

プレス加工の課題解決における中小企業と産総研との連携の成果

— 現場へ与える、ものづくり思想の影響 —

小松 隆史¹、中野 禪^{2*}

製造技術における中小企業と産総研との連携では、単に技術の移転だけではなく、原因の究明、問題解決の手順が重要である。原因をいかに見出すかは、解決案の策定以上に時間が掛かるが、一度経験することにより、次のステップへの展開では迅速化が図れる。プレス加工による微細穴あけでの共同研究という事例を通して、企業側、産総研側で原因の究明と問題解決がどのように展開したかを紹介する。結果的には、初期に考えた対策である表面処理による工具寿命の長期化ではなく、共同研究を継続することで分かった別の問題点を克服したことが製造現場にとって展開がしやすくコスト効果の高いものであった。このような経験を得ることで、企業とは研究が継続し、その後別テーマのサポインテーマの展開へと進んだ。企業の担当者視点と産総研の研究者視点の両面から製造技術での連携を紹介する。

キーワード: 連携、中小企業、課題解決、製造技術、共同研究

Effects of cooperation between a small and medium enterprise and AIST

– Impacts of the idea of “Monotukuri” on technicians –

Takafumi KOMATSU¹ and Shizuka NAKANO^{2*}

Case studies and problem-solving steps are more important than new-technology transfer when collaborative studies are conducted between a small and medium enterprise and AIST. Detecting causes and issues takes considerable time, however, experiences obtained during collaborative research can decrease barriers and speedup progress. This report presents a case study on a collaborative project between Komatsuseiki Kosakusho Co.,Ltd. and AIST to find a way to increase the life span of micro piercing tools. The solution, indirectly obtained by overcoming another problem is cost effective and easily applicable to factories, though it was not the surface coating technique considered at the beginning of the study. Through such experiences, it is possible to continue collaborative R&D on this as well as other projects, e.g., within the “Projects to support the advancement of strategic core technologies” framework of the Ministry of Economy, Trade and Industry.

Keywords: Cooperation, small and medium-sized enterprises, problem-solving, manufacturing technology, joint research

1 はじめに

産総研で製造技術の研究開発を行う上で最大の課題となるのは、製造現場を持たないことである。いかに最先端の技術を開発したところで、直接それを実施・評価する環境がないため、気がつけば「机上の空論」という事態に陥りやすい。それを避け、実効的な研究開発を執り行うには製造を担う企業との共同研究は必然である。我が国では優良な企業がいまだ多く残っているので一見スムーズに共同研究が始まり、成果もすぐに出せると思われがちであるが、実際はたやすくはない。藤本が、「日本国内の多くの中小規模の製造業においては、「人」「モノ」「カネ」の三拍子がすでに洗練尽くされ、各企業は選択肢が少ない状態の

中で競争を行っている。」^[1]と述べているように、企業における資源は乾いた状態にある。実際、1960年代からの高度成長期における、企業のグローバル化プロセスである、①ローカル市場での確立、②製品の海外輸出、③現地生産化、④多極生産による展開^[2]が成立する時代においては、地方の中小企業は、その地域の歴史のある中核大企業との関係構築が経営の安定のために重要であった。その環境から、多くの中小企業の経営者の考える優先順位は大企業の要望に応えることであり、大企業の指示に基づく対応を行うことが事業継続のためになによりも必要であった。中小企業の特徴は可能な限り分野を専門的になることに注力し、ヒエラルキー構造の中でその位置を確保するこ

1 (株)小松精機工作所 〒391-0012 諏訪市四賀桑原 942-2、2 産業技術総合研究所 製造技術研究部門 〒305-8564 つくば市並木 1-2-1 つくば東

1. Komatsuseiki Kosakusho Co.,Ltd. 942-2 Shigakuwahara, Suwa, Nagano 392-0012, Japan, 2. Advanced Manufacturing Research Institute, AIST Tsukuba East, 1-2-1 Namiki, Tsukuba 305-8564, Japan * E-mail: shizuka.nakano@aist.go.jp

Original manuscript received October 15, 2014, Revisions received April 16, 2015, Accepted May 7, 2015

とが経営者の最重要課題であった。

しかし、コスト競争を勝ち抜き手段として、少しでも安い人件費を求める競争が始まった。1980年代後半になると、かつて国内の市場の成長もあり競争力のあったIT産業も、市場の飽和と量販店の安値販売とともにコストを下げざるを得なくなり、工場を海外へ移転させる会社が多くなった。国境の障壁は企業経営者の中で徐々に低いものに変わっていった。さらに、中小企業であっても、グローバルマーケットを意識した展開を自ら考えなければならなくなった。

