかる応力増大



摩擦0.3 摩擦応力 279.2(Mpa)



摩擦0.1 摩擦応力 116.0(Mpa)



難加工材プレス用金型 被膜による摩擦低減有効