

平成 2 1 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「液晶用特殊シート材高精度打抜き用次世代皮膜コーテッド金型の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者：経済産業省近畿経済産業局

委託先：学 校 法 人 関 西 大 学

目 次

第1章	研究開発の概要	
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	2 P
1-2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、アドバイザー)	5 P
1-3	成果概要	8 P
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8 P
第2章	本論	
2-1	刃物金型に適した高耐久性能皮膜の調製	9 P
2-2	刃物金型に適した高切断性能を有する皮膜の調製	12 P
2-3	高耐久性能と高切断性能の両立	14 P
第3章	全体総括	
3-1	研究成果について	16 P
3-2	今後の課題と事業化展開について	16 P

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

携帯電話やモバイルパソコンなどの情報家電業界では、消費者ニーズに合わせ、製品の多様化、小型化、高機能化、低価格化、開発の短期化が加速している。

それに伴って、製品構成部品である光拡散シートやフレキシブルプリント基板などのシート部材については次々と新素材が開発されている。例えば、樹脂材料中に硬度の高いシリカゲルや金属薄膜を組み合わせた高機能性の難加工シート材、高硬度なチタン系酸化物コーティング材や顔料を塗布したシート材などである。これら耐久性、機能性に優れた特殊シート材の開発に伴い、打抜き加工課題を改良することが強く求められている。

この課題を解決する本研究は、(株)塚谷刃物製作所が有する刃物金型作成技術を、DLC コーティングを利用した高機能化によって高度化し、低価格でオンデマンドな供給を可能にする高精度打抜き用次世代皮膜コーテッド金型を開発し、新商品の試作から製造までを幅広くバックアップすることである。

本研究開発により、川下情報家電メーカーでは機能性シート部材短納期供給による商品開発力、製造力が強化され、国際競争力を高めることに繋がる。また、これら産業に係わる部品メーカー、ソフトメーカーにも相乗効果が見込まれる。

さらに、高価で納期のかかるダイセット金型に頼らざるを得なかった難加工性の高硬度樹脂材料や皮革、金属箔などの打抜きを必要とする業界においても、当該開発品の流用が可能であれば画期的な技術革新となり技術開発力の向上による産業の活性化が見込まれる。

当該研究開発における独自性は、工具刃物に対する耐久性に優れた硬質膜の成膜技術のみではなく、打抜き刃物金型（ピナクルダイ®）へ機能性コーティングを施し耐久性の向上をはかるとともに、成膜後にイオンボンバードメントによる2次加工を施すことによって切断性を高め、特殊シート材を高精度に打抜く高機能化をはかるところにある。

1-1-2 研究開発の目的

本研究開発の目的は、安価で高精度なシート部材を極短納期で川下情報家電メーカーに提供するために、切断性能を損なわないコーティングを施した高耐久仕様のフレキシブルダイを開発し、多様化する難加工性シート部材に対応させることである。

- 耐久性向上 → DLC 等のドライコーティングによる硬質膜付与
- 成膜による基材への刃先食いつき性悪化 → イオンエッチングを利用した刃先部の機能化
- 潤滑性向上 → DLC 膜への潤滑成分の複合化

研究開発の背景概念図

情報家電業界での課題

- ① モデルチェンジサイクルの高速化に伴う、試作や製造工程におけるリードタイムの削減。
- ② 海外からの安価な競合製品流入に伴う、製品製造コストの削減。



シート部材に纏わる川下のニーズ

- ・ 高精度
- ・ 短納期
- ・ 低コスト
- ・ 難加工材への対応



加工精度と耐久性を兼ね備えた短納期対応で安価な金型の供給が必要

従来技術

【木型】

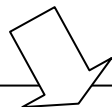
- ・ 安価で短納期だが、精度が悪い。
- ・ 複雑で微細な加工は不得意。

【セット金型】

- ・ 精度と剛性に優れるが、高価で納期も掛かる。
- ・ セット替えに手間が掛かる。
- ・ 複雑で微細な加工は不得意。

【エッチングダイ】

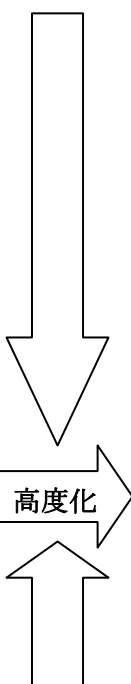
- ・ 安価で納期も早く精度も良いが、軟弱で壊れやすい。



本提案での開発技術

塚谷刃物製作所が持つエッチングダイ製造技術シーズを、DLC コーティング技術を利用した新技術で高度化し、課題の残る耐久性の不足を払拭し、次世代型エッチングダイの製法を確立する。

- ・ 従来型の3倍以上の耐久性
- ・ 被覆による加工性能劣化の低減
- ・ 従来型では不能な加工範囲への適応



エッチングダイに関する従来高度化技術と問題点

窒化処理、レーザー焼入れ処理 → 刃先先端での硬化領域界面において急激な組織変化による応力差が原因で、衝撃脱落による刃こぼれを起こし易く、比較的安定性が悪い。

高度化イメージの概念図

図1 エッチングダイ刃先高度化イメージ図(※上図エッチングダイ○印部、断面拡大イメージ)

