

# 粉体工学会誌

9

Journal of the Society of Powder Technology, Japan

2018 Vol.55

## 第55回粉体に関する討論会特集

ゲスト・エディター：加納 純也（東北大学），鈴木 久男（静岡大学），  
藤本 敏行（室蘭工業大学）

### 論文

ヘテロ凝集によるベーマイト-シリカ複合粒子の調製

三陸産廃棄貝殻の粉砕と重金属吸着性

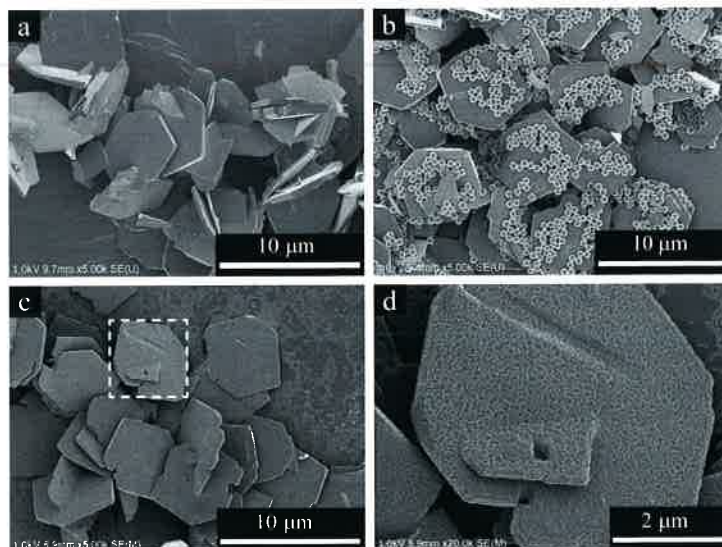
ADEMシミュレーションによる粉体圧縮成形における粉化・圧密挙動の解析

### 解説

メカノケミストリー，その不思議に魅せられて

### 研究情報

精密なものづくりで先端技術に貢献する



一般社団法人粉体工学会

The Society of Powder Technology, Japan

URL <http://www.sptj.jp/>

## 精密なものづくりで先端技術に貢献する

赤羽 優子\*

### Contributing Advanced Technology through Precision Manufacturing

Yuko Akabane\*

#### 1. 緒言

弊社は宮城県にある中小企業・精密加工業者である。切削・研削・研磨を行っており、特に研磨の技術をナノオーダーまで高精度化することでさまざまな産業分野の研究開発・モノづくりのお手伝いをしている[1]。

一般的にはローテク分野に属する研磨技術を高度化し、顧客の技術課題に対応するための自社独自の技術開発や装置開発を行っている。技術開発や販路開拓について当社の事例のご紹介をする。

また、中小企業はヒト・モノ・カネの経営資源に限りがあると一般的にいわれているが、当社も例外ではない。それを補うための一つの方策として進めているオープンイノベーションの取り組みもご紹介する。

#### 2. 株式会社ティ・ディ・シーのご紹介

弊社は1953年に創業し、以後地元宮城県でモノづくりを継続してきた精密加工メーカーである。

精密機械加工の中でも、高精度研磨加工を得意としている。独自の研磨技術によって寸法や形状、粗さなどそれぞれナノオーダーの精度が実現可能だ。世界的にもオンリーワンといえる精密さに到達し、究極の精度を求める国内外のお客様から加工のご依頼が寄せられる。

弊社が研磨した部品の中には、JAXAのはやぶさ2プロジェクトに採用され現在宇宙を飛んでいるものや、ハーバード大学のBICEP3プロジェクトに採用され、南極に設置されている望遠鏡の一部に使われているものなど、最先端の研究分野で活用されている事例も多くある。

半導体、自動車、電子機器、医療、ディスプレイなどさまざまな産業分野のお客様に少量多品種で加工品をお納めしている。

「磨く」ことは、ほんのわずかつの量を除去する加工

であり非常にスピードの遅い加工であるが、一方でほんのわずかつ除去量を制御することによって、非常に高精度を作りこむことが容易となる。

「磨く」でイメージされる平滑性（ピカピカさ）に加えて、ナノレベルの精度で平坦性（反り・うねりのなさ）や、寸法公差、角度公差、真円度（丸さ）、真球度（まん丸さ）などを作りこむことができる。

