

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「精密医療機器用チタン系部品加工のための高強度、高靱性、耐熱性のある
金型材料の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 タマティーエルオー株式会社

目 次（例）

第 1 章

1－1	研究開発の背景・研究目的及び目標	
	高度化目標	1
	研究開発の背景	1
	研究目的	1
1－2	研究体制	
	研究組織・管理体制	2
	研究者氏名	3
	協力者	4
1－3	成果概要	4
1－4	当該研究開発の窓口	5

第2章 本論

【1】	高耐久性、高靱性発現に資する Ni ナノ粒子/グラフェン表面修飾複合材の開発	
【1-1】	高純度 Ni ナノ粒子生成技術の開発	6
【1-2】	Ni ナノ粒子を複重層グラフェン内包合成する 表面修飾新技術の開発	7
【1-3】	WC-C のプラズマ焼結プロセスの開発	7
【1-4】	超硬合金の高耐久性化	10
【2】	成形金型用 BN 膜コーティング技術の開発	
【2-1】	低温 BN 膜生成用 HF-CVD プロセス開発	12
【2-2】	成形金型用 BN 膜の最適な膜質制御条件の確立	13
【2-3】	3D 形状を有するマイクロ金型への BN 膜コーティング	13
【3】	精密部品成形用金型開発	
【3-1】	Ti 材精密プレス成形によるマイクロ成形の成形性の評価	16
【3-2】	金型の耐摩耗性・耐凝着性評価	16
【3-3】	医療用部品用マイクロ金型の創製	16

最終章 全体総括

・複数線の研究成果	18
・究開発後の課題・事業化展開	18

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

【高度化目標】

1 複合・新機能材料に係る技術において達成すべき高度化目標

②高度化目標

ア. 高性能・高機能な材料及び複合技術の向上

【研究開発の背景】

我が国の医療機器市場規模は、平成 16 年以降増加に転じ、平成 25 年は約 2.7 兆円となり、過去最大の市場規模になっている。2.7 兆円の医療機器市場の構造として金額ベースでは、治療機器（カテーテル、ペースメーカー等）が 53%、診断機器（内視鏡、CT、MRI 等）が 26% を占めており、治療機器の成長率が高く、市場規模も大きい。また、世界に目を向けても、高齢化、及び医療需要は拡大を続けており、約 8% の成長率を維持している。2009 年は約 2,452 億ドルに対し、2018 年は 4,536 億ドルと今後も拡大が予想されている。

このような市場環境の中で、日本の得意分野とされている処置用機器の製造について、各種プロセスの工夫などがされているが、次の 3 点が大きな課題となっている。

- ・精密プレス成形技術を用いた鉗子の成形加工が試みられたが、精密金型の作成や離型剤の課題などが残されており、量産に至っていない。
- ・内視鏡用ガラスレンズが精密熱間成形加工で製作されているが、現状の金型コーティング膜では、熱による劣化が課題となっており、耐熱性金型保護膜の開発が期待される。
- ・各種精密自動車や電子デバイス用電子部品の成形加工においても、寸法の縮小により、金型の強度・靱性が不足し、金型の耐久性、耐折損性などが課題となっている。

また、川下製造業者等の特有の課題及びニーズとして、精密機械加工には、プレス、成形用金型が必要であるが、低侵襲医療分野である内視鏡手術や腹腔鏡手術に用いる鉗子類（処置用機器）では部品製造に精密なマイクロ金型が欠かせない。部品材料はチタン系がふつうなので、金型を構成する材料には高強度、高耐久性、耐焼付き性が要求されている。

【研究目的】

現用の金型材料である WC+Co にナノカーボン系炭素を加えたり、Co の代わりに Ni ナノ粒子を使用しナノグラフェン炭素を分散させて焼結する方法で、高強度、高耐久性を実現する。さらに、成形加工時の焼付き防止やチタンの移着防止のため窒化ボロン膜を表面にコーティングを行う技術確立する。

上記研究目的を達成するために、下記3項目の目標を立てた。

【1】高耐久性、高靱性発現に資するNi ナノ粒子/グラフェン表面修飾複合材の開発

超硬合金の粉末冶金の素材原料となる、ニッケルナノ粒子にグラフェン複合材のコアシェル合成し、高靱性化に寄与するナノカーボン（グラフェン）を同時に内包合成を行う。ついで、素材原料の省力化及びコスト低減を図りハイブリット化と呼べる合成時間の短縮やグラフェン合成温度の低温合成化などのプロセス技術改革を図る。次に、焼結方法を既存の雰囲気焼結方法から短時間で焼結可能なプラズマ焼結法を用いて、焼結プロセスの改良に取り組む。

【2】成形金型用 BN 膜コーティング技術の開発

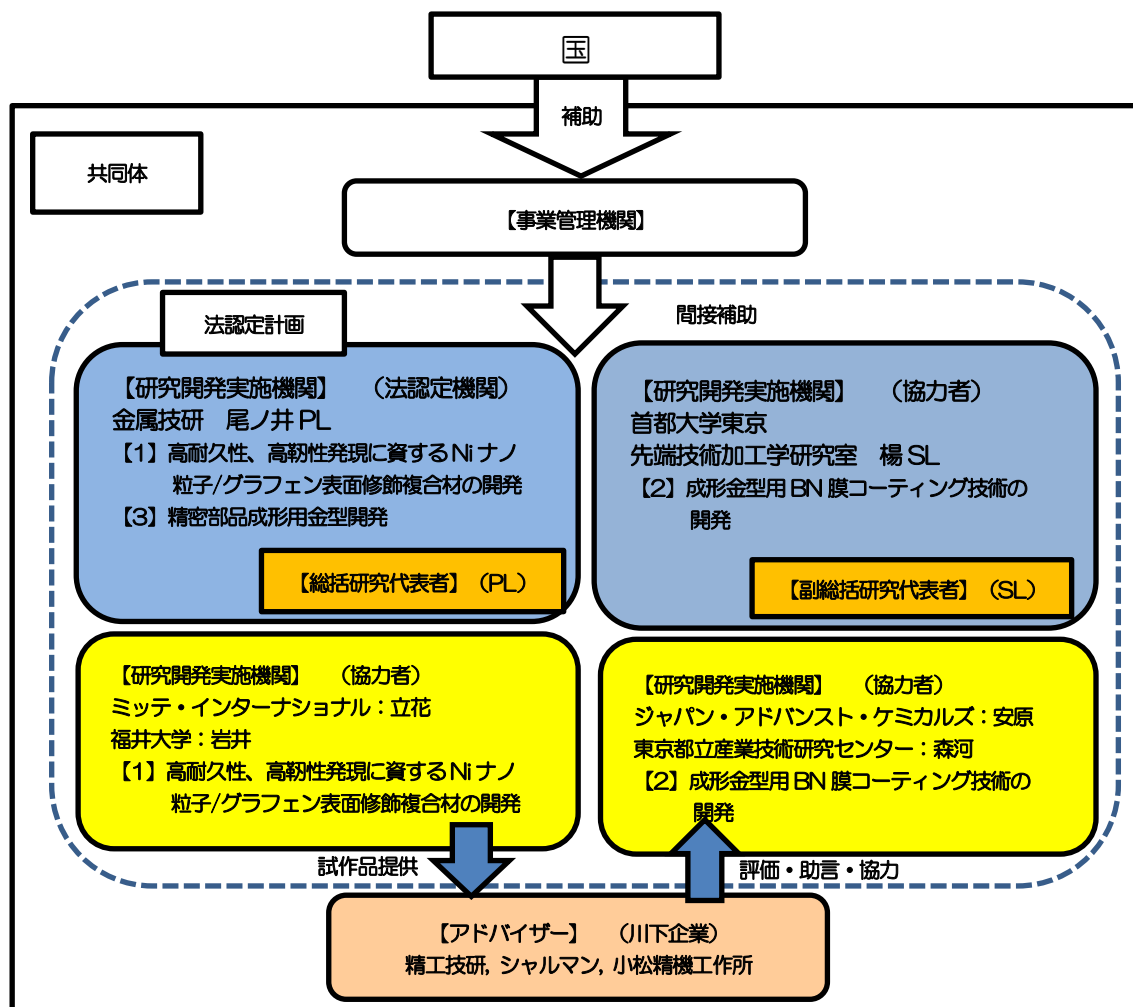
ホットフィラメント CVD（HF-CVD）プロセスに原子層レベルの積層技術を導入し、BN 膜コーティング時の膜組成制御及び成膜温度の低減を実現する。