そのような中、インターネット等の通信革命により、コンピュータの発達から大量の図面等のデータを瞬時に遠隔地へ送ることができるようになった。物流の効率化は人々の移動を活発化させて、インターネットで簡単に買い物ができる環境が整い、新たな市場が生まれた。自らの技術を宣伝・広告する方法ができ、海外の顧客ともお互い母国語としない英語でコミュニケーションをすることで、直接ビジネスができる環境になった。

近年、先進国から新興国への企業移転等により熟年技術者が流出したり、国内生産現場での技能伝承の機会が減ったりしたことから最新設備を導入したことにより、急速に技術の差が無くなりつつある。時間の経過とともに巨大な情報の伝達速度向上や新興国における教育と先進国への留学の拡大から人材育成によるボトムアップが進んでいるため、先進国が新興国に将来追い越される可能性も出てきている。

国内の地方中小企業の一部では、製造現場で構築された高い専門的な技術と経験により、他の分野で基盤となる技術を生かし、グローバル展開を始めている。国際間の競争に打ち勝ち、国内製造業を生き残らせていくためには、失われつつある技術的アドバンテージを再度先端へ押し上げ、他を圧倒する製造技術を維持していくことが求められる。その一つとして、研究機関との連携は新しい環境への適応を生み出す手段であるが、実際の連携は非常に難しいのが現状である。

本報では、長野県の中堅中小企業である（株）小松精機工作所と産総研における共同研究をケーススタディとして報告する。製造現場における課題と、製造現場を持たない研究開発のリンクについて、どのような展開がなされ、「製造現場のものづくり思想」の変化等産み出されてきた成果、何を目指していくのかを報告し、これからの中小製造業と研究機関との効果的な共同研究のあり方について検討する。なお、本報は、小松精機工作所常務取締役小松隆史と、産総研製造技術研究部門中野禪とがそれぞれ記載した内容をマージして作成してある。当初は章毎に分担の計画もあったが、それぞれに意見があるため、全体をマ-

ジする方法で記載した。本章も二人の原稿を結合したものである。読みにくいところがあるかもしれないがご容赦願いたい。

2 小松精機工作所の生い立ち（大樹の陰からの独立独歩）

小松精機工作所は、1953年に、第二精工舎（現セイコーエプソン）の腕時計部品の組み立て協力会社として設立された。設立当初は、その設立目的に沿って腕時計部品の組み立てを行い、その後、部品の製造から金型の製造へと川上遡及して技術範囲を着実に拡大してきた。

しかし、第二精工舎より1970年代後半に時計市場の飽和が見込まれ、今後売り上げの拡大は見込めないことから、腕時計部品のビジネスに頼らない自助努力を行うよう示された。幸いにも、腕時計部品のプレス加工、金型製造のための研磨、切削、放電加工技術等基盤となる技術があったので、その技術を異分野へ展開するために必要な営業部門を構築した。引き合いのあった案件に端から対応していくことで、腕時計のプレス加工技術を最終的にIT関係の仕事に展開することができた。

図1に示す部品は、数十メガバイトのハードディスクが主流であった時代のサスペンションやCD用のサスペンション部品である。プレス加工に加えて、当時最新のレーザー溶接も社内で行う複合化工程を開発し、技術範囲の拡大を図った。しかし、ムーアの法則に基づいた開発スピードに金型の製作時間が追いつかず、さらにIT企業の海外展開や2000年に起こったITバブルの崩壊が拍車をかけ、小

ハードディスク用サスペンション（プレス加工時）



CD用サスペンション

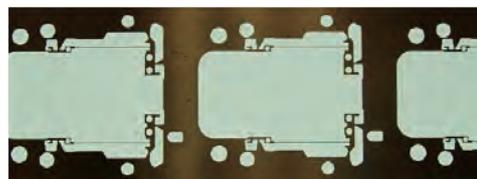


図1 プレス加工で小松精機工作所が作製していた部品群

松精機工作所における IT 部品ビジネスは急速に縮小していった。

偶然にも、1980 年代後半から、腕時計製造時に培った品質管理技術を買われ、自動車部品の製造が始まっていた。人の命がかかる製品への部品供給であるが、長期的で安定的なビジネスと判断し、必要となる品質保証体制を構築した。また、自動車部品が、環境規制や安全性の向上が課題とされたことから、部品単位で高精度な要求が増え、腕時計の技術展開が可能な環境が整っていた。