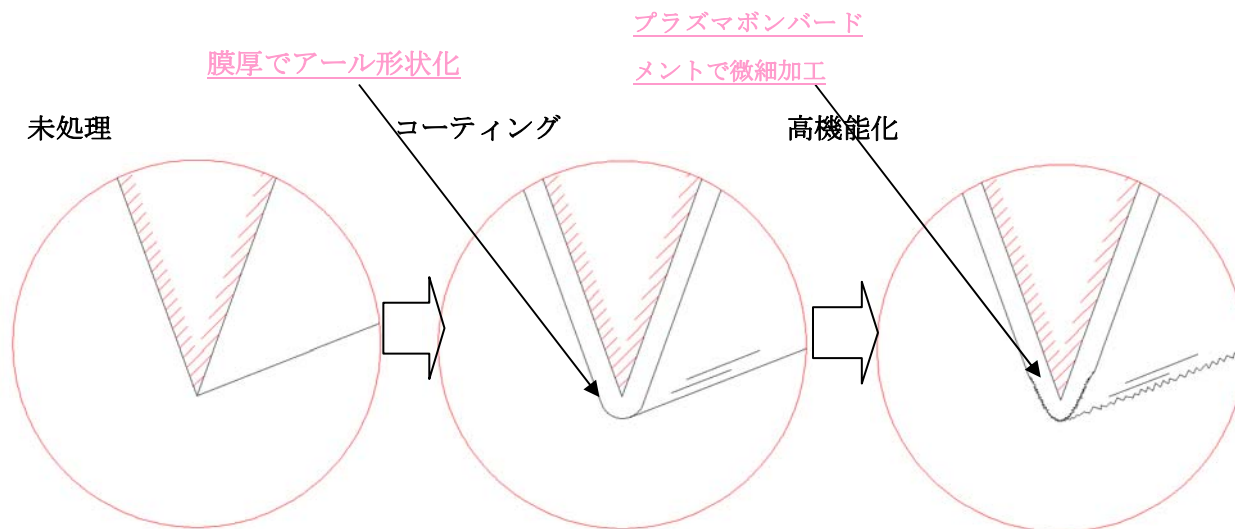
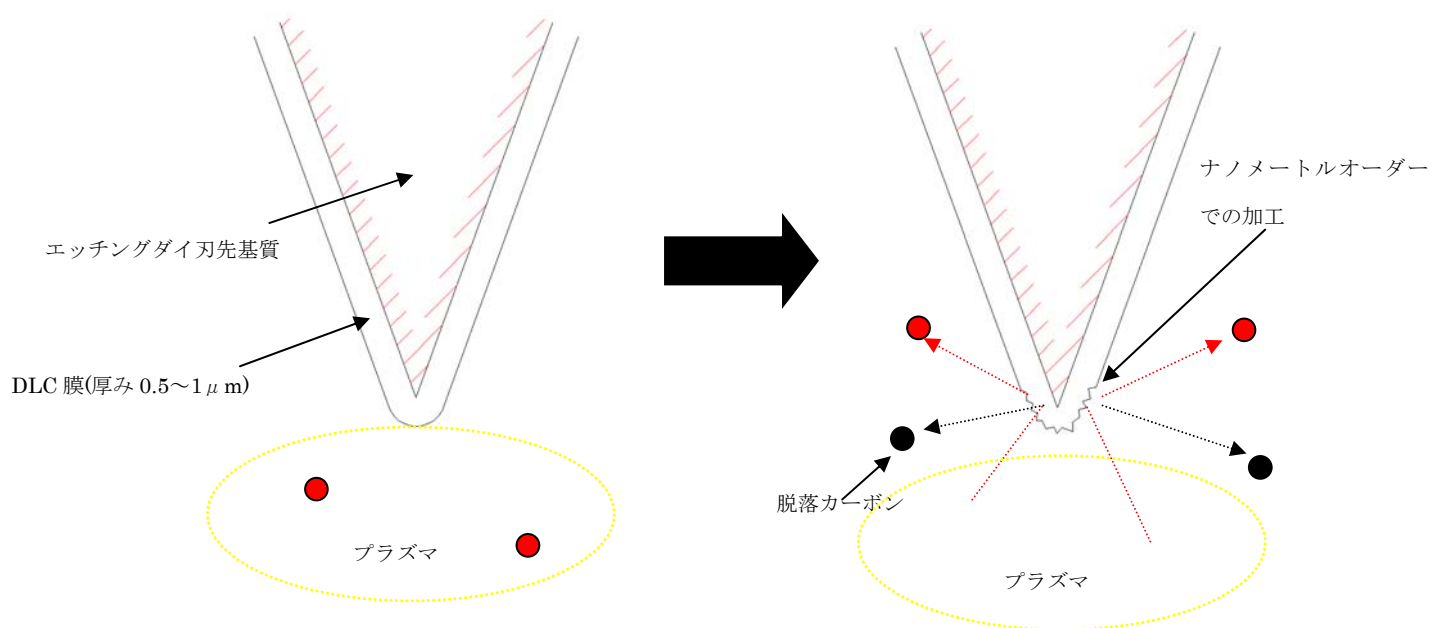