【3】精密部品成形用金型開発

高靱性超硬材料と BN コーティング技術とを組み合わせた高性能金型による難加工材の精密成形を実現する。

1-2 研究体制

（研究組織・管理体制）



（研究者指名）

金属技研株式会社

氏名	所属・役職	担当業務（サブテーマ番号）
尾ノ井 正裕（PL）	エンジニアリング事業本部開発企画部・主事	1-4、3-1、3-2、3-3
齊藤 暁	神奈川工場工場長	1-4、3-1、3-2、3-3
長澤 豊	エンジニアリング事業本部開発企画部・次長	1-4、3-1、3-2、3-3
石井 孝明	神奈川工場製造課課長	1-4、3-1、3-2、3-3
米本 朋弘	神奈川工場技術課課長	1-4、3-1、3-2、3-3
川嵐 真佐美	神奈川工場技術課・係長	1-4、3-1、3-2、3-3
宮川 司	神奈川工場技術課・主務	1-4、3-1、3-2、3-3
本庄 勇樹	神奈川工場技術課・主務	1-4、3-1、3-2、3-3
高橋 健一	神奈川工場技術課・主務	1-4、3-1、3-2、3-3
福田 純一	神奈川工場技術課	1-4、3-1、3-2、3-3
吉田 圭祐	神奈川工場技術課	1-4、3-1、3-2、3-3

株式会社ジャパン・アドバンスト・ケミカルズ

氏名	所属・役職	担当業務（サブテーマ番号）
安原 重雄	開発担当取締役	2-3、3-1、3-2、3-3
金 勇	研究者	2-3、3-1、3-2、3-3

株式会社ミッテ・インターナショナル

氏名	所属・役職	担当業務（サブテーマ番号）
立花 昇一	研究者、管理業務	1-4、3-1、3-2
立花 優	研究者	1-4、3-1、3-2
小村 浩市	主任研究者	1-4、3-1、3-2

公立大学法人 首都大学東京

氏名	所属・役職	担当業務（サブテーマ番号）
楊 明（SL）	首都大学東京・教授	2-3、3-1、3-2、3-3
清水 徹英	首都大学東京・助教	2-3、3-1、3-2、3-3
鈴木 悠午	首都大学東京・補助員	2-3、3-1、3-2、3-3

国立大学法人 福井大学

氏名	所属・役職	担当業務（サブテーマ番号）
岩井 善郎	副学長	1-4、3-2（事業責任者）
高澤 拓也	工学部技術部第一技術室・技術職員	1-4、3-2（試験機の改造 及び保守管理、材料評価）

氏名	所属・役職	担当業務（サブテーマ番号）
森河 和雄	事業化支援本部 技術開発支援部 先端材料開発セクター 主任研究員	2-3、3-1、3-2、3-3

（協力者）

氏名	所属・役職	担当業務（サブテーマ番号）
白鳥智美	株式会社 小松精機工作所 研究開発部研究開発課 課長代理	アドバイザー
木原武志	株式会社 シャルマン 製品開発部技術開発課マイスター	アドバイザー
佐藤勝則	株式会社 精工技研 光学製品事業部 担当課長	アドバイザー

1-3 成果概要

【1】高耐久性、高靱性発現に資するNi ナノ粒子/グラフェン表面修飾複合材の開発

【1-1】高純度Ni ナノ粒子生成技術の開発（平成27年度実施）

素材原料の省力化及びコスト低減を、極微量の副炭化物と呼ばれる、Ni 粒子にターゲットを置き、導入予定の多機能ナノ粒子生成成膜装置にて極微量のNi ナノ粒子を生成する。D=10～50nmの結晶性が良いピュアで高純度なニッケルナノ粒子を作成することができた。

【1-2】Ni ナノ粒子を複重層グラフェン内包合成する表面修飾新技術の開発

（平成27・28年度実施）

現有のグラフェン合成装置を用いて、極微量のNi ナノ粒子を複重層グラフェン内包技術により原料コストを20%超の低減させることができた。

【1-3】WC-Cのプラズマ焼結プロセスの開発（平成28年度実施）

プラズマ焼結法を用いることで、短時間焼結を可能にし、粒度成長プロセスの前に焼結させ、また主原料のWC ナノ粒子にCoと同等効果の極微量のバインダー材としてNi ナノ粒子を鼻薬的に混合させることで、バインダレスWCと比較し靱性向上の傾向を捕らえることができた。

【1-4】超硬合金の高耐久性化（平成28・29年度実施）

高靱性超硬材料とBNコーティング技術とを組み合わせた実際の高性能金型を試作し、技術目標である「既存合金の20%以上の耐久性向上」を確認した。

【2】成形金型用BN膜コーティング技術の開発

【2-1】低温BN膜生成用HF-CVDプロセス開発（平成27年度実施）

これまでのHF-CVD装置を改造し、原子層毎に積層していくプロセスを開発し、成膜温度の低減を図り、目標である成膜温度1,500℃以下を実現した。

【2-2】成形金型用 BN 膜の最適な膜質制御条件の確立（平成 27・28 年度実施）

cBN と hBN の結晶組織および比率に対して、マイクロ金型コーティングに適した膜を製造し最適な膜質制御（hBN、cBN を生成し、hBN 中 B/N ほぼ「1」を実現）の条件出しを行うことができた。

【2-3】3D 形状を有するマイクロ金型への BN 膜コーティング（平成 28・29 年度実施）

実成形加工（凹凸の有る金型）に BN コーティング膜を生成し、アドバイザーによる鍛造評価において、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。

【3】精密部品成形用金型開発

【3-1】Ti 材精密プレス成形によるマイクロ成形の成形性の評価（平成 28・29 年度実施）

【3-2】金型の耐摩耗性・耐凝着性評価（平成 28・29 年度実施）

【3-3】医療用部品用マイクロ金型の創製（平成 29 年度実施）

Ti 材精密プレス成形によるマイクロ成形により WC-C 部材及び BN コーティングを行い、また、医療用部品用マイクロ金型を試作し、アドバイザーによるプレス加工評価において、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

タマティーエルオー株式会社 山県 通昭

TEL：042-631-1325 FAX：042-649-2269

E-mail：yamagata@tama-tlo.com

第2章 本論

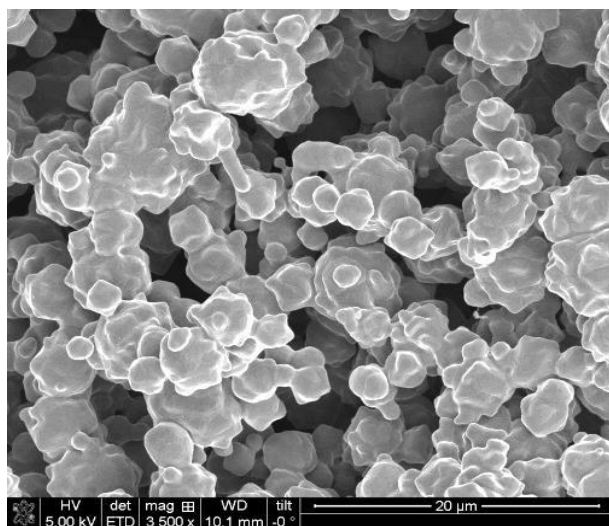
【1】高耐久性、高靱性発現に資するNi ナノ粒子/グラフェン表面修飾複合材の開発

