平成30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

「高能率・高品位加工を実現する多孔質ハニカムダイヤモンド砥石と ハイドロプロセスを融合させた研削・研磨システムの開発」

研究開発成果等報告書

令和元年 5月

担当局 関東経済産業局 補助事業者 公益財団法人 にいがた産業創造機構

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
- 1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 研究開発の概要
- (1) 研究開発の背景
- (2)研究目標
- (3) 研究開発の取組の評価
- 2-2 導入した技術、機器設備について
- 2-3 補助事業の具体的内容
- (1) ハニカム砥石の基材(シート) 成形方法の確立
- (2) ハニカム砥石の成形方法の確立
- (3) ハニカム成形体の中子の選定及び砥石作製技術の確立
- (4) 高硬度材料の高速加工技術の確立
- (5) 加工精度の改善及び準鏡面加工技術の確立
- (6) 研磨プロセスの自動搬送システムの開発
- 2-4 補助事業の成果及びその効果
- (1) ハニカム砥石の基材(シート) 成形方法の確立
- (2) ハニカム砥石の成形方法の確立
- (3) ハニカム成形体の中子の選定及び砥石作製技術の確立
- (4) 高硬度材料の高速加工技術の確立
- (5) 加工精度の改善及び準鏡面加工技術の確立
- (6) 研磨プロセスの自動搬送システムの開発

最終章 全体総括

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

次世代半導体の SiC や化合物半導体の GaN、LED 基板のサファイアの製造では、ウエハの厚みを薄くする研削や表面を鏡面にする研磨加工が必要である。本研究開発は半導体及び化合物半導体製造プロセスにおける研削・研磨プロセスに焦点を当てる。

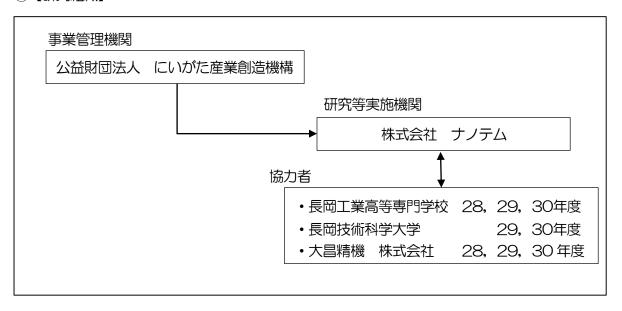
本事業の川下企業であるパワー半導体メーカやセンサー半導体メーカ、LED メーカからの技術要求は、新素材のSiC 基板やサファイア基板の高精度化・高品位化である。シリコンウエハ並みの加工精度と歩留まり向上が要求されている。更に量産対応、低コスト化のために大口径ウエハの検討が進んでおり、加工の難易度が益々高くなってきている。加えて、大量の研磨剤の廃棄や作業の安全性の問題もあり、結果、生産拠点が中国・東南アジアにシフトする事態に至っている。

本事業では、上記の高硬度材料をターゲットとし、固定砥粒研磨法の高い加工能率を利用しながら遊離砥粒研磨法と同等の表面性状の維持、形状精度の向上を実現し、さらに廃棄物削減による環境負荷の低減を目標とする。具体的には、ハイドロ研磨システムの応用による加工速度制御技術、並びにそれに適した新しいコンセプトのハニカム砥石を開発し、従来技術における課題解決を図る。また、研究実施企業独自の吸着技術を用いた加工物の自動搬送システムを開発し、作業の安全性を確保する。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

①【研究組織】



②【研究員】 研究実施機関 株式会社ナノテム

氏 名	役 職	備考
高田 篤	代表取締役	PL
大橋 恭介	技術開発部長	SL
久保田 正勝	生産技術部長	
髙田 久寿		
高田 大地		

③【経理担当者及び業務管理者】

[事業管理機関] 公益財団法人 にいがた産業創造機構

(経理担当者)産業創造グループ 佐々木 敦

(業務管理者)産業創造グループ 皆川 森夫

(業務管理者) テクノプラザ 平石 誠

[研究等実施機関] 株式会社 ナノテム

(経理担当者)総務部 髙田 愛梨

(業務管理者) 代表取締役 髙田 篤

④【協力者・開発推進委員会委員】

氏	名	役 職	備考
高田	篤	株式会社ナノテム 代表取締役	PL
大橋	恭介	株式会社ナノテム 技術開発部長	SL
井山	徹郎	長岡工業高等専門学校機械工学科 准教授	
會田	英雄	長岡技術科学大学 機械系 准教授	
岡田	伸夫	公益財団法人にいがた産業創造機構	
	仲大	産業創造グループ ディレクター	
坂井	朋之	公益財団法人にいがた産業創造機構 テクノプラザ長	
chulu	雅彦	公益財団法人にいがた産業創造機構	
内山	雅/	産業創造グループ 総括マネージャー	
村西	泰次	大昌精機株式会社 取締役副社長	アドバイザー
守殿	敏治	大昌精機株式会社 営業技術部長	アドバイザー
片倉	春治		アドバイザー
和久津	単 英志	新潟県産業労働観光部 産業振興課長	アドバイザー

1-3 成果概要

本事業の研究開発課題である以下の項目に取り組んだ。

① ハニカム砥石の基材(シート)成形方法の確立≪平成28年度≫

ハニカム砥石を構成する材料であるシート基材やダイヤモンド及び一般砥粒の粒径を変えてハニカム 砥石の成形性を検討した。その結果、ハニカム砥石の試作を完了し、また、導入したシート作製機で能 率的にシートを作製できることを確認した。

≪平成29年度≫

アルミ合金への電解ニッケルは特殊であり、下記の方法でしか電解メッキが出来なかった。 無電解ニッケル+電解ニッケルとアルミ合金への電解ニッケル法方法を用いることで、基材の種類を問わず、色々なダイヤ含有シートが作製できることが分かった。Niをベースとしたシートは、樹脂系、セラミックス系に比べて格段に強度が高い。29年度は金属系のボンドでの基材シートの成形法が確立できた。強すぎるシートを出現させたことによって、砥石の応用に幅が出来ると考える。

≪平成30年度≫

H29年度は、アルミ箔(7から15 µm)を芯材とし、ニッケルメッキを使って芯材の両面にダイヤモンドを固着する方法を検討し、固着強度のハニカムダイヤモンドが完成できた。H30年度は、芯材の無いニッケルメッキダイヤモンドの試作を検討した。Niマトリクスのダイヤモンド砥石シートはアルミ箔を水酸化ナトリウムで除去することで抽出できた。高強度のシートを出現させたことによって、砥石の応用に幅が出来ると考える。

② ハニカム砥石の成形方法の確立

≪平成28年度≫

作製したシートをハニカム状に成形する方法を検討し、導入した複合積層成形機を用いてダイヤモンド砥粒の配置やハニカム孔の大きさが異なる砥石の成形方法を確立した。また、製造方法の簡略化により、従来の砥石製造コストに対して50%コストダウンできる見通しとなった。

≪平成29年度≫

各種砥粒を含有したシートを用いて任意のハニカム径(3、6、9mm)の成形が複合積層成形機を活用することで実現できた。特にニッケルをベースにしたハニカムの柱の肉厚調整は、成形後の肉厚調整で制御可能となった。シート厚みとハニカム径が砥石の切れ味に影響し、シートの砥粒保持力が工具寿命に影響することが確認できた。特にニッケルのハニカム砥石の寿命はレジやビト砥石に比べて数10倍から100倍近い寿命があることが分かった。

≪平成30年度≫

各種砥粒を含有したシートを用いて任意のハニカム径(1~9mm)の成形は、シリコン型のサイズを変えることで実現できた。特にNiマトリクスのダイヤモンドハニカムの柱の肉厚調整は、メッキ時間の可変で厚み調整が制御可能となった。また、Y形状砥石の成形もシリコン型を用いることで、成形可能となり、銅+エポキシ樹脂をベースとして細番手の鏡面加工用砥石を作製できた。

③ ハニカム成形体の中子の選定及び砥石作製技術の確立

≪平成28年度≫

気孔率40%以上の多孔質中子の種類及びハニカム砥石との接合方法を検討し、アルミナ系、酸化セリウム系、SiC系の中子入りの砥石を試作した。また、高速回転時の強度や耐圧性に問題がないことを確認した。

≪平成29年度≫

気孔率が40%以上の多孔質中子の作製が可能となった。 硬質中子と弾性中子を作製できた。 流量 1 リ

ットル/min/cm2の透過流量が可能な開気孔多孔質体が容易に作製できる技術が確立した。

ハニカム砥石からの水・エア等の出し入れは、多孔質中子の存在がキーポイントとなる。本技術が確立されたことによって、加工中の被加工物への直接冷却効果や砥石の目詰まり除去効果が得られる。また砥石への静水圧付与は多孔質中子の存在が不可欠なため、本成果は今後のハニカム砥石開発の最重要部分である。

≪平成30年度≫

ハニカム砥石から水・エア等を吐出するためには多孔質中子に静水圧を付与する必要がある。砥石の作製に当たって水圧経路を安価に実現する中子と砥石台座の組立方法を考案し、作業手順を確立した。 コロイダルシリカ並びにアルミナを用いて弾性中子の作製を行い、静水圧の効果とSiCでの鏡面加工が実証できた。

④ 硬度材料の高速加工技術の確立

≪平成28年度≫

上記の検討で得られたハニカム砥石を用いて、ガラス基板・テンパックスを対象に高速加工の検討を 行い、多孔質中子を介して砥石表面を負圧にすることにより、除去体積が大きくなり、切削抵抗が大き くなることを確認した。

≪平成29年度≫

試作したハニカム砥石を用いて加工実験を実施した。ガラス基板とテンパックスを主な被加工物として加工を行った。負圧の加工は、通常の加工に比べて加工抵抗が高く、除去能率も高いことが分かった。 Niベースのハニカム砥石は、寿命が予想の10倍から50倍以上であった。

≪平成30年度≫

試作したハニカム砥石を用いて加工実験を実施した。Ni ベースのハニカム砥石は、シート厚みとハニカム径が砥石の切れ味に影響し、シートの砥粒保持力が工具寿命に影響することが確認できた。Ni ハニカム砥石の寿命はレジンやビトリファイド砥石に比べて数 10 倍から 100 倍近い寿命があることが分かった。正圧実証として浮上実験を行い、ハイドロプロセスに必須となる多孔質中子の気孔径と流体圧条件を見出した。最終的にサファイア加工にて 10 ミクロン/min、Ra: 0.05 ミクロンの加工が実現できた。

⑤ 加工精度の改善及び準鏡面加工技術の確立

≪平成28年度≫

次年度以降の加工実験に向けて、実験装置となる両頭研削盤の改造を行った。予備研削実験を行い、 水出し機能の動作及びその効果を確認した。

≪平成29年度≫

次年度以降の加工実験に向けて、縦軸ロータリーの研削盤を試作した。テーブル平面度は1 μ mが実現できた。石英研削実験を行い、水出し機能の動作及びその効果を確認した。

≪平成30年度≫

川下企業のニーズへの対応として、ロ500mm(対角長約700mm)セラミックス基板の研削加工にハイドロプロセスを適用し、同時両面加工による基板の反りやワープ形状の除去加工に取り組んだ。既存の両面ラップ盤を改造して上下回転盤の回転軸をオフセットすることにより、最小限の機械サイズ・砥石サイズにて、形状不量の少ない大型基板研削加工を実現できた。

⑥ 研磨プロセスの自動搬送システムの開発 吸着搬送冶具を試作し、加工物サイズに依存せず独立吸着が可能なことを確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事 業 者: 株式会社 ナノテム 役職・氏名: 代表取締役 髙田 篤

Tel: 0258-22-6725 Fax: 0258-22-6726

E-mail: a-takata@nano-tem.com

第2章 本論

2-1研究開発の概要

(1) 研究開発の背景

シリコンウエハをはじめとした半導体基板の研削・研磨工程は遊離砥粒研磨法が標準の方法である。 パワー半導体用 SiC 基板や LED 用サファイア基板のような高硬度材料もこれによっているが、加工能率が悪い、形状精度が悪い、大量の研磨剤の廃棄等の問題があり、量産化や基板の大径化に向けて障害となっている。また、作業の安全性の問題もあり、結果、生産拠点が中国・東南アジアにシフトする事態に至っている。

(2)研究目標

高硬度材料をターゲットとし、固定砥粒研磨法の高い加工能率を利用しながら遊離砥粒研磨法と同等の表面性状の維持、形状精度の向上を実現し、さらに廃棄物削減による環境負荷の低減を目標とする。 具体的には、ハイドロ研磨システムの応用による加工速度制御技術、並びにそれに適した新しいコンセプトのハニカム砥石を開発し、従来技術における課題解決を図る。また、研究実施企業独自の吸着技術を用いた加工物の自動搬送システムを開発し、作業の安全性を確保する。

(3) 研究開発の取組の評価

ハニカム砥石の作製に当たり、エポキシやセラミックスをボンド材に用いて砥粒含有シートを試作した。 また、砥粒含有シートをハニカム状に成形するに当たり、複合積層成形機を用いた生産性の高い成形技術 の確立に取り組んだ。一方、システム開発に関しては、ハイドロプロセスを搭載した両頭研削盤を実験装 置として整備した他、自動搬送システムとしてエアロフィックスの利用の可能性を検証した。

29年度は無電解ニッケル及び電解ニッケルをベースにしたハニカム砥石を試作した。ハニカムサイズ、ハニカムの肉厚に注力し、生産性と研削性能を両立できる製造方法を検討した。30年度は、芯材なしの低石の作製に成功した。Y字形状やハニカム径、肉厚に着目し、生産性と研削性能を両立できる製造方法を検討した。ハニカム状に成形するに当たり、複合積層成形機を用いた生産性の高い成形技術の確立に取り組んだ。ニッケルベースのハニカム砥石の切れ味はハニカム径に依存、寿命はハニカムの肉厚に依存する結果が得られ、既存の砥石に比しても格段の能力差を有することが確認できた。

