

平成20～22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「新超硬素材に対応した精密金型加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 5月

委託者 北海道経済産業局

委託先 株式会社太田精器

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	1
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	1
1-3 成果概要	3
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本論-1：最適組成素材の選択及び研究	
2-1 研究目的	5
2-2 選択及び焼結条件	5
2-3 分析結果及び考察	5
第3章 本論-2：焼結方法の確立と条件の分析	
3-1 研究目的	10
3-2 焼結条件と分析	10
3-3 分析結果及びまとめ	10
第4章 本論-3：新素材超硬合金の耐酸化性の研究	
4-1 研究目的	11
4-2 評価	11
4-3 まとめ	11
第5章 本論-4：特性評価及び特性の解明	
5-1 研究目的	12
5-2 評価結果	13
5-3 まとめ	13
第6章 本論-5：工作機械の仕様決定	
6-1 研究目的	13
6-2 評価及び仕様決定	14
6-3 まとめ	16
第7章 本論-6：最適加工方法の選定と確立	
7-1 研究目的	18
7-2 加工方法及び実施概要	18
7-3 まとめ	22
最終章 全体総括	23

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

昨今の DVD、デジタルカメラ、レーザープリンター等、光エレクトロニクスの需要の高まりに伴い、近年、樹脂系から転換した、光学ガラスレンズの更なる性能向上（屈折率・形状・収差の少ない）が求められている。

光学ガラスレンズの性能を向上させるためには、同レンズを製造するための金型の性能を向上させる必要があり、具体的には硬度・耐摩耗性・熱膨張係数に優れた、1300℃前後での精製が可能な（従来の精製温度は500℃～800℃）金型の開発が必要である。

現在、一般金型素材としては、高強度・高融点・高硬度の超硬合金が主流となり使われているが、上記の性能を持つ金型を製作するためには、従来の超硬金型を硬度・熱膨張率にて上回る、新素材の開発が重要である。

本研究開発事業は、超硬の主原料となる WC（炭化タングステン）粉末を現行の粒子の中でも超微粒子を使い焼結加工し、バインダー金属結合材＝コバルト等を含まない、ナノ粒子バインダレス超硬（以下＝ナノ超硬）を開発し、同超硬素材をもって、国内最高レベルの極めて高精度なガラス非球面レンズ金型の製造技術を確立することを目的とする。

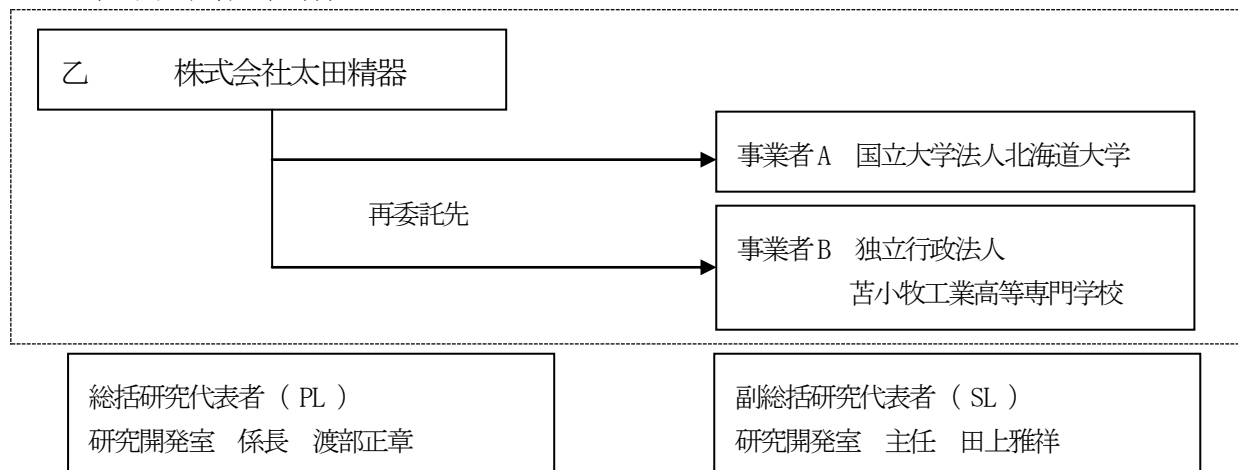
非球面レンズ金型を含む一般金型素材としては、高強度・高融点・高硬度として超硬合金が主流となり使われて来ているが、その中でも近年、樹脂系から転換した、ガラスレンズ金型の、DVD、デジタルカメラレーザープリンター等、光エレクトロニクスの需要が多くなる中で更なるガラスレンズの性能向上（屈折率・形状・収差の少ない）と、金型の硬度・耐摩耗性の向上が望まれて来ている。

そこで性能向上には従来の精製温度500℃～800℃以上から1300℃前後での精製が必要のため、硬度・耐摩耗性・熱膨張係数に強い、従来の超硬金型を硬度・熱膨張係数にて上回る、新素材の開発が重要であり。その為には超硬の主原料となる WC（炭化タングステン）粉末を超微粒子で焼結加工する事、バインダー金属結合材＝コバルト等を含まない、ナノ超硬の開発が必要である

1-2 研究体制

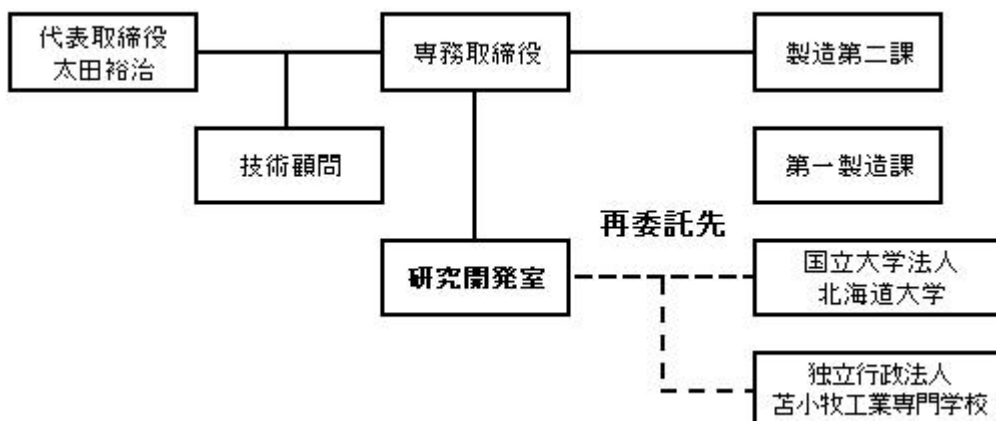
1. 研究体制 (1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)



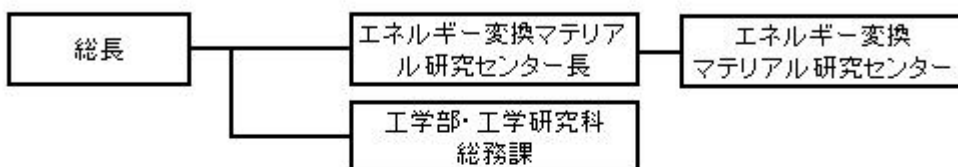
2) 管理体制

①. 管理法人 (株式会社太田精器)



②. 再委託先

国立大学法人 北海道大学



独立行政法人 苫小牧工業高等専門学校



③. 管理員及び研究員

【事業管理者】 株式会社太田精器

・管理員

氏名	所属・役職
澤田石 征志	専務取締役

・研究員

氏名	所属・役職
渡部 正章	研究開発室 係長
田上 雅祥	研究開発室 主任
松原 章洋	研究開発室 主任

【再委託先】 ※研究員のみ

国立大学法人 北海道大学

氏名	所属・役職
黒川 一哉	エネルギーマテリアル融合領域研究センター・教授
山内 啓	同上 助教

独立行政法人 苫小牧工業高等専門学校

氏名	所属・役職
高澤 幸治	機械工学科 准教授

④. 研究開発委員会委員リスト

	氏名	所属・役職
委員長	黒川 一哉	北海道大学 エネルギーマテリアル融合領域研究センター 教授
副委員長	高澤 幸治	苫小牧高等工業専門学校 准教授
委員	山内 啓	北海道大学 エネルギーマテリアル融合領域研究センター 助教
委員	渡部 正章	株式会社太田精器 研究開発室 係長
委員	田上 雅祥	株式会社太田精器 研究開発室 主任
委員	松原 章洋	株式会社太田精器 研究開発室 主任
アドバイザー	安藤 秀夫	SPS シンテックス株式会社 グループリーダー

1-3 成果概要

1. 最適組成素材の選択及び研究

本研究では、超微粒 WC 粉末の焼結に最適な結合材を選定するために、極微量の添加元素が WC 焼結体の様々な特性に影響を及ぼす可能性を考慮して、まず各種純金属および炭化物が WC 焼結体の組織やビッカース硬さに及ぼす影響について調査したが、純金属：Ta、Re、Nb、Si、B および炭化物：bC、TaC、TiC、Cr₃C₂ で焼結実験を行ったが WC の粒成長を抑える事が出来ず硬度も HV2500 以上確保できなかったが、各種金属元素や炭化物添加によるナノ WC 単体焼結体の特性への影響について調査し、結晶粒の成長や機械的特性の低下をもたらす傾向を明らかにした。

また、WC 単体での焼結実験をおこなった結果、プラズマ焼結炉でのある条件下では結合材なしでも、現在使用されている商用 WC 焼結体より特性の優れる結晶粒径の小さいナノ WC 単体焼結体の作製に成功し現在では、WC100%でのφ60×高さ 40 mm程度の大きさの開発に成功した。

2. 焼結方法の確立と条件の分析

SPS シンテックス社所有の、放電プラズマ焼結炉(SPS 法(注5)) S P S - 3 . 2 0 M K V I にてΦ30×15 tの焼結形状を目標に、確立した焼結条件で WC100%の焼結体の焼結に成功した

3. ナノ超硬合金の耐酸化性の研究

WC100%では、既存の結合材入り超硬合金と比較しても、耐酸化性に関しては、劣る事からWC焼結体の耐酸化性評価に関して調査し、SiおよびSiC添加による耐酸化性の改善効果について明らかにした。ナノWC単体焼結体の耐酸化性はSi添加によって向上することが明らかとなったがしかし、これまでの結果から他の特性が低下することが危惧されるため、耐酸化性の向上に関する元素の添加は慎重に行う必要があると考えられる。