#### 3. 技術開発の取り組み

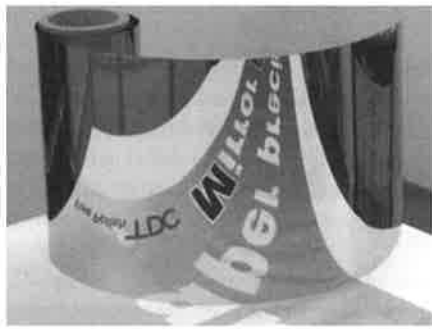
近年特に力を入れているのが、自社独自の技術開発である。独自の技術開発といっても、開発テーマはお客様の「こんな加工ができないかな?」「こんな精度だせないかな?」という声をもとにスタートする。他社をあたってもできるところがなくて困っているというようなお話が寄せられれば、当社はそれに向けて技術開発を開始する。お客様のお役に立つことと、自社にとってはオンリーワンの技術を確立することとを同時に目指す。

たった一人のお客様のニーズのために、ゼロから装置やプロセスを作りこむ。市場規模や将来性をまともに考える多くの企業は取り組まない。弊社から見ると他社の参入リスクが少ない領域といえる。ただ弊社では市場をグローバルに捉えて、確立した技術はウェブや展示会を通じてなるべく世界の広くへ宣伝をしている。誰か一人のためにできた技術であっても、何年かすると世界のどこ



面粗さ、平坦度、平行度、真円度、真球度などさまざまな幾何公差において超精密を実現している

2018年4月25日受付  
株式会社ティ・ディ・シー  
(〒981-0113 宮城県宮城郡利府町飯土井字長者前 24-15)  
TDC Corporation  
(24-15 aza-Chojamae Iidoi Rifu-cho Miyagigun Miyagi, Japan)  
\* Corresponding Author yuko@mirror-polish.com



精密研磨を施したステンレス箔

かで誰かが同様のものを欲しがることがある。たった一人のためだった技術開発も、広い世界を探すと複数の方のお役に立つこととなる。多少牧歌的ではあるが中小企業ならではの技術開発戦略といえる。

自社開発した技術の例をご紹介します。いずれも加工できる会社はなく、加工専用の装置もない、加工の仕方もわからない、というところからスタートして、自社独自で装置開発・プロセス開発を行った事例である。

#### 〈金属箔連続研磨技術〉

厚み 20  $\mu\text{m}$ ~100  $\mu\text{m}$  程度の薄い金属箔を長尺（長さ 100 メートル程度）で送り出しながら研磨している。長尺金属箔全面において Ra2 nm 以下を実現している。

当初は一人の研究者の方のご依頼でニッケル箔の研磨装置を作ったが、その後、お問い合わせが増え始め、材質やサイズが変わるたびに装置の改造や加工技術の追加開発は必要となるが、装置に基盤技術を搭載しているので、応用展開は幾分容易だ。現在では、対応材質はステンレス、ニッケル、銅、真鍮、モリブデンなど多岐にわたる。フレキシブルデバイス用の基板や、ナノ炭素材料グラフェン製造プロセスで使われる基材として、用途が広がっている。

#### 〈大面積円筒研磨加工技術〉

円筒形状の外径にシリコンウエハと同等レベルの面粗さを求めるお客様からのご依頼に対応する形で技術開発した。小さいものから対応しているが、最大サイズは直径 500 mm、長さ 3 m の円筒にキズ・曇り・欠陥のない鏡面品質を実現している。ステンレス、アルミ、ニッケル、ガラス、シリコン、セラミックスなど多様な材質に対応可能だ。ナノインプリントや微細フィルム製造用の金型として役立てられている。

### 3. オープンイノベーションの取り組み

弊社のような業務形態だと、お客様の声を丁寧に聞くことと、徹底的に技術開発することが大変重要と考えており、そのためには自社外との連携も柔軟に行っている。海外への販路開拓のためにドイツ、アメリカ、台湾、中国の企業と業務提携を行っている。これらは一般的にイメージする商社的な業務（すでにある商品や技術を販売すること）ではなく、いずれもお客様のものづくりにおける課題を聞き出すし、お客様が求める技術を開発する



ステンレス円筒の外径を面粗さ Ra2 nm 以下にしたもの

ことを目的としている。

ものづくりに関して、もともと私たち中小製造業、町工場はそれぞれの専門領域以外は他社と協力関係を築くことが一般的であり、国が違っても同様のことが成り立つと考え、販路開拓においてもものづくり系企業と連携することにしている。