図 2 に示すガソリン自動車向け電子燃料噴射部品に使用されるオリフィスは 1980 年代後半から徐々にその生産規模を拡大し、2000 年には月産 300 万個、2010 年には月産 500 万個へと増大した^[3]。この市場拡大の中で、1997 年 12 月 11 日京都議定書により始まった環境規制の強化に基づき、環境対応を左右する部品へのスモール&ハイインパクトパーツへの要求はさらに激しくなり、技術の高度化と高効率生産は今後強く求められると考えていた。

3 連携のきっかけ

小松精機工作所と産総研との連携のきっかけは、2008 年のナノテク展だった。産総研ブースにおいて、ミニマル製造技術として開発し、一つの具現化の形として作製したオンデマンド加工装置^[4]を展示していた（図 3）、そこに興味を持ったところから始まった。オンデマンド加工装置は、プレス加工・エアロゾルデポジション^[5]・熱処理等を組み合わせた小型自動生産設備であり、作るものに合わせた製造、フレキシブルな製造を目指すものであった。展示では、

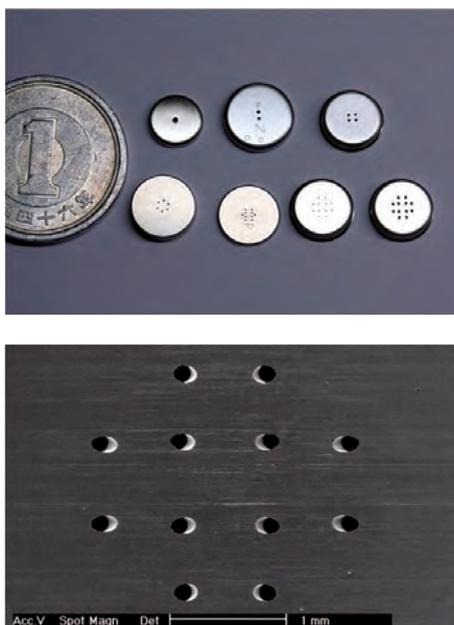


図 2 ガソリン用燃料噴射オリフィスプレート（上図）、オリフィスプレート詳細図（下図）

MEMS スキャナーの加工実演を一部行っており、プレス加工に合わせ、微細穴抜きパンチの長寿命化^{[6][7]}のポスター展示も行った。微細穴抜きパンチの長寿命化は金イオン注入による表面処理により 16 倍の高寿命化を図るもので独創的な技術である。当時、小松精機工作所の生産管理課長であった小松らは、燃料噴射ノズルの受注の拡大を見込んでいたが、同時にコストダウンの要求にも対応するため、金型メンテナンス時間の削減や面積生産性の向上等の課題を抱えていた。

小松精機工作所からみると、展示会場においての説明はかねてからの課題の解決につながるとの予想ができた。さらに、会場の立ち話の中で、社内で制作しているパンチを提供し、金イオン注入を行って、穴抜きの加工実験という、サンプル提供を通じた実験計画の立案までつながった。この“味見”実験から、何かしらの方向性が分かるとの判断から、共同研究開始の基礎ができた。

4 連携による研究と改革

4.1 金イオン注入パンチの実験

金イオン注入による長寿命化パンチについて簡単に紹介する。穴抜きパンチの課題としては、加工工程が、材料の打抜、工具の引き戻しという工程にあるため、穴抜き時に最大圧縮荷重となったパンチは瞬時に応力緩和し、さらに速度 0 を経て逆転する。その際は材料との関係から引張応力となる。運動の停止と逆方向の負荷により、接触面に摩擦摩耗や凝着の課題がある。さらに、工具に掛かる応力は加工寸法に反比例するため微細孔抜きでは、工具材料の強度に匹敵するような応力が加わる。この荷重を低減



図 3 2008 年ナノテク展での展示の様子
ビックサイト内の産総研ブースの一角。

するために通常コーティング等が主流であるが、産総研ではイオン注入法を用いた表面処理技術を開発していた。イオン注入法は、材料の内部にイオン・元素を添加する技術のため、境界層のない連続した組織構造でかつ表面の状態を変化できる。コーティング系の製膜技術では剥離や寸法変化の課題が生じるが、イオン注入ではこれらの課題を除去できる。