4. 特性評価及び特性の解明

大手レンズメーカーからの意見で硬度・破壊靱性・熱膨張係数が最も重要との事と、また素材の特性データとしては、学校もしくは大学関係ではなく専門の研究施設でのデータが重要とのご指摘から、測定に関しては財団法人：ファインセラミックセンターに測定の協力を仰ぎ測定して頂いた。

測定結果として、HV（硬度）2700以上・破壊靱性5.6Kc・熱膨張係数（本論資料を参照）比較の為、バインダレス超硬では国内で最も硬く商用されているM78、一般のバインダレス超硬と比較として測定した結果、硬度・破壊靱性・熱膨張係数全てにおいてナノ超硬が上回る結果が得られた、また結合材がないWC100%の超硬にも関わらず破壊靱性値が伸びた事に関しては、ナノ材の特性が1点判明した結果となった

5. 工作機械の仕様決定

試作用のガラスレンズ金型の図面を研削盤メーカーに送り、ヒアリングした結果を元に選考を重ねた結果、(株)三井ハイテック社製CNC精密平面研削盤MSG-618PC-CNC（円筒研削機能付特注仕様）を採用した。その一番の理由は、旧来の円筒研削加工方法とは異なる、ワークに対して砥石車を直角方向へ切入むラジアル円筒研削方法である。

6. 最適加工方法の選定と確立

パンチ・スリーブの外周円筒研削加工、及び端面の円筒研削加工方法に於いては、本研究開発事業にて、一定の成果を上げる事は出来た。それは、ナノ超硬の研削加工に於ける被削性が、一般的な超硬合金と比較して何ら劣る事が無い点である。従って、研削加工による生産性に関しては、ナノ超硬と一般的な超硬合金では特に差異はないと判断出来る。特に、スリーブ外周の円筒研削加工方法に、センターレス外周円筒研削加工方法を採用出来た事は、量産性を確保する上で非常に有効である。

従って、新素材超硬合金に関しては、既に確立されている一般的な超硬合金によるレンズ金型の研削加工による条件・加工方法をそのまま流用する事が、最適加工方法となる。

ナノ超硬だけに限った話ではないが、スリーブの内面円筒研削加工に関しては加工速度が著しく遅い点が問題となる。本研究開発事業ではあらゆる研削加工方法に広く対応させる為、CNC制御平面研削盤を万能研削盤仕様に改造した研削盤を使用して試削加工を行ったが、レンズ金型専用加工機（超高精度円筒研削盤）を使用してスリーブ内面の円筒研削加工を行えば、より適切な加工条件で効率的に加工出来る可能性がある。

今後の検証内容として、レンズ金型専用加工機を製造している工作機械メーカー様に御協力を頂き、専用加工機で加工を行った場合の研削加工性の検証を行う事を目標としたい。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社太田精器

研究開発室 係長・総括代表責任者 (PL) : 渡部正章

TEL:0125-65-2759 FAX:0125-65-2765

E-mail : masaaki-watabe@ohtaseiki.co.jp

第2章 本論-1 : 最適組成素材の選択及び研究

2-1 研究目的

携帯電話、ブルーレイディスク、デジタルカメラ、レーザープリンター等の普及に伴い、光エレクトロニクスの需要が高まって、樹脂系から転換した光学ガラスレンズの更なる性能向上(屈折率・形状・収差の少ない)が求められている。光学ガラスレンズの性能を向上させるためには、同レンズを製造するための金型の性能を向上させる必要があり、具体的には硬度・表面粗さ・耐摩耗性・熱膨張率などに優れた金型の開発が必要である。

現在、一般金型素材としては、超硬合金が主に使われているが、上記の性能を持つ金型を製作するためには、従来の超硬金型を硬度・熱膨張率にて上回る、新素材の開発が必要不可欠である。本研究開発事業は、超硬の主原料となる WC (炭化タングステン) 粉末を現行の粒子の半分 (60~80nm) とし、さらにバインダー金属結合材 (=コバルト等) をなるべく含まないナノ超硬材料の焼結体を作製し、同超硬素材をもって、国内最高レベルの極めて高精度なガラス非球面レンズ金型の製造技術を確立することを目的としている。

2-2 選択及び実験方法

出発粉末には、超微細粒の WC 粉末 (60~80nm)、各種純金属粉末 (Nb, Re, Ta, Si, B, Ti) および各種金属炭化物粉末 (SiC, TiC, NbC, TaC, Cr₃C₂) を用いた。それぞれの粉末をボールミルにて混合した後、SPS (放電プラズマ焼結) 法により焼結体を作製した。SPS 時の昇温速度や圧縮応力などの条件の影響についての調査も行った。焼結体の評価には、電界放射型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) による組織観察、ビッカース硬度と破壊靱性値や密度測定などを行った。また、耐酸化性の評価試験として、大気酸化試験を行った。試料は、WC、WC-3、6、12mol%Si、WC-3、6、12mol%SiC 焼結体とし、切断・研磨・脱脂の前処理をした後、大気雰囲気、873K と 973K の各温度で 10 時間の酸化試験を行った。試料の酸化前後の質量測定から酸化質量増加量を求めた。酸化前試料および酸化皮膜の観察・分析・同定には、FE-SEM、電子線マイクロアナライザー (EPMA)、X 線回折法 (XRD) を用いた。

2-3 分析結果及び考察

図1は、昇温速度 50 K/min および 150 K/min で SPS を行った際に得られた WC の焼結挙動である。いずれの条件においても、焼結は完了し、バインダーレス WC 焼結体を得ることが可能であった。また、いずれの昇温速度においても、理論密度と同程度の緻密な焼結体を作製することが可能であった。さらに、WC 焼結における昇温速度依存性を調べたところ、150 K/min までほぼ理論密度と同程度の値を得られることがわかった。続いて、図2は、WC 焼結体の結晶粒径に及ぼす SPS の昇温速度依存性を、図3はその際の WC 焼結体の SEM 観察結

果について示す。図 2 より、昇温速度の上昇に伴って、WC の平均粒径が減少していくことが明らかである。50-100K/min. では、平均粒径が 500 μm 以上と大きくなっていた。これは図 3 に示されるように優先成長方位を有した結晶粒の成長がみられるためである。それに対して、150-200K/min. では結晶粒成長が抑制され、平均粒径が約 200 μm 程度であった。また、ビッカース硬度試験及び破壊靱性値には、昇温速度による顕著な影響は見られなかった。以上の結果から、焼結時の昇温速度は 150K/min. 程度が妥当であると判断した。さらに、焼結終了温度を低下させるために、焼結時の圧力を増加させるとより効果的であると考えた。新たな焼結条件で WC を焼結した結果、密度は理論密度と同程度の 15.7g/cm³、平均粒径 100-150nm、硬さ、破壊靱性値も良好な焼結体を得ることができた。参考として、表 1 に他の WC 焼結体とのビッカース硬度、線熱膨張率、破壊靱性値の比較を示す。

続いて、WC 焼結体の特性に及ぼす微量添加元素の影響について調査を行った。まずは、金属元素の影響について示す。図 4 は、WC 焼結体の密度に、図 5 は WC 焼結温度に及ぼす微量添加金属元素の影響を示す。Si、Ti、B 添加時に、密度は低下したが、Re、Ta、Nb 添加では密度は WC 単独とほぼ同一であった。焼結温度は、Si、B、Nb 添加時には下がったが、他の元素については影響が見られなかった。また、組織観察結果 (図 6) から、WC 結晶粒はいずれの添加元素においても成長していることが確認された。ビッカース硬度 (図 7) や破壊靱性値は、WC 単独焼結体と比較して著しく減少していることがわかった。次に、添加炭化物の影響について示す。図 8 は、WC 焼結体の密度に、図 9 は WC 焼結温度に及ぼす微量添加炭化物の影響を示す。焼結体の密度は、炭化物添加において著しい低下はみられなかった。焼結温度も SiC 添加において低下するものの、ほとんど炭化物添加は影響を及ぼさないことがわかった。しかしながら、金属元素と同様に、WC 結晶粒の成長や破壊靱性値の低下をもたらすことがわかった。ビッカース硬度については、炭化物添加による影響はほとんど見られなかった。これらの結果から、金属元素や炭化物元素を 1mass%程度添加することで、WC 結晶粒の成長や機械的特性 (硬さ、破壊靱性値) の低下をもたらす傾向を示した。また、表 1 で示した WC 単体焼結体の特性が従来材 (M78 など) と比較して優れており、結晶粒径の小さいナノ WC 単体焼結体は有望と判断される。

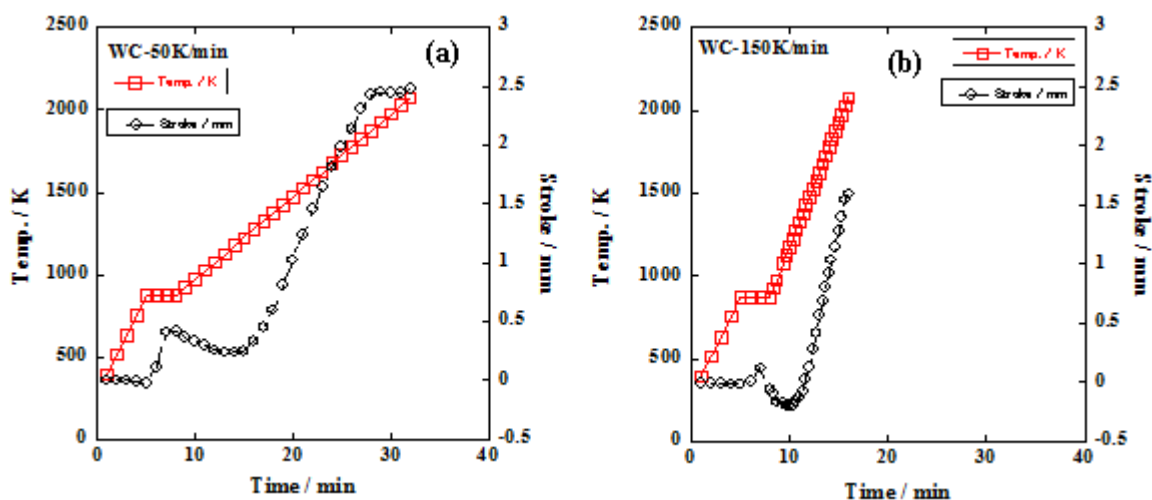


図 1 WC 焼結挙動におよぼす昇温速度の影響 (a) 50 K/min、(b) 150 K/min.