図2 成膜後プラズマボンバードメント処理刃先部断面拡大イメージ図

①陰極ワークにプラズマガスが引き寄せられる

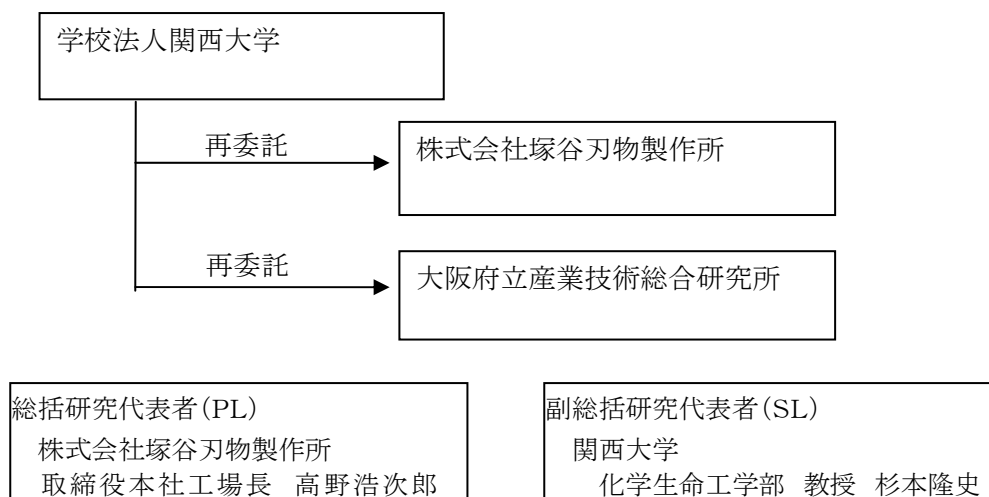
②突出している先端部付近に選択的に衝突



1-2 研究体制（研究組織・研究管理体制、研究者氏名、アドバイザー）

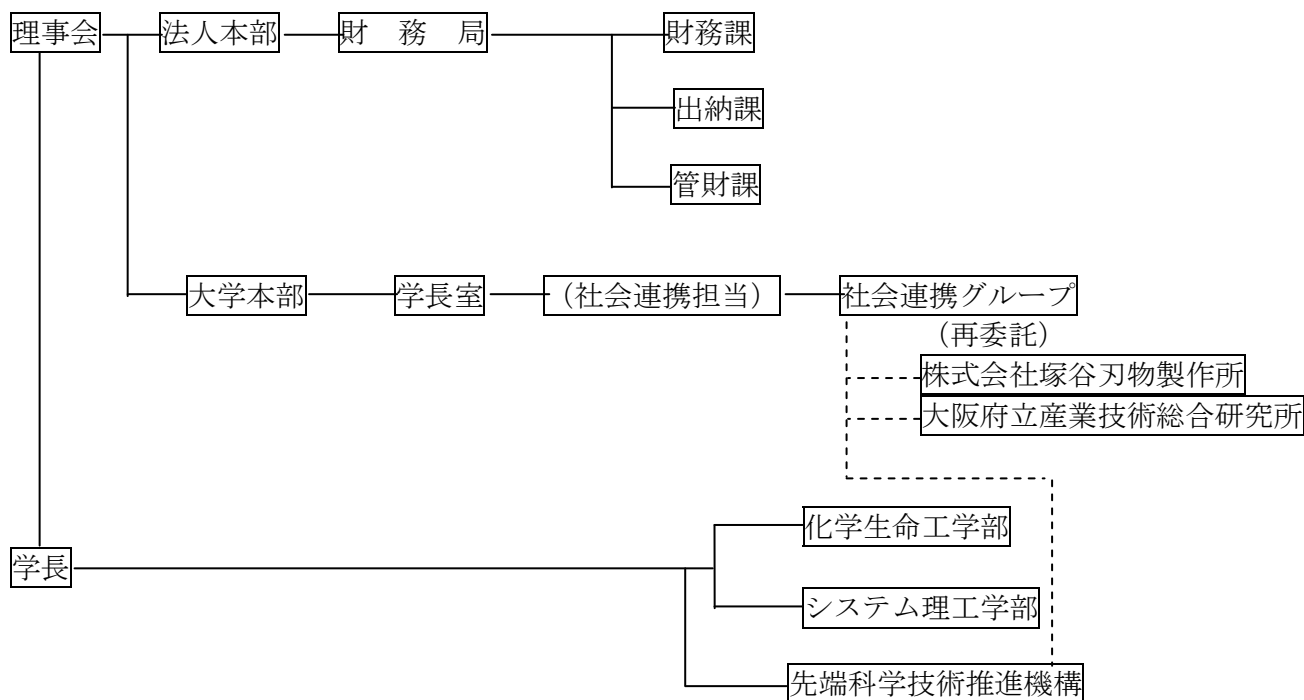
○研究組織・管理体制

1) 研究組織（全体）



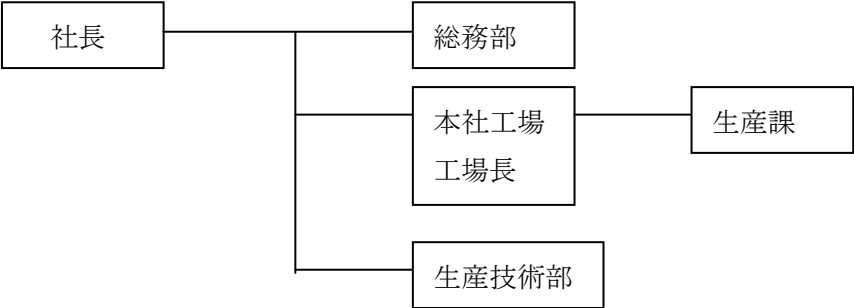
2) 管理体制

①業務管理法 人 [学校法人関西大学]