2-2 導入した技術、機器設備について

28 年度

No.	機器設備名	活用方法
1	シート作製機	・砥粒を含有したスラリーから膜厚の均一なシートを作製する(シート成形機能)。・作製したハニカム成形体の空間を多孔質中子で埋める(中子成形機能)。
2	シート膜厚計測表面観察装置	作製した砥粒含有シートについて膜厚、砥粒分散状態、 表面の凹凸などを測定する。
3	複合積層成形機	作製した砥粒含有シートを積層してハニカム成形体の予 備成形を行う。
4	両頭平面研削盤(改造)	作製したハニカム砥石を取り付け、砥石面から静水圧を 負荷するハイドロプロセスの開発及びその有効性の実証

		に使用する。
5	片面自動搬送装置	研磨装置に装着し、加工物を全自動で搬出入するシステムの開発及びその有効性の実証に使用する。

29年度

No.	機器設備名	活用方法
1	メッキ濃度調整機 Ni-P用	ハニカム砥石にニッケルメッキを施すために使用する。 メッキ処理の際の品質安定のため、メッキ液中のニッケ ルイオン濃度を随時測定し、不足の薬品(硫酸ニッケル、 次亜リン酸ナトリウム等)を自動で補給し、濃度調整を 行う。
2	メッキ濃度測定用 PH メーター	メッキ液中のニッケルイオン濃度を測定する。
3	無電解二ッケルメッキ試験槽	無電解メッキは化学反応によって不導体にニッケル成分 をコーティングする。ハニカム砥石にニッケルメッキを 施す際の前処理として、不織布などの不導体に使用する。
4	レーザー切断機	ハニカム砥石の芯材となるアルミ箔の切断およびハニカム砥石の形状加工のために使用する。また、砥石を接着する際の千鳥水玉模様の樹脂テンプレートを作製するために使用する。
5	立形ロータリー研削盤	石英基板(最大 ϕ 800 mm)等の大径研削加工実験に使用する。上砥石及び下砥石の表面から水及びエアを吐出し、ハイドロプロセスに対応している。

30 年度

No.	機器設備名	活用方法
		川下企業のニーズへの対応として、ロ500 mm(対角長約
		700 mm) セラミックス基板の研削加工にハイドロプロセ
		スを適用し、同時両面加工による基板の反りやワープ形
		状の除去加工に取り組む。通常、ラップ盤では基板直径
		の3倍以上の直径のテーブルや砥石が必要になり、基板
1	角 500 両頭研削盤	サイズが大きくなるにつれて実現が難しくなる。本研究
		では、既存の両面ラップ盤を改造して上下回転盤の回転
		軸をオフセットすることにより、最小限の機械サイズ・
		砥石サイズにて、形状不良の少ない大型基板研削加工を
		実現する。また長岡技術科学大学において、開発したハ
		二カム砥石の有効性を既存研磨機を使用して評価した。

2-3 補助事業の具体的内容

- (1) ハニカム砥石の基材(シート)成形方法の確立
- 1目的

シート作製機を用いて砥粒が含有した薄い研磨用シートが作製できること。

≪28年度≫

- 2開発内容
- 【1】年度目標:#200~#10000のシート作製法を確立する。
- 【1-1】任意の砥粒径・砥粒率のハニカム基材の作製
 - 厚みが 50 μm から 1 mmまでのハニカム基材シートを作製する。 精度は±10%とする。
- 【1-2】樹脂・金属・セラミックスのハニカム基材の作製
 - ・化学研磨加工に使用できる砥石とするため、耐酸性・耐アルカリ性(ph5~ph9)に耐えられるハニカム基材であること。

《 樹 脂 》: エポキシ樹脂・フェノール樹脂 (鏡面用⇒ウレタン樹脂)

《 金 属 》: 銅・スズ系粉末をベースに検討

《セラミックス》: 砥石用ビトボンド(耐薬品性の検討はまだ)

- 【1-3】高能率・高精度加工用ハニカム基材の検討
 - ・高能率・高精度加工に対応するため、ダイヤモンド砥粒は#80~#6000 (粒径約3~120μm) を用い、基材ヤング率を50GPa 以上の砥石を作成する。
 - ・上記樹脂・金属・セラミックスボンドにて成形 ⇒ 摩耗特性試験の実施(簡易試験)
- 【1-4】鏡面加工用ハニカム基材の検討
 - ダイヤモンド砥粒と混錬するバインダーは樹脂、セラミックス、金属とする。
 - 鏡面加工用に対応するため、ウレタンゴム系の弾性変形可能な基材とし、ヤング率 5GPa 以下の 砥石を作成する。
 - ソフトウレタン・ハードウレタン系にて成形 ⇒ 摩耗特性試験の実施(簡易試験)

③実験結果概略

製作したシート作製機を用いて、 $\#80\sim6000$ まで酸化セリウム・炭化ケイ素・アルミナの砥粒を使用し、エポキシ樹脂・フェノール樹脂・ウレタン樹脂をボンド材としてハニカム基材シートの作製を行った。基材の厚みは 40μ m $\sim1000\mu$ mの間で調整した。エポキシ及びフェノール樹脂の場合は 300μ mを超えると基材の強度は上がるが、曲げ方向の力が弱く(しなりがない)、ハニカム化に適さないことが分かった。図1にシートの外観写真を示す。シート作製機はシート作製の効率化に有効であった。

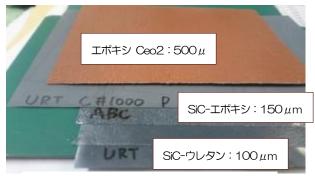


図 1-1 各種砥材で作製したシート



図 1-2 シート作製機で作製されたシート

図1で示したシートは図1-3~図1-6に記載のシート作製機で試作した。





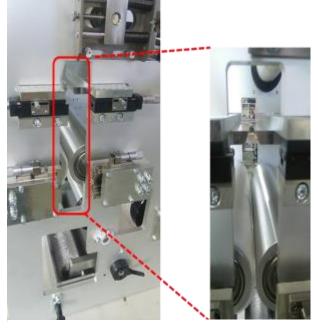


図 1-3 シート作製機

図 1-4 シート作製機

図1-5シート厚み調整部

図 1-6 厚み調整拡大

シート作製機の異本的な考え方は、図1-4にあるように砥粒を混錬したスラリータンクにシート原紙の シートを浸漬させ、図1-5のシートの厚み調整部で任意の厚みになるように、スラリーの厚みを調整し、 乾燥シートと一緒に巻き取ることで製作できる。

試作したシート作製機だけでなく、シートの作製は製造可能である。図 1-2 に示したものは、キャリアシートフィルムを使って、ドクターブレード法で作製した砥粒含有シートである。砥粒含有部のシート厚みを調整することは、かなり難しく、スラリー状態時のスラリー粘度やシートの巻き取り速度、シート厚み調整の隙間管理及びスラリーの軸外への漏れ等、管理する項目が多いが、原紙シートを色々と選択できることや任意の厚みの砥粒含有シート自由に作製できるメリットがある。

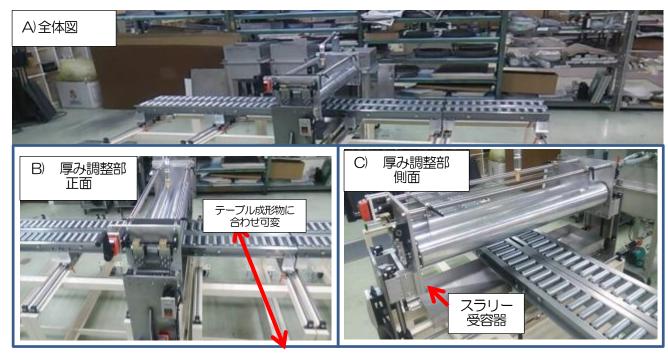


図 1-7 極薄膜のシート作製装置の外観写真

図 1-3 のシート作製機の概念を使い、図 1-6 の厚み調整機構をよりクローズアップさせてシート作製機2を作製した。

2本の厚み調整ロールでロール間の隙間を調整し、平行に 100μm 以下に調整する。2本のロールの間にスラリーを供給すると、100μm の隙間から滝のようにスラリーが落下する。ロールの隙間を調整することでスラリーの膜厚身を変えることが出来る。シート原紙をスラリー滝の直下を 100 mm/s 通過させることで、シート原紙に数 10 ミクロンのスラリー膜が形成される。シート原紙の送り速度を変えることでもまたスラリー膜の厚みが調整できる。シート原紙がない時はスラリーはスラリー受容器で回収され、ポンプアップして再度 2 本ロールの間に供給されるため、材料を無駄なく最後まで使用することが出来る。

本事業では、シート作製機②を用いてシートの厚み調整をおこなった。

4)今後の課題

シートの成形は、粗番手も細番手も試作したシート作製機で任意の厚みで成形できた。

O.O4mm~1mmの間でのシートの強さが、実際の砥石に仕上げた時の性能差に大きく影響する。そのため、次年度は、シートの強度(強さ・硬度・弾性率)を可変できる方法を構築する必要がある。シート肉厚と各物性値の定量的評価を平行して進める必要がある。

≪29 年度≫

2開発内容

1~300 μm のダイヤモンド砥粒を粗粒と細粒に分別して、ニッケルメッキとの複合化によるハニカム基材の作製を行った。ニッケルの選択したのは砥石の使用環境で必要となる耐酸性、耐アルカリ性に優れるためである。細粒の場合は基材ベースに 20~30 μm 厚の不織布(気孔率 90%)を利用し、不織布の繊維に細粒ダイヤを一次固着させ極薄基材の作製を目指した。粗粒の場合は、アルミ箔(7 から15 μm)にニッケルメッキを使って粗粒ダイヤモンドを固着する方法を検討した。

金属を主としてボンディングを検討した。無電解ニッケルメッキ並びに電解ニッケルメッキを利用してハニカム基材を作製し、メッキ条件によるダイヤモンド砥粒の保持力調整を検討した。

金属バインダーの基材シートを肉厚や物性値(強さ・硬度・弾性率等)の定量的評価、摩耗特性試験を 実施した。基材シートを金属として作成した素材を、ウレタン(ソフト・ハード) 樹脂で補強して、金属 シートに弾性を持たせる方法を検討する。

③実験結果

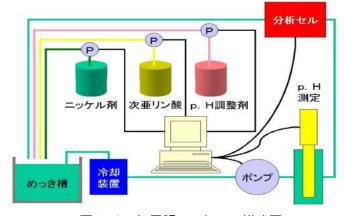


図 1-8 無電解ニッケルの構成図



図 1-9 ニッケル浴槽の試作設備(29 年度新規購入)

ハニカム基材に不織布を用いるに当たり、前処理として無電解ニッケルメッキを施した。図 1-8に無電解ニッケル法の構成図を示す。ニッケル剤と次亜リン酸を PH を測定しながら、メッキ層に注入する方法を試した。図 1-9に本年度に購入した無電解ニッケル浴槽の試作機を示す。ニッケルの含有濃度を制御するニッケル濃度調整機とニッケル浴槽、PH メーターで構成されている。



図 1-10 ポリエステルメッシュへの無電解+電解 Ni めっき

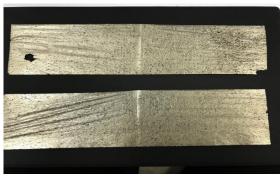


図 1-11 不織布への無電解+電解 Ni めっき 外観

図 1-10 にポリエステルメッシュに無電解ニッケルを施した外観写真を示す。同様に図 1-11 には不織布に対して無電解ニッケルを施した写真を示す。PH 調整を正確に行う事で、均質なニッケル膜が形成できることが確認できた。

図 1-12 は実際のメッキ試験の 外観を示す。ニッケル浴槽に Ni





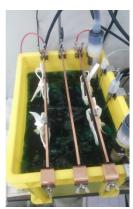
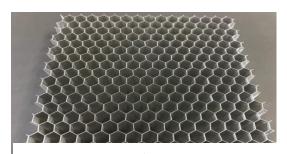


図 1-12 電解ニッケル浴槽の試作外観

板を設置し、スルファミン酸ニッケル(液体)を注水し通電を行う。

図 1-13 に(a) に 15 µmNi 箔ををスタート原料として、レーザー切断機(本年度購入物品)でシート状に切断し、それをハニカム状に折りたたんで広げたものを示す。

図 1-13 b)は a)のアルミ箔ハニカムに電解メッキを施し、砥石形状に切断した写真を示す。



a) 15 μm アルミ箔ハニカム成形体



b) a)に電解メッキを施し切断したハニカム

図 1-13 母材アルミ箔ハニカムと電解めっき後のハニカム

処理工程名	処理薬品名	処理濃度	処理温度	処理時間
弱アルカリ脱脂	トップ [°] アルクリーン161	30g/L	55℃	5分
水洗				
ソフトエッチング	トップ [°] アルソフト108	50g/L	55℃	0.5~1分
水洗				
スマット除去	トップ [*] デスマットN-20	100mL/L	25℃	30秒
水洗				
第一ジンケート	サブスターZN-20	500mL/L	55℃	30秒
水洗				
硝酸剥離	67%硝酸	600mL/L	55℃	30秒
水洗				
第2ジンケート	サブスターZN-10	500mL/L	55℃	30秒
水洗				
電気Ni	ワット浴・スルファミン酸			任意
回収・水洗				
乾燥				