金型工具の寿命を延ばすためには、「プレス加工の回数の多い繰り返し加工中を通して状態が安定していること」が有効である点を目指して解決に取り組み、超硬の焼結構造を連続化する、応力を分散するために柔らかくてもよい、凝着・摩耗を削減できる可能性を探した。金は質量数が大きく、超硬の原料であるタングステンより重く照射時の衝突効果を大きくとれる。結果として少量の金でも大きく結晶を壊すことが可能で、 1×10^{16} atoms/cm² という小さい照射量、75 keV という低いエネルギーでも超硬表面を均質に近いアモルファス状態に改変できる。注入後にアニーリング処理を大気中で行うことにより、アモルファス化した超硬の表面が三酸化タングステンに変化する。この時金イオンが酸化触媒の働きを示し、より短時間で深い層まで酸化する。バインダー材料のコバルト・タングステン化合物やコバルト酸化物として含有する三酸化タングステンの被膜はヤング率も小さく、摩擦係数が長時間に安定する。さらに表面凝着を減らす効果も見られ、この点からもパンチの長寿命化に結びつく結果が得られた。しかし、生産現場に投入するには、実際の加工条件で、かつ大量処理に耐えうるか等、評価する必要がある。さらに、コストダウンや、そもそも製造が可能か等の課題もあったので、サンプル提供などによる評価実験を実施した。

サンプル提供のスキームでは、小松精機工作所内で製作しているものをそのまま活用し、産総研において金イオンの注入処理をすぐに行うことができた。また、そのパンチを用いて製造現場での加工実験による評価が社内で可能で

あり、比較的短期間で検証できることから、連携した実験実施が承認された。結果としては、金イオン注入したパンチでのオリフィスの加工実験によるパンチの長寿命化の目標は達成されなかった。図4に示すように $\phi 0.2$ mm程度のパンチで斜め30度以上の穴加工を行うため、パンチも斜めに材料に侵入し、パンチ先端部に局所的な応力が発生し、側面へも圧力が拡大することから、この手法ではパンチの寿命の改善につながらなかったと考えられる。

しかし、この共同研究の取り組みにより、小松精機工作所では「斜め細穴抜き加工」と一つのプロセスで考えていた事象を、さらに細かいプロセスに分割して、そのプロセス毎に把握する必要性に気付いた。そして、評価が難しい金型内部の現象の把握として、パンチへの摩耗等の損傷の原因の分析や $\phi 0.2$ mmの極細のパンチ加工力の測定等、新たな評価方法の展開が有効であることが分かり、違う視点での展開として共同研究へと進展した。

4.2 パンチ表面観察と微小穴加工力測定の展開

現象の見える化、可視化は状況を捉え、課題の原因を追究し、解決に導く最短の方法であるとも言えるが、金型加工は加工中の現象を視覚的に把握するのは不可能といえる。過去にガラスを使って実験する等の取り組みもあったが、実際とは条件が異なってしまう、十分な評価とはなっていない。また、生産数量での評価となればさらに難しく過去そのような研究の取り組みはされていなかった。その他、過去の研究では定期的に金型を分解し工具を取り出し評価しているが、この手法では金型を鍛圧機械から取り外し、型を分解し再度組み付けないと実験が再開できず再現性がなく、1ショット毎に評価を行うことは難しく、しかも微小穴抜きでその研究事例はない。

そこで、産総研では金型を分解せずにパンチ（雄型）に見える状態に引き上げることが可能な金型を作製し、これを顕微カメラで撮影し評価を行う装置を作製した^{[8]-[10]}。図5に装置の概要を示す。2009年度には、経済産業省の平

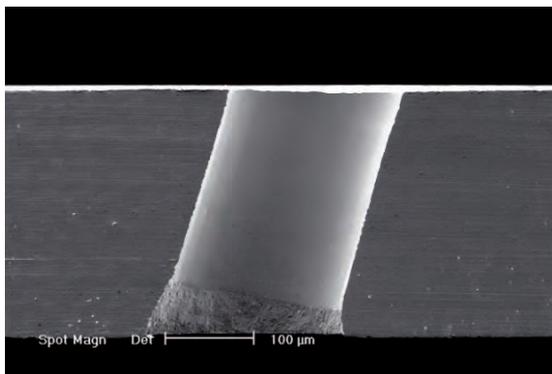


図4 斜め穴加工断面写真



図5 パンチの寿命評価装置
カメラ2台用いて、毎ショット後にパンチの表面を観察できるようにしてある。

成 21 年度補正予算によるものづくり中小企業製品開発等支援補助金を受けて、40 SPM (Shots Per Minute) を超えるスピードでの実験ができるように共同で改良を加え、実際の生産に近い 5000 ~ 10000 ショットを超える実験を全ショット撮影で行えるようになった。さらにパンチにはロードセルを、鍛圧機にはレーザー変位測定装置を取り付け、荷重 - 変位の変化のモニタリングも実現した。実験中に超硬で作られたパンチが塑性変形し、その後折れるという現象も観察できた。この評価装置を用いて加工現象が不確定な斜め穴抜きという難易度の高い加工での現象把握とパンチの折損原因の究明を行うこととした。