【1-1】高純度 Ni ナノ粒子生成技術の開発（平成 27 年度実施）

素材原料の省力化及びコスト低減を、極微量の副炭化物と呼ばれる、Ni 粒子にターゲットを置き、導入予定の多機能ナノ粒子生成成膜装置にて極微量の Ni ナノ粒子を生成する。D=10～50nm の結晶性が良いピュアで高純度なニッケルナノ粒子を作成することができた。

<詳細>

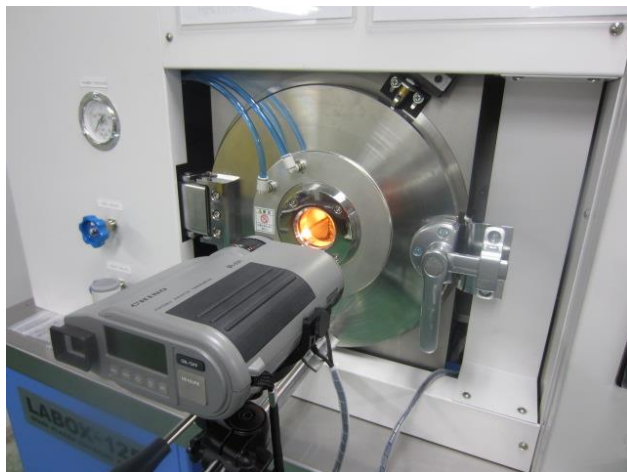
極微量 Ni ナノ粒子生成のための「ナノ粒子製造装置」を開発し、「ナノカーボン合成・放電プラズマ焼結」の各要素（焼結処理、HIP 処理）技術を確認し、目標達成を確認した。



Ni ナノ粒子 SEM 画像 5kV 3500 倍



ナノ粒子製造装置

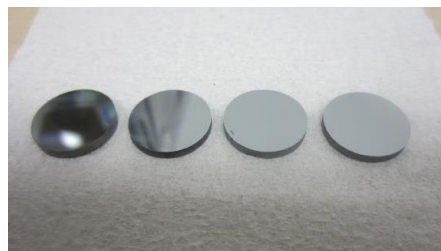


焼結中の様子



HIP 処理装置

焼結、HIP 処理を施したサンプル⇒



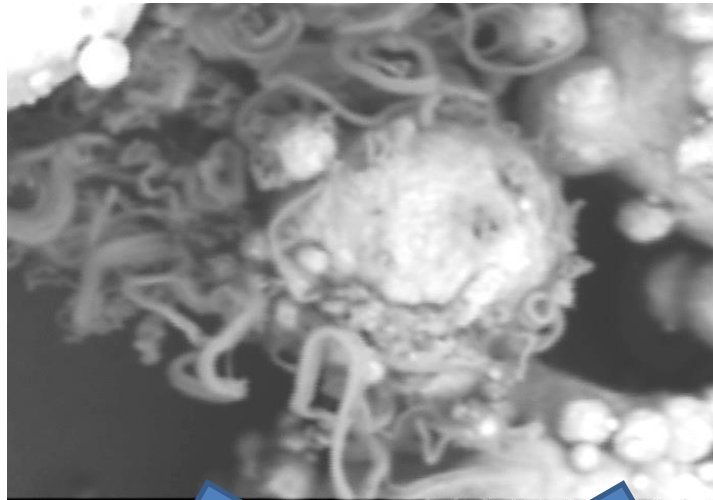
【1-2】Ni ナノ粒子を複重層グラフェン内包合成する表面修飾新技術の開発

(平成 27・28 年度実施)

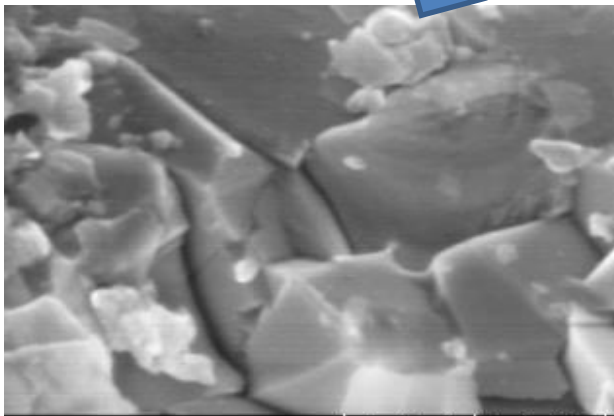
現有のグラフェン合成装置を用いて、極微量のNi ナノ粒子を複重層グラフェン内包技術により原料コストを 20%超の低減させることができた。

<詳細>

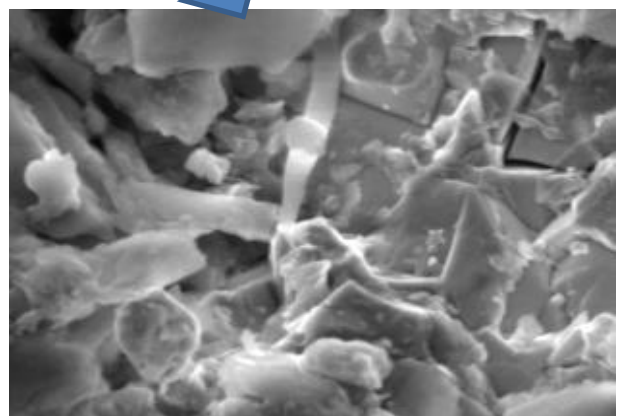
下記写真に示す通り、「WC+GP/CNT 材料」を焼結（複重量層グラフェン内包技術）することにより、目標を達成した。



WC+GP/CNT 材料



焼結後-1



焼結後-2

【1-3】WC-C のプラズマ焼結プロセスの開発 (平成 28 年度実施)

プラズマ焼結法を用いることで、短時間焼結を可能にし、粒度成長プロセスの前に焼結させ、また主原料のWC ナノ粒子に Co と同等効果の極微量のバインダー材として Ni ナノ粒子を鼻薬的に混合させることで、バインダレス WC と比較し靱性向上の傾向を捕らえることができた。

<詳細>

WC-C プラズマ焼結プロセス開発において、バインダレス WC と比較し靱性向上の傾向を捕まえた。

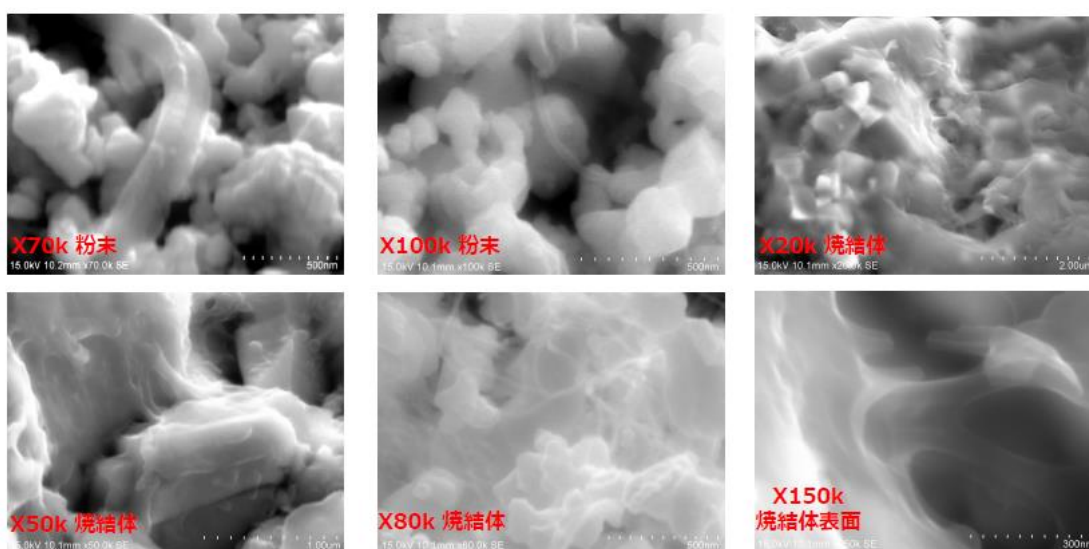
☆IF 法による靱性消化を実施し、GP4 で破壊靱性特性が大幅向上を確認

サンプル	密度 g/cm-3	硬度 HV1	破壊靱性値 IF MPa/m
WC	15.525	2847	5.1
WC-GP1	15.500	2704	6.6
WC-GP4 触媒なし	15.170	2827	5.9
WC-GP4 複合触媒	15.027	2534	12.5