図 1-14 アルミ合金への電解ニッケルメッキ

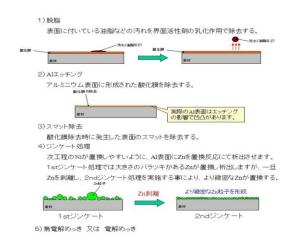


図 1-15 アルミ合金への電解メッキ工程概略

図 1-14 に今回実施したアルミ合金への電解ニッケルメッキの手順を示す。図 1-15 はその工程概略図である。国内メーカにアルミ合金へのメッキを委託するために調査したが、国内メーカでアルミ合金へのメッキが可能な会社は数社だった。アルミ箔への亜鉛置換が一番大きな問題で、その処理で堆積する亜鉛の廃棄処理のために多大な費用を要することが分かった。実験レベルではアルミへのニッケルメッキは可能であるが、大量に処理をするとなれば、設備投資が必須となる。

アルミ合金への電解ニッケルメッキは特殊であり、下記の方法でしか電解メッキが出来なかった。 不織布への無電解ニッケルメッキ+電解ニッケルメッキとアルミ合金への電解ニッケルメッキ法を用いることで、基材の種類を問わず、色々なダイヤモンド複合化シートが作製できることが分かった。

4)今後の課題

樹脂系 (H28 年度実績) ならびに金属系のダイヤモンドシートの作製方法を確立した。樹脂系を応用することでビト系(セラミックス)も作製も可能であり、次年度はユーザーのニーズに沿ったシートを提案する。実用化に向けては、各シートの物性評価(特に摩耗特性)を各シートの厚みをパラメータとして評価、整理する必要がある。

また、最終的に砥石に仕上げた場合の摩耗特性がハニカム砥石のシートの厚みに起因するため、各厚みに対して自生発刃出来るような摩耗特性を有する必要がある。

鏡面加工用にウレタン樹脂をベースに試作シートを作製した。ポリエステル系の $8g/m^2$ の不織布に対して、ダイヤモンド砥粒を混粒した、ウレタン樹脂を準備した。ウレタン樹脂は組成によって、硬さの調整が可能である。鏡面加工用のハニカム砥石にする場合には、シート厚みが $100 \, \mu m$ 以下と薄いために、硬さを柔らかくすると、非常に弱くなる。 $100 \, \mu m$ 以下のシートの場合は硬質 $300 \, \mu m$ までは中質、 $300 \, \mu m$ を超えるシート厚みであれば、軟質のウレタン樹脂に調合する方が望ましい結果が得られた。

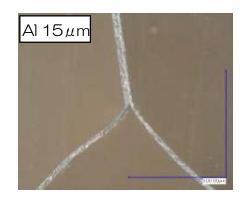
≪30年度≫

②開発内容

H29 年度にアルミ箔を芯材としてハニカム化し、それに対してダイヤモンド砥粒をニッケル電着を施すことで、耐久性の高いハニカム砥石が作製できた。しかしながら、芯材として採用したアルミ箔は、砥石内部に閉じ込められ、かつ両面にダイヤモンド砥粒が配置する形となり研削加工中にアルミ箔部分が摩耗しにくいために、加工時の負荷の要因となった。H30 年度は、課題である、アルミ芯材なしのダイヤシートの作製に取り組んだ。

③実験結果

図 1-16 にアルミ芯材をハニカム化した素材とニッケルダイヤ電着後の外観図を示す。 これは、29 年度に実施したハニカム砥石の外観写真である。



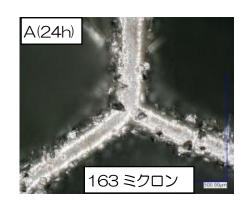


図 1-16 アルミハニカムへのニッケルダイヤ電着の外観

図のように 15 ミクロン厚のアルミ箔を部分接着してハニカム化を実施。そのハニカムに対してダイヤモンド砥粒を埋め込んだ状態でニッケルメッキを施すと、図 1-16 の右図のようになり、アルミ箔に対してダイヤモンド砥粒が固着できる。

H29年度の課題は、アルミ箔へのニッケル膜の固着強度がキーポイントであり、アルミ基材のアルカリ洗浄 『 エッチング 『 酸洗浄 等の処理を施し、ニッケル膜の厚み制御、固着強度を評価した。強度と砥石としての研削性・寿命に関して、十分の評価が得られた。特に寿命に関しては、過剰なぐらいの低摩耗の結果が得られた。課題としては、①加工中にアルミ箔とニッケル素材の剥離問題が生じること。②砥石の厚み方向に対して性能が変化することであった。

①に関しては、ハニカム砥石の内部にアルミ芯材が残留していることが要因であり、よりアルミとの密着性を高める必要がある。②に関しては、アルミハニカムを形成後に電着の浴槽に浸漬し、アルミに電流を流して、ニッケルイオンをアルミ表面に固着させ、ダイヤモンド砥粒を固着させる。ダイヤモンドの固着割合は浸漬時の上部側が多く固着する。これは、図 1-17 のように電着時にガス(水素)が発生し、浸漬が深い部分のガスが抜けにくいために、ハニカムの上部側により多くのダイヤモンドが固着している。

図 1-18, 1-19 に加工前後のハニカム砥石の研削面を比較した写真を示す。

左図は電着直後の外観写真とその拡大図、右図は加工 後の外観写真とその拡大図である。

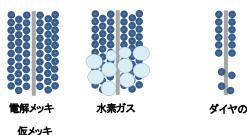


図 1-17 ダイヤニッケル電着の概略図



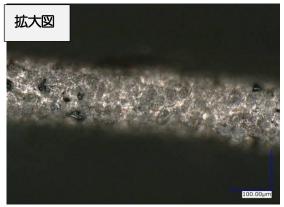
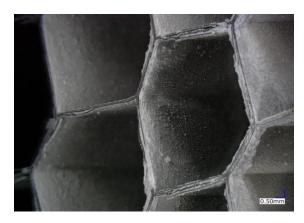


図 1-18 ニッケル電着直後のハニカムの外観



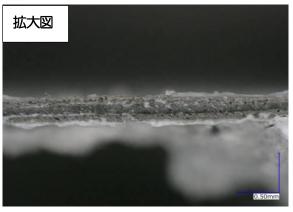


図 1-19 加工後のハニカムの外観

図 1-19 の写真のように加工後にはニッケル層の剥離がみられる。電着の固着強度が問題である。ア ルミ箔とニッケル膜の熱膨張係数の差も問題としてあげられる。電着時の密着性を上げるために、酸・ アルカリの前処理が重要であった。

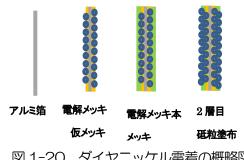


図 1-20 ダイヤニッケル電着の概略図

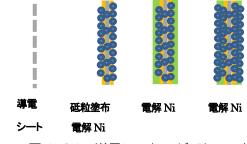


図 1-21 導電シートのダイヤニッケル 電着の概略図

30年度は導電繊維シートを用いてダイヤモンド電着を試みた。

電着方法は図 1-20 と同様に行う。図 1-21 のように多孔質導電シートの内部にもダイヤモンドが配 置でき良好な電着ダイヤモンド砥石が試作できた。但し、導電シートと電着するニッケル素材との密着 性は、アルミ箔同様に検討が必要である。

基材に対し、ニッケル・ダイヤマトリクスを電着固定する際の課題は以下の通り。

- ① ダイヤとニッケルの密着性の向上。
- ② 基材とニッケルの密着性の向上

③ ハニカムの厚み方向のダイヤモンド砥粒の密度分布の均質化

処理工程名	処理薬品名	処理濃度	処理温度	処理時間	
弱アルカリ脱脂	トップ [*] アルクリーン161	30g/L	55℃	5分	
水洗					
ソフトエッチング	トップ [°] アルソフト108	$50\mathrm{g/L}$	55℃	0.5~1分	
水洗					
スマット除去	トップデスマットN-20	100mL/L	25℃	30秒	
水洗					
第一ジンケート	サブスターZN-20	500mL/L	55℃	30秒	
水洗					
硝酸剥離	67%硝酸	600mL/L	55℃	30秒	
水洗					
第2ジンケート	サブスターZN-10	$500 \mathrm{mL/L}$	55℃	30秒	
水洗					
電気Ni	ワット浴・スルファミン酸			任意	
回収•水洗					
乾燥					

図 1-22 高密着アルミ合金への電解ニッケルメッキ方法

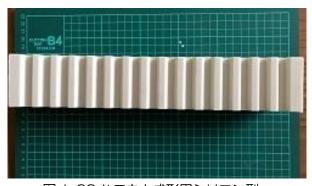


図 1-23 ハニカム成形用シリコン型



図 1-24 アルミハニカムラインの成型法

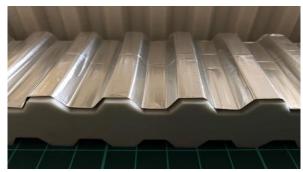


図 1-25 アルミハニカムライン外観

上記の3項目が、2年間の開発において出現した解決できていない問題である。

この問題を解決するために、30年度は、計画になかった新しい取り組みを実施した。

これまでのニッケルメッキ法は適用する。ニッケルメッキ自体はダイヤの保持力、厚み制御性に優れている。これまでは、基材(アルミ箔)とニッケルマトリクスの密着性に注力してきたが、全く逆にアルミ箔との密着性に固執せずにダイヤモンドニッケルとアルミ箔の剥離に注力した。

図 1-22 にアルミ合金への高密着ニッケルメッキの手法を示す。前年度はこの方法に準じて、アルミ箔(15 μm)に対して、ダイヤモンドニッケルを電着した。アルミ箔との密着性が高く、ダイヤモンドニッケルとアルミ箔は容易に外れなかった。アルミ箔は、水酸化ナトリウムに可溶なため、電着後に水酸化ナトリウム溶液に浸漬し、アルミ箔を溶解し、ダイヤモンドニッケルそのものを取り出すことに成功した。

水酸化ナトリウムを使用することで簡便にダイヤモンドニッケルのみが取り出せるのであれば、ハニカム形状にアルミ箔を加工し、その上にダイヤモンド砥粒を配置させ、アルミ箔に電流を流すことでハニカム形状のダイヤモンドシートが作製できる。そのハニカム形状のシート同士を貼り合わせることで、ハニカム形状のダイヤモンド砥石が作製できるのではないかと考えた。

図 1-23 に試作に使用したハニカム成形用のシリコン型の外観写真を示す。この型が PEEK 材を六角形加工したものを元型とし、シリコンを充填することで、同形状のハニカムライン形状が転写できる。3 mm、6 mm、9 mm、12 mm、15 mm、18 mmピッチの元型を準備し、シリコン型を作製した。元型は1つだけ準備することで、N数のシリコン型を作製することができ、ハニカムラインの量産化も視野に準備した。このシリコン型に図1-24 のようにアルミ箔を載せ、2 個目のシリコン型とアルミ箔を挟み込むと図1-25 のように容易にアルミ箔がハニカムラインとして成形できる。



図 1-26 電着後のアルミハニカムライン

このアルミ箔のハニカムラインの上に、ダイヤモンド砥粒を分散させ、スルファミン酸ニッケル溶液に浸漬し、アルミ箔に規定の電流を流すことで、ダイヤモンド砥粒が1層だけ固着でき(仮メッキ)、ダイヤモンド砥粒を除去し、アルミ箔に再度電流を流し、狙いの厚みまでのニッケル電着を行った。ニッケル電着後のアルミ箔とダイヤモンドニッケルの外観写真を図1-26 に示す。この図は、ダイヤモンドニッケル

と、アルミ箔が剥がれている写真である。前述では、アルミ箔は、水酸化ナトリウム溶液に浸漬し、アルミ箔を溶出させ、ダイヤモンドニッケルを抽出していたが、図 1-26 に示す高密着ニッケル電着の前処理工程を全くなくすことで、アルミ箔とダイヤモンドニッケルの密着性が極端に悪くなり、水酸化ナトリウムに浸漬せずとも容易にアルミ箔とダイヤモンドニッケルが剥離できた。これは、工程上の大きな副産物であった。これまでの考えを全く逆に捉えて考えた結果であった。これによって大幅な工程短縮が可能となった。



図 1-27 異形状ハニカムラインの形態

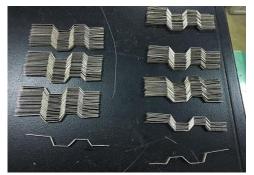


図 1-28 処理後の異形状ハニカムライン

図 1-26 にみられるように成形したアルミ箔には、等間隔に不導体インクをライン上に塗り、その後にダイヤモンド砥粒を分散し、ニッケル電着することで、不導体ライン部分はニッケルが電着できないために、狙った幅の間隔でハニカムラインが容易に抽出できた。写真は5mm幅のハニカムラインである。

また、ハニカムラインの形状を、一様ではなく、階段状に大きさを変えた元型からは、円周に向かってハニカム径を大きくした異形状ハニカムラインが作製できた。図 1-27、1-28 に異形状ハニカムラインの外観写真を示す。

このハニカムラインのダイヤニッケルを交互に背同士を貼り合わせて外周に並べた状態を図 1-29 に示す。図 1-30 は背同士を接着してハニカム砥石に試作した写真である。

新たに作製した製造方法は、ダイヤニッケル電着法だけでなく、強度エポキシ樹脂と銅やスズ粉末をボンド材として作製したダイヤモンドシートの作製にも応用した。

薄膜シート作製機にてエポキシ樹脂ベースで作製したダイヤモンドシートをハニカム形状シリコン型に挟み、180℃で焼成することで、ハニカムラインが容易に作製できた。異形状ハニカムも同様に作製でき、本開発によって、金属(ニッケル)、樹脂系、ビト系など何れのものも容易にハニカム化が可能となった。

シート作製方法の確立においては、色々なパターンの成形も可能となり、計画以上の成果が得られた。

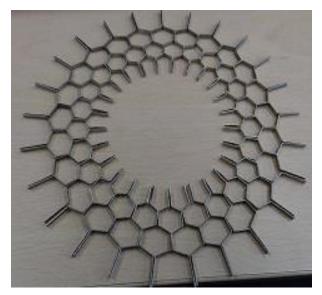


図 1-29 異形状ハニカム(並べ)