共同研究では、小松精機工作所において実際の加工に即した斜め穴抜き実験用の金型を作製し、5000 ~ 20000 ショットの打ち抜き実験を行い、パンチの損傷の変化プロセスを観察した。実験は型の調整が非常に高い精度を要求することから、小松精機工作所から技術者が産総研に行き、共同で意見交換を行いながら実験を推進した。得られた成果から一例を示す。図 6 に 5000 ショット穴抜き実験でのパンチ観察結果とその時の荷重 - ストローク線図を示す。映像でパンチ先端にワーク材料の凝着や摩耗損傷が見られる。パンチのどの部位に何時、凝着や摩耗が発生するかを直接観察できた。さらに図 7 には、図 6 と同一条件での実験だが、金型トラブルの一つであるカスづまりが生じ、それを原因にパンチの座屈変形が発生 (a)、さらに次のショットでパンチの根元から折損した状況 (b) での、観察結果と荷重 - ストローク線図を示す。図 6 ではカス押し

荷重は平坦でかつ 5 N 以下と低い。しかしトラブルが生じた図 7 (a) ではカス押し荷重が 18.6 N と増えている。画像は分かりにくいですが、僅かにパンチに反りが生じていて、座屈したことが分かった。図 7 (b) では、カス押し荷重がさらに大きく 20 N を超えたところで、2 段階で急激に荷重を失っている。その後垂直に荷重が減少した。このときパンチが折損している。ここでは省略しているが、パンチ破壊へ行きつく途中の状況もデータとして得られており、過程

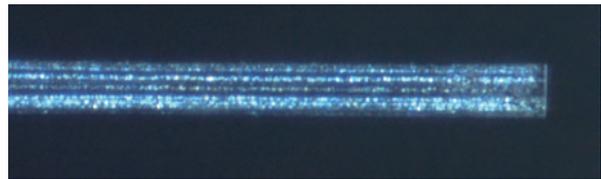
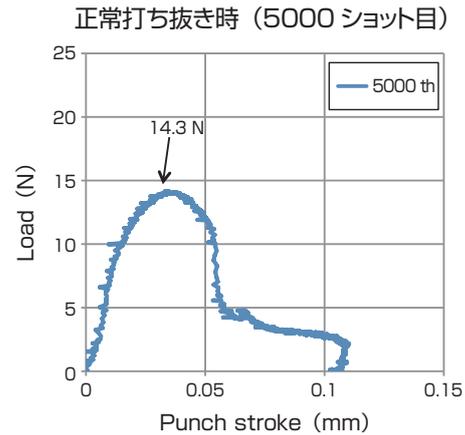
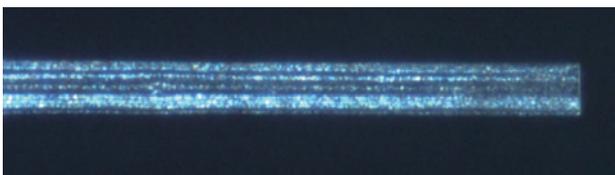
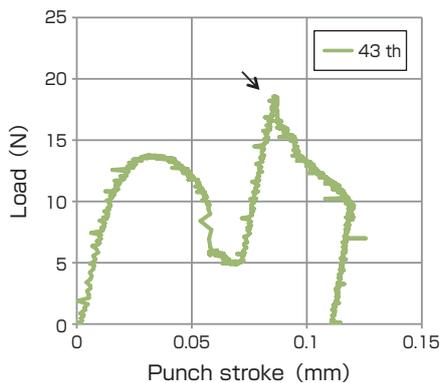


図 6 図 5 の評価装置を用いて取得した、微細穴あけ時の荷重 - 変位線図とパンチ映像 (正常に打ち抜きが行えている場合)

(a) カスづまりを生じた時 (43 ショット)



(b) パンチ座屈による折損時 (44 ショット)