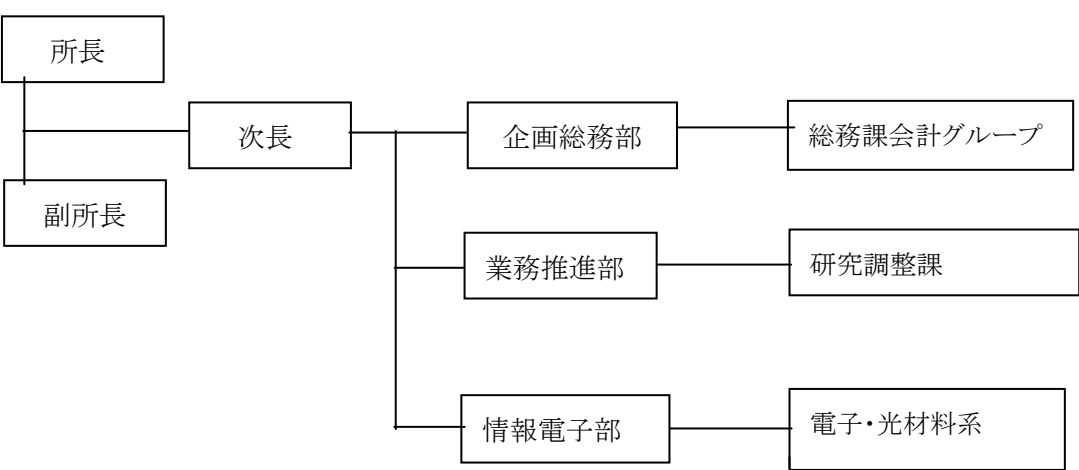


②再委託先

[株式会社塚谷刃物製作所]



[大阪府立産業技術総合研究所]



3) 研究者氏名

【事業管理者】 学校法人関西大学

①研究員

氏 名	所属・役職	実施内容
杉 本 隆 史	化学生命工学部 化学・物質工学科 教授	形状操作法の探求 加工条件の調査、 膜の評価 加工技術の完成 評価試験
北 嶋 弘 一	システム理工学部 機械工学科 教授	形状操作法の探求 膜の評価

②プロジェクト管理員

氏 名	所属・役職	実施内容
石川 正司 島貫 未来夫 坂本 康浩 前田 正吾	先端科学技術推進機構長 学長室社会連携グループ長 財務課長 学長室社会連携グループ	プロジェクトの管理・運営

【再委託先】

株式会社塚谷刃物製作所

氏 名	所属・役職	実施内容
高野 浩次郎	取締役本社工場長	高潤滑DLC複合膜の探求 成膜条件の調査・膜の評価・ 成膜技術の完成
奥村 彰英	取締役(生産技術部担当)	形状操作法の探求
吉岡 敬泰	本社工場生産課リーダー	加工条件の調査、 膜の評価
濱野 充騎	本社工場生産課リーダー	加工技術の完成
東 昇一郎	本社工場生産課リーダー	技術の完成、権利化 評価試験 開発刃物金型の完成

大阪府立産業技術総合研究所

氏 名	所属・役職	実施内容
松永 崇	情報電子部 電子・光材料系 研究員	形状操作法の探求 加工条件の調査 膜の評価 加工技術の完成

アドバイザー

有限会社 アイエス技術研究所	代表取締役・所長 池永勝
松山技研株式会社	技術開発室室長 野村博郎

1－3 成果概要

- ① 刃物金型用途として目標の未処理従来品の寿命との比較で 5 倍以上にまで向上させる DLC ベースの高耐久性能膜の開発に成功した。

刃物金型に最適な靱性と耐久性を兼ね備えた DLC ベースの成膜技術について、各種製膜方法や複合法を検討した結果、膜中の水素比率を増加させて更にメタル成分を一定量添加した膜について、目標とした未処理型の 5 倍以上の耐久性を実現できた。

- ② コーティング処理により失われる切断性能を改善する試みとして、DLC 膜の鋭利化加工法を検証した結果、局部的に非常に鋭利性を有する DLC 膜の成膜法を完成させることに成功した。

刃物金型コーティング後に発生する切断性能の悪化を改善する手段として、本研究では一旦成膜した DLC 膜について、更にイオンエッチング加工を施すことによって刃物金型の刃先を非常に鋭利化させる手法を確立させた。

- ③ 上記 2 つの成果を複合させて耐久性能と切断性能を兼ね備える皮膜を調製することに成功した。

高耐久性能を有するメタルドーピング DLC 膜への鋭利化加工法の適応はできなかったが、2 つの機能膜を 2 層積層することで両機能を有する皮膜を調製することが出来た。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

学校法人関西大学

〒564-8680

大阪府吹田市山手町 3－3－35

学長室社会連携グループ長 島貫 未来夫

TEL : 06-6368-1245 FAX : 06-6368-1247

第2章 本論

2-1 刃物金型に適した高耐久性能皮膜の調製

刃物金型に最適な靱性と耐久性を兼ね備えた DLC ベースの成膜技術について、各種製膜方法や複合法を検討した結果、製膜装置において膜中の水素比率を増加させて更にメタル成分を一定量添加して調整した膜に関して、目標とした未処理型の 5 倍以上の耐久性を実現できた。靱性に関しては当初目標としていたクラックを伴わずに曲がるところまではいかなかったものの曲げた状態での実装試験で十分な密着が確認できた。

当該膜組成に関しては RBS/ERDA 及び ESCA での分析の結果、C : H : Me が 46 : 48 : 6 になっていることが判明した。また導入したメタル成分についても微結晶状態でアモルファスカーボン中に均一に分散している様子が確認できた。