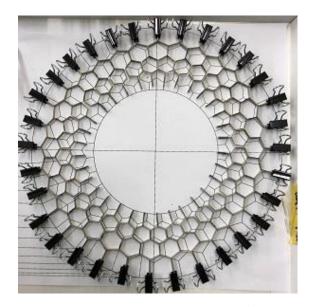


図 1-30 異形状ハニカム(接着)

(2) ハニカム砥石の成形方法の確立

1)目的

複合成形機を使用して任意のハニカム径の成形方法を確立する。

≪28年度≫

2開発内容

[2]

【2-1】簡易成形法の検討

- 一般砥材シート(100 µm 以下)を円柱上に巻き付け、肉厚精度寸法±0.1mm を実現
- 一般砥粒とダイヤ砥粒の組み合わせ(任意の位置にダイヤ部成形)

【2-2】単純積層法の検討

・ダイヤモンド砥材シート(100 μm 以下)にダイヤモンド混合物を任意のハニカム径の間隔で、スクリーン印刷(2 mm×100 ミクロン)を利用して印刷する成形方法を確立する。

【2-3】複合積層法の検討

- ・一般砥材シート(100 μm 以下)にダイヤモンド混合物を任意のハニカム径の間隔で、スクリーン印刷(2 mm×100 ミクロン)を利用して印刷する複合成形方法を確立すること。
- ・【1】で試作したシートを用いて成形できる方法を確立する。
- ・製造コストが既存砥石の50%を実現する。
- •【1-3】,【1-4】で試作したハニカム基材の使用 ⇒ 3、6、9 mmピッチの成形

③実験結果

図2-1~2-4に単純積層成形法の手順を示す。単純積層法は【1】で作製した一般砥材シートを利用し、スクリーン印刷法を用いて一般砥材シートにダイヤモンドパターンを印刷する方法である。図2-1がダイヤモンドスラリー。図2-2に示すようにスクリーン版にダイヤモンドスラリーを塗布し、図2-3のように一般砥材シートに印刷する。



図 2-1 ダイヤモンドスラリーの状態



図 2-2 スクリーン印刷への塗布

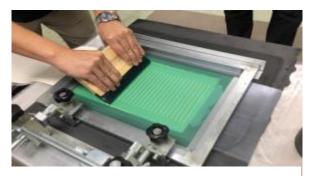


図 2-3 単純積層法の様子



図 2-4 単純積層法で作製したシート

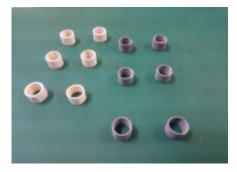


図 2-5 簡易成形法で作製した砥石

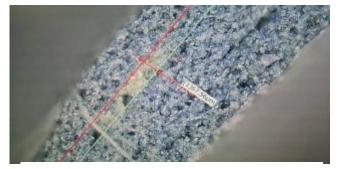


図 2-6 簡易成形法で作製した砥石の内部写真

図2-4は出来上がったダイヤモンドパターンニングシートである。任意の幅・ピッチのダイヤモンドを塗布することで、砥石の内部にダイヤモンドを介在させることが出来る。簡易成形法は【1】で作製したシートまたは上図のダイヤモンドパターンニングされたシートを筒状に成型してするものである。図2-5は8mmの円柱に1mmの肉厚になるように砥粒シートを巻き付け、成形したものである。これは簡易成形法で作製されたものである。図2-6に単純成形し焼成した後の砥石の内部顕微鏡写真を示す。この写真は、シート膜厚測定装置で観察した。シートの一部分にダイヤモンドが配置されているのが確認できる。平均粒径30~40μmのダイヤを塗布したため、2層程度ダイヤ層(約67μm)が埋め込まれているのが分かる。これが簡易成形方法で作製されるダイヤモンド砥石である。

図 2-7 から図 2-10 に複合積層法の概略写真を示す。複合積層成形は、単純積層の繰り返しで行われる。18 mmピッチの単純積層シートを準備し、半ピッチずらした第2層シートを重ねる。3 層目は元に戻した位置で積層。偶数番のシートを半ピッチだけずらして基礎正しく積層させる(20 シート分)。

20 シートで 125 mmぐらいの砥石が作製できる。

積層されたシートを任意の幅(10 mm)で切断し、積層シートの両側を広げると、ハニカム状の成形体が作製できる。12 mmピッチの単純積層シートは、6 mmピッチのハニカム形状となり6 mmピッチの単純積層シートであれば3 mmピッチのハニカム形状の成形体が得られる。



図 2-7 複合成形法 20 枚重合せ 上面



図 2-8 複合成形法 20 枚重合せ 側面

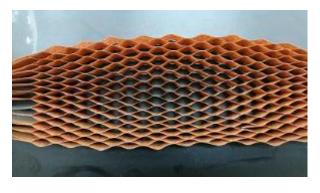


図 2-9 複合成形法 20 枚重合せ 100 mm広

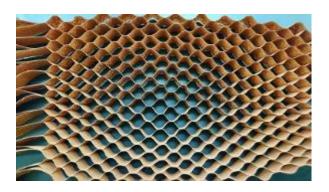


図 2-10 複合成形法 20 枚重合せ 150 mm

【1】で作製したシートを複合積層成形機を用いて任意の径(3,6,9mm)に合うように、シートを積み重ねて積層させて成形する。積層成形されたものを切断して、広げることにより、図 2-11 のようにハニカム砥石が作製できた。

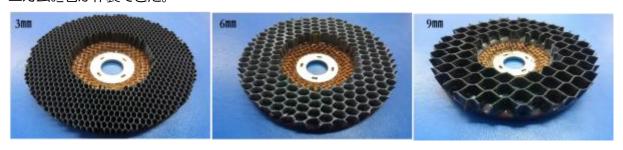


図 2-11 SiC のシートをベースに試作した 3, 6, 9mm のハニカム砥石の外観写真

シートとシートの間はダイヤモンド砥粒を介して結合されており、砥石としての研削力が数十倍に向上した。

4 今後の課題

ハニカム径の制御は積層成形装置で容易になった。

各ハ二カム径に対する各々の肉厚は別途制御する必要がある。計画では任意のシート厚みで成形する方

法で対応したが、ハニカムに成形した後に肉厚を可変させる方法を見出した。その方法を次年度に模索する必要がある。

≪29年度≫

2開発内容

アルミ箔(15ミクロン)を出発原料としてハニカムセル径が1~9mmの4種類のハニカム形状を作製し、【1】の方法でダイヤモンド砥粒を混粒させたニッケルメッキを施して砥石を成形する方法を新たに考案し、実現に取り組んだ。これにより、当初、基材シート上にダイヤモンド砥粒を積層印刷する意味での「単純積層法」とは作業内容が異なるものの、単純積層の後に複合積層を行う従来法に比べ、工程の簡略化が期待される。

③実験結果

図 2-1 2 に 3, 6, 9 mm のダイヤモンドハニカムの写真を示す。 図 2-13 は図 2-12 を加工テストするためのアルミ台座に接着した様子を示す。





図 2-12 Niで固着されたダイヤモンドハニカム

図 2-13 加工テスト向けにアルミ台座に接着した様子

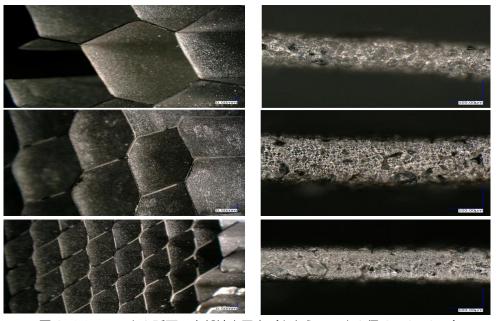


図 2-14 ハニカム砥石の内部拡大写真(上からハニカム径 3、6、9 mm)

図 2-14 にハニカム径3、6、9mmの内部拡大写真を示す。アルミ芯材に対してその外側にダイヤモンド砥粒が混在していることが確認できる。

なお、本手法による砥石の製造コストは、現試作段階では既存砥石と同等であるが、量産によるコストの低減が見込まれる。

④今後の課題

29年度はアルミ箔を出発原料としてハニカム化を行った。アルミ箔は極薄のものを利用して行ったが、アルミ箔自体が液体(メッキ液)の透過をしないことが、課題としてあげられる。一方、無電解メッキ不織布を利用して、芯材の内部も外部も均一にダイヤモンド砥粒が存在できる砥石が理想的であり、技術的には製作は可能であるが、作業工程が増える問題がある。

≪30年度≫

2開発内容

【1】でできたもののハニカム化を行う。樹脂、金属(メッキ)、セラミックスボンドを使用してハニカムを作製する。

アルミ箔(15 ミクロン)を出発原料として【1】の方法でダイヤモンド砥粒を混粒させたニッケルメッキを施して砥石を成形する方法を新たに考案し、実現に取り組んだ。また、高能率加工のダイヤニッケルだけでなく、準鏡面・鏡面加工用の銅+ダイヤ+エポキシ、ダイヤ+ウレタンの作製に成功した。当初、基材シート上にダイヤモンド砥粒を積層印刷する意味での「単純積層法」とは作業内容が異なるものの、単純積層の後に複合積層を行う従来法に比べ、大幅な工程の簡略化が期待できる。

③実験結果

図 2-15 に 1. で確立した製法を用いて、各シートで作製したハニカム砥石の外観写真を示す。(A) はダイヤニッケルマトリクスハニカム、(B) は銅ダイヤエポキシハニカム、(C) はダイヤウレタン ハニカムである。それぞれ中子はポーラスシリカで作製した。

(A) は高速加工用、(B)、(C) は準鏡面・鏡面加工用の砥石である。

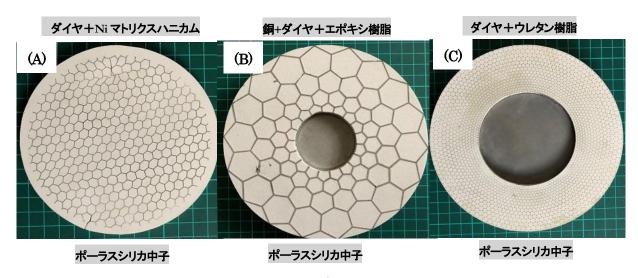


図 2-15 様々形状のハニカムダイヤモンド砥石の外観写真

図 2-16 に Y字形状のダイヤモンドチップである。この ダイヤモンドチップは【1】で開発したダイヤニッケル法 を応用して作製したものである。【1】で作製したハニカムラインをエッジ部分のみを切り出し、「く」の字状を作製し、「く」の字の背同士を接着したものである。これによって Y字形状が作製できる。 Y字形状の砥石化は、任意の場所に Y字として砥石面に貼り付けて作製できる。

図 2-17、2-18 に外周砥石に Y 字形状に溝を形成し、 Y 字チップを接着した外観図を示す。

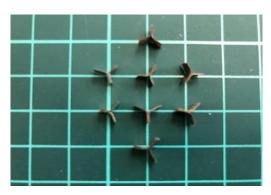


図 2-16 Y字形状チップ

満形状の形成は、レーザー加工機を使用して加工した。

Y字形状チップは、平面砥石でも外周刃砥石でも任意に配置することができる。連続したハニカムは、 平面形状には適しているが、外周刃に応用した場合、内接 120°のハニカムは円周上に倣う際に鞍型 に変形する。これがハニカムの利点であるが、外周刃砥石にとっては欠点であり、応用できない(しに くい)。

Y字形状チップをハニカムの交点(内接 120°)に配置することで、見た目の形状はハニカムが形成できる。また、ハニカムの交点だけではなく、任意の位置に規則正しく Y字形状の砥石を配置すること

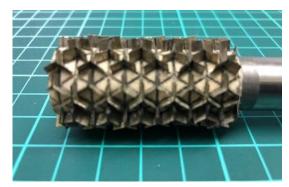


図 2-17 外周刃ハニカム(Ý字) で、更にハニカムダイヤの面積率を高めることがで きる。

連続したハニカムは、平面形状には適しているが、 外周刃に応用した場合、内接 120°のハニカムは



図 2-18 外周刃ハニカム(Ý字)

円周上に倣う際に鞍型に変形する。これがハニカムの利点であるが、外周刃砥石にとっては欠点であり、応用できない(しにくい)。 Y字形状チップをハニカムの交点(内接 120°)に配置することで、見た目の形状はハニカムが形成できる。 また、ハニカムの交点だけではなく、任意の位置に規則正しく Y字形状の砥石を配置することで、更にハニカムダイヤの面積率を高めることができる。

図 2-19、2-20 にダイヤ専有面積の大きな外周刃ハニカムの外観写真を示す。

特に外周刃の場合、研削する際の接触面積が小さいために、ダイヤの線接触面積を増大する必要があった。Y字形状の砥石が作製できることで、外周刃砥石への問題解決が可能となった。

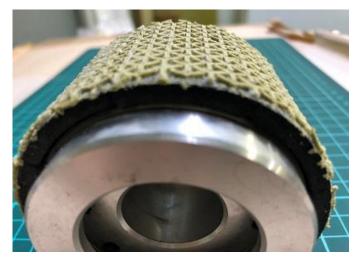
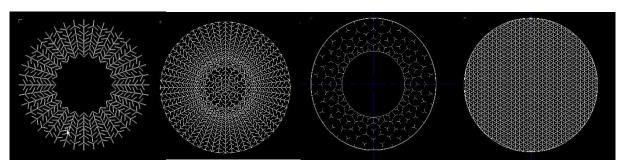




図 2-19 専有面積の大きい Y 字形状ハニカム(横)

図2-20 専有面積大のY字ハニカム外周刃



Y字形状の応用は当然外周刃砥石だけでなく、平面砥石へも応用できる。 図 2-21 に Y字砥石における色々なパターンの砥石の作図結果を示す。

Y字ハニカムの肉厚・一片の長さ・専有面積などをパラメータとして砥石を作製することで、様々な素材・加工条件に対応できることになる。

砥石のハニカム化から始まり、Y字形状の砥石作製まで、任意の形で様々な加工の条件に適した砥石のパターンニング設計技術が確立できた。これに関しては追加で特許申請を行った。