- GP1：GP との分散混合
- GP4：WC 粉末には何も添加せずに複合媒体を使用した CVD で WC 粒子状に直接カーボンを成長させる（下図参照）

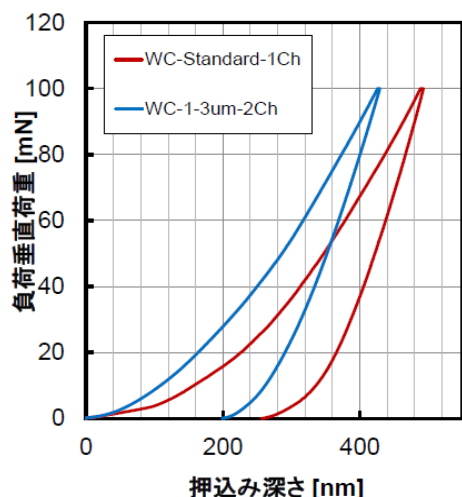


<GP4 生成方法>



<WC-GP4 粉末、及び焼結体：SEM 観察>

☆ナノインデンテーション測定により WC-1-3 μ m で高表面硬さ、高ヤング率を確認



サンプル	表面硬さ GPa	ヤング率 GPa
WC	25.7 $\pm$ 3.4	799 $\pm$ 158
WC-GP1	30.4 $\pm$ 1.2	780 $\pm$ 24
WC-1-3 μ m	39.1 $\pm$ 5.6	923 $\pm$ 199

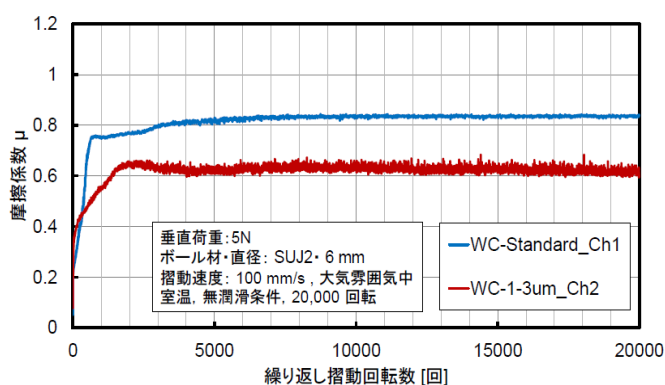
WC-GP1 : GP との分散混

WC1-3 μ m : WC 厚 1~3 μ m、GP との分散混合

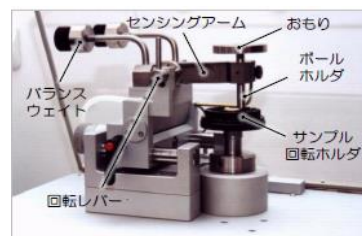
＜ナノインデンテーション測定とは＞

鋭くとがったダイヤモンド製針（圧子）を試料に押しこみ、この時の荷重と変位をリアルタイムで測定し、硬さ・弾性率を測定する手法

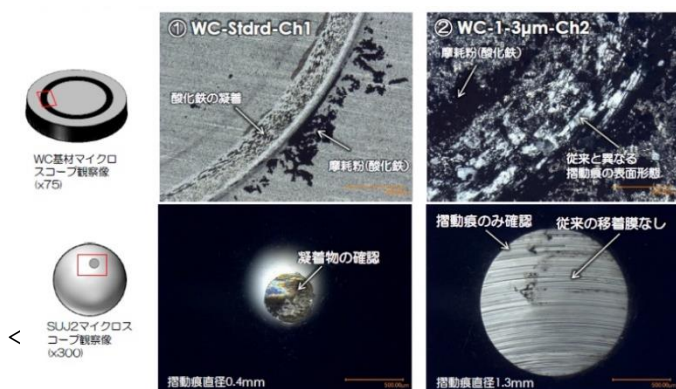
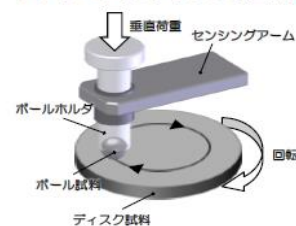
☆ボールオンディスク摩擦摩耗試験により WC-1-3 μ m で低摩擦係数を確認



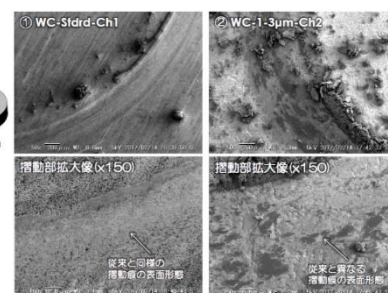
＜20000 回転摺動における摩擦係数の推移＞



図：ボールオンディスク装置外観図



＜20000 回転摺動 WC 機材/SUJ2 ボール表面観察像＞



＜摺動後表面 SEM 観察＞

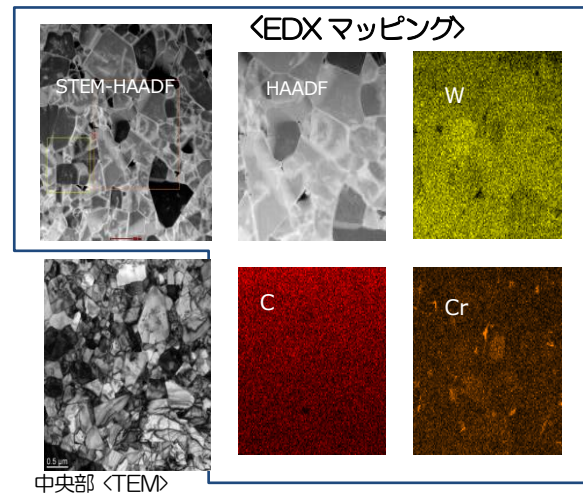
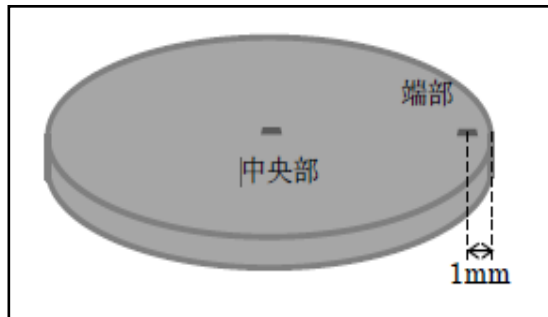
各研究機関の評価において、技術目標達成を確認した。