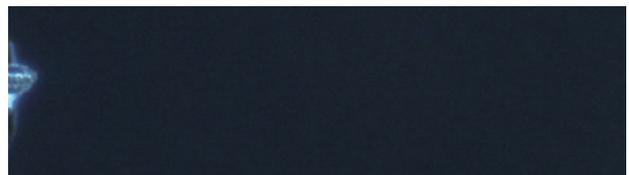
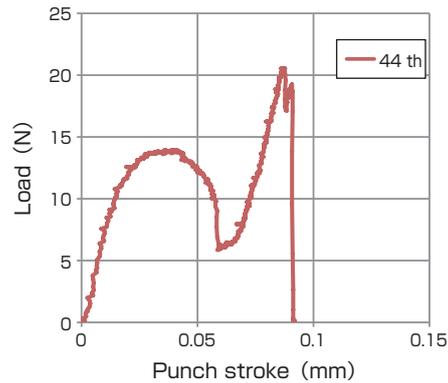


図 7 カスづまりによりカス押し荷重 (矢印) が高い (a) 43 ショット目と、座屈によりパンチ根元から折損 (b) 44 ショット目

を含めパンチの折損の状況をその原因と共に明確化した。これらの実験で得られた成果から、カスづまりの検知方法の考案も実現し、対策手段の構築を行った^[11]。

このような現象を見える形で把握できることは、プレス加工を専業に行ってきた企業でも経験はなく、さらに研究を進めることによる課題解決への期待から資金提供型の共同研究へとシフトすることになった。実験を繰り返した結果、金型のメンテナンスレベルが、パンチ表面の変化に現れ、クリアランス調整のレベルを1ショットで評価可能であることも分かった。クリアランス量は僅か数マイクロンであるが、パンチやダイの精度誤差や僅かな偏芯、ダイとの位置精度、組み付け誤差等が考えられ総合的な評価が可能なツールとなった。微細加工ではクリアランスも僅かであり、金型製作上の精度との誤差関係が非常に厳しい。このような状況においてパンチやダイの交換による位置合わせ等の影響が高いことが再確認できた。金型の状態を加工が進む前に容易に判断できることは、メンテナンス作業者の負担低減の効果が大きい。また、図8に示したように加工途中の材料を用意し、断面のひずみや硬さについて評価することにより、製品となる材料の状況についても明確化する等

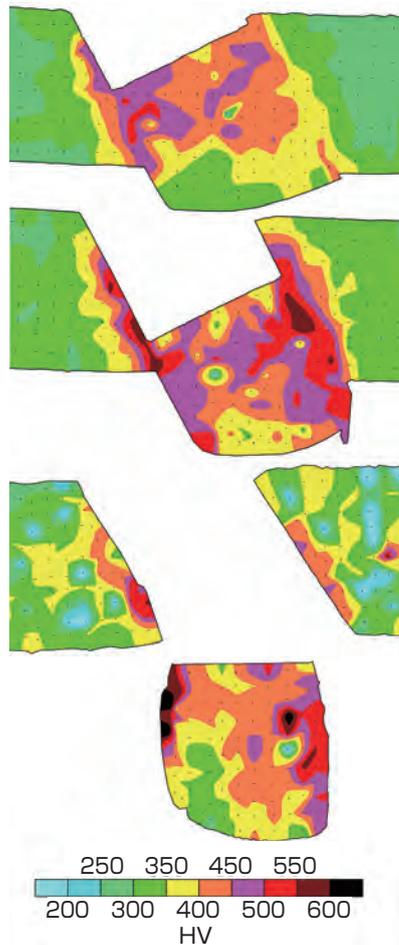


図8 斜め打ち抜きにおける断面の硬さ分布の変化^[12]

の成果を得た^[12]。この加工プロセスの見える化は、穴抜き加工という一つのプロセスと考えていた現象を、4つのプロセス(①パンチの侵入②せん断加工③切粉押し込み④パンチの引き戻し)に分割して理解することができ、各プロセスでの問題点を区別して解析することが可能になった。

この他にも、多様な問題点や現象を明らかにしているが、研究と実際のギャップとしてコスト意識や実用性、そこに加えて再現性・安定性が得られる解決策を生み出すことが望まれる。例えば、工程の変更を伴うようなものは、川下ユーザーの許可を得なければならず、内容により既存の工程に展開することが困難である。よって、工程変更にならないような、現在の作業方法を見直すなどで効果が得られるなどの方法が、即効性のあるものとして採用しやすい。今回の共同研究では当初の課題についても、多くの知見が得られたことから、その解決に金型の一部の寸法の見直しや管理の徹底という、実際はほとんどコストをかけずに済み、かつ企業内設備での運用が可能、最後に繰り返し同じ状態に持ち込みやすい手法を取ることに結び付けた。