(3) ハニカム成形体の中子の選定及び砥石作製技術の確立

1目的

任意のハニカム径のハニカムの内側に微細気孔を有する中子成形法を確立する。

≪28年度≫

2開発内容

【3】年度目標:多孔質樹脂中子完成

【3-1】多孔質(樹脂・金属・セラミックス)中子製作

・気孔率 40%以上の多孔質で構成し、流量 1 リットル/min/cm²以上の透過流量を確保 (3-2) 硬質中子の作製

- ヤング率 30GPa 以上の硬質中子であり、多孔質ケメット(銅定盤) 砥石を試作すること。
- セラミックス・金属ベース⇒ケメット研磨盤への適用(特に金属)

【3-3】弾性中子の作製

- ・ヤング率 5GPa 以下の弾性中子であり、多孔質バフ砥石(多孔質樹脂)を試作すること。
- 鏡面加工向けの多孔質樹脂製の弾性中子(研磨材含有)

【3-4】静圧構造向けの接着技術の確立

- ・正負圧の流体圧力制御ができる構造並びに 0.2MPa の静圧に耐える強度を有すること。
- 加工熱での剥がれ 反りがない接着剤の選定 方法を確立する。
- アルミもしくはステンレス基板への接合実験。
- ・砥石全面からのエアまたは液体の均質噴出が絶対条件⇒エポキシ樹脂のパターン接着

③実験結果

多孔質中子は【2】簡易成形法及び複合積層法で作製したプローブ砥石及びハニカム砥石に対して、 多孔質樹脂を流し込んで砥石の形状に仕上げたものである。図3-1、3-2にそれぞれの外観写真を示す。 図19はSiC#1000の硬質中子であり、図20はAl2O3#1000の硬質中子である。多孔質中子は、樹脂と骨材(セラミックスや金属)を混錬させて、流し込んだ後に多孔質化させて作製する。



図3-1 中子入りハニカム砥石



図3-2 中子入りプローブ砥石

具体的な製造方法は、樹脂と骨材を混ぜたスラリーを準備する。準備したスラリーをシート作製装置(図 3-3)のロール部分に流し込む。ロールとロールの間隔は 1 mmとし、送り速度を 10 mm/s の速度で水平方向に動かす。滝状に流れているスラリー各ハニカムに流し込むことでハニカムの内径部分が埋まる。その成形体を任意の寸法でウォータージェットを使って切り出す。

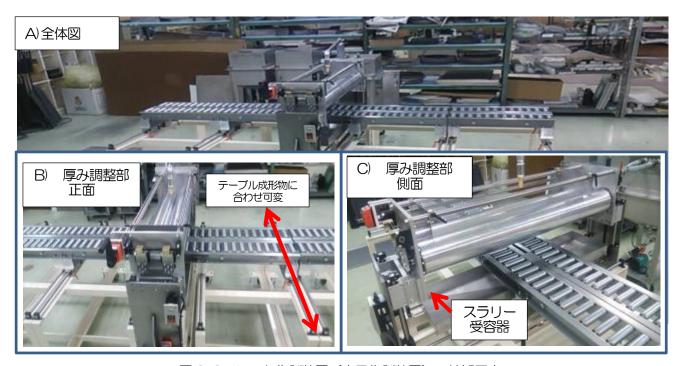


図3-3 シート作製装置(中子作製装置)の外観写真

切り出された砥石は、アルミ台座にO.5mmの空間を空けた状態でエポキシ樹脂を使用して貼り付ける。O.5mmの空間は、空気もしくは水の拡散回路のためである。

4 今後の課題

気孔径が5から10ミクロンの中子では、静水圧力を0.1MPa以下としたときに均一な静圧浮上が可能であった。中子の種類は弾性エポキシ及びウレタン樹脂とし、これらを用いて多孔質化することによって弾性の制御も可能であることが分かった。次年度は各静水圧の圧力に応じた浮上剛性を計測し、鏡面加工への応用を模索する必要がある。

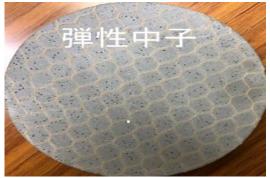
≪29年度≫

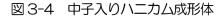
2開発内容

【2】で成形した金属バインダーのダイヤモンドハニカムに対し、ハニカムセルの中子となる気孔率 40%、流量 1 リットル/min/cm2 の透過流量が可能な開気孔多孔質体の作製を目標とした。 【3-1】の応用として、鏡面加工向けに弾性体でかつ開気孔の多孔質体の作製を目指した。

③実験結果







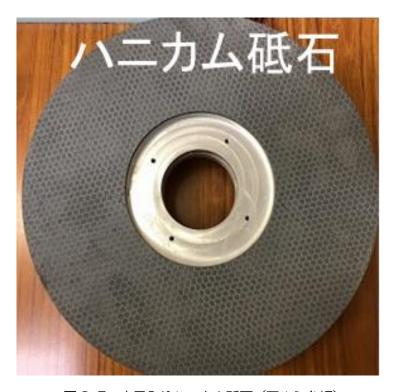


図3-5 中子入りハニカム砥石(アルミ台板)

図 3-4 に中子入りハニカム成形体を示す。上図はセラミックス+エポキシ樹脂多孔質中子であり、 図 3-4 下図はこれに樹脂バルーンを添加した弾性中子である。何れも気孔率 40%以上の目標を達成 した。弾性中子は水分を含浸させることで中子部分が膨張することが特徴である。金属粉末(Cu や Zn)を骨材とした多孔質中子の作製も可能である。

図3-5にハニカム砥石の外観写真を示す。図3-1のハニカム成形体をアルミ台座に0.5mmの空間を空け、千鳥格子に接着剤を配置して貼り付けたものである。0.5mmの空間と千鳥格子による接着

層が、砥石全面から空気もしくは水を吐出できる仕組みである。10μmの粒径を出発原料とすることにより流量1リットル/min/cm²の透過流量が可能な砥石が作製できることが分かった。 この試作砥石を用いて【4】の高速加工実験を行った。

4)今後の課題

使用する粉末の粒径が、気孔率、流量調整のカギである。各種粉末を用いてより安定した気孔率・ 流量の調整技術の確立が課題である。

≪30年度≫

2開発内容

【1】【2】で成形したダイヤニッケルのダイヤモンドハニカムに対し、ハニカムセルの中子となる 気孔率 40%、流量 1 リットル/min/cm² の透過流量が可能な開気孔多孔質体の作製を目標とした。 【3-1】の応用として、鏡面加工向けに弾性体でかつ開気孔の多孔質体の作製を目指した。

【2-3】で成形したメッキによるハニカム砥石に対してコロイダルシリカ及び酸化セリウムと骨材とした多孔質中子を作製する。中子砥粒脱落によるスクラッチ防止を狙う。

③実験結果

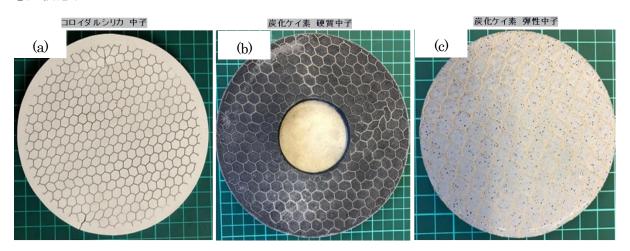


図3-6 各種セラミックスの多孔質中子

図3-6に各種セラミックスの多孔質中子の外観写真を示す。

(a) はコロイダルシリカ、(b) は炭化ケイ素、(c) は微粉炭化ケイ素とマイクロバルーンを出発原料として作製したものである。硬質・軟質・弾性など出発原料の組み合わせで作製が可能。

特殊樹脂をベースに気孔率 40%以上の多孔質中子(コア材)の成形が可能となった。 弾性中子は、各種粒と中空バルーン(樹脂)を配合して、弾性度合いの調整が可能。 特殊樹脂の成分が成型焼成後に揮発して気孔を生成。気孔率の調整が可能 中子に使用する粒の大きさが気孔径を決定する。

気孔径が小さいほど、浮上剛性が大きく、気孔径が大きくなることで、浮上剛性が小さくなる。

気孔率は、多孔質中子を作製する際のバインダーの量で調整でき、どの材料を使用したとしても、40%から45%の気孔率を維持することができる。気孔率が小さいほど浮上剛性も低下する。

(4) 高硬度材料の高速加工技術の確立

1)目的

ハニカム砥石に正・負圧の水圧力を印加し、材料の加工速度を制御する。

≪28年度≫

2開発内容

【4-1】正・負圧加工の検討

- サファイア、SiC 加工で 30 μ m/min の加工が実現できること(既存遊離砥粒方式の 30 倍以上)
- ハニカム砥石を利用して正・負圧加工を行う。

③実験結果

上記の検討で得られたハニカム砥石を用いて予備試験を行い、サファイアを被削材として正負圧の加工速度と表面粗さの関係を見出した。図4-1にサファイアの研削加工実験結果を示す。

ガラス基板・テンパックスを対象も同様に高速加工の検討を行い、多孔質中子を介して砥石表面を負 圧にすることにより除去体積が大きくなり、切削抵抗が大きくなることを確認した。

図4-2、4-3はハニカム砥石をアルミ加工に適用した結果を示す。市販の砥石に対して、同等の除去 能率を示し、表面粗さは半分以下の粗さが得られた。

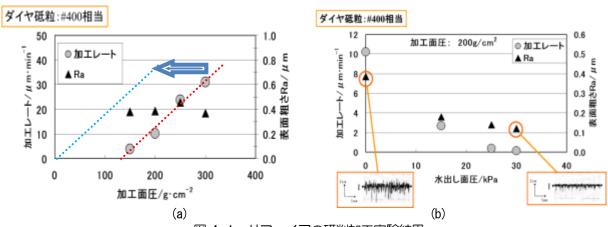


図 4-1 サファイアの研削加工実験結果

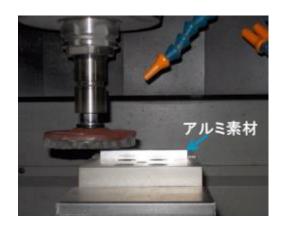


図 4-2 加工の様子

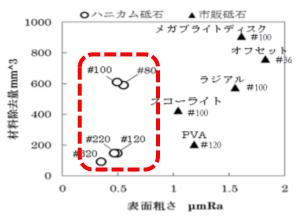


図 4-3 各種砥石の除去速度と表面粗さ

4 今後の課題

負圧の真空度を高くすることと、正圧の圧力を上げて加工実験を行うことで、研削加工の切れ味及び 寿命を容易に制御できると思われる。次年度でその実証を行う必要がある。

≪29年度≫

2開発内容

【3】で製作したハニカム砥石を各種加工機に搭載し、ハニカム形状が加工能率や工具の切れ味、寿命に及ぼす影響について調べた。

正圧の圧力やハニカム形状が加工レートや仕上げ面の表面粗さに及ぼす影響を調べ、厚さの誤差が生じやすい加工停止時の加工レートを調整した。正圧を印加することによってワークが浮かび上がり、加工量が印加圧力に比例して小さくなることを確認した。

③実験結果

図 4-4 にハニカム砥石のタレット研削盤での試験状態を示す。図 4-5 には動力計に石英基板を取り付け、研削加工している様子を示す。中子を入れない状態で、ニッケルメッキしたハニカムの研削性能を評価した。

図 4-6 に加工結果を示す。図中左手に研削加工条件を示す。ハニカム径が大きくなるにつれ、切れ味が向上することが確認できた。ワークの粗さは、概ね Ra:O.15 μm を示していた。



図 4-4 ハニカム砥石の装置取付状態



図 4-5 ハニカム砥石の試験状態

石英サイズ 50×100mm

加工条件:砥石回転速度:15.7m/s

:送り速度:600mm/s :切込量 10ミクロン/pass×150pass =1500µm、350pass、450pass 各種

砥石種類	径	オフセット台座				粗さ		
		研削量	摩耗量	研削比	研削量	摩耗量	研削比	Ra
ハニカムNi	3 mm	1480	20	58				
ハニカムNi	6 mm	4470	30	117	1499	0.5	250	0.15
ハニカムNi	9 mm	3440	60	45	1499	1	125	0.16

図 4-6 ハニカム砥石の性能

試作したハニカム砥石の特性を評価するために、自社所有の両面ラップ機を使用し、系統試験を実施した。

図 4-7、4-8 に両面ラップ機による青板ガラスの加工実験結果を示す。理想的な加工が出来ている状態は、右図の赤色点線以上の領域である。研削が進行しなくなる状況は左表の研削抵抗比が 0.2 を下回る時である。ダイヤ粒の突出しがある状態では、この研削抵抗比が 0.25 以上になる。実際には抵抗は測定していないが、この表を使用することで、どんな状態で削れているかを判断できる。ガ

ラスに対しては、ほぼ継続的な加工が出来ている。多孔質セラミックスや御影石(石材)も同様に加工できた。

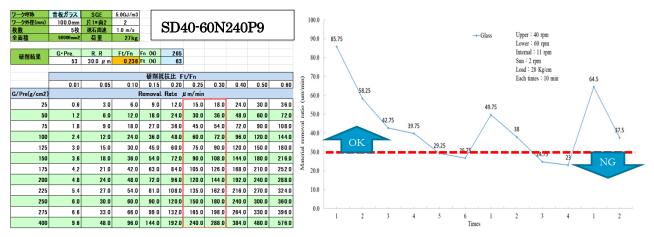


図 4-7 理想的な荷重と研削除去速度の関係

図 4-8 青板ガラスの両面加工結果

図 4-10 に石英素材の両面研削加工結果を示す。青板ガラス同様に、石英で理想的な加工が出来ている状態は、右図の赤色点線以上の領域である。2バッチ目から赤点線を下回っていることが確認できる。6バッチ目に青板ガラスに戻しても研削レートは改善しないことから、砥石の状況は、自生発刃を生じない目つぶれの状態と判断できる。加工後の砥石は、研削初期状態とほぼ変わらす、摩耗は認められない。実験結果から、試作した砥石が強すぎることが分かる。ハニカムのセルサイズを大きくしたり、ハニカムの肉厚を変化させてダイヤの突出しとハニカムの摩耗を増やし、切れ味維持対策を行う必要がある。