【1-4】超合金の高耐久性化（平成 28・29 年度実施）

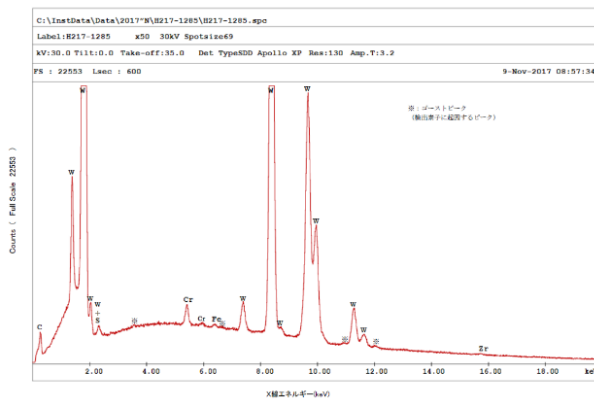
高靱性超硬材料と BN コーティング技術とを組み合わせた実際の高性能金型を試作し、技術目標である「既存合金の 20%以上の耐久性向上」を確認した。

<詳細>

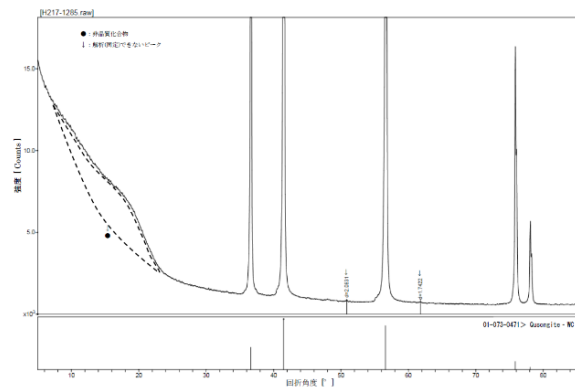
評価に使用した「高性能金型試料」の図面を下图に、右図に試料表面の元素分析を行った EDX マッピングを示します。



また、試料の特性評価に先立ち、電子線励起 X 線スペクトル、X 線回析分析、SEM 観測、含有確認元素測定、元素分布測定を実施した。



<電子線励起 X 線スペクトル>

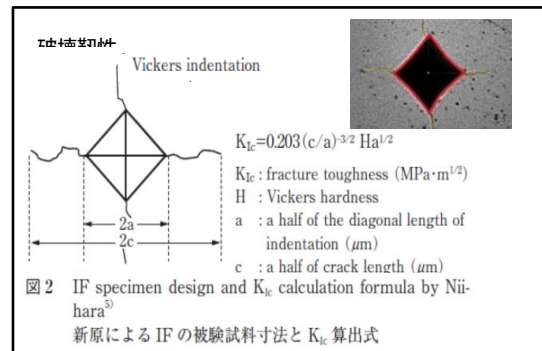


<X 線回析パターン>

試料は、WC の他に非晶質化合物が存在するが、X 回析パターンが非晶質カーボンの位置とは異なることと、元素分析において W 以外が微量であることから、W 系の化合物であると考えられる。C は WC として存在していることから、元素分布状況は W と同様であると考えられるが、C は W の約 1/15 の質量数であることに加え、C の検出感度が低いことから、分布確認できなかったものと考えられる。よって、本研究でターゲットとする試料であると判断できる。

前記試料で硬度、破壊靱性、密度、引張強度、圧縮強度、ヤング率などを実施した。

サンプル	硬度 (HV1)	破壊靱性 (Mpa/m)
GP4	1,920	18.2
従来超硬	1,900	9.0
SPS 標準 REF 品	2,400	4.0



• 硬度、破壊靱性試験

ー従来超硬との比較

硬度 : 従来超硬と同等

破壊靱性: 2 倍以上向上

耐久性 : 20%向上

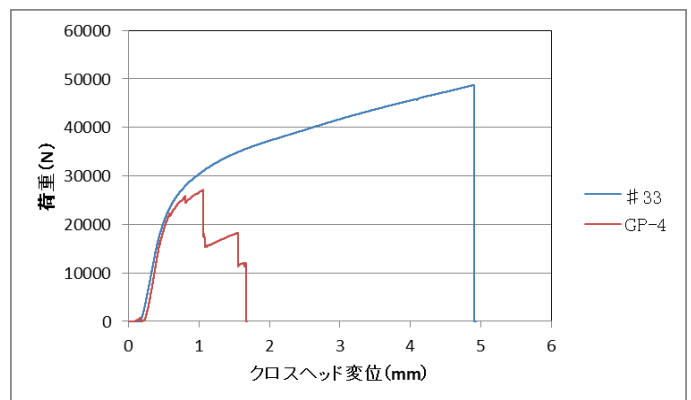
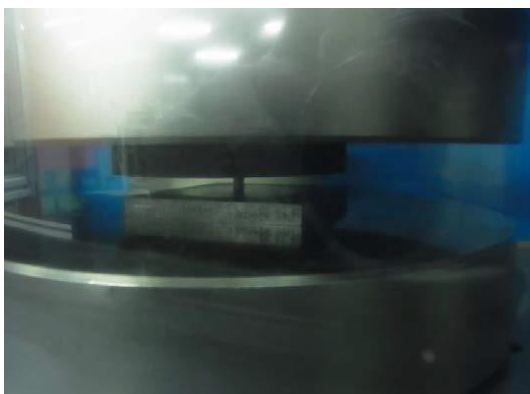
ーSPS 標準 REF 品の比較

硬度 : 従来超硬と同等

破壊靱性: 4.5 倍以上向上

• 圧縮強度

	厚さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (N)	厚さ強さ (N/mm ²)
GP4	3.29	3.05	7.73	10.03	27,158	2,708
コバルトス	3.06	3.09	7.60	9.46	48,726	5,151



本試料は、2.708GPa で破壊に至っているが、一般的に 0.5 μ mWC/8%Co での圧縮強度は、6GPa 程度である、但し、川下企業の量産ラインで問題無いレベルである。

【2】成形金型用 BN 膜コーティング技術の開発

【2-1】低温 BN 膜生成用 HF-CVD プロセス開発（平成 27 年度実施）

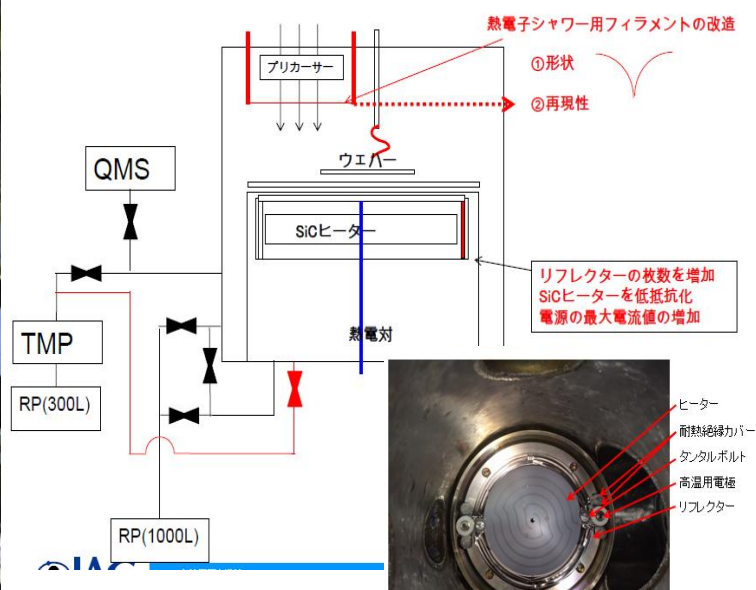
これまでの HF-CVD 装置を改造し、原子層毎に積層していくプロセスを開発し、成膜温度の低減を図り、目標である成膜温度 1,500℃以下を実現した。

＜詳細＞

次頁に示す、改造 HF-CVD 装置（写真、ブロック図を）で 1,200℃を実現した。

ステージ温度	1,200℃
ガス種／プリカーサー	自圧供給ライン：1 系統⇒2 系統 NH ₃ +エチレン(or 他のガス) バブリングライン：1 系統 (BN 用プリカーサー) 希釈 Ar ライン：2 系統 (希釈ガスライン)