図1 RBS/ERDA で解析した Me-DLC の深さ方向元素比率

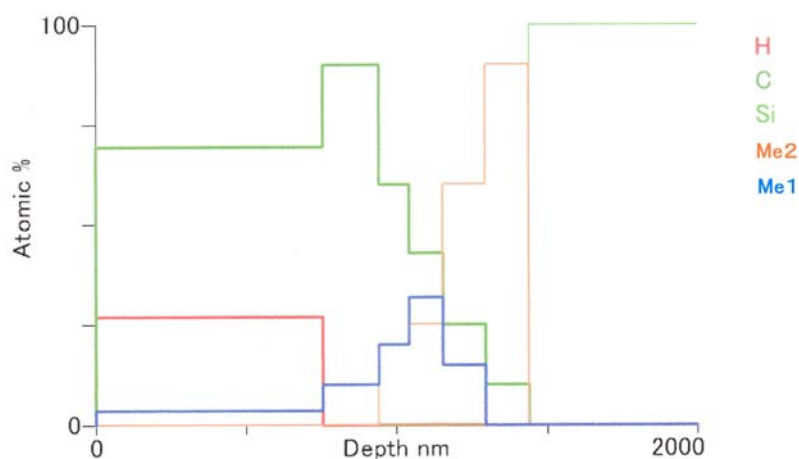


図 2 ESCA で解析した Me-DLC の深さ方向元素比率

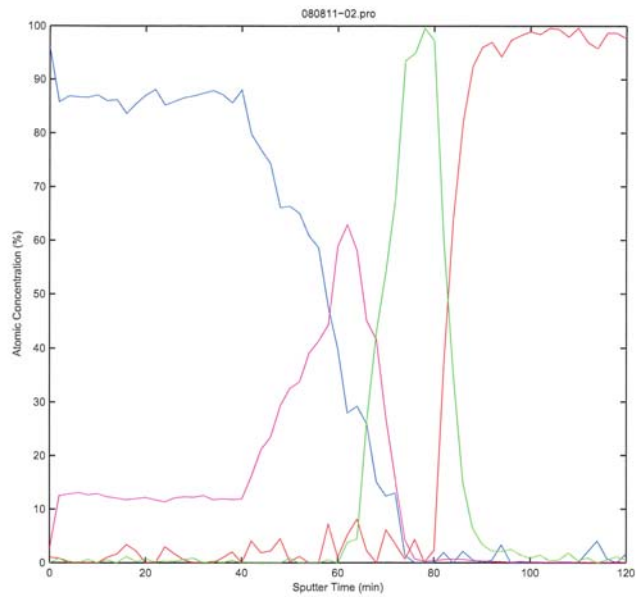
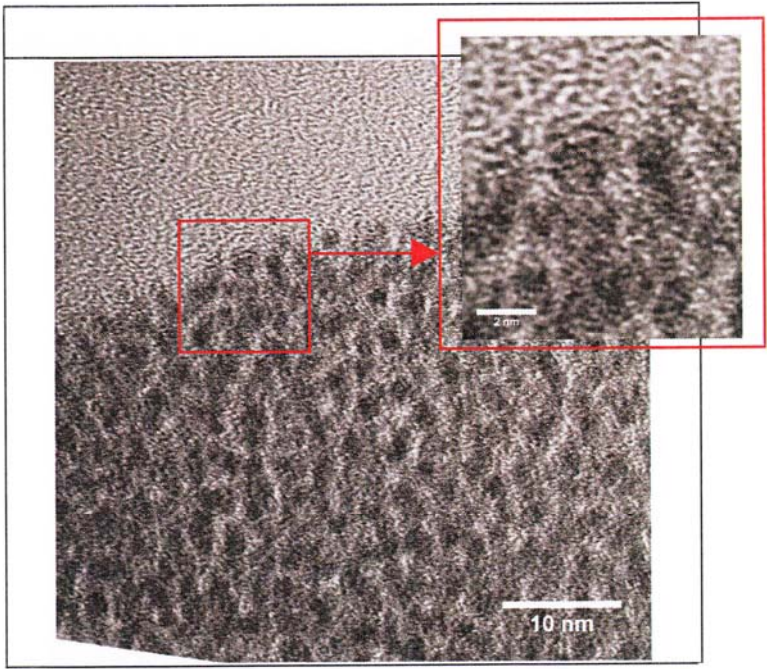


図 3 TEM 観察した開発皮膜の断面組織



以下に調製膜の耐久性及びロックウェル圧痕試験、スクラッチテスターを利用した密着性評価結果について示す。

ここで耐久性に関しては、被切断基材にチタン酸化物を含む難加工性の白コート PET フィルム基材を使用した連続で打ち抜き試験を行い、定期的に膜の破損状態や被切断基材の加工状態について各種観察機器

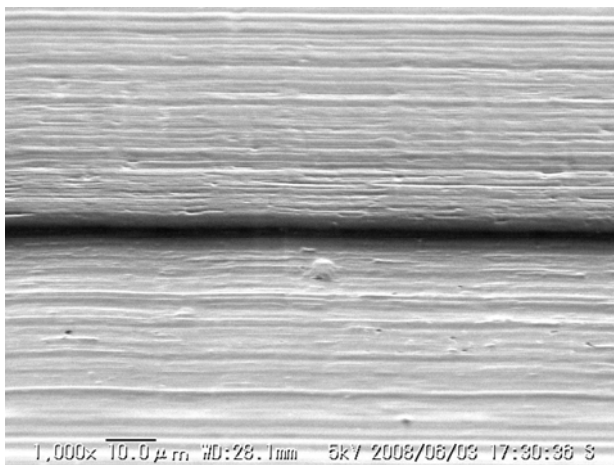
を用いた目視評価を行って検証している。

また、密着性の評価では比較用成膜試験片には一般的に使用される超硬基材の他に、実材料との整合性を考慮して調製した SUS 焼入れ基材の 2 種類を使用している。

図 4 白コート PET フィルム基材連続打抜き試験後の外観比較写真

①未処理型(1 万ショット後使用不能時)