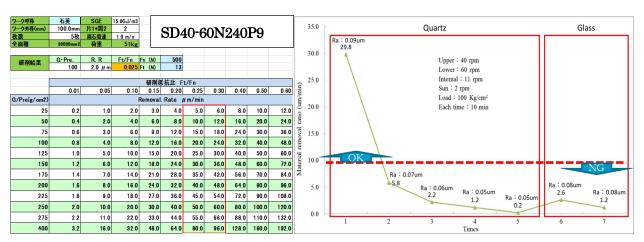


図 4-9 理想的な荷重と研削除去速度の関係

図 4-10 石英の両面研削加工結果

表 4-1 試作したニッケルメッキハニカム砥石のハニカム肉厚測定結果

				計測								
		セル		ハニカム厚さ 単層部 /µm	ハニカム厚さ 2層部 /µm	片側名	ズイヤ層リ /μm	享さ	ニック	rル被覆原 /μm	厚さ	被覆厚さ
ミクロン	メッシュ	mm	ID	Ave.	Ave.	Ave.	単層部	2層部	Ave.	単層部	2層部	ミクロン最大
Al 15T	Ref.	9	-	19	40							
40-60	325/400	9	A(24h)	135	163	63	63	62	3	3	2	0.04
40-60	325/400	9	B(36h)	180	211	76	72	86	16	12	26	0.27
40-60	325/400	9	C(48h)	193	222	87	84	91	27	24	31	0.44
40-60	325/400	9	D(72h)	213	237	99	99	99	39	39	39	0.65

本実験では、表 4-1 の D (72h) の素材を採用した。ニッケルの膜厚は砥粒径に比べて 1.5 倍の肉厚のメッキを施している。これが石英加工時の自生発刃が生じなかった要因だと推察できる。【2】で試作したハニカム砥石は、メッキの時間によってハニカムの肉厚が大きく変わる。図 4-3 の結果においても当初の計画の 10 倍以上の研削比が得られた。Ni メッキされたハニカム砥石の膜厚が厚すぎるために、砥石の摩耗が殆ど生じない現象と考えられる。

正圧実証実験に関しては、正圧 50kPa で十分ワークが浮上することが確認できた。50kPa は、面圧では 500g/cm 2 である。ラップ加工では 100~200g/cm²の加工条件を適用した。計算上は 300g/cm²が浮上する計算にあるが、気孔径が大きいもの、流量が流れすぎるものは、50kPa の制圧の条件でもワークは浮かび上がらない。各気孔径並びに各流量をパラメータとし、浮上実験を行った。浮上する条件として、気孔径が 10 ミクロン以下でかつ流量 1 リットル/min/cm²が浮上する条件であることが見いだせた。中子の気孔径が、10 ミクロンを超えると多孔質中子に背圧がかからない。背圧がかからないと多孔質体の面上にワークは浮かばない。より抜けやすいところから流体(空気・水) は吐出し、ワークには圧力が加わらない。ハイドロプロセスに必須な加工条件並びに中子の条件は、10 ミクロン以下の気孔径、1 リットル/min/cm²の条件であることが分かった。

4 今後の課題

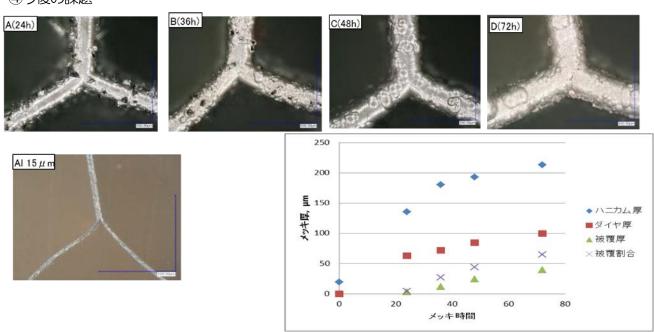


図 4-11 メッキ厚みを可変させたハニカムダイヤモンド砥石の外観写真

図 4-11 にメッキ時間を可変させたハニカムダイヤモンド砥石の外観写真を示す。今回の実験は D (72 h) のものを使用した(表 4-1 参照)。しかし、砥石として機能させるためダイヤモンドを 1 層だけ着ける場合には、アルミ箔芯材の厚さ $15 \mu \text{m}$ とダイヤモンド流を包含できるメッキ厚さ $60 \mu \text{m} \times 2$ 面の合計 $135 \mu \text{m}$ (表 4-1 では A(24 h)) で充分であると考えられる。

このように、実際試作されたハニカムの状態を確認しながら、加工実験を遂行する必要がある。

ニッケルメッキの試作砥石だけでなく、系統的にデータを積み上げながら加工実験を進める必要がある。図 4-4 と図 4-6 に示したように、理想的な加工が実現できたならば、加工荷重と除去速度は計算できる(仮定の下に)。このような手法での砥石開発が有用な方法であると考える。

≪30年度≫

2開発内容

【3】で製作したハニカム砥石を各種加工機に搭載し、ハニカム形状が加工能率や工具の切れ味、寿命に及ぼす影響について調べた。

正圧の圧力やハニカム形状が加工レートや仕上げ面の表面粗さに及ぼす影響を調べ、厚さの誤差が生じやすい加工停止時の加工レートを調整した。正圧を印加することによってワークが浮かび上がり、加工量が印加圧力に比例して小さくなることを確認した。

サファイアを対象に $30 \, \mu \text{m/min}$ の加工速度(40-60 >20ロンダイヤ)を実現。ダイヤ径・ハニカム径・厚みを可変して、片・両面ラップ機を用いて実証した。

正圧の圧力を O.2MPa まで高め、負圧から正圧の一元制御を可能とし、SiC を対象に $Ra:O.O5 \mu m$ の鏡面加工、 $10 \mu m$ /min の加工速度を実現した。実験には安定したデータ取得のためロール砥石を用いた。

③実験結果

図 4-12 に今回実験を行った 9B5L 機の砥石搭載後の外観写真を示す。

図 4-13 はその拡大図である。この砥石は、セルサイズ 9 mm(C9) のものである。同様に C3,C6 載せるサイズのものも作製した。ダイヤモンド砥粒サイズは 40-60 ミクロンを使用し、中子コアは #400 の SiC の多孔質セラミックスを使用した。これらの砥石を利用し、アルミナ素材(98%アルミナ:京セラ製 127×115×4 mm)の連続加工実験を行った。素材のセラ板にはバラツキがあり、4.1 mm~4.3 mmのものを使用し、2.65 mmまでの両面連続加工を実施した。



図 4-12 9B 両面加工機全体図



図 4-13 全面 C9 ハニカム外観



図 4-14 連続加工実験のワーク配置

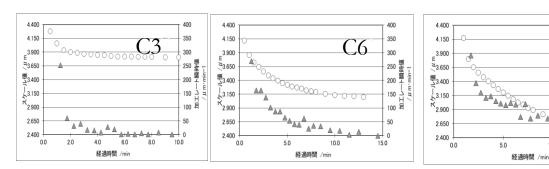


図 4-15 セルサイズの違いによる加工レート

350

250 塩

150 日 100 早

50

15.0

C9

10.0

加工条件は、砥石周速 1.3 m/s、加工圧 300g/cm^2 である。図 4-14 に連続加工実験のワーク配置写真を示す。

図 4-15 にセルサイズの違いによるアルミナ素材の加工レートの変遷結果を示す。図中〇はスケール値を示している。 ▲は瞬間の加工レートを示している。

C3のハニカム砥石は、加工初期のから200ミクロンぐらいの板厚バラツキがある部分はそれなりに加工できているが、3.9 mm近辺で大幅に切れ味が低下していることがわかる。C6のハニカム砥石は3.15 mm程度で切れ病んでいることが確認できる。C9のハニカム砥石は2.65 mmの狙い寸法まで直線的に加工が継続できていることがわかる。この素材を安定的に連続して加工するためにはセルサイズをさらに大きくした方が、ドレスなしでの連続加工ができることが推察できる。C9のハニカム砥石の場合1.5 mmを約10分程度で加工できている。平均加工レートは150μ/minである。アルミナ素材に厚みバラツキがあるためなのか、数10バッチ加工した後にも、この加工レートがほぼ一定で推移できた。

図 4-16 にセルサイズ C6 をΦ40 mmサイズに切断し、60 mm間隔で接着固定し、SiC 中子を充填したダイヤモンドハニカムを準備した。C6 のハニカム砥石は、アルミナ素材加工において、3.1 mmの厚みで切れ味が低下した。同じハニカム砥石において、形状の効果を検討した。

図 4-17 に C6 全面ハニカムとΦ40 ハニカムのバッチごとの加工レートの関係を示す。

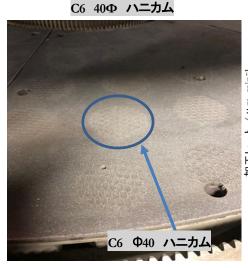


図4-16 C6-Φ40ハニカム外観写

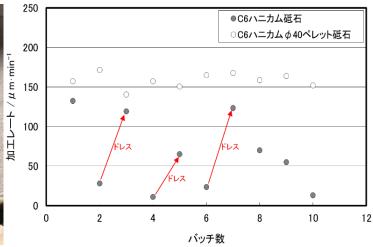


図4-17 全面とC6-Φ40ハニカムの加工レート

全面ハニカムの場合加工レートは 1 から 2 バッチでほぼゼロに近づく。一方、同様のハニカム成分でもの40 mmで切断し 60 mmピッチで接着したハニカム砥石は、加工レート 150 μm/min 付近でバッチに影響せずに安定して加工ができていることがわかる。C9 の全面ハニカムと同等の加工レートが安定して得られることが分かった。通常のペレット砥石同様、ハニカム砥石もペレット化して加工能率の調整ができることが分かった。

C3<C6<C9 とセルサイズが大きくなるにつれて加工レートが向上する。 セルサイズが同じハニカム砥石でも形状を不連続に配置することで加工レートは向上する。 加工レートは負圧にしても大きな差は見られない。

水を媒体とした場合

加工レートは正圧の大きさに比例して低下する。

正圧50kPa以上で加工レートはゼロに近づく。

水を媒体とした場合

加工レートは50kPa以上の正圧の大きさに比例して低下する。

・ハニカム砥石の外周刃への応用

川下事業者の要望で、平面砥石だけでなく、ハニカム砥石の外周刃への適用がニーズとして数多く上げられた。

実際に平板のハニカムは、円筒状に変形させると鞍型に変形し、台座の外周に沿わない形になる。実際にはハニカム形状を長方形にすることで、外周に沿った形状での貼付けが可能になることが分かった。図 4-18、4-19 には今回試作した外周刃の一例を示す。試作した外周刃砥石に関しては、川下ユーザでのテストを実施している。





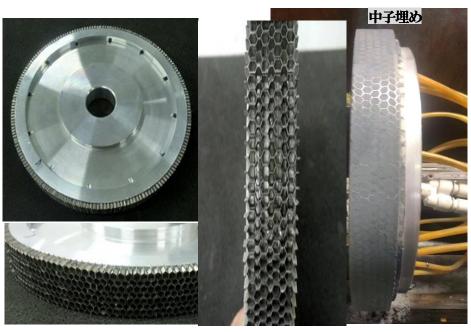


図 4-19 八二カム外周刃

(5) 加工精度の改善及び準鏡面加工技術の確立

1月的

ハニカム砥石に正負圧の静水圧制御を行い、加工精度の改善並びに鏡面加工を実現する。

≪28年度≫

2開発内容

【5-1】ワープ、ソロバン形状対策加工技術の確立

• ワープ、ソロバン形状対策を実現し、 ϕ 2 インチのサファイアウェハで全体的平坦度: 2μ m、ワープ: 5μ m 以内を実現する。

③実験結果

大昌精機(株)にてダブルディスク研削盤を改造し、水圧制御可能な機械装置を開発した。図5-1~5-4にその外観写真を示す。

予備研削実験を行い、水出し機能の動作及びその効果を確認した。



図 5-1 両頭研削盤加工状況

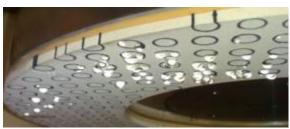


図 5-2 両頭研削盤上面からの水吐出



図5-3 砥石のドレス方法



図 5-4 ワーク供給治具

4)今後の課題

正負圧を制御できる両頭研削盤の改造は完了し、自社の静水圧両面ラップ装置へのハニカム砥石搭載も可能になった。静水圧を制御することで、ウエハの形状対策加工が実現できる。次年度はその実証を両頭研削盤とラップ装置を使って実施する必要がある。

≪29年度≫

2開発内容

各種基板のラップ加工において問題となるワープ(反り)、ソロバン(縁ダレ)等の形状対策として、 *4*2 インチのサファイアウェハを対象に正圧ハイドロプロセスの効果を実証した。

③実験結果

図5-5にサファイアの加工結果を示す。2インチのサファイア基板はアズスライス(ワイヤーカット後)状態では50μm程度のワープを有している。静水圧加工無で加工しても、そのワープは除去できなかった。中子入りのハニカム砥石を用いて、上下ハニカム定盤に20kPaの静水圧を加えながら加工した場合、ワープは約半分になった。50kPaの静水圧を加えた加