改造した HF-CVD 装置の写真、及びブロック図を示します。



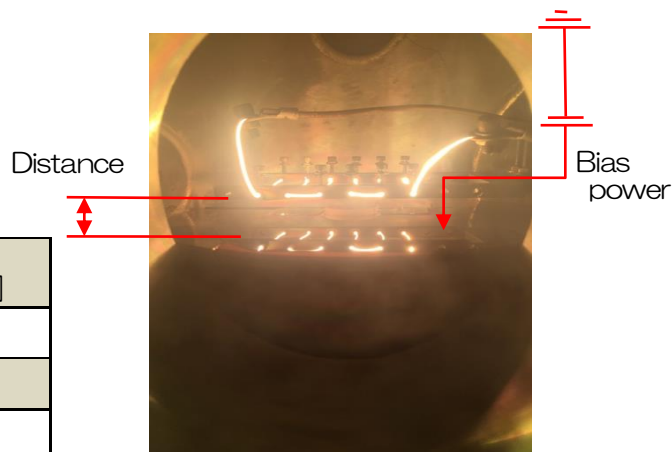
【2-2】成形金型用 BN 膜の最適な膜質制御条件の確立（平成 27・28 年度実施）

cBN と hBN の結晶組織および比率に対して、マイクロ金型コーティングに適した膜を製造し最適な膜質制御（hBN、cBN を生成し、hBN 中 B/N ほぼ「1」を実現）の条件出しを行うことができた。

<詳細>

次頁右図実験装置にて、Bias 電圧を、
-100V、-150V を印加することによる
SEM-EDX 観測の結果「組成比≒化学
量論比 1:1」を確認した。

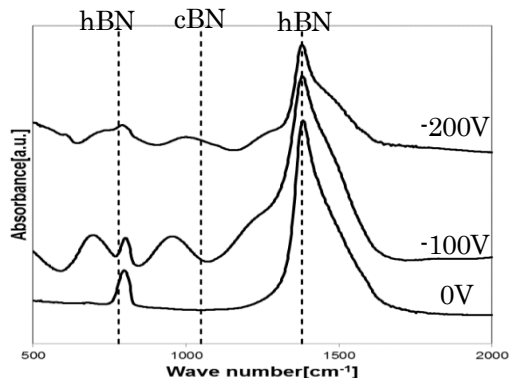
	B Atomic[%]	N Atomic[%]
0V	61	39
-100V	47	53
-150V	49	51



<FTIR 結果>

下記を確認

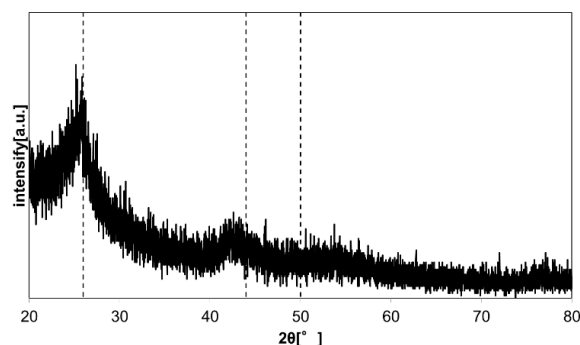
- 全ての条件で hBN のピーク
- 150V の時に弱い cBN のピーク



<XRD 結果>

下記を確認

- hBN のブロードピークと
- 微小な hBN+cBN のピーク

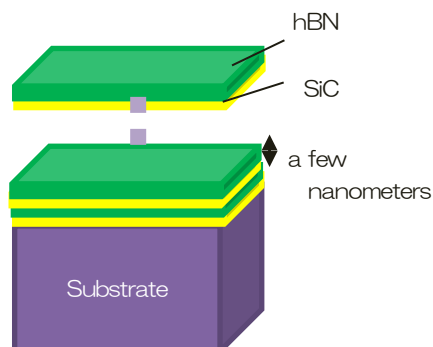


【2-3】3D 形状を有するマイクロ金型への BN 膜コーティング（平成 28・29 年度実施）

実成形加工（凹凸の有る金型）に BN コーティング膜を生成し、アドバイザーによる鍛造評価において、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。

<詳細>

【2-2】において、目標は達成したが「cBN」生成に関し量産化が難しいとの課題が見つかった。そこで、Ti 鍛造金型用 BN 膜開発コンセプトを、右図の通り「SiC + hBN + SiC + hBN + ...」とした。

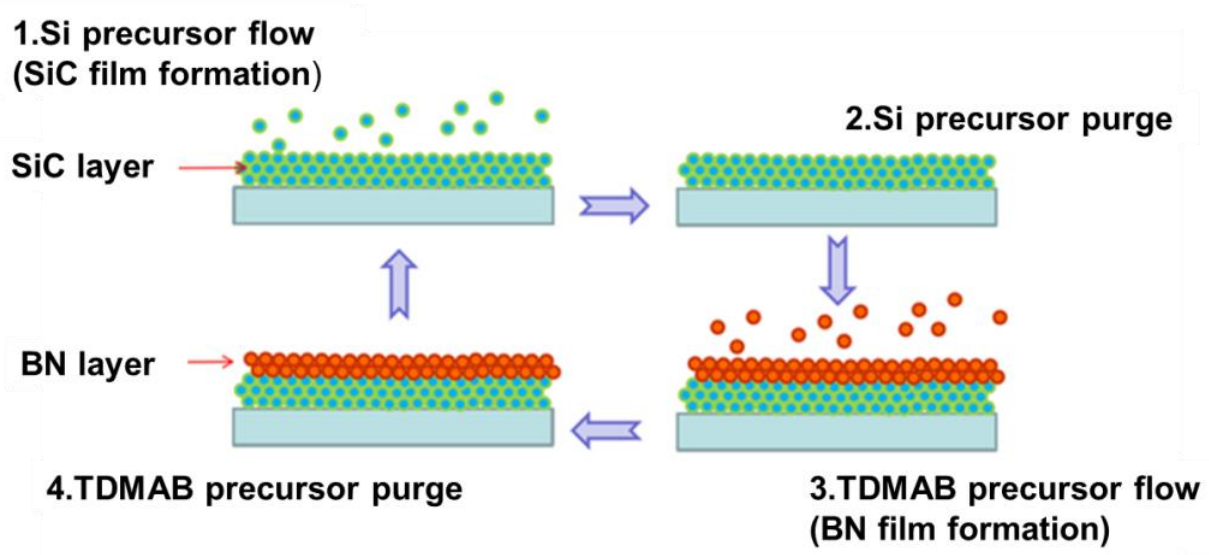


これにより、次の特徴を持つ BN 膜を生成することができる。

- SiC の材料特性により、垂直方向の荷重に対する高い強度
- hBN の材料特性により、水平方向の荷重に対する優れた摩擦特性
- 上記特性をレイヤー数・膜厚で制御可能

成膜の手順を示す。

熱フィラメント型化学気相成長法(HFCVD 法)を用い、フィラメント加熱による基板上での前駆体ガスの分解することにより、薄膜として堆積させる。

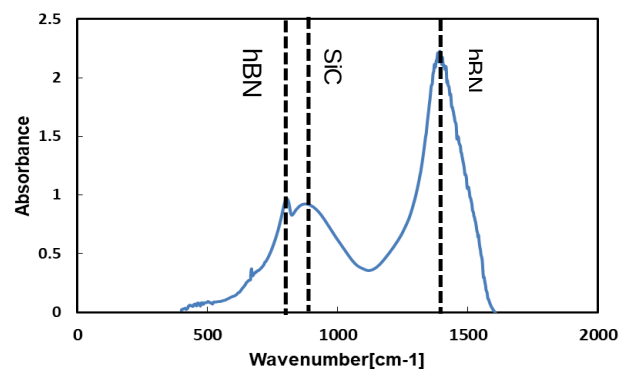
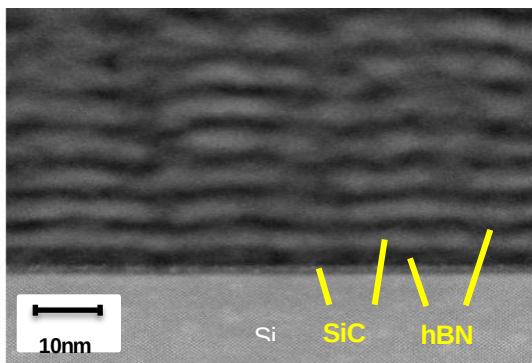