また技術課題に対して、新たな開発や、既存技術高度化が必要になることが多いため、場合によっては大学や研究機関との連携を積極的に行っている。自社の技術課題は、自社の成長の源泉であり、それを他者に共有することは少なからず抵抗がある。機密保持契約や、連携の範囲などを事前に十分話し合うことと取り決めに明確化することで、デメリットを排除し、メリットを享受することを可能としている。

大学との連携によって、技術課題解決のスピードがアップしたり、仕上がった技術の信頼性が高まったりするなどの効果が得られている。また、自社の従業員育成の観点においても大学との連携によって得られるものは多いように感じている。また人的資源の制限のある中小企業では、新しい知識や経験を取り入れることを意識的に行わないと、時代に取り残されることを危惧している。そのため企業間連携、産産連携の枠組みを作って、外からの刺激を入れる取り組みを行っている。

#### 3.1 海外企業との連携～ZOZ 社について

2015 年にヨーロッパの販路開拓のために業務提携をした企業は、ドイツの ZOZ 社という粉砕装置メーカーである[2]。高効率な粉砕装置の販売と、自社独自の粉砕技術を用いて、新たな材料の創製を行っている。多くの新材料、機能性材料を作り出している。ZOZ 社も「粉砕」という技術を、産学連携によって機能を高め、用途開発をするなど積極的に行っている。技術系中小企業が、最終用途まで見える形で開発して提案している様子は大変参考になる。

この場を借りてご紹介する。

Simoloyer®は ZOZ 社が特許を保有する粉砕装置である。一般的な粉砕機の定義がそのまま当てはまる装置ではないが、高エネルギーの横型回転式ボールミルである。この装置の HKP（高運動プロセス）によってナノ構造を

有した材料の製造が可能である。HKP はチャンバー内でのメディアの衝突エネルギーを活用した手法であり、メカニカルアロイング (MA) や高エネルギーミリング (HEM)、リアクティブミリング (RM) などの処理を行うが、衝突の速度は  $18 \text{ m s}^{-1}$  と従来の3倍程度あり、衝突エネルギーは従来の10倍程度である。

MA プロセスにおいては剪断や摩擦よりも衝突の効果が大きいことコンタミの発生を最小に抑えた処理が可能である。高速でメディアを衝突させ粉体材料に繰り返し変形や分裂、圧延の効果をもたらすことによって従来の手法では作れなかった新たな機能をもった新たな材料を合成することが可能だ。ナノ結晶粒の生成や構造を作りこむことで機能を付加することも可能である。

HEM と RM についても同様の原理だが、狙いに合わせて素材や動力伝達方式を変える。真空、ガス雰囲気いずれでも使用可能であり、構造上立上げに時間がかからないため処理時間のロスがほとんどない。それぞれ独立した加熱・冷却機構を備えているため長時間連続運転や高温での処理も可能である。

専用ソフトウェア (Maltoz) での操作により処理のモニタリングが可能である。

Simoloyer® は非常に効率的に量産可能な産業用装置だといえるが、技術的には 0.5 L から 900 L まで同じ装置での処理が可能で実験試作用から事業化まで一台の装置で対応できる点も導入に優位である。バッチごとに条件を変えることはもちろんのこと、連続的なガス供給と材料投入により自動で長時間連続運転することも可能である。

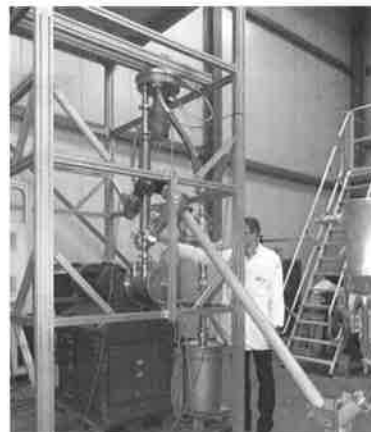
〈Simoloyer® について〉

- ・ MA, HEM, RM などの乾式プロセスのための産業用システム
- ・ 従来装置と比べて3倍のメディア衝突速度
- ・ 真空、ガス雰囲気いずれでも処理が可能
- ・ 立上げ時間のロスがない
- ・ 連続運転が可能
- ・ 冷却・加熱システムにより高温での処理が可能
- ・ 専用ソフトウェアで、数値制御され、処理履歴の確認も可能
- ・ 1台の装置で0.5リットルから900リットルまで対応可能 (試作～量産で買い直しが不要。さらに大型装置もラインナップはあります)
- ・ バッチ処理が可能。ガスや材料の連続供給による自動運転も可能
- ・ チャンバー素材はステンレス、超硬、窒化珪素など