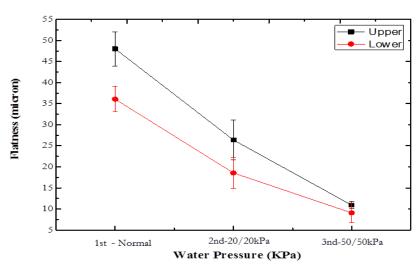


図5-5 サファイア2インチ基板の静水圧加工結果

工では10ミクロン以下の平面度が得られた。

初期 50 µm のワープは砥石からの静水圧を吐出しながら加工することで 10 分の 1 の平面度まで 小さくできることが分かった。

また静水圧加工を実施することでワープの減少だけでなくソロバン形状の強制も可能であることが分かった。

④今後の課題

川下企業のニーズを受け、以下の実証試験を行う。

- ・弾性中子を使用した圧力制御研磨システムについて作業工程を確立する。ワープやソロバン形状を真空(負圧加工)で実施し、Ra10nm 以下の表面粗さを実現する。
- ・大直径基板の加工に対応するため、ロータリー研削盤を導入した(図 5-6)。上下面でハイドロプロセスを実行できる。また、下面を負圧にして真空チャックとして使用すれば、材料の脱着が容易になり、ガラス基板及び石英基板などの脆弱な材料の加工システムとしてユーザーに訴求する。



図5-6 ロータリー研削盤の外観(29年度新規購入)

≪30年度≫

2開発内容

川下企業のニーズへの対応として、口500 mm(対角長約700 mm)セラミックス基板の研削加工にハイドロプロセスを適用し、同時両面加工による基板の反りやワープ形状の除去加工に取り組む。通常、ラップ盤では基板直径の3倍以上の直径のテーブルや砥石が必要になり、基板サイズが大きくなるにつれて実現が難しくなる。本研究では、既存の両面ラップ盤を改造して上下回転盤の回転軸をオフセットすることにより、最小限の機械サイズ・砥石サイズにて、形状不量の少ない大型基板研削加工を実現する。

また、【1】、【2】で試作した準鏡面加工用砥石を用いて正負圧ハイドロプロセスで SiC の構想鏡面加工を実施した。

③実験結果

【5-1】 □500 両頭研削盤の試作

中古の両面ラップ機を改造し、口500 mm両頭研削盤を試作した。

図 5-7に全体構成の模式図を示す

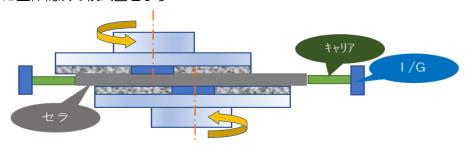


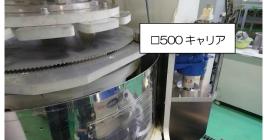
図 5-7 口500 両頭研削盤

既存の両面ラップ機では、基板サイズ \$\phi 300 mmまでしか対応できない。また、ロータリー研削盤では、 高能率の大平面加工は実現できたが、片面加工のため、平面度の確保に多工程が必要になる。 改造した 両頭研削盤を用いて大型基板のハイドロプロセス加工を実証した。

図 5-8に試作した両頭研削盤の外観写真を示す。







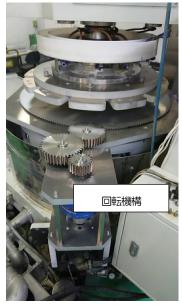


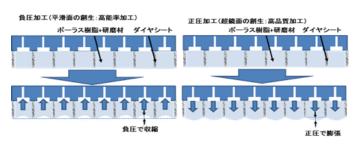
図 5-8 口500 両頭研削盤外観写真

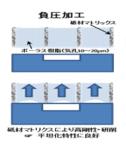
12B サイズのハイドロプロセス両面ラップ機を改造して、ロ500 mmのキャリア並びに別軸で回転機構を設置した。上砥石部が 50 mm軸シフトし、上下の砥石のツルーイングドレッシングを可能とした。

【5-2】ハイドロ制御研磨システムにて準鏡面加工技術の確立

【3-3】で製作した多孔質樹脂製の弾性中子を持ったハニカム砥石を使用した。

平滑面の創生を行う際には多孔質樹脂製の弾性中子に負圧(真空)をかけ多孔質樹脂を収縮させることによって、図 5-9 左図のようにハニカムダイヤシートを先に加工物に接触させる。逆に、超鏡面の創生の際には図 5-9 右図のように正圧を印加し多孔質樹脂を膨張させる。多孔質樹脂に対して正・負圧を印加することで研磨の形態を制御することが可能となる(図 5-9 右図に拡大図示する)。なお、負圧加工の際には切削液の供給は砥石外部からとなる





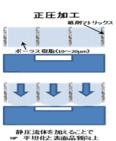
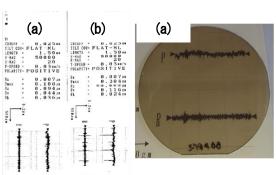
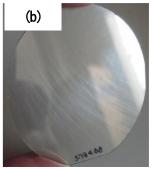


図5-9 正負圧加工の研磨砥石の概念図





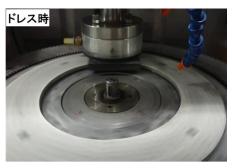


図 5-10 SiC の研削・研磨加工

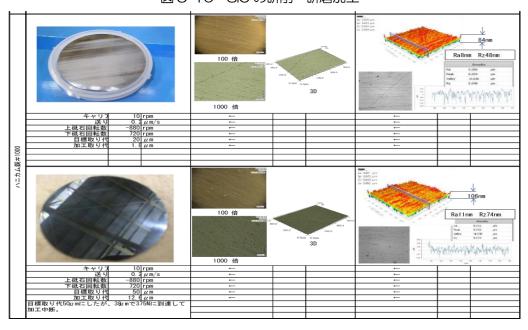


図 5-11 SiC の研削・研磨加工表面粗さ

図 5-10 に 2 インチ SiC の研削加工結果を示す。図中左図は表面粗さ計による粗さデータである。 図中(a)は研削研磨加工された表面粗さデータであり、そのワークはウエハ写真の(a)である。 (b)は負圧加工時のウエハの粗さであり、ワークはウエハ写真の(b)に示す。

全体のRaには大きな差はないが、Ryに差がみられる。負圧研削加工においては、研削筋がみられる。 粗さデータのスパイク上の形状と一致する。

正圧研磨加工でこのスパイク上の深いスクラッチが改善されているのが確認できる。

図 5-11 に Zigo3 次元光学測定機で表面観察並びに粗さ測定を行った結果を示す。正圧加工を実施した SiC は表面粗さが Ra:8nm Rz:48nm の結果が得られた。この時の加工速度は $12\,\mu$ m/min であった。高速加工と高表面品質の正負圧加工が実証できた。

(6) 研磨プロセスの自動搬送システムの開発

1)目的

被加工物のサイズに依存しない吸着を実現し、加工機への自動搬送を実現すること

- ≪28年度≫
- 2開発内容

【6】研磨プロセスの自動搬送システムの開発

- ワークサイズキャリア形状に依存しない吸着搬送システムであること
- ø21 mm×厚み300 ミクロン以下のワークを吸着搬送できること
- 多孔質セラミックスを利用してワークとキャリアを同時に吸着搬送できること
- 既存のラップ装置の改造にて展開ができる設計とする。

③実験結果



図 6-1 *d* 21mm ウエハの吸着実験の様子



図 6-3 *ϕ* 21mm ウエハのみ吸着実験の様子



図 6-2 *ϕ* 21mm ウエハキャリア同時吸着



図 6-4 *ϕ* 21mm ウエハのみ吸着

図 $6-1\sim6-4$ に $\phi21$ mmのアルミナウエハの吸着試験を簡易治具を作製し、自動化に向けた実験の様子を示す。

①キャリアとワークの同時吸着並びに②ワークのみの吸着が可能かの実験を試み、エアロフィックスを採用することで、サイズの異なるワークも吸着搬送できることを確認した。



図 6-5 UD/UL (7B) 自動搬送装置外観図

ナノテム所有の7Bラップ装置に本事業で自作した片面自動搬送装置を搭載した(図6-5)。

φ21mmウエハとサイズの異なる4インチウエ ハ等の部分吸着が実現できた。

4)今後の課題

単独機での自動搬送装置はエアロフィックスで実現できた。既存の7B ラップ装置との電気信号の取合が必要であった。設計段階からの自動化システム対策は容易であるが既存装置への自動化取り組みが今後の課題。吸着に関しては、 φ300 mmへの対応も今回の試作で実現できているので、16B(400 mmウェハ)サイズの自動搬送装置への取り組みが今後の課題である。

2-4 補助事業の成果及びその効果

(1) ハニカム砥石の基材(シート)成形方法の確立

①28年度の成果

各種砥粒を含有した薄い研磨用シートを、シート作製機を活用することで作製できた。肉厚は最薄で30μmのものも作製できた。樹脂だけではなく、セラミックスや金属をバインダーとしたシートが作製できた。

②効果

一般砥材だけでなくダイヤモンド砥粒でもシート化できた。研磨紙にも応用可能。層ごとに砥材の種類を変えることが可能で、シート内での砥粒のパターンニングも可能となった。砥石の切れ味向上は砥粒間隔の制御が一番効果的であった。本事業は簡単に実現できる。

①29年度の成果

アルミ合金への電解ニッケルメッキは特殊であり、下記の方法でしか電解メッキが出来なかった。 無電解ニッケル+電解ニッケルとアルミ合金への電解ニッケル法方法を用いることで、基材の種類 を問わず、色々なダイヤ含有シートが作製できることが分かった。

②効果

ニッケルをベースとしたシートは、樹脂系、セラミックス系に比べて格段に強度が高い。29年度は金属系のボンドでの基材シートの成形法が確立できた。強すぎるシートを出現させたことによって、砥石の応用に幅が出来ると考える。

①30年度の成果

アルミ合金への電解ニッケルメッキは特殊であり、高密着の方法でしか電解メッキが出来なかった。 新製造方法は、ダイヤニッケル電着法だけでなく、強度エポキシ樹脂と銅やスズ粉末をボンド材として、ハニカムラインが容易に作製できた。

②効果

異形状ハニカムも同様に作製でき、本開発によって、金属(ニッケル)、樹脂系、ビト系など何れの ものも容易にハニカム化が可能となった。シート作製方法の確立においては、色々なパターンの成形 も可能となり、計画以上の成果が得られた。

ハニカム砥石の基材として導電性のあるアルミ箔にメッキによりダイヤモンドを固着する方法を確立 した。

(2) ハニカム砥石の成形方法の確立

①28年度の成果

各種砥粒を含有したシートを用いて任意のハニカム径(3、6、9mm)の成形が複合積層成形機を活用することで実現できた。ハニカムの柱の肉厚調整は、成形後の肉厚調整で制御可能となった。

②効果

シート厚みとハニカム径が砥石の切れ味に影響し、シートの砥粒保持力が工具寿命に影響することが確認できた。

複合積層成形機の導入により、任意のハニカム径を作製でき、また積層枚数によってハニカム砥石全体の大きさを簡単に可変できるようになった。従来の成形型を用いた砥石の成形方法と比較して50%以上のコストダウンが見込める。

①29年度の成果

各種砥粒を含有したシートを用いて任意のハニカム径(3、6、9mm)の成形が複合積層成形機を活用することで実現できた。特にニッケルをベースにしたハニカムの柱の肉厚調整は、成形後の肉厚調整で制御可能となった。

②効果

シート厚みとハニカム径が砥石の切れ味に影響し、シートの砥粒保持力が工具寿命に影響することが確認できた。特にニッケルのハニカム砥石の寿命はレジやビト砥石に比べて数10倍から100倍近い寿命があることが分かった。

①30年度の成果

各種砥粒を含有したシートを用いて任意のハニカム径(3、6、9mm)の成形が複合積層成形機を活用することで実現できた。特にニッケルをベースにしたハニカムの柱の肉厚調整は、成形後の肉厚調整で制御可能となった。ハニカム形状の砥石は、色々な方法で作製できるようになった。 単純ハニカム形状だけでなく、砥石の切れ味と寿命の両立が可能となる砥石の開発を進めた。

Y字形状チップの製造方法に着目し、平面砥石でも外周刃砥石でも任意に配置することができる砥石の開発ができた。Y字形状チップをハニカムの交点(内接 120°)に配置することで、見た目の形状はハニカムが形成できる。

また、ハニカムの交点だけではなく、任意の位置に規則正しく Y 字形状の砥石を配置することで、 更にハニカムダイヤの面積率を高めることができる。

特に外周刃の場合、研削する際の接触面積が小さいために、ダイヤの線接触面積を増大する必要があった。Y字形状の砥石が作製できることで、外周刃砥石への問題解決が可能となった。

②効果

シート厚みとハニカム径が砥石の切れ味に影響し、シートの砥粒保持力が工具寿命に影響することが確認できた。特にニッケルのハニカム砥石の寿命はレジやビト砥石に比べて数10倍から100倍近い寿命があることが分かった。樹脂、金属、セラミックスを使用してハニカムを作製する、またロール状のハニカム砥石を作製できた。

(3) ハニカム成形体の中子の選定及び砥石作製技術の確立

(1)28年度の成果

気孔率が40%以上の多孔質中子の作製が可能となった。ハニカム砥石との相性はスラリー状の中子を 注入することで接合強度が向上することが分かった。多孔質の中子は、加工熱や回転強度に対しても気 孔が有効に機能していることが確認できた。

②効果

ハニカム砥石からの水・エア等の出し入れは、多孔質中子の存在がキーポイントとなる。本技術が確立されたことによって、加工中の被加工物への直接冷却効果や砥石の目詰まり除去効果が得られる。また砥石への静水圧付与は多孔質中子の存在が不可欠なため、本成果は今後のハニカム砥石開発の最重要部分である。