また、成膜条件は次の通りである。

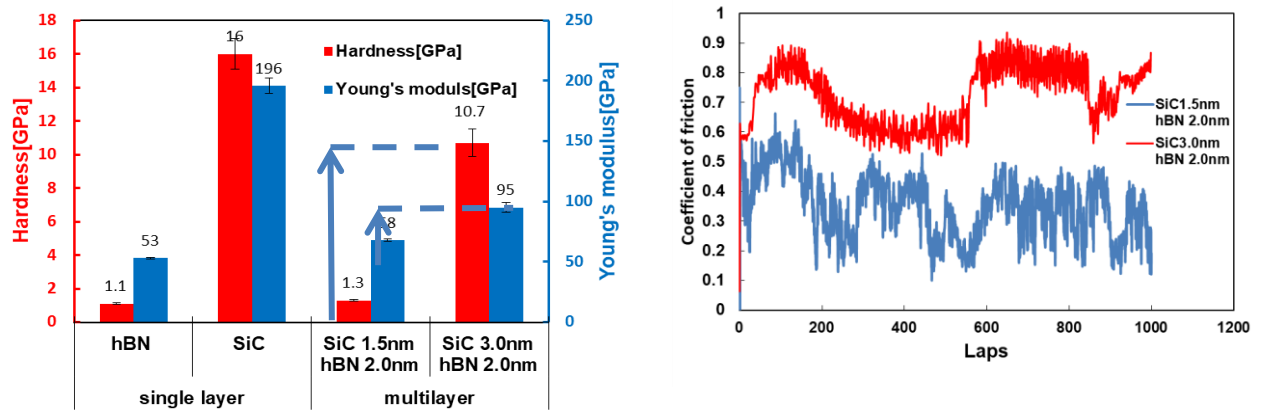
成膜時間[s]	
SiC層	1, 2
hBN層	30
サイクル数[回]	400
フィラメント温度[°C]	2000

基板	Si
圧力[Pa]	21
基板温度[°C]	800
ガス流量[sccm]	
SiC層	VS 10 Ar 230
hBN層	TDMAB 6 Ar 130 NH3 100

前記により成膜した BN 膜の TEM 観測（下左図）、化学結合状態の分析（下右図）を示すが、SiC 膜厚：約 3.0nm、hBN 膜厚：約 2.0nm、合計膜厚：約 2.0um の多層膜の製作に成功。

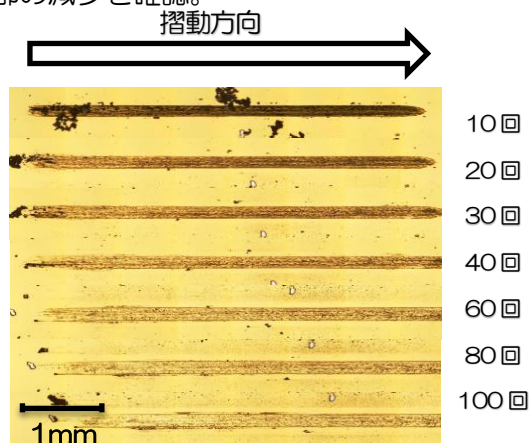


次に、成膜した試料の機械的特性（下左図）・トライボロジー特性評価（下右図）を実施。

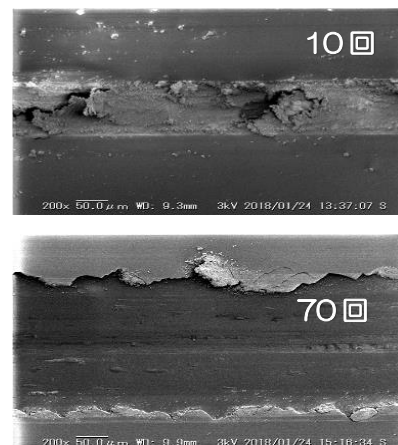


- ・機械特性：SiC の膜厚約 1.5nm⇒約 3.0nm の増加に伴い、
硬さ：1.3Gpa ⇒ 10.7Pa に増加、ヤング率：68GPa ⇒ 95GPa に増加を確認
- ・トライボロジー特性：SiC の膜厚約 1.5nm⇒約 3.0nm の増加に伴い、摩擦係数の増加を確認

最後に鍛造評価で懸念される「チタンの耐凝着性」に関する試験を行い下図の通り、チタンの凝着部の減少を確認。



チタンの凝着部の減少を確認



撓動回数 70 回でチタンの凝着部の消失

鍛造評価結果を下記に示す。

右図は、実際の評価を示す。金型に鍛造する Ti を設置し上部から加圧する。また、加工条件は、金型厚み：5mm、金型受台材料：WC-Co、加工スピード：0.5mm/s、加工モーション：振動印加で実施した。

右図評価で、Ti×100 個の鍛造を実施したが、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。



【3】精密部品成形用金型開発

【3-1】Ti 材精密プレス成形によるマイクロ成形の成形性の評価（平成 28・29 年度実施）

【3-2】金型の耐摩耗性・耐凝着性評価（平成 28・29 年度実施）

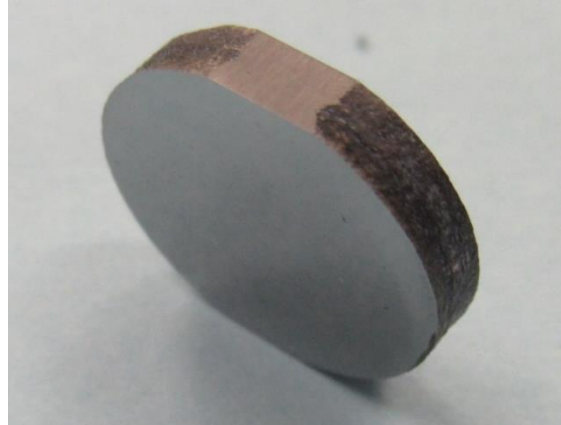
【3-3】医療用部品用マイクロ金型の創製（平成 29 年度実施）

Ti 材精密プレス成形によりマイクロ成形した WC-C 部材に BN コーティングを行い、また、医療用部品用マイクロ金型を試作し、アドバイザーによるプレス加工評価において、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。