製造においては製品が得られるということが必須の目的であり、その製品の品質が高く、安定し、コストが低いという状態が望ましい。一方研究にあっては、解決の手段を提供することになるのだが、手段=目的と混同しやすい。例えば最初の表面処理による寿命の高度化が優れているからと言って押し通したところで、企業内での生産に利用するためには設備の導入から始まり、処理条件の最適化、生産上での評価をこなさないと製造に入れないが、そこで必要とされる時間は許容されることが多い。企業が求める目的を見定め、手段を多様に提供できるかが求められる。製造技術での研究開発の難しさがそこにあり、手段に拘ると解が得られないが、手段に拘らないと研究にならない。多様な手段を捉えて常に前に進みつつ、そこに伴う分析力を糧に企業内の課題や問題点の抽出を進める、さらにそのあと次のステップに向かえるか、というような時間的なずれを生み出しつつ解決策を検討していくことが有効と考えている。見かけの成果が得られにくい、成果が一見直接的ではない等の分かりにくい成果となるが長い時定数でみれば、国内製造業への高い効果の提供となる。

この共同研究は、加工法の検討から材料の検討に展開し、金属結晶サイズを微細化した材料を準備し、その加工や製品に与える影響の評価実験を開始した。さらに加工における結晶組織の変化等のマイクロ現象を分析することにより、製品の品質や加工性の向上を進め、高度な製品を製造できる技術開発へと展開した。この進展に合わせて新たなフェーズへと発展し、企業側もEBSD (Electron Back-Scatter Diffraction) の導入等の分析力の環境強化がな

れ、顧客の期待を超える検証データの提供が可能な体制の構築が展開されるようになるなど、製造を支える部分での展開が進んだ。また、平成 25 年度からサポインテーマも採択され、より高度な穴抜き加工が要求される異形微細穴抜き加工や、接合技術^[13]を応用した金属性マイクロポンプの開発を開始している。ここでは先述の共同研究で得られた結果を踏まえ、組み立て精度やメンテナンス性をより追求したナノメートル位置精度調整ステージを組み込んだ金型を開発し、高品位な製品の実現を目指している^{[10][14]-[16]}。

5 企業内現場での展開

図 9 には、連携研究を始める前の精密金型のプレス加工における特性要因図を示す。影響する因子は、4M (Man, Material, Method, Measurement) が基本となり、各要因を個別詳細に追及する形である。人に関する部分は製造現場が担当し、材料は材料メーカーから提供されるデータを用いて、工作部門で製作された金型部品を組み込み、生産技術部門が選定した生産設備と測定機器を用いて、製品の品質管理を行ってきた。

これらの方法は、ISO9001 等の品質管理規格で規定される。各国の言語で翻訳され展開されているこの ISO を順守している限り非難をされることはないが、別の見方をすると ISO で規定されていることから世界の企業で展開可能な状態であることを考えると、競争力とはならない。

先に述べた、微細斜め穴加工時の加工力の変化線図やパンチ表面の“ばらばら漫画”を現場に提示することで、ある種の化学反応が起きた。これまで見る事が不可能であったことが見える化されたことで、説明できたなかったことが言葉と図で説明できるようになり、共通した加工プロセスの表現が可能となった。

共同研究としての連携により、現在の状態を解析し、問題を定義した後、解決策を仮定して、その検証をすることで解決をするという、従来行われてきたトライ&エラーでの解決とは違う手段が展開された。その実験結果を社内で発表したところ、研究者だけでなく現場作業者の間にも、ある変化が生じた。これまで、「斜め細穴抜き加工」と一

つのプロセスで考えていたことを、さらにプロセスを細分化し①パンチの侵入②せん断加工③切粉押し込み④パンチの引き戻し、と各プロセスによる区別した分析を始めた。

図 10 には、今年製造現場担当者が作成し、提示されたオリフィス加工時の微細斜め加工時に発生するカエリ発生の特性要因図を示す。図 9 に示した初期の特性要因図と比較すれば、問題となる事象を細かく限定し、その理解の深さと表現は大きく変化している。数種類で理解していたものを詳細に細分化することで、根本原因を追究し、その解決についても具体的な行動へと落とし込むことが可能となる。