①29年度の成果

気孔率が40%以上の多孔質中子の作製が可能となった。硬質中子と弾性中子を作製できた。流量1リットル/min/cm2の透過流量が可能な開気孔多孔質体が容易に作製できる技術が確立した。ハニカム砥石との相性はスラリー状の中子を注入することで接合強度が向上することが分かった。多孔質の中子は、加工熱や回転強度に対しても気孔が有効に機能していることが確認できた。

②効果

ハニカム砥石からの水・エア等の出し入れは、多孔質中子の存在がキーポイントとなる。本技術が確立されたことによって、加工中の被加工物への直接冷却効果や砥石の目詰まり除去効果が得られる。また砥石への静水圧付与は多孔質中子の存在が不可欠なため、本成果は今後のハニカム砥石開発の最重要部分である。

①30年度の成果

特殊樹脂をベースに気孔率 40%以上の多孔質中子(コア材)の成形が可能となった。 弾性中子は、各種粒と中空バルーン(樹脂)を配合して、弾性度合いの調整が可能。 特殊樹脂の成分が成型焼成後に揮発して気孔を生成。気孔率の調整が可能。

中子に使用する粒の大きさが気孔径を決定する。

気孔径が小さいほど、浮上剛性が大きく、気孔径が大きくなることで、浮上剛性が小さくなる。

気孔率は、多孔質中子を作製する際のバインダーの量で調整でき、どの材料を使用したとしても、40%から45%の気孔率を維持することができる。気孔率が小さいほど浮上剛性も低下する。

②効果

ハニカム砥石からの水・エア等の出し入れは、多孔質中子の存在がキーポイントとなる。本技術が確立されたことによって、加工中の被加工物への直接冷却効果や砥石の目詰まり除去効果が得られる。また砥石への静水圧付与は多孔質中子の存在が不可欠なため、本成果は今後のハニカム砥石開発の最重要部分である。硬質中子ハニカム砥石で高速加工、弾性中子ハニカムで鏡面加工が実施できることが示唆できた。

(4) 高硬度材料の高速加工技術の確立

①28年度の成果

試作したハニカム砥石を用いて加工実験を実施した。ガラス基板とテンパックスを主な被加工物として加工を行った。負圧の加工は、通常の加工に比べて加工抵抗が高く、除去能率も高いことが分かった。 ②効果

多孔質中子を介して空気もしくは液体の出し入れが可能になり、砥石の応用が広がる。 正圧加工は今後実施するが、砥石の切れ味向上と良好な加工品質を両立できる可能性がある。

①29年度の成果

試作したハニカム砥石を用いて加工実験を実施した。ガラス基板とテンパックスを主な被加工物として加工を行った。負圧の加工は、通常の加工に比べて加工抵抗が高く、除去能率も高いことが分かった。 Niベースのハニカム砥石は、寿命が予想の10倍から50倍以上であった。

②効果

多孔質中子を介して空気もしくは液体の出し入れが可能になり、砥石の応用が広がる。 正圧加工は今後実施するが、砥石の切れ味向上と良好な加工品質を両立できる可能性がある。

①30年度の成果

セルサイズが大きくなるにつれて加工レートが向上する。

セルサイズが同じハニカム砥石でも形状を不連続に配置することで加工レートは向上する。

加工レートは負圧にしても大きな差は見られない。

水を媒体とした場合:加工レートは正圧の大きさに比例して低下する。

正圧50kPa以上で加工レートはゼロに近づく。

加工レートは50kPa以上の正圧の大きさに比例して低下する。

ことが確認でき、高硬度材料の高速加工技術の方向性が示唆できた。

外周刃砥石の作製が容易に作製できるようになった。

②効果

サファイアを対象に高速に、しかも鏡面加工できる方法を確立した。自社両面ラップ機を実験に使用 し高速加工・鏡面加工の手法が確立できた。

(5) 加工精度の改善及び準鏡面加工技術の確立

①28年度の成果

水出し機能付き両頭研削盤の試作を行った。加工中に正負圧の圧力制御が可能になった。

②効果

両面加工において、片面ずつの研削量を静水圧によって制御可能になる。次年度に実験において実証 する。ワークの反りやワープ等の基本欠陥の排除が可能となる。

①29年度の成果

次年度以降の加工実験に向けて、縦軸ロータリーの研削盤を試作した。テーブル平面度は1 μ mが実現できた。石英研削実験を行い、水出し機能の動作及びその効果を確認した。

②効果

両面加工において、片面ずつの研削量を静水圧によって制御可能になる。次年度に実験において実証する。ワークの反りやワープ等の基本欠陥の排除が可能となる。

①30年度の成果

実証実験として、ロ500mmセラミックス基板を使用して既存研削プロセスと上記で開発したハニカム 砥石を使用したプロセスとの比較ナノテムで行った。大面積のアルミナセラミックス・石英材料に対して、両面同時加工が可能となった。また、水出し機能の動作及びその効果を確認できた。

SiCの粗加工から鏡面加工までの一連の工程を既存砥石とハニカム砥石で実施し、加工レート12 μ m/minとRa: 0.05μ m以下の加工が実現できた。

②効果

大面積の両面加工が800mmの砥石でも加工できたこと。正負圧のハイドロプロセスの有効性がSiC素材でも示唆できた。

(6) 研磨プロセスの自動搬送システムの開発

①28年度の成果

被加工物のサイズに依存しない吸着搬送システムを実現した。定盤からの水吐出によって被加工物を一方向に配置させ、どこでも吸着(エアロフィックス)によって、吸着搬送が可能となった。

②効果

従来のラップ装置では不可能であった被加工物の自動 UD/ULD システムが実現できた。

29年度以降は実施していない。

最終章 全体総括

(1) 各年度総括

≪28年度≫

平成 28 年度は、ハニカム砥石の製造装置の開発に注力した。シート作製並びにハニカム形状に仕上げるための成形方法に関して議論・検討・実施した。開発した機械装置は、当初の目的通り、十分に機能し、活用できた。ハニカム径(3, 6, 9mm)を自在に制御でき、硬さの違うハニカム砥石が作製できた。28 年度に予定していた開発事項はすべて計画通りに遂行できた。しかし、事業を進めていく上でいくつかの修正点ならびに新しい課題も見つかった。特にハニカムのシート肉厚や強さ・硬さ・弾性率の可変をするためには、別な製造方法を構築し、シート肉厚と各物性値の定量的評価を平行して進めることが今後の課題①としてわかった。

また多孔質中子に関しては、目的通りの方法で実施できた。開発を遂行していくと更に良いアイデアが 次々に出てくるため、中子の機能は素材(材料粉末)の種類組み合わせによって数100種類の対応は可能。 静圧の圧力をリアルタイムに反応できるような素材開発が今後の課題②。

≪29年度≫

アルミ合金への電解ニッケルは特殊であり、無電解ニッケル+電解ニッケルとアルミ合金への電解ニッケル法方法を用いることで、基材の種類を問わず、色々なダイヤ含有シートが作製できることが分かった。Ni をベースとしたシートは、樹脂系、セラミックス系に比べて格段に強度が高い。29 年度は金属系のボンドでの基材シートの成形法が確立できた。

各種砥粒を含有したシートを用いて任意のハニカム径(1~9mm)の成形が複合積層成形機を活用することで実現できた。特にニッケルをベースにしたハニカムの柱の肉厚調整は、成形後のメッキ厚調整で制御可能となった。

気孔率が40%以上の多孔質体で硬質中子と弾性中子の作製が可能となった。流量1リットル/min/cm²の透過流量が可能な開気孔多孔質体を容易に作製できる技術を確立した。

ハニカム砥石から水・エア等を吐出するためには多孔質中子に静水圧を付与する必要がある。砥石の作製に当たって水圧経路を安価に実現する中子と砥石台座の組立方法を考案し、作業手順を確立した。

試作したハニカム砥石を用いて加工実験を実施した。Niベースのハニカム砥石は、シート厚みとハニカム径が砥石の切れ味に影響し、シートの砥粒保持力が工具寿命に影響することが確認できた。Niハニカム砥石の寿命はレジンやビトリファイド砥石に比べて数10倍から100倍近い寿命があることが分かった。正圧実証として浮上実験を行い、ハイドロプロセスに必須となる多孔質中子の気孔径と流体圧条件を見出した。

砥石からの静水圧を吐出しながら加工することで基板の反りを 10 分の 1 の平面度まで小さくできた。また静水圧加工はソロバン形状の強制も可能であることが分かった。また、立形ロータリーの研削盤を導入し、研削実験においてハイドロプロセスの効果を確認した。

≪30年度≫

29年度は、アルミ箔(7から15 µm)を芯材とし、ニッケルメッキを使って芯材の両面にダイヤモンドを 固着する方法を検討し、固着強度のハニカムダイヤモンドが完成できた。30年度は、芯材の無いニッケル メッキダイヤモンドの試作を検討した。Niマトリクスのダイヤモンド砥石シートはアルミ箔を水酸化ナト リウムで除去することで抽出できた。高強度のシートを出現させたことによって、砥石の応用に幅が出来 ると考える。

各種砥粒を含有したシートを用いて任意のハニカム径(1~9mm)の成形は、シリコン型のサイズを変えることで実現できた。特にNiマトリクスのダイヤモンドハニカムの柱の肉厚調整は、メッキ時間の可変で厚み調整が制御可能となった。また、Y形状砥石の成形もシリコン型を用いることで、成形可能となり、銅+エポキシ樹脂をベースとして細番手の鏡面加工用砥石を作製できた。

ハニカム砥石から水・エア等を吐出するためには多孔質中子に静水圧を付与する必要がある。砥石の作製に当たって水圧経路を安価に実現する中子と砥石台座の組立方法を考案し、作業手順を確立した。コロイダルシリカ並びにアルミナを用いて弾性中子の作製を行い、静水圧の効果とSiCでの鏡面加工が実証できた。

試作したハニカム砥石を用いて加工実験を実施した。Ni ベースのハニカム砥石は、シート厚みとハニカム径が砥石の切れ味に影響し、シートの砥粒保持力が工具寿命に影響することが確認できた。Ni ハニカム砥石の寿命はレジンやビトリファイド砥石に比べて数 10 倍から 100 倍近い寿命があることが分かった。正圧実証として浮上実験を行い、ハイドロプロセスに必須となる多孔質中子の気孔径と流体圧条件を見出した。最終的にサファイア加工にて 10 ミクロン/min、Ra: 0.05 ミクロンの加工が実現できた。

川下企業のニーズへの対応として、ロ500mm(対角長約700mm)セラミックス基板の研削加工にハイドロプロセスを適用し、同時両面加工による基板の反りやワープ形状の除去加工に取り組んだ。既存の両面ラップ盤を改造して上下回転盤の回転軸をオフセットすることにより、最小限の機械サイズ・砥石サイズにて、形状不量の少ない大型基板研削加工を実現できた。

(2) 補助事業の成果に係る事業化展開について

具体的なユーザー、マーケット

次世代パワー半導体である SiC 基板やサファイア基板については、国内の素材メーカがターゲットになる。具体的には、SiC 基板の「縁ダレ」や「そり」等の形状不良、サファイアの加工について具体的なニーズを把握している。

この他にも、ディスプレイ用強化ガラスの研磨やSiウエハの再生加工でも試験加工の要望がある。 3D パッケージ(金属配線パターンへの樹脂モールディング)の平面加工では、砥石の目詰まりと切れ味低下の問題に直面しており、国内のガラス素材メーカや海外の半導体メーカ、基板加工業者は、本事業のハニカム砥石にかなりの期待を寄せている。

また、比較的軟質な材料ではあるが、本事業のハイドロプロセスをベアリング保持器の焼入れ材料の両面研磨に適用した際の効果が期待されている。

今後は、上記のユーザーテストを積極的に実施し、ハニカム砥石、ハイドロプロセスの有効性を 実証したいと考えている。

② 市場規模等に対する効果

SiC や GaN 等のパワー半導体は、近年、太陽光発電に用いられるパワーコンディショナーや電気自動車(EV)のモーター制御に使用され、市場規模は2020年には2015年比で7.3倍の1380億円(出典:「2016年版 次世代パワーデバイス&パワエレ関連機器市場の現状と将来展望」、(株)富士経済)になると言われている。また、サファイア基板は、機械的、熱的特性、光透過性等に優れるため、LED 照明用の基板として採用が進んでおり、2020年には2014年比で2.8倍の4兆6,800億円の市場規模出典:「光源/照明市場 実態・技術・予測 2015年版」、(株)富士経済))が

予測されている。

本事業で開発する新しい固定砥粒砥石とハイドロ研磨システムは、研削・研磨加工プロセスの高 効率化、工程削減による製品製造時の省エネルギー化、並びに加工物の供給・排出時における自動 化を図り、最終的に製品となる半導体の高付加価値化、低コスト化に貢献するものである。事業の 推進とともに見えてきた上記のような新たな需要とあいまって市場の拡大が期待される。

(3) 補助事業の成果・効果の価格的・性能的な優位性

一般に砥石は、砥粒粉末とボンド剤を混合し、型に入れてプレス成形を行って製品とする。本事業のハニカム砥石は、砥粒含有シートが出発の素材となり、シートを縦方向に配置してシート間隔を制御し、ダイヤモンド等の硬質砥粒の位置を任意に配置できる全く新しいものである。切れ味制御、研削・研磨品質の制御、砥石寿命の制御が簡単にできるのが大きなメリットである。

また、砥粒含有シートを利用した砥石作製は、低コストでの生産が可能で、設備投資額も少なく 実施できる。本事業では、製造コストを既存砥石の50%とする価格優位性の確立を目指している。

(4) 事業化見込み

①目標とする時期

本年度の研究開発は、順調に進んでいる。来年度の計画でほぼ実用化の前段階まで遂行させる予定。 平成31年度9月頃を目途にサンプル出荷が可能な状況にしたいと考えている。

②目標とする売上規模

事業終了5年後にハニカム砥石の売上を30億円、関連装置売り上げ50億円を目標としている。