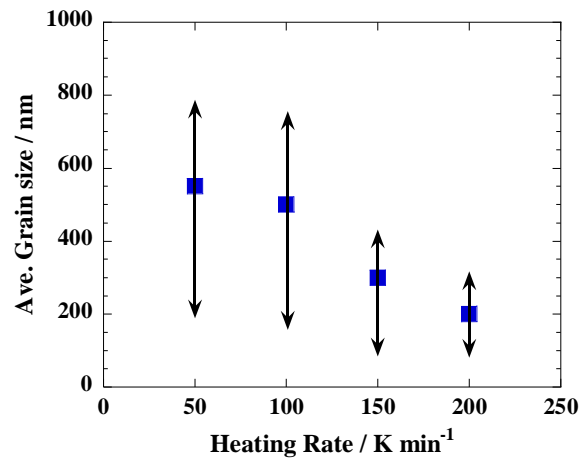


図2 WC 焼結体の結晶粒径に及ぼす昇温速度依存性

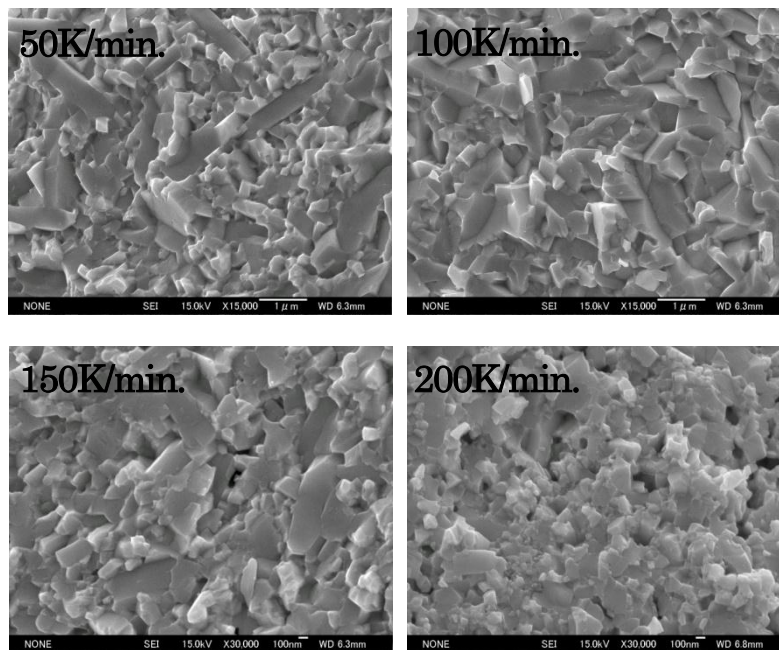


図3 WC 焼結体のSEM 観察結果；(a)50K/min、(b) 100K/min、(c) 150K/min、(d) 200K/min.