ZOZ 社長は「次世代に美しい地球を残すため」という言葉をとともよく使い、環境負荷の小さい技術開発、次世代エネルギー向けの材料開発や、粉碎による材料の再生・高機能化に熱心に取り組んでいる。企業としてのビジョンが明確であるからこそ、最終用途まで見据えたものづくりができるのと、つくづく参考になる。ZOZ 社のウェブサイトにはバリエーションに富んだ用途が紹介されているのでぜひご覧いただきたい。



ラボでの実験用に特化した卓上サイズの Simoloyer CM01



試作用・半自動運転が可能な Simoloyer CM20

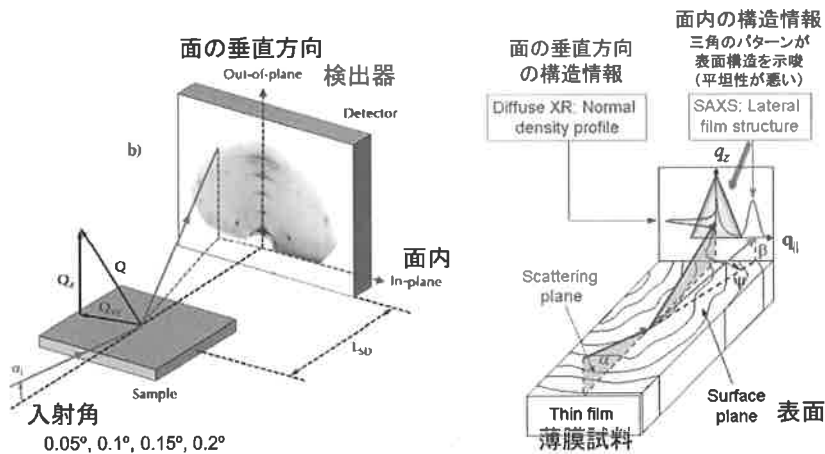


量産用の全自動運転 大容量モデル CM100

### 3.2 産学連携の取り組み～東北大学多元物質科学研究所[3]との連携

弊社は高度の研磨技術を持ち、場合によっては装置開発や技術開発をすることで、顧客からの課題解決を行っていることは前述の通りであるが、近年その課題は難易度を増している。自社のみの力では対応するには時間がかかりすぎるものが多く、適切に大学や研究機関と連携す

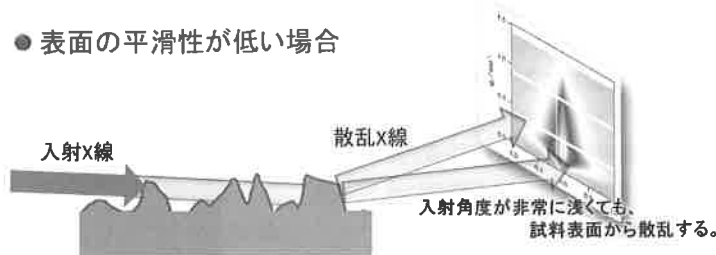
## GISAX(すれすれ入射小角散乱)の原理



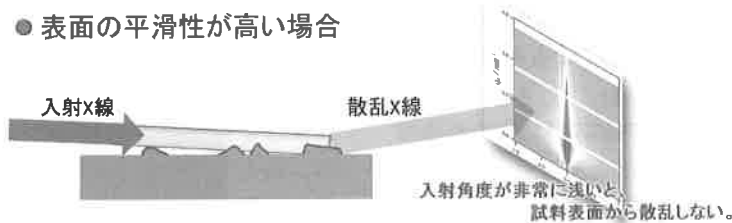
X線小角散乱を用いた表面品質評価の概念 ①

## 表面の平滑性と散乱の関係

### ● 表面の平滑性が低い場合



### ● 表面の平滑性が高い場合



X線小角散乱を用いた表面品質評価の概念 ②

ることによって効率的な技術の高度化を図っている。

一例として仙台市内に新たに建設予定の放射光実験施設 SLiI-T プロジェクト[4]に関する東北大学多元物質科学研究所との連携についてご紹介する。

従来の放射光施設は、高度な学術研究向けの実験研究施設という印象があったが、SLiI-T プロジェクトではその役割を学術から、産業分野に広げることを目指し、建設前の現段階から産業界の使いやすさを優先的に考えられている。