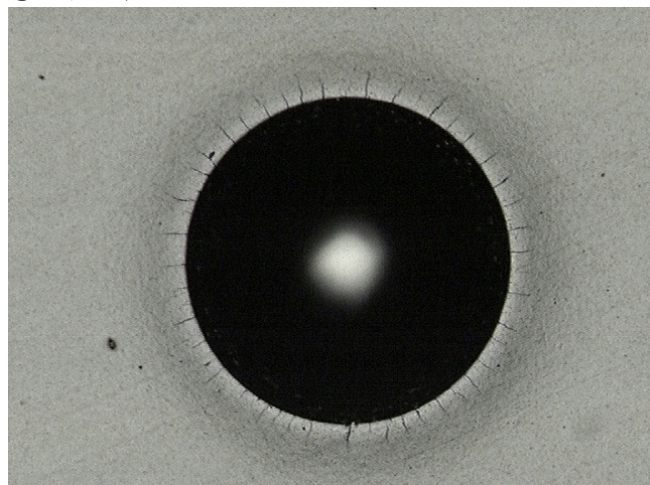
②開発皮膜搭載型(5 万ショット時)



未処理型では 1 万ショット後において磨耗が耐久限界を超えたため使用不能となったが、開発膜搭載型では 5 万ショットを超えてもまだ使用に耐える状態が確認できた。

図 5 ロックウェル圧痕試験での密着性評価写真

①超硬基材



②SUS 焼入れ基材

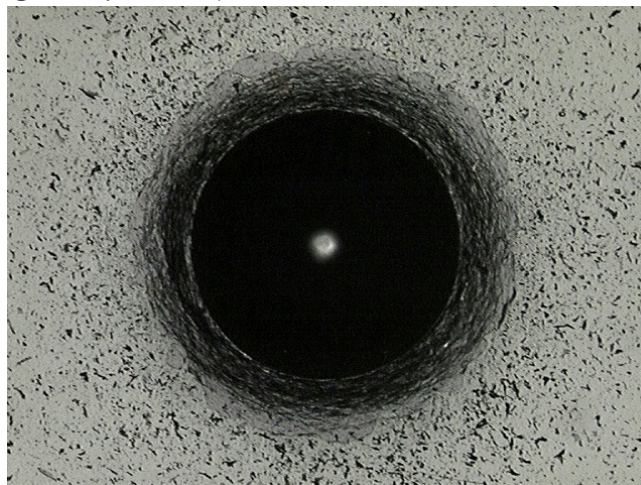
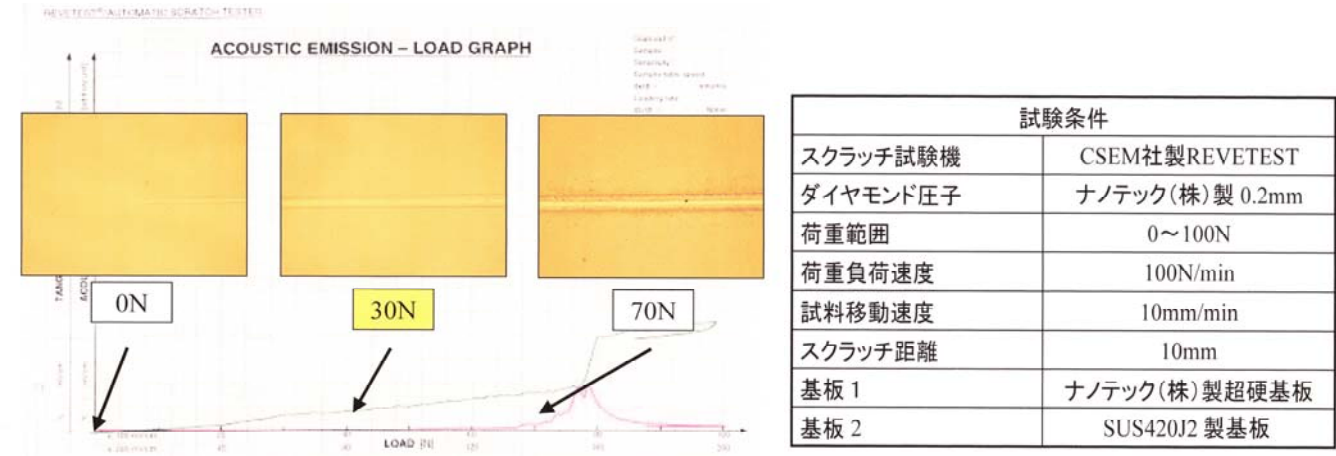


図 6 スクラッチテスターを用いた密着力評価試験結果



上記 2 つの密着試験を通じて良好な密着状態が確認される。

2－2 刃物金型に適した高切断性能を有する皮膜の調製

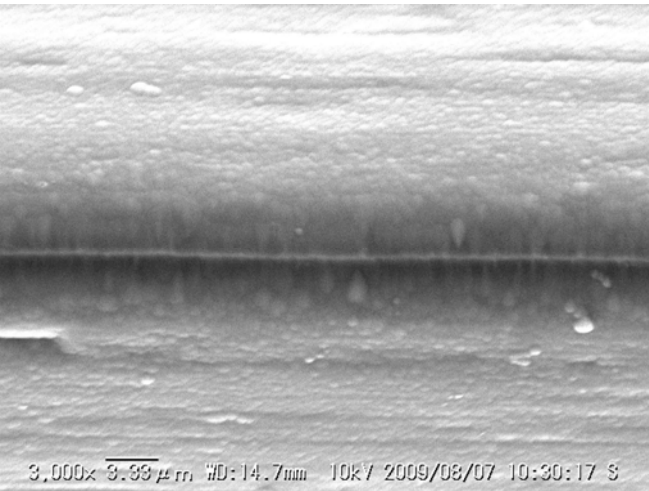
作業効率の観点から前段コーティングからの連続処理を想定して、成膜装置が搭載するボンバードメント機構を利用したイオンエッチングにより、刃物金型全面についての一斉先鋭化処理を行うことを目標に加工条件の検索を行った。