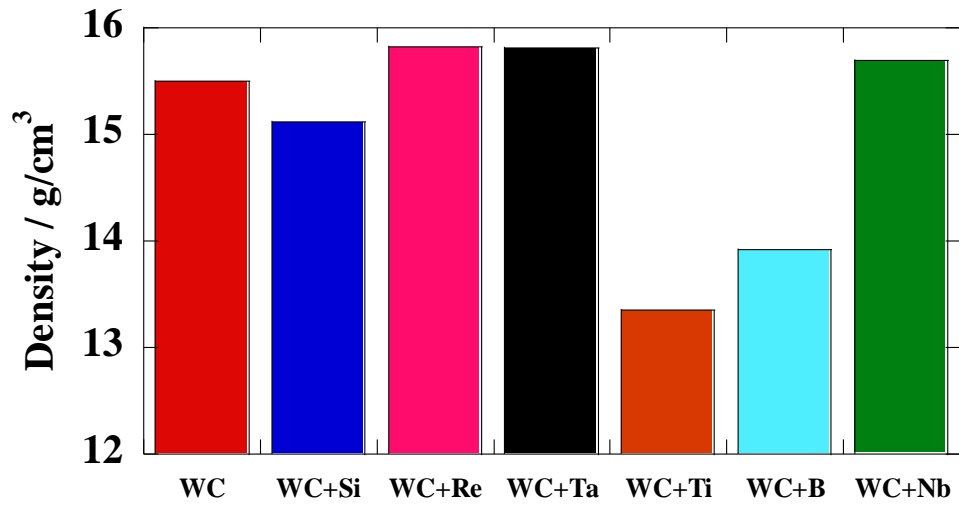


図4 WC 焼結体の密度に及ぼす微量添加金属元素の影響

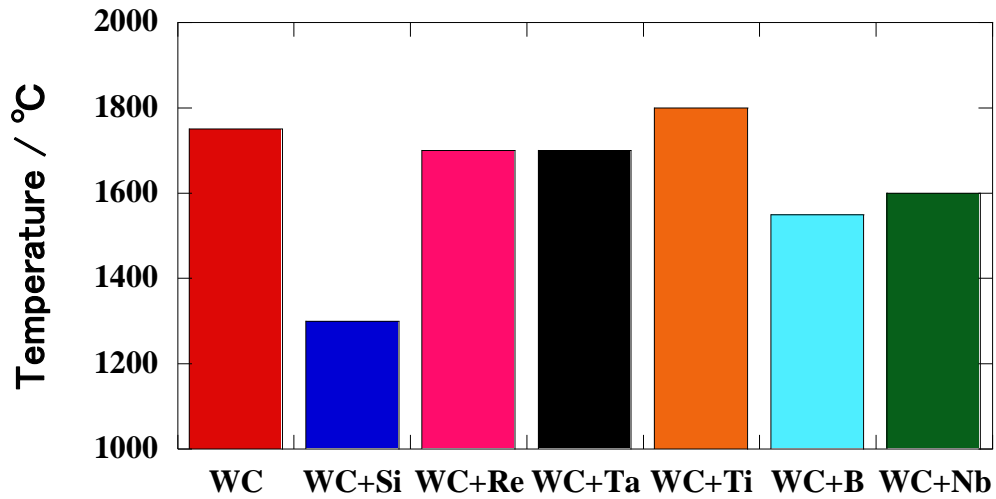


図5 WC 焼結体の焼結温度に及ぼす微量添加金属元素の影響

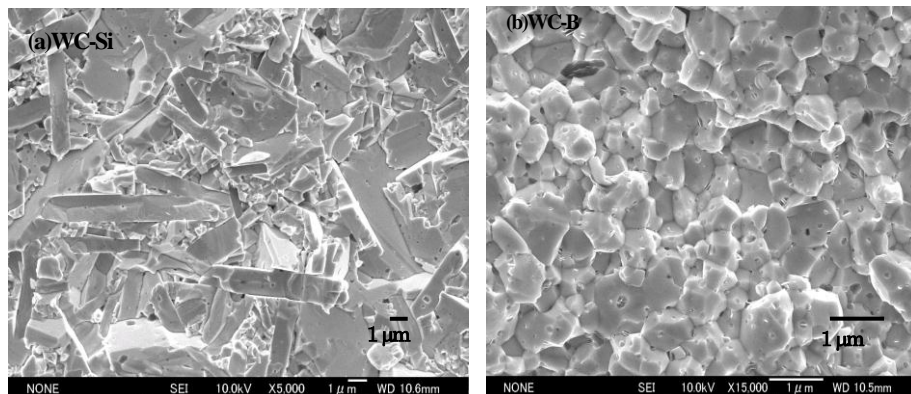


図6 WC 焼結体組織のSEM 観察結果 (a)WC-Si、(b)WC-B

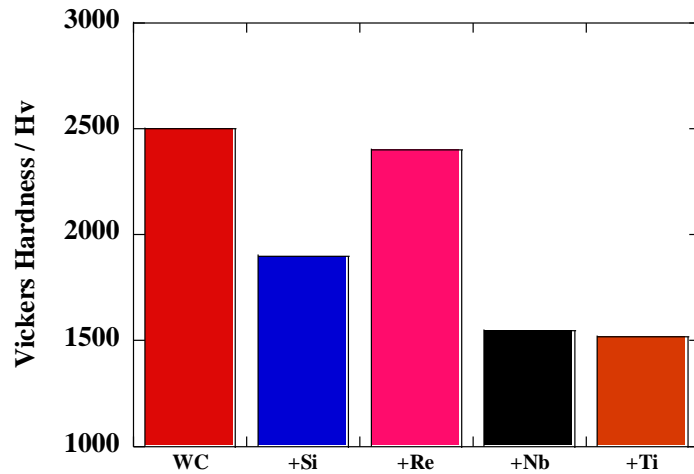


図7 WC 焼結体のビッカース硬度に及ぼす微量添加金属元素の影響

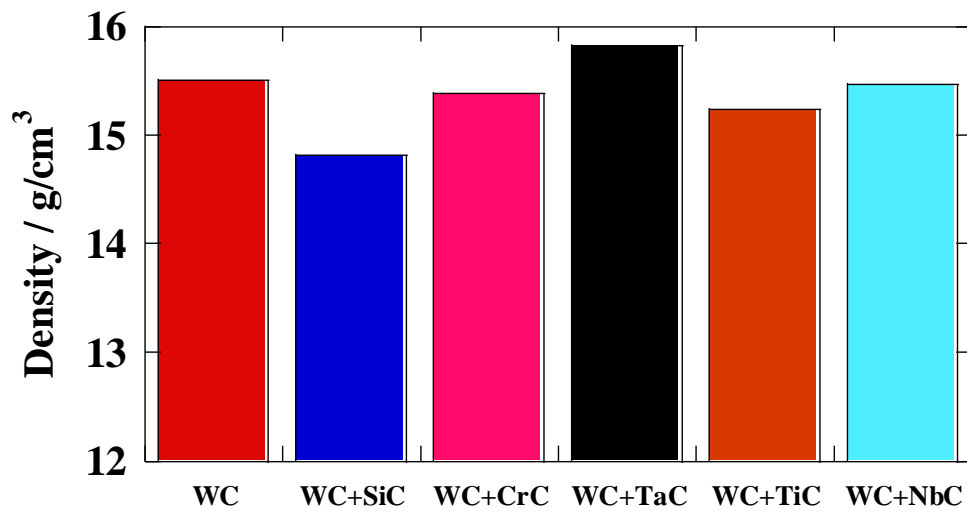


図8 WC 焼結体の密度に及ぼす微量添加炭化物の影響

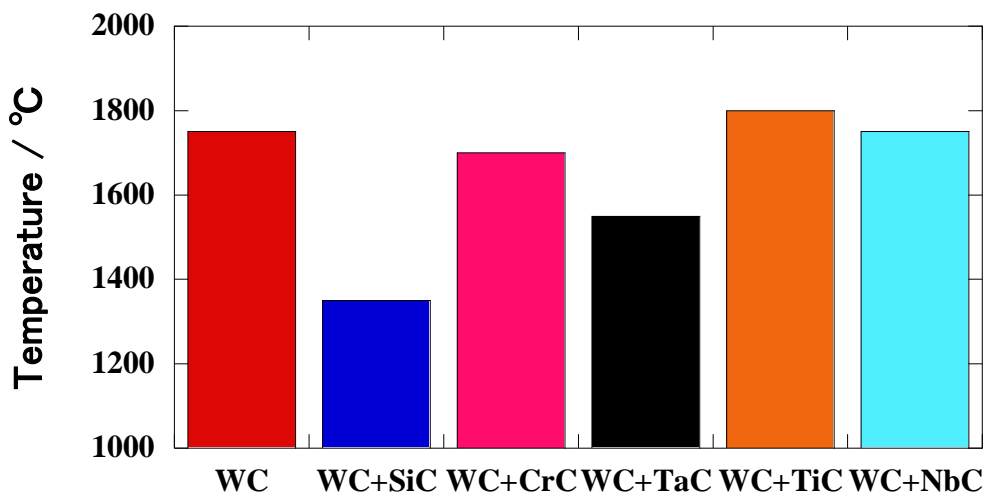


図9 WC 焼結体の焼結温度に及ぼす微量添加炭化物の影響

本論-2：焼結方法の確立と条件の分析

3-1 研究目的

SPS シンテックス社所有の、放電プラズマ焼結炉(SPS 法(注7))にて $\Phi 20$ の焼結形状を目標に、焼結圧力 40MPa(注8)以上・焼結温度 1850 以上の焼結条件を元にSPS焼結装置：トンネル構造型式SINTEREXPERT5221 を使用しテスト焼結をする。

さらにガラスレンズ金型に必要な物性性能である、酸化量を、現状大気中電気炉内放置条件 700°C・10時間で酸化量 0.050 g/cm²以下を目標に、バインダーレス焼結圧力・焼結温度・放置時間と改善方法等の研究を行う

3-2 焼結条件と分析

SPS 法によってナノ超硬焼結体の作製を行うにあたり、昇温速度、圧縮応力、到達温度、保持時間などが焼結体の組織に与える因子として考えられる。そこで、まず昇温速度が焼結体組織に及ぼす影響について調査を行った。

50°C/min. ~200°C/min. まで昇温速度を変化させてナノ超硬焼結体を作製した。その結果、50~150°C/min. までにはほぼ理論密度に近い値を得ることができたが、200°C/min. の条件では緻密な焼結体の作製は困難であった。また、いずれの条件においても焼結温度は 1700°C程度であった。さらに、一部の試料において、1750-1800°C付近で急激な stroke 上昇が観察された。

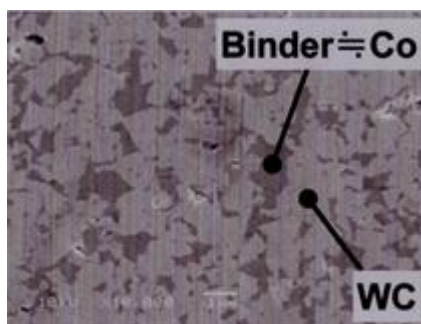
これは WC が α -W₂C と C(↑)に分解する反応に起因していると考えられる。この反応は 1760°C以上で起こることが報告されている。したがって、焼結温度をなるべく低くすることで上記の反応が起こらないように焼結する必要がある。

続いて、昇温速度を固定し、焼結終了温度がある温度以下、安全マージンを考えて希望温度以下に抑えられるような条件(圧縮応力等)について調査した。その結果、ある一定温度まで 150°C/min. 昇温し、初期の圧縮応力 40MPa から 50MPa へ加圧する。その後、50°C/min. で、ある一定温度まで昇温して焼結を終了するという条件を導いた。

この条件にすることで、WC 焼結体作製時の焼結温度を WC→ α -W₂C+C という反応が起きない 1600°C以下にすることが可能となった。このことは、焼結完了温度付近における急激な stroke の上昇を示さなくなったことから裏付けられている。この条件で作製した WC 焼結体は相対密度も 98%以上を示し、その焼結体を構成している結晶粒サイズも約 100nm 程度と比較的結晶粒の成長が抑制されていることもわかった。

3-3 分析結果及びまとめ

SPS シンテックス社所有の、放電プラズマ焼結炉(SPS 法(注5))SPS-3. 20MKVIにて $\Phi 30 \times 15$ tの焼結形状を目標に、確立した焼結条件で昇温して焼結を終了するという条件を元に焼結圧力 50MPa・温度 800°C未満では、圧力は 20MPa 温度 800°Cを超えてから圧力を 40MPa で行いある一定温度を超えてからは 50MPa へ増圧し、粒成長を抑える為に昇温プログラムを室温~ある一定温度まで保ち~通電停止温度まで 100°C/min で昇温の確立した条件でWC 100%の焼結体の焼結に成功した



・一般超硬合金



・WC100%超硬合金

第4章 本論-3：新素材超硬合金の耐酸化性の研究

4-1 研究目的

WC 以外のバインダー成分（コバルト等）を一切含まない新素材超硬合金（以下ナノ超硬）は、従来の結合材を使用する超硬合金より酸化しやすいため、本年度では、ナノ超硬の耐酸化特性に関する調査・分析を行う

4-2 評価試験

耐酸化性の評価試験として、大気酸化試験を行った。試料は、WC、WC-3、6、12mol%Si、WC-3、6、12mol%SiC 焼結体とし、切断・研磨・脱脂の前処理をした後、大気雰囲気、873K と 973K の各温度で 10 時間の酸化試験を行った。試料の酸化前後の質量測定から酸化質量増加量を求めた。酸化前試料および酸化皮膜の観察・分析・同定には、FE-SEM、電子線マイクロアナライザー（EPMA）、X 線回折法（XRD）を用いた。

4-3 まとめ

ナノ超硬の耐酸化性評価に関する調査を行った。図 10 は、各試料の 873K と 973K、大気雰囲気での 10 時間酸化後における酸化重量増加量を示す。酸化温度 873K では、Si 添加および SiC 添加ともに重量増加量は低下しており、WC の耐酸化性は改善されていた。それに対して、973K では、Si 添加により重量質量増加量は低下しており、耐酸化性の改善が見られるが、SiC 添加した試料では WC よりも重量増加量が大きく、耐酸化性が低下していた。さらに、酸化温度に関係なく Si 添加量の増加に伴って酸化重量増加量は小さくなる傾向を示したが、その影響は小さかった。図 11 は、WC-12Si の酸化温度 973K、10 時間酸化により形成された酸化皮膜/下地の界面付近の観察結果と EPMA による面分析結果を示す。組織観察結果より、皮膜中にクラックが縦方向に発生していることがわかる。また、EPMA 面分析結果より、クラックの中心には SiO_2 が分散していた。Si 添加により耐酸化性が改善されたのは、酸化皮膜中に SiO_2 が形成されて酸素の内方拡散が抑制されたためと考えられる。これらのクラックは、形状から WO_3 酸化物と SiO_2 の熱収縮差によって形成されたものと推測される。SiC 添加試料では、Si 添加試料と比較して WC 結晶粒の成長が顕著にみられたため、SiC の分散がまばらになり、耐酸化性の改善効果が小さくなったものと推測される。以上の結果から、ナノ超硬の耐酸化性は Si 添加によって向上することが明らかとなった。しかし、これまでの結果から他の特性が低下することが危惧されるため、耐酸化性の向上に関する元素の添加は慎重に行う必要があると考えられる。