放射光施設の産業利用といわれてもなお、私どものような中小企業とは縁遠い印象を持っていたが、東北大学多元物質研究所の先生方のご指導のもとに、研磨面の評価技術としてX線の散乱を用いる方法を検討している。

当社の研磨加工において、技術の高度化に伴い、目指す精度が1ナノよりも小さい値となることがもはや一般的になっており、今後の更なる技術の高度化を考えると、測定・評価方法が新たな壁となることが想定される。そのための一つの解としてX線散乱を利用して研磨品質を

評価するための基礎実験を進めている。

本SLiI-Tプロジェクトではコウリションコンセプトとあって、放射光実験に関する専門知識を有しない者であっても、専門家の指導の下に、実験施設を有効活用できる仕組みが形成されている。この仕組みは我々中小企業にとっても新たな可能性を切り開くものと考え、積極的に利用している。

### 3.3 産産連携の取り組み～株式会社フジインコーポレーテッドとの連携

地方中小企業の立場では、意識的に新しい情報や外からの刺激を入れる仕組みを作らないと、割と簡単に時代遅れになると危惧している。

最新技術を常に取り入れるために行っている一つの取り組みをご紹介します。

弊社の主力事業である精密研磨では、多くの材質に対応しており究極の精度を達成している。世界中の多くの顧客から更なる難素材への難加工の課題が寄せられる。顧客の課題は我々の成長の源泉と考えており、せっかく

弊社にお寄せ頂く課題は、「できないとしない」ことをモットーとして実現するための取り組みをしている。2018年より世界的な研磨材メーカーである株式会社フジミインコーポレーテッドとの連携を開始した。

弊社に寄せられる研磨課題に対して、事前に顧客の承諾を得たうえで、フジミインコーポレーテッド[5]と情報共有を行い、弊社専用に適切な研磨材開発をして頂く。この取り組みによって、従来は技術開発のトライアルアンドエラーのためにかかっていた時間とコストを大幅に低減することが可能となる。開発納期・コストは顧客に還元することとし、TDCではより多くのオンリーワン技術を早期に確立することを目指す。フジミインコーポレーテッドの立場からは、将来の研磨材需要の広がりやの確度をあげる意味合いでご協力頂いている。

#### 4. 結 言

中小企業は、ヒト・モノ・カネの経営資源に制約があ

るが、顧客・企業同士・海外企業・大学・研究機関・行政と垣根を作らず、連携を図っていくことで、我々の可能性は無限になると信じている。何をしたいかの明確化と、誰と組むのかの選定が重要と考えている。

「誰と」に関しては、産学連携イベントが活発であり、多くのマッチングの機会が提供されている。このような機会を積極的に活用したい。「何を」については、きっと私たちの周りに課題はあふれている。課題を課題として認識できるかのアンテナと、課題から逃げずに取り組めるかの心構えが重要であろうと思う。

弊社は創業より一貫して宮城の地でものづくりを行ってきたが、とりわけ東日本大震災を経験してからはなお一層ふるさとの想いは強まり、Made in Miyagiを優れた技術の世界に通用するブランドにしたいと強く願っている。

#### References

- [1] 株式会社ティ・ディ・シー <http://mirror-polish.com>
- [2] ドイツ ZOZ 社 <http://www.zoz-group.de>
- [3] 東北大学 多元物質科学研究所 <http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/>
- [4] 東北大学・多元研・放射光産学連携準備室（コウリションコンセプト概要に関して） <http://www.slitj.tagen.tohoku.ac.jp/index.html>
- [5] 株式会社フジミインコーポレーテッド <http://www.fujimiinc.co.jp/index.html>



#### 〈著者紹介〉

株式会社ティ・ディ・シー  
代表取締役社長 赤羽 優子

「超精密」な切削・研削・研磨技術に特化し、豊富な経験・ノウハウに加え、新しいこと、不可能とされることに積極的に取り組む姿勢で、あらゆる加工対象・材質に取り組み、高精度領域の加工技術を確立している。経済産業省より2007年「元気なものづくり中小企業300社」、2014年「グローバルニッチトップ企業100選」、2017年「地域未来牽引企業」などに認定されている。