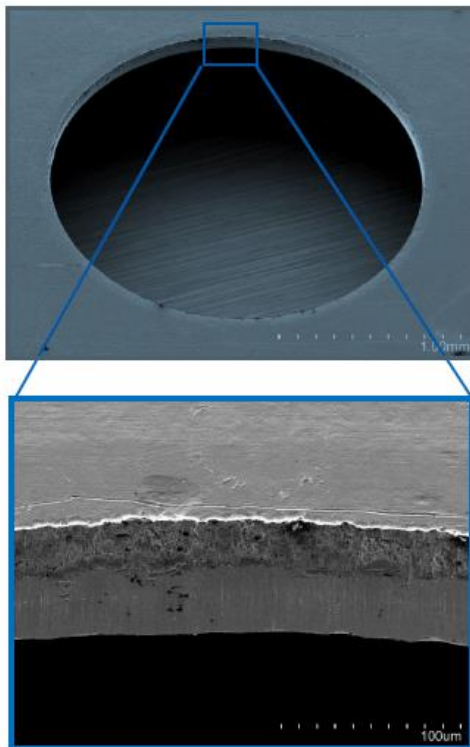
＜詳細＞

アドバイザーでの評価の結果、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。

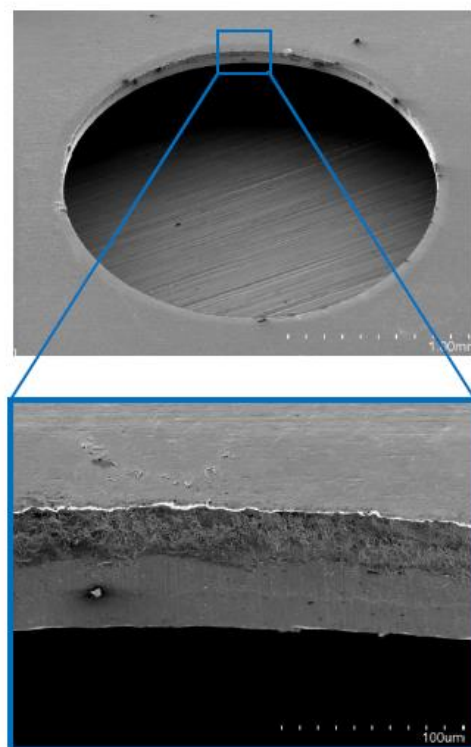
右写真は、量産ラインに問題無いレベルのサンプル画像を示す。



φ2mm プレス加工前後の SEM 観測結果を示す。

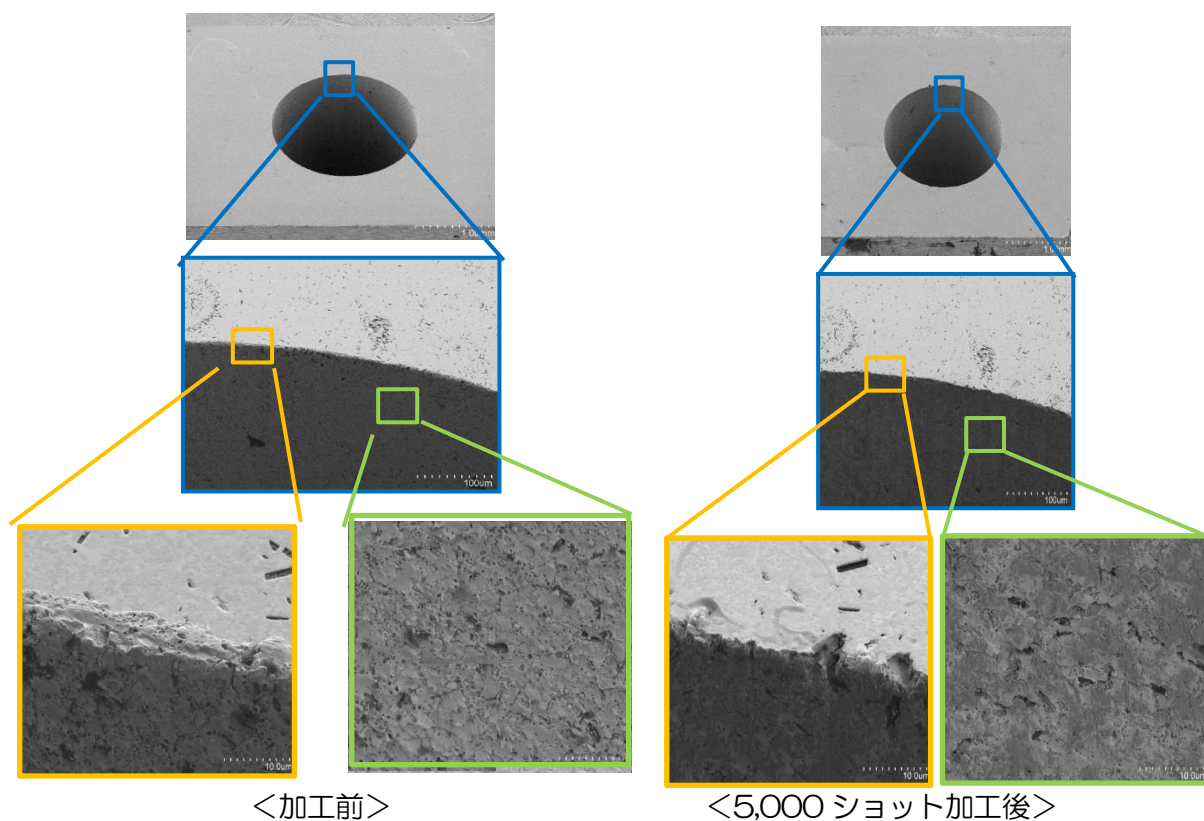


＜加工前＞

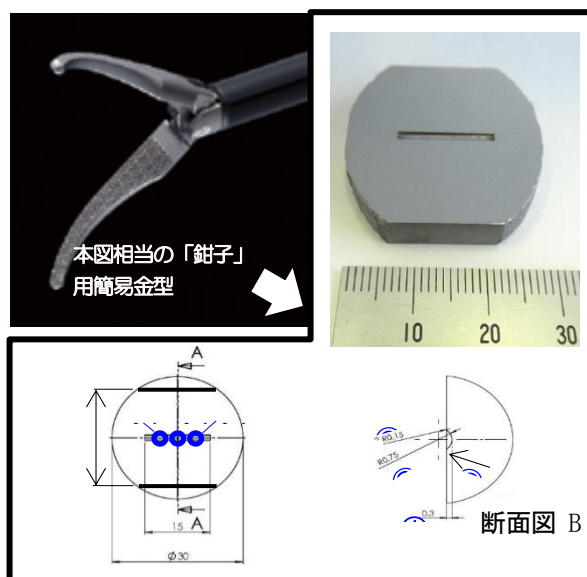


＜5,000 ショット加工後＞

打抜き用 $\phi 2.02\text{mm}$ ダイ 穴抜き前後 SEM 観察を示す。



医療用部品用マイクロ金型を試作し、アドバイザーによるプレス加工評価をにおいて、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。



・評価方法
量産ラインに近い
「丸線横据込方法」採用

丸横据込方法

線で集中

・評価結果

加工前膜表面

数回加工

<SEM 1,000 倍>

打痕ごとに BN 膜が剥がれていることを確認

上記評価において、量産ラインで問題無いレベルに達したことを確認した。

最終章 全体総括

• 複数線の研究成果

本研究では、現用の金型材料である WC+Co にナノカーボン系炭素を加えたり、Co の代わりに Ni ナノ粒子を使用しナノグラフェン炭素を分散させて焼結する方法で、高強度、高耐久性を実現した。更に、成形加工時の焼付き防止やチタンの移着防止のため窒化ボロン (BN) 膜を表面にコーティングする技術確立したことにより、当初の目標を達成した。

• 究開発後の課題・事業化展開

1) 商業化に向けてのコスト低減

WC 微粒子の入手性の困難 (納期の問題)

⇒ 安価な WC 粒子による開発

焼結後の後工程の省略化

⇒ Near Net Shape(ニアネットシェープ) 焼結による工程省略

2) BN コーティングの多様化

2000℃近い温度領域での BN 膜の合成 (耐熱材料に限定)

⇒ 離型剤として優秀な BN 材であるが、熱処理のカーボン治具へ BN コーティングの実施等

3) 金型としての実用化

Co レス超硬+BN 膜の金型材を開発

⇒ 高強度材や高靱性材と組み合わせた構造のハイブリット金型の開発

4) 他分野への展開

研究成果の活用方針・方法：本事業はアドバイザー企業の課題解決を当初の目標としている。

よって先ずは アドバイザー様での事業化を行い、その後 電子部品・自動車用部品への事業化を図る。