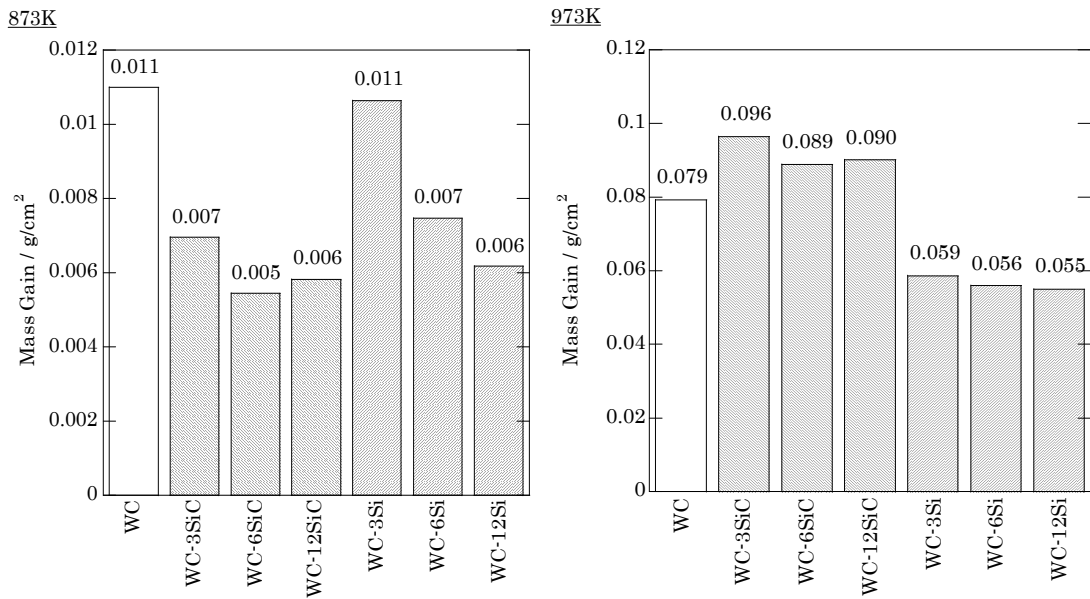
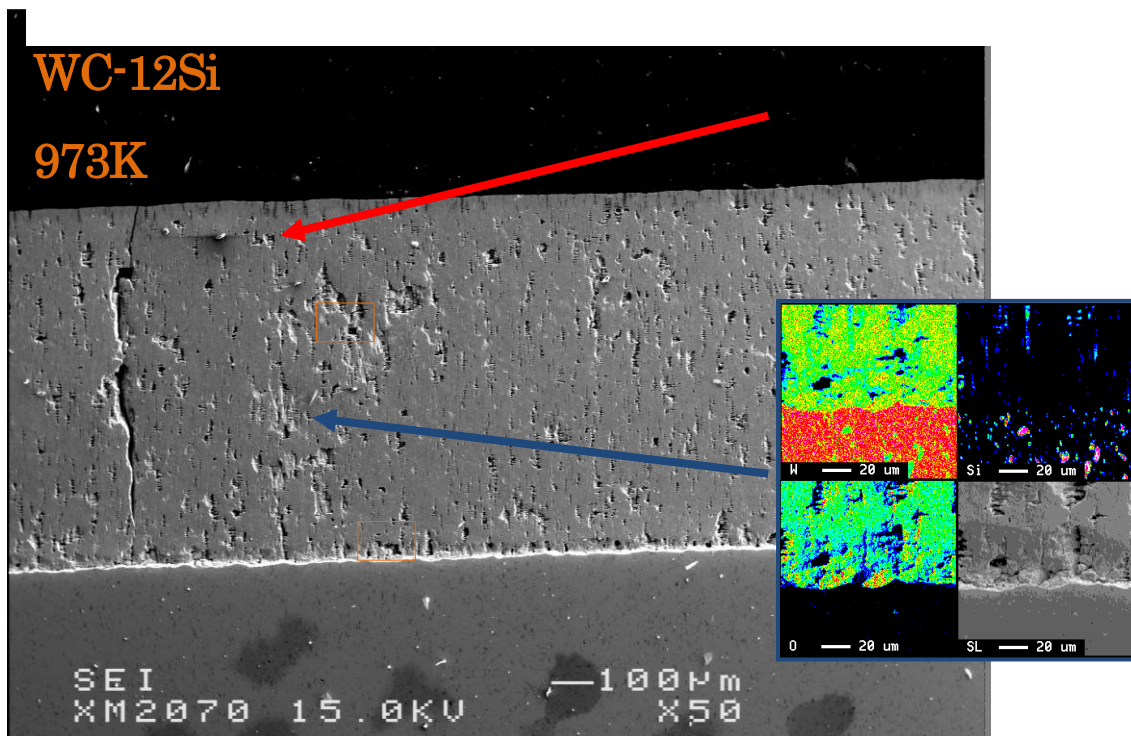


図 10 873K および973K、10 時間大気酸化における WC 焼結体の酸化重量結果



第5章 本論-4：特性評価及び特性の解明

5-1 研究目的

完成した、ナノ超硬の各特性評価（硬度 2600mHv 以上・坑折力を 150kgf/mm² 以上・圧縮強度を 500kgf/mm² 以上・熱膨張係数を $4.0 \times 10^{-6}/K$ ・酸化量 0.050 g/c m²以下を目指す）の解析

5-2 評価結果

	分類	材種	WC粒子径	密度	硬さ(HV)	圧縮強度	破壊靱性	熱膨張係数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		
			μm	g/cm^3		MPa	$\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$	400 $^{\circ}\text{C}$	600 $^{\circ}\text{C}$	800 $^{\circ}\text{C}$
	新素材	WC100%	0.1~0.15	15.6	2700	8186.53	5.6	—	—	4.7
	超微粒超硬	WC+結合剤	0.5~0.7	15.4	2700	8077.51	5.1	—	—	4.8
S社	世界最微粒	WC+結合剤	0.2	—	2000	—	—	—	—	—
A社	超微粒超硬	WC+結合剤	0.5~0.7	15.4	2400	—	2.2	—	—	4.8
B社	超微粒超硬	WC+結合剤	0.6~0.8	15.4	1800	—	5.0	—	—	4.5

高温熱膨張率		平均線膨張率($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$): Arガス				
材種		800 $^{\circ}\text{C}$	900 $^{\circ}\text{C}$	1000 $^{\circ}\text{C}$	1100 $^{\circ}\text{C}$	1200 $^{\circ}\text{C}$
		新素材	WC100%	5.1	5.2	5.2
超微粒超硬	WC+結合剤	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3

5-3 まとめ

上記、研究目的では硬度・抗折力・圧縮強度・熱膨張係数・酸化量としていたが、大手レンズメーカー様からの意見では硬度・破壊靱性・熱膨張係数が最も重要との事と、また素材の特性データとしては、学校もしくは大学関係ではなく専門の研究施設でのデータが重要とのご指摘から、熱膨張測定に関しては財団法人：ファインセラミックセンターに測定の協力を仰ぎ測定して頂いた、ただし酸化特性に関しては今後の課題と研究の関係から北海道大学にて検査を行った

測定結果として、HV (硬度) 2700 以上・破壊靱性 5.6Kc・熱膨張係数 $4.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ・高温熱膨張係数(不活性ガス中 1200 $^{\circ}\text{C}$)を比較の為、バインダレス超硬では国内で最も硬く使用されている M78、一般バインダレス超硬と比較として測定した結果、硬度・破壊靱性・熱膨張係数全てにおいてナノ超硬が上回る結果が得られた、また結合材がない WC100%の超硬にも関わらず破壊靱性値が伸びた事に関しては、ナノ材の特性が1点判明した結果となった

第6章 本論-5：工作機械の仕様決定

6-1 研究目的

ナノ微粒超硬素材は、極めて脆性でクラックが生じやすい為、高精度な円筒研削盤による高精度加工が必要であり、それに対応すべく、

- 1) 高精度な CNC 制御を有している事(寸法指令最小値がサブミクロン(0.0001mm)、角度指令最小値も 0.0001 $^{\circ}$ 、繰返し位置決め精度が 0.001mm 以下、繰返し角度位置決め精度が 0.001 $^{\circ}$ 以下である事、寸法位置決め制御方式がクローズドループ方式である事)
- 2) 機械本体が高靱性・高強度である事
- 3) 幅広い加工内容に対応すべく内外面を両方研削出来る万能研削盤である事、最適な加工条件を得られる様に研削速度範囲を可変出来る機能を有している事(最大 50m/s まで)の4つを網羅し、機械の仕様を決定する。

6-2 評価及び仕様決定

※表1：選考条件詳細一覧

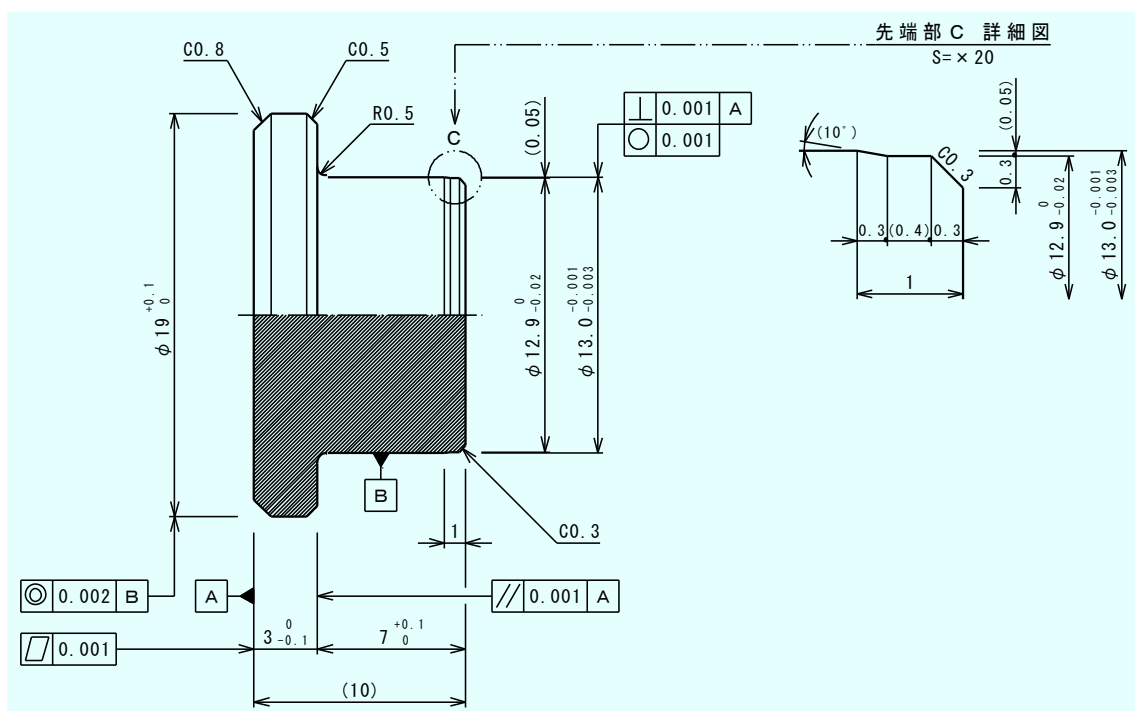
項目 No.	具体的に要求される詳細な条件
A	①要求される加工精度（寸法公差）を達成出来るか？
B	①要求される加工精度（幾何公差）を達成出来るか？
C	②超硬合金に関する加工実績が十分にあるか？
D	③パンチ形状の加工を効率良く行なえるか？
E	③スリーブ形状の加工を効率良く行なえるか？
F	③1台の研削盤で、パンチとスリーブの両方を加工出来るか？
G	④砥石車主軸の回転速度を自在に可変出来るか？
H	⑤本年度末迄の納期導入に対応出来るか？
I	⑤パンチとスリーブの試作を実際に行えるか？
J	⑤本研究開発事業の趣旨に沿うか？

上記表1の諸条件を全て満たす研削盤を導入する上で、国内外の円筒研削盤メーカーをピックアップした上で以下「表2：研削盤メーカー一覧」の各社に試作用の金型図面を提出させて頂いた上で、上記表1の10項目A～Jを達成出来るかの回答や説明・提案をして頂ける様に要望を行なった。