加工中でのガス圧、バイアス電圧、反応時間、ガス種を重点的に調査した結果、一定の条件化において刃物金型上の刃先部のみを一律に鋭利化できる成膜法を確立できた。

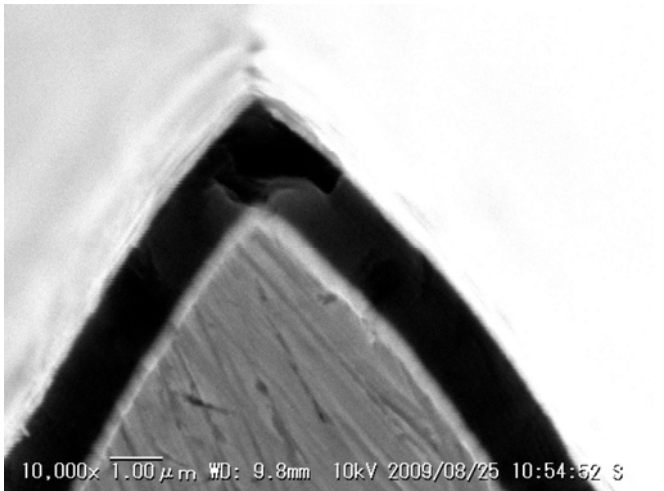
以下に調製皮膜搭載刃物金型の刃先先端部位の外観写真を示す

図 7 DLC 膜鋭利化膜を施された刃物金型の刃先部外観写真

①上面写真



②断面写真



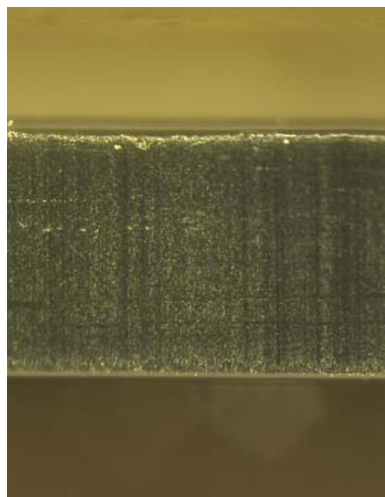
刃先の幅は数ナノメートルオーダーまでの細さに仕上げる事が可能であり、直線部における直線性にも優れていることから、極めて良好な切断特性の発現が可能になる。

図 8 に DLC 膜鋭利化膜を施された刃物金型を使用して切断された軟質塩化ビニルシートの切断面の状態について、通常成膜処理品及び機械加工超仕上げ品(当社製 G タイプトムソン刃)を使用して切断されたものとの比較写真で示すとともに、図 9 に通常成膜処理品及び鋭利化成膜処理品についての切断加工時での切断加重推移曲線を示す。

鋭利化膜成膜品では従来品に比べて初期の切り込み加重が非常に少ないため、フィルム基材切断端面での塑性変形も抑制でき、切断面では傷や面ダレが少なく機械加工超仕上げ品に迫る加工が可能であることが確認された。

図 8 刃材の違いによる軟質 PVC フィルム切断面加工状態の比較写真

①通常成膜処理品



②鋭利化膜成膜品



③機械加工超仕上げ品

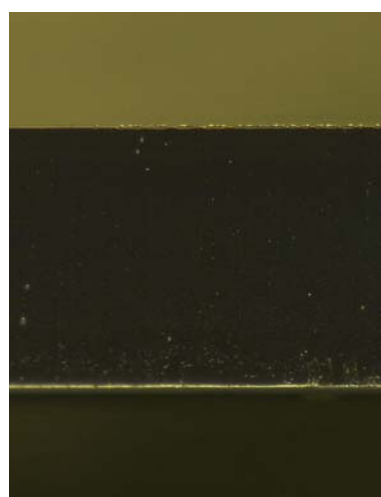
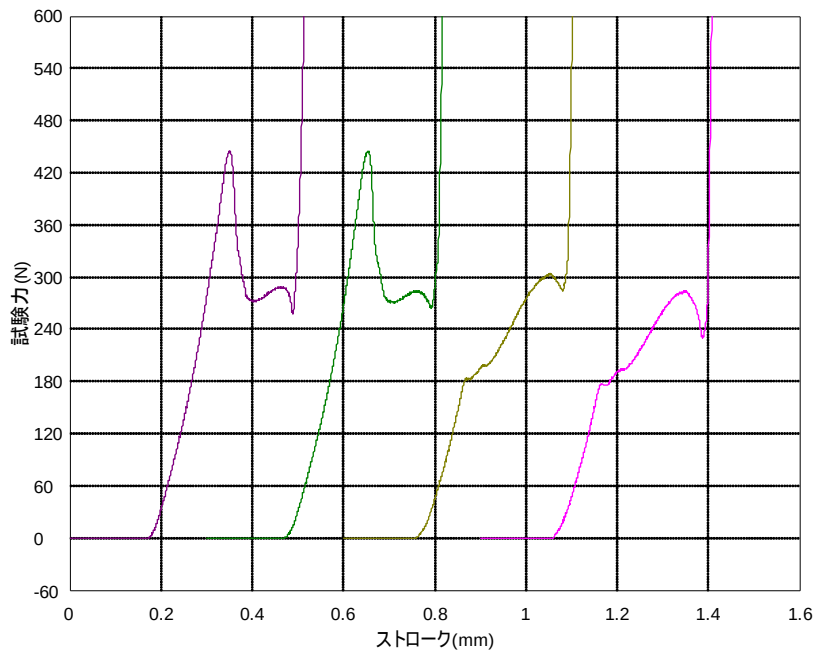