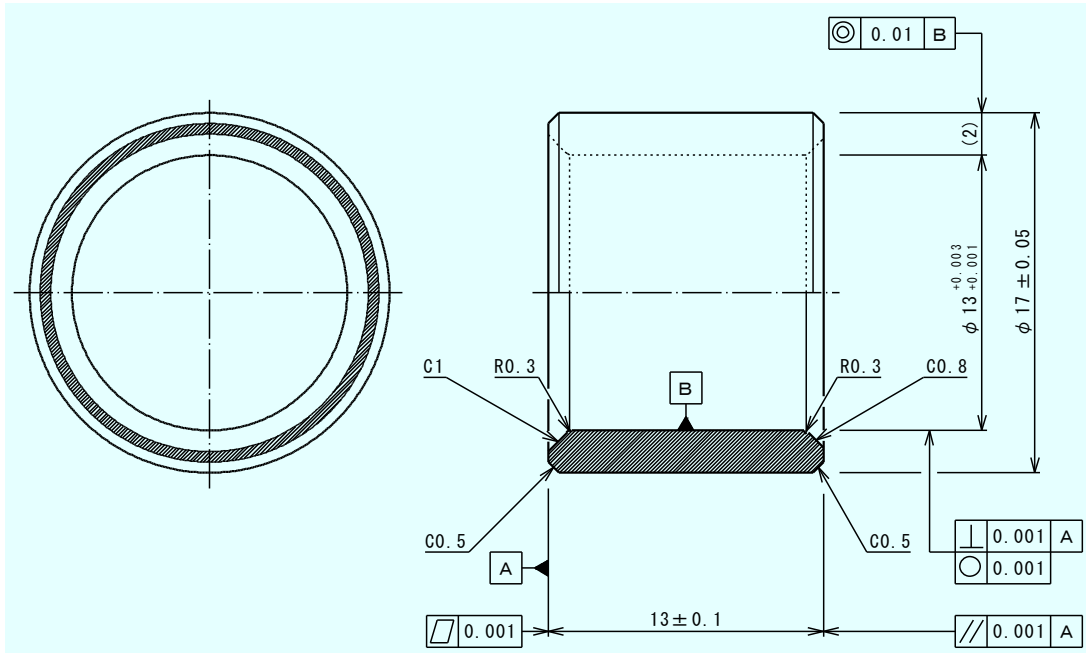
尚、リストアップした研削盤メーカーは、レンズ金型の加工を行なえる最低条件として、内外面の円筒研削加工を行なえる機種をラインナップしているメーカーだけに留めた。それ以外の研削盤メーカーに関しては全て除外させて頂いた。

リストアップした研削盤メーカーに送り、試作が可能か否かの判断を仰いで頂いた図面は以下図1・図2の通りである。

※図1：レンズ金型用パンチ・試作用提出図面



※図2：レンズ金型用スリーブ・試作用提出図面



研削盤メーカー各社からの回答結果を以下「表3：研削盤メーカー回答結果一覧」に纏めた。表3内の項目「具体的に要求される詳細な条件」とは、前述表1の選考条件A～Jの事を意味する。

※表3：研削盤メーカー回答結果一覧

No	製造メーカー名	具体的に要求される詳細な条件 (表1)										選考結果	補足事項
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
1	A社	△	△	×	×	×	×	×	×	×	—	×	電話連絡にて不可との回答
2	B社	△	△	×	×	×	×	×	×	×	—	×	面談の結果不可との回答
3	C社	×	×	×	×	×	×	×	—	—	—	×	電話連絡にて不可との回答
4	D社	△	△	×	○	○	×	×	△	△	○	×	面談の結果不可との回答
5	E社	×	×	×	×	×	×	×	×	×	—	×	面談の結果不可との回答
6	F社	○	○	○	○	×	○	×	○	—	—	×	面談の結果不可との回答
7	G社	△	△	×	△	△	○	×	×	×	×	×	電話連絡にて不可との回答
8	(株)三井ハイテック	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	導入決定	面談の結果可能との回答
9	H社	○	○	○	△	△	○	○	○	×	△	×	試作依頼を断られた

回答結果 ○：可能 △：難有り ×：不可能 —：無回答

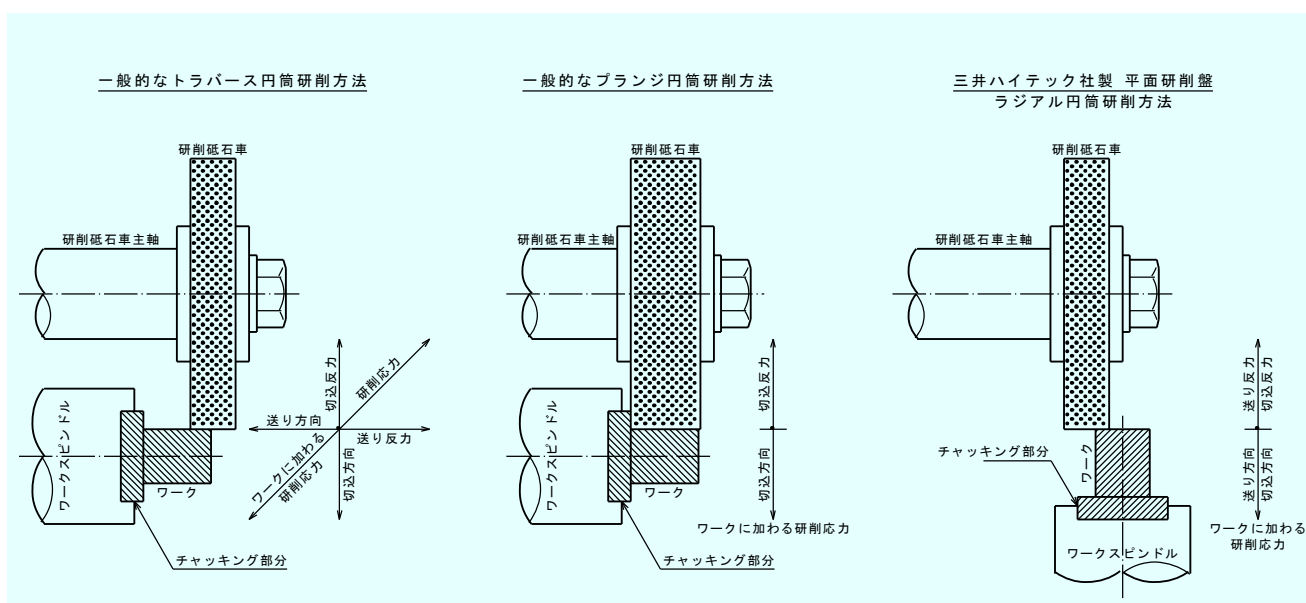
※注：選考条件に沿わない項目が多い研削盤メーカーは、単に本研究開発事業案件の要望とメーカーの研削盤に対する趣旨に差異があっただけの事であり、決してそのメーカーに対する総評が低い事では無い点を、十分に留意して頂きたい。

研削盤メーカーからの回答結果を元に選考を重ねた結果、No. 8：(株)三井ハイテック社製 CNC 精密平面研削盤 MSG-618PC-CNC (円筒研削機能付特注仕様) を今回採用した。

6-3 まとめ

(株)三井ハイテック社製 CNC 精密平面研削盤 MSG-618PC-CNC (円筒研削機能付特注仕様) を今回採用したその一番の理由は、旧来の円筒研削加工方法とは異なる、ワークに対して砥石車を直角方向へ切込むラジアル円筒研削方法である。以下「図3：円筒研削方法比較図」に、その具体的な円筒研削方法を示す。

※図3：円筒研削方法比較図



一般的なトラバース円筒研削方法の場合、砥石車をワーク中心軸に対して平行に送る動作により、砥石車にスラスト方向の送り反力が加わる。従って、切込量を増す／送り速度を上げる、何れも砥石車への送り反力は増し、過剰な場合は砥石車の破損に到る。一般的なトラバース円筒研削方法の場合、一工程毎の切込量はワーク材質や研削条件により大きく異なるが、最大でも $10\mu\text{m}$ 程度が限度である。又、切込量を増す／送り速度を上げる、何れもワークに加わる研削応力が増すので、ワークへの曲げ応力が増して、加工中のワークの歪みやびり、最悪ワークの曲がりや折損、ワークがチャッキング部分から外れる等の危険度が増す。故に、切込量や送り速度は自ずと制限を受け、加工時間を要する。

一般的なブランジ円筒研削方法の場合、砥石車をワーク中心軸に対して直角に切込むだけなので、砥石車にラジアル荷重しか加わらない。砥石車はその構造上ラジアル荷重に対して強度が高く、切込幅を増す事が出来る。特に砥石車幅がワーク長さより大きい場合、一工程で研削加工を終える事も可能なので、トラバース円筒研削方法と比べ加工時間を要しない利点がある反面、切込幅が大きいので加工中の切込反力がまともにワークに加わる為、トラバース円筒研削方法と比べワークやチャッキング部分に加わる切込反力が大きい。従って、ワーク強度やチャッキング保持力が十分確保出来ないと、この円筒研削方法は適さない。又、加

工中の切込反力がワークに曲げ応力として強く加わるので、加工中のワーク変形に伴う加工精度悪化の影響を受け易く、特に高精度を要求される加工には、この円筒研削方法は適さない事が多い。

三井ハイテック社製平面研削盤によるラジアル円筒研削方法の場合、理論上はプランジ円筒研削方法と同様に砥石車の幅を有効に利用して切込幅を増す事が出来るので、加工効率は良い。加工中の研削応力（切込反力+送り反力）はワークに圧縮応力として加わる。しかしワークの硬度が高い場合、圧縮応力に伴う潰れ変形量は曲げ応力に伴う歪み変形量と比較して非常に小さく、加工中のワーク変形に伴う加工精度悪化の影響を受け難く、高い加工精度が期待出来る。

又、ワークに加わる研削応力は、ワークをワークスピンドルへ押付ける方向に加わるので、ワークがチャッキング部分から外れる危険度が小さい。従って、プランジ円筒研削方法と同様の優れた加工効率でありながら、プランジ円筒研削方法には適さない研削条件（ワーク強度に問題がある/チャッキング保持力に問題がある/高精度加工を要求される）でも、トラバース円筒研削方法と比べ加工時間を要しない利点がある。

従って、トラバース円筒研削方法の利点である高い加工精度と、プランジ円筒研削方法の利点である効率の良い円筒研削加工を両立出来る優れた方法と言える。

以上の各円筒研削方法を具体的に比較した結果を以下「表4：各円筒研削方法の比較一覧表」に示す。

※表4：各円筒研削方法の比較一覧表

No.	研削条件と加工結果	トラバース 円筒研削方法	プランジ 円筒研削方法	ラジアル 円筒研削方法
1	砥石車のラジアル方向に対する研削応力	△ やや大きい	× 大きい	× 大きい
2	砥石車のスラスト方向に対する研削応力	× 大きい	○ 小さい	○ 小さい
3	砥石車に対する総合的な悪影響	× 大きい	○ 小さい	○ 小さい
4	ワークに対する曲げ応力	△ やや大きい	× 大きい	○ 小さい
5	ワークに対する圧縮応力	△ やや大きい	○ 小さい	× 大きい
6	ワークに対する総合的な悪影響	× 大きい	× 大きい	○ 小さい
7	研削1工程当りの切込量	× 小さい	○ 大きい	○ 大きい
8	研削1工程当りの切込速度	— 切込量固定	× 遅い	× 遅い
9	研削1工程当りの送り速度	△ やや早い	— 送りは無い	— 送りは無い
10	必要となる研削工程数	× 多い	○ 少ない	○ 少ない
11	総合的な加工速度	× 遅い	○ 早い	○ 早い
12	寸法公差の精度	○ 良好	△ やや劣る	○ 良好
13	幾何公差の精度	○ 良好	△ やや劣る	○ 良好
14	総合的な加工精度	○ 良好	△ やや劣る	○ 良好
15	加工面の面粗度	○ 良好	× 劣る	△ やや劣る

評価結果 ○：良好 △：やや劣る ×：劣る —：該当無し

以上、各円筒研削加工方法の総合的な評価により、本研究開発事業に於けるレンズ金型試作用の研削盤として、ラウンド円筒研削方法を採用する「㈱三井ハイテック社製 CNC 精密平面研削盤 MSG-618PC-CNC (円筒研削機能付特注仕様)」に決定した次第である。

第7章 本論-6：最適加工方法の選定と確立

7-1 研究目的

新素材超硬を使用する、レンズ金型の研削加工の量産化に対応する最適研削加工方法の選定と研削加工条件の確立に於いて、①. 更なる面度粗と加工速度を両立出来る研削加工諸条件の確立

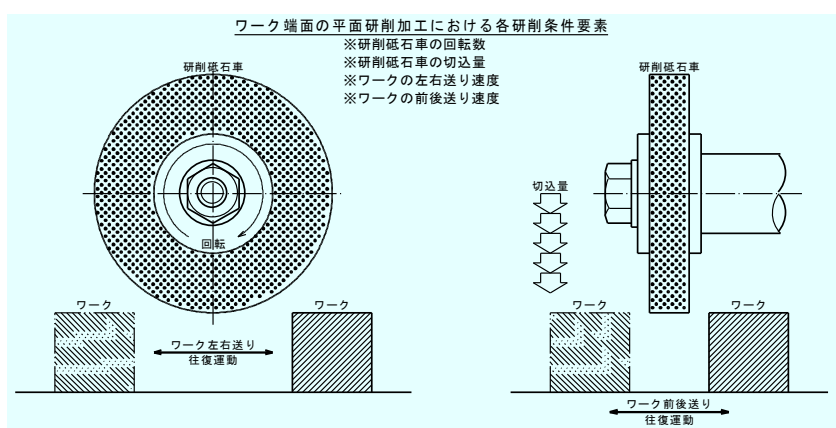
7-2 加工方法及び実施概要

① 更なる面度粗と加工速度を両立出来る研削加工諸条件の確立

前回の平面研削加工条件のテストに於いて『ナノ超硬』が『M7 8 バインダレス超硬合金』と比較して平均約1.4倍近い加工速度での研削条件に耐えられる事が立証された。しかし、前回の平面研削加工条件のテストでは『研削砥石車の切込量』と『ワークの前後送り速度』の条件設定を個別に行ったもので、今回では更にこの二つの研削条件を同時に変更する事により、二つの研削条件が最も高い条件で両立出来る研削条件を求める事とした。

平面研削加工に於ける研削加工条件を決める要素は、下記図に示す4要素『研削砥石車の回転数』『研削砥石車の切込量』『ワークの左右送り速度』『ワークの前後送り速度』だが、『研削砥石車の回転数』は、予め砥石車の粒度・直径・砥粒の材質・ワークの材質、などで自ずと決まってくる値なので、仕上面の面粗度などを左右する重要な要素だが、それ自体は直接的に加工速度に影響を与える要因ではない。

又『ワークの左右送り速度』も同様に、仕上面の面粗度などを左右する要素の一つだが、研削速度に対する左右送り速度は極めて遅く、同様にそれ自体も直接的に加工速度に影響を与える要因ではない。



従って、加工速度に大きく影響を与える要素は『研削砥石車の切込量』『ワークの左右送り速度』の2つである。『研削砥石車の切込量』を増加する程、同じ研削量を加工する場合でも工程数を減らせるので、結果的に総研削加工時間を短縮出来る事となる。

又『ワークの左右送り速度』を速める程、一工程当りの加工時間を短縮出来るので、結果的に総研削加工時間を短縮出来る事となる。

研削加工条件を設定する上で重視するポイントは、加工速度だけではなく面粗度に優れた滑らかな仕上加工面を得る事も重要である。しかし、荒研削の加工速度を早める事により加工面の面粗度が多少悪化しても、仕上研削で荒研削の加工面を十分に除去して滑らかな仕上面が得られれば、結果的に加工速度の向上と、良好な仕上面を得る研削加工条件を両立出来る事となる。

そこで、荒研削の加工面は表面にチッピング・クラックなどの異常・欠損を極僅かでも生じない事を絶対条件とし、ある程度までは面粗度が荒くなる事を許容して、面粗度が $R_{max}=2\mu m$ 以下までを許容する事とした。その理由は、面粗度を $R_{max}=2\mu m$ 以下とした場合、仕上加工に要する研削代を $2\mu m$ 以上設ければ、荒研削加工面の表面の粗さを完全に除去する事が出来るからである。一般的な研削加工の場合は、仕上加工に要する研削代は凡そ $10\mu m$ 程度（又はそれ以上）は設けるので、事実上は荒研削加工面の面粗度が $R_{max}=2\mu m$ 以下であれば十分だと言える。以下の表は、前回の平面研削加工の試削検証結果に於けるナノ超硬と、M78バインダレス超硬合金をワークとして検証を行った加工面異常発生時の切込量のデータの値である。

※平面研削加工試験の加工面異常発生時の切込量データ

試験素材	M78 (バインダレス超硬合金)		新素材 (ナノ超硬)	
	切込量	研削加工面の不良発生状態	切込量	研削加工面の不良発生状態
1回目	6 μm	角端部チッピング	8 μm	角端部チッピング
2回目	5 μm	角端部チッピング	8 μm	角端部チッピング
3回目	6 μm	角端部チッピング	7 μm	角端部チッピング
4回目	6 μm	角端部チッピング	7 μm	角端部チッピング
5回目	5 μm	角端部チッピング	8 μm	角端部チッピング
6回目	6 μm	角端部チッピング	8 μm	角端部チッピング
7回目	6 μm	角端部チッピング	9 μm	角端部チッピング
8回目	7 μm	角端部チッピング	7 μm	角端部チッピング
9回目	6 μm	角端部チッピング	8 μm	角端部チッピング
10回目	6 μm	角端部チッピング	8 μm	角端部チッピング
平均値	5.9 μm		7.8 μm	

上記の平面研削加工試験の検証結果より、切込量=6 μm までは問題無いと判断出来る。そこで、今回新たに検証を行う平面研削加工試験の切込量の最大値=6 μm と設定してこの値を元に切込量を各、6 μm ・5 μm ・4 μm 、の3条件で設定して、荒研削加工面の面粗度が $R_{max}=2\mu m$ 以下で尚且つ、研削加工面表面にチッピング・クラックなどの異常・欠損などが極僅かでも一切生じない良好な研削加工面が得られる一工程当りの切込量を、この3条件の中から求める事とする。

次項の表は、前回の平面研削加工の試削検証結果に於ける新素材超硬合金と、M78バインダレス超硬合金をワークとして検証を行った加工面異常発生時の前後送り速度のデータの値である。尚、切込量=5 μm の条件での検証結果である。

※平面研削加工試験の加工面異常発生時の前後送り速度データ

試験回数	M78 (バインダレス超硬合金)		新素材 (ナノ超硬)	
	送り速度	研削加工面の不良発生状態	送り速度	研削加工面の不良発生状態
1回目	125mm/min	角端部チッピング	170mm/min	角端部チッピング
2回目	130mm/min	角端部チッピング	170mm/min	角端部チッピング
3回目	125mm/min	角端部チッピング	175mm/min	角端部チッピング
4回目	125mm/min	角端部チッピング	170mm/min	角端部チッピング
5回目	135mm/min	角端部チッピング	170mm/min	角端部チッピング
6回目	130mm/min	角端部チッピング	180mm/min	角端部チッピング
7回目	130mm/min	角端部チッピング	180mm/min	角端部チッピング
8回目	125mm/min	角端部チッピング	170mm/min	角端部チッピング
9回目	130mm/min	角端部チッピング	170mm/min	角端部チッピング
10回目	125mm/min	角端部チッピング	175mm/min	角端部チッピング
平均値	128mm/min		173mm/min	

上記の平面研削加工の検証結果より、前後送り速度=165mm/min までは問題無いと判断出来る。そこで、今回新たに検証を行う平面研削加工試験の前後送り速度の最大値=165mm/min と設定してこの値を元に、荒研削加工面の面粗度がRmax=2 μ m 以下で尚且つ、研削加工面表面にチッピング・クラックなどの異常・欠損などが極僅かでも一切生じない良好な研削加工面が得られるまで、前後送り速度を5mm/min ステップで下げて行き、その最大値を求める事とする。

今回新たに検証を行う平面研削加工試験の研削諸条件は、前回行った平面研削加工試験の検証条件に準じて、以下の通りとする。

※平面研削加工試験時の各種研削諸条件設定内容・設定値

使用工作機械	(株)三井ハイテック社製 CNC 精密平面研削盤 MSG-618PC-CNC
使用クーラント	カストロール シンタイロ CR70 (希薄率5% メーカー指定値)
使用研削砥石車	金属被覆合成ダイヤモンド砥粒(SDC)・レジンボンド(B) 外径 ϕ 200・幅T20・粒度#200・集中度100・結合度N
使用研削ワーク	ϕ 16 円柱形状・ナノ微粒子バインダレス新素材超硬合金
研削砥石車回転数	2400rpm (研削速度:1508m/min)
切込回数 (1 試験毎)	10回 (仕上研削加工とスパークアウト加工は無し)
テーブル左右送り速度	3m/min (ストローク中間位置に於ける最大速度値)
テーブル左右送り量	45mm
テーブル左右送り時間	1sec (2sec で1往復)