図 9 刃材の違いによる切断加重推移曲線の変化

※左側 2 本は通常成膜処理品、右側 2 本は鋭利化膜成膜品での切断加重推移曲線

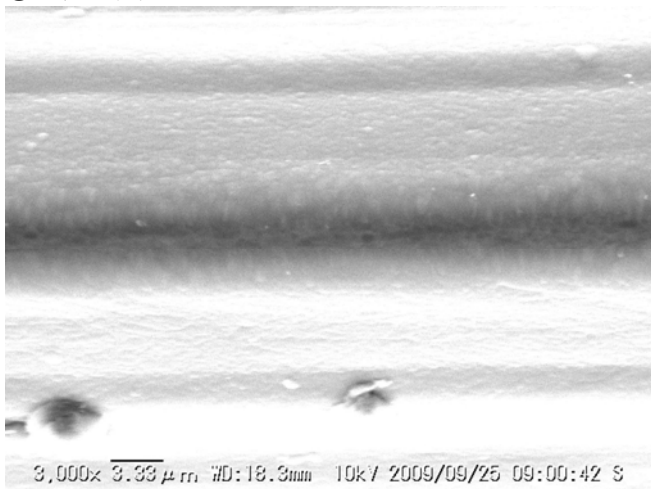


2-3 高耐久性能と高切断性能の両立

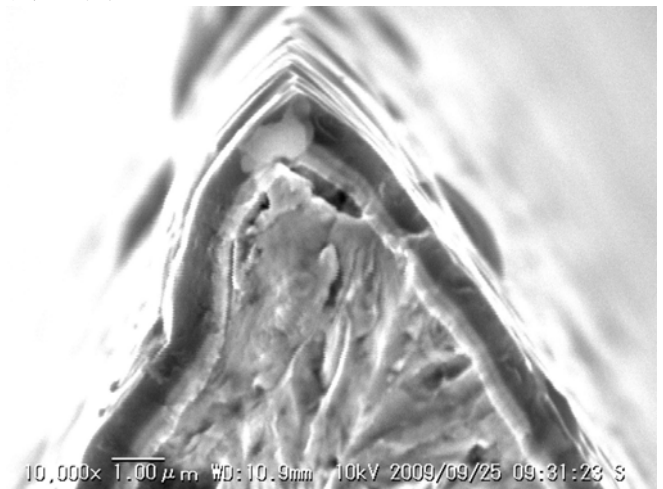
DLC 膜の鋭利化加工法に関して、最終目標としては高耐久性能を有するメタルドーピング DLC 膜への応用が課題であったが、元素間でのエッチングレートの違いを制御することが出来なかったため、機能を両立させる異なるアプローチとして 2 つの機能膜を 2 層積層することで両機能を有する膜が調製できることを見出した。

図 3.5 下層高耐久性能膜と上層鋭利化膜の 2 層積層複合膜概観写真

①上面写真



②断面写真



当該膜に関する耐久評価試験では、摺動摩擦の少ない刃先先端部よりも摺動摩擦の激しい側面部から磨耗が進行することにより、最終的には側面部において露出した高耐久膜で磨耗を食い止められる様子を観測できた。

第3章 全体総括

我々の生活の中で使用されている様々なシート材料系の製品や部材に関して、近年の製品寿命の短期化や低価格化も相まって、その加工に携わる業者では加工金型の低価格化や短納期化は急務であるが、一方で製品の小型化、材料の多様化に伴い精度や耐久性能についてもこれまで以上の要望が強まっている。

そんな中で、金型のごく表面のみの取替えが可能なフレキシブル刃物金型は価格、納期、及び作業効率性においてその他刃物金型との差別化に成功し、現在のシート材料抜き加工においての1つのスタンダードとなるまでに成長した。しかしながら当該金型は強度面や切断性能面においては、より堅牢で緻密に加工された金型に及ばない側面も併せ持っており、これまでも様々な手法での高度化が図られてきたが決定的な解決策を見出せずにいた。

本事業を通じて得られた成果により、フレキシブル刃物金型はこれまでのイメージを一新させ、より幅広い加工用途へも対応できる次世代の刃物金型としての形を確立することができたものとする。

3-1 研究成果について

- ・ 刃物金型用途として目標の未処理従来品の寿命との比較で5倍以上にまで向上させるDLCベースの成膜技術を開発できた。
- ・ コーティング処理により失われる切断性能を改善する試みとして、DLC膜の鋭利化加工法を検証した結果、局部的に非常に鋭利性を有するDLC膜の成膜法を完成させることに成功した。
- ・ 耐久性能と切断性能の向上技術を複合させることに成功した。
- ・ 開発された刃物金型についての鋭利化コーティング処理法及び処理金型に関して特許出願を行った。
- ・ 本研究を通ることによって得られた最先端の成膜技術や有用な特性評価試験法等の知見、及びそれらを取り巻く人脈は、中小企業である当社にとって今後の開発業務において大きな利益になったと考えられる。

3-2 今後の課題と事業化展開について

事業期間内で一応の完成形を創出することが出来たが、当初予定に縛られるあまりに少々走り気味に研究開発を進めてきたことも事実であり、今一度見落としが無いかについて精査した上で事業化の成功に繋がりたいと考える。

今後の課題としては、先ず速やかに高切断性能タイプ膜の生産ベースへの適応化を完了させることが挙げられる。また開発膜に関しては、もう少し韌性を持たせた方が金型との折り合いも付きやすいために汎用性が増すと考えられることから、膜種にとらわれずに改良型の模索は以降も続けて行きたいと考える。

高耐久型DLC膜について着実に事業化への移行が進んでおり、来年度中にも量産体制が敷ける見通しである。販路については既存ユーザーからの開拓を進めるとともに、今後は多方面での展示会等を利用した新規顧客の開拓にも取り組んでいく予定である。

リサイクル適性の表示：「紙へリサイクル可」