次項表に新素材超硬合金の、切込量が各、 $6\mu\text{m}$ ・ $5\mu\text{m}$ ・ $4\mu\text{m}$ 、の3条件に於ける、荒研削加工面の面粗度と加工面表面の状態を示す。切込量= $4\mu\text{m}$ 未満の設定は、一般的な超硬合金に於ける平面研削加工条件としては荒研削加工用より仕上研削加工用の条件に近くなるので、荒研削加工用の研削加工条件として実用的ではないので割合した。

ただし、前回の平面研削加工試験の結果では、切込量= $5\mu\text{m}$ で前後送り速度= $165\text{mm}/\text{min}$ までは問題ないと判断出来ているので、切込量= $4\mu\text{m}$ の条件でのみ、前後送り速度の最大値= $200\text{mm}/\text{min}$ と設定して、今回の平面研削加工試験の検証を行った。

試験検証方法は、切込量が各、 $6\mu\text{m}$ ・ $5\mu\text{m}$ ・ $4\mu\text{m}$ 、の3条件で良好な研削加工面が得られる状態まで、前後送り速度を $5\text{mm}/\text{min}$ ステップで下げて行く。良好な研削加工面が得られた時点で、その前後送り速度で5回連続で切込んで平面研削加工を行い、5回の連続同一前後送り速度で研削加工中に一度でも、研削加工面の面粗度が $R_{\text{max}}=2\mu\text{m}$ 以上、又は加工面表面にチップング・クラックなどの異常・欠損などが極僅かでも生じた平面研削加工条件は×とした。連続5回の同一条件での平面研削を行った全ての加工結果で、上記不具合が1回も生じなかった研削条件だけを、問題なく平面研削加工が行える最大値と定めた。

※平面研削加工試験の切込量と前後送り速度に対する加工結果のデータ (ナノ超硬)

切込量 試験回数	$6\mu\text{m}$		$5\mu\text{m}$		$4\mu\text{m}$	
	送り速度	加工面粗度	送り速度	加工面粗度	送り速度	加工面粗度
1回目	$165\text{mm}/\text{min}$	×	$165\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.97$	$200\text{mm}/\text{min}$	×
2回目	$160\text{mm}/\text{min}$	×	$165\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.98$	$195\text{mm}/\text{min}$	×
3回目	$155\text{mm}/\text{min}$	×	$165\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.95$	$190\text{mm}/\text{min}$	×
4回目	$150\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.98$	$165\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.98$	$185\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.98$
5回目	$150\text{mm}/\text{min}$	×	$165\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.96$	$185\text{mm}/\text{min}$	×
6回目	$145\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.98$			$180\text{mm}/\text{min}$	×
7回目	$145\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.97$			$175\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.98$
8回目	$145\text{mm}/\text{min}$	×			$175\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.96$
9回目	$140\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.96$			$175\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.95$
10回目	$140\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.93$			$175\text{mm}/\text{min}$	×
11回目	$140\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.94$			$170\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.95$
12回目	$140\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.96$			$170\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.94$
13回目	$140\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.95$			$170\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.98$
14回目					$170\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.97$
15回目					$170\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.95$
最大値 平均値	$140\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.95$	$165\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.97$	$175\text{mm}/\text{min}$	$R_{\text{max}} 0.96$

上記の平面研削加工試験の検証結果より、#200 の砥石車を使用する限りでは、ほぼ安定的に $R_{\text{max}}=1\mu\text{m}$ 以下の面粗度が得られる事が判明した。上記表の×は、研削加工面の角部にチップングが認められたので不可と判断した結果である。#200 より荒い砥石車で加工は、現状でも条件次第でチップングを生じている事から、新素材に於いては研削加工面のチップングがより激しくなるので実用的でない事が判断出来る。かと言って、#200 より細かい砥石車を使用する事は、研削速度が下がる事により相対的に研削加工速度も低下してし

まうので、荒研削加工用としては実用的ではない。

従って、上記表の検証結果より切込量が各、 $6\mu\text{m}$ ・ $5\mu\text{m}$ ・ $4\mu\text{m}$ 、の3条件での最大前後送り速度がそれぞれ、 $140\text{mm}/\text{min}$ 、 $165\text{mm}/\text{min}$ 、 $175\text{mm}/\text{min}$ 、である事が判明した。この条件を元に、実際に平面研削加工を行うワークの大きさと研削加工量（研削代）から、上記3条件の中から最適な研削加工条件を採用すれば良い事となる。

即ち、ワークのサイズが小さく研削代が大きい平面研削加工内容の場合は、切込量= $6\mu\text{m}$ で前後送り速度= $140\text{mm}/\text{min}$ （一工程度当りの切込量を重視）の平面研削加工条件を適合すれば最も効率が良い事となる。

逆に、ワークのサイズが大きく研削代が小さい平面研削加工内容の場合は、切込量 $4\mu\text{m}$ で前後送り速度 $175\text{mm}/\text{min}$ （送り速度を重視）の平面研削条件を適合すれば最も効率が良い事となる。

上記の平面研削加工試験の検証結果より、小径パンチ・スリーブの平面研削加工条件としては、ワークのサイズが小さく研削代が大きい研削加工に最適な条件を適応して、切込量= $6\mu\text{m}$ 、前後送り速度= $140\text{mm}/\text{min}$ の平面研削加工条件が最適、と言う結論に至った。

7-3 まとめ

外面円筒研削加工、及び端面の円筒研削加工方法に於いては、本研究開発事業にて、一定の成果を上げる事は出来た。それは、ナノ超硬の研削加工に於ける被削性が、一般的な超硬合金と比較して何ら劣る事が無い点である。従って、研削加工による生産性に関しては、ナノ超硬と一般的な超硬合金では特に差異はないと判断出来る。特に、スリーブ外周の円筒研削加工方法に、センターレス外周円筒研削加工方法を採用出来た事は、量産性を確保する上で非常に有効である。

従って、新素材超硬合金に関しては、既に確立されている一般的な超硬合金によるレンズ金型の研削加工による条件・加工方法をそのまま流用する事が、最適加工方法となる。

ナノ超硬だけに限った話ではないが、スリーブの内面円筒研削加工に関しては加工速度が著しく遅い点が問題となる。本研究開発事業ではあらゆる研削加工方法に広く対応させる為、CNC 制御平面研削盤を万能研削盤仕様に改造した研削盤を使用して試削加工を行ったが、レンズ金型専用加工機（超高精度円筒研削盤）を使用してスリーブ内面の円筒研削加工を行えば、より適切な加工条件で効率的に加工出来る可能性がある。

今後の検証内容として、レンズ金型専用加工機を製造している工作機械メーカー様に御協力を頂き、専用加工機で加工を行った場合の研削加工性の検証を行う事を目標としたい。

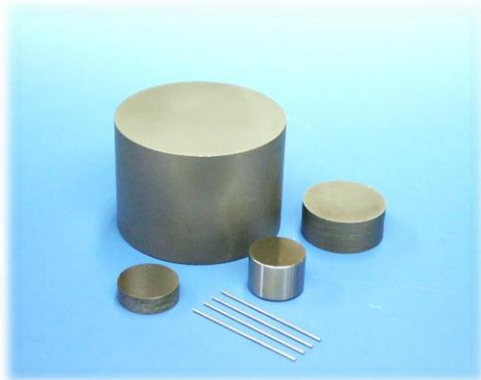


φ20 ガラスレンズ金型

最終章 全体総括

3年間にわたって行った本研究開発においては、初年度の加工設備の選定と納品時期が3月と長く、加工開発に関しては結果的には約2年間の研究活動と多少悔いの残る研究開発となった。しかしナノ超硬の研究では北海道大学、黒川教授をはじめ苫小牧高専・高澤先生、SPSシンテックス様様の積極的な行動に助けられ、初年度から積極的な研究開発を行えた事に、感謝致するとともに初年度より地道な、最適組成素材と焼結条件の研究により、当初WC単体では焼結は難しいとされていたナノ超硬を、超微細粒WC粉末を用いて、結合材を全く使用していないWC100%の焼結体作成に成功した。また焼結体の特性値、粒子径・密度・硬度・破壊靱性・熱膨張率・の測定も完了し数値では満足のいく結果が得られ、既存の商用されている、バインダレス超硬合金よりも特性においては上回る結果が得られたと、確信している。また高温下での熱膨張率の解析では、既存超硬の特性を上回るナノ超硬の特性を解析でき、市場に対する魅力ある新しい超硬合金素材の開発に成功した。

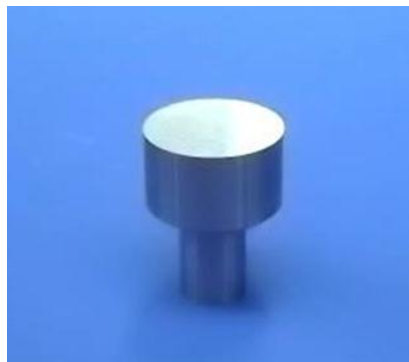
また、22年度ではWC100%超硬の硬度・破壊靱性・熱膨張率を測定した上で、既存のバインダレス超硬より優れている点が判明したが、リーマンショック以降、経済情勢の低下から家電（デジタルカメラ等）等の価格が下がり続けており、部品であるガラスレンズも価格が低下しているのが現状である、そんな中で新たなガラスレンズ金型の使用に大手企業が躊躇する中、レンズ金型以外の使用用途を模索した結果、当初懸念していた、大口径（φ65）のナノ超硬の焼結に成功し、レンズ金型以外の小径の金型パンチ・マイクロドリル等、様々な用途の試作が可能になった。



・様々な形状の新素材超硬



・新素材を使用したマイクロドリル



・新素材を使用した金型パンチ

戦略的基盤技術高度化支援事業の終了後は、レンズ金型をはじめナノ超硬合金を使用した様々な製品開発を継続し、今年度取得した新連携支援事業で、北海道大学様と再度新素材超硬を用いた製品開発を進め、北海道経済産業局様のご支援のもと、ニーズ調査および、製品を北海道の株式会社太田精器とその関連する企業様にアピールしつつ、北海道の中小企業から研究開発の模範になる事業形態を確立して、今後販路開拓をはじめとして活動を継続していく。