その成果は、ロット生産をする中で、初期工程から中間工程で不良とならずに完成品となる実績の確率である、「直行率」という管理指標を大きく変化させた。2011 年当初、製品 A における直行率は 70 %を下回っていた。全部で十数工程があるが、初期に投入した製品のうち 30 %はどこかの工程で不良として廃棄される状態であった。

この状況の打開を、現場も含めた活動へ落とし込んだ。製品の製造プロセスから管理方法、人による測定方法の違い、加工時のパンチの動きにまで踏み込んだ活動が行われた。例えば、穴位置の測定を、工具顕微鏡を用いて手作業で行っていたが、個人差が出るため、画像による測定へ変更し個人差をなくす活動を行った。

これらの活動目標を、「ワンパスサクセス 100 %」という旗印の下で製造現場主体にして行った。活動が 4 か月過ぎるころには、安定的に 90 %を超えるようになり、5 か月後には 100 %を達成した。以降、安定して 95 %を超えて推移し、現在では、他の従業員や新入社員への教育可能なモデルラインとして位置づけられている。

共同研究の成果は、社内の発表会によって情報を共有した。2013 年には、金型の一部の寸法値を変更し管理基準をつけることで、パンチの寿命を延ばすことに成功した。これは金イオンパンチの研究を行った時の連携開始当初の目的であったが、当初の期待した手法では効果はなかったものの、代替の手法や解析を行う研究を継続することでたどり着いた結果である。

6 連携研究による製造現場での改善思考の変化

地方中小企業において資金面からみても研究開発部門を設置することは難しい。製品を生産しない部門は、稼がない部門と認識され、研究を行うための人的、金銭的、物理的資源も乏しくなってしまう。

230 名の小松精機工作所で年齢層を問わずに就業者の学歴割合をみると、現在、博士課程挑戦中が 2 名 (0.9%)、大学院卒業者が 5 名 (2.1%)、大学卒業者が 21 名 (9.1%)

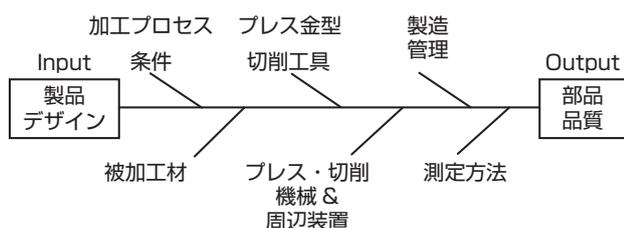


図 9 初期の特性要因図

であり、研究経験者は多く見積もっても企業内に12%程度である。無論、社会人になってから、現場での経験を経て、多くの課題解決による研究は行われているが、その多くは顧客要望に起因しており、独自の社会的または市場予測に基づく研究開発を行うことは困難である。また、研究経験者であっても、実際に研究を専門に行っている製造系の企業は少なく、顧客ニーズにいかに応えるかが日々の糧を得る必要事項として最優先と考えられる。生産規模と売り上げの拡大から従業員数は増えてきているが、製造が中心の企業においては、研究経験者の割合はむしろ減りつつある。

このような状況の解決のために、中小の製造業者が新たな展開を行うには、経営者もしくは経営に近い人が自ら連携した研究を行い、その成果を社内へ展開することが重要である。特に規模が小さいほど、トップの能力が会社の能力とイコールになる傾向があり、全体的なレベルアップは、ボトムアップよりもトップダウンの方が、計画の実行面から短期間での決断により進むため、コスト面でも効率的で

ある。スモール・スタート・アップにより、成功事例を多く作ることで、周囲の参入が可能で、連携体の構築はより容易になり、社内の体制構築も理解を得やすくなることで、徐々に規模を拡大することが可能となる。

しかし、市場ニーズを理解し、連携を行うメンバーの個々の能力の組み合わせは無限に存在するため、担当者の負荷は非常に高いものとなる。中小企業においてこの状態を「我慢ができる」担当者は経営関係者だけである。

中小企業と研究機関の共同研究において、多くの場合、課題の絞り込みにより狭義の研究がほとんどである。特に、大学との共同研究においては、その傾向が強く、一つの課題に対しての解決方法の一つに限定してしまう傾向が多い。しかし、産総研との研究においては、課題に対して、同時並行で複数の包括的な手段により解決につながっている。中小企業においては、一人の業務が多岐にわたるため、今回のような、より現場に近い研究が必要と考える。

小松精機工作所においては、研究成果の展開から新たな顧客の創造につながることを理解が進み、また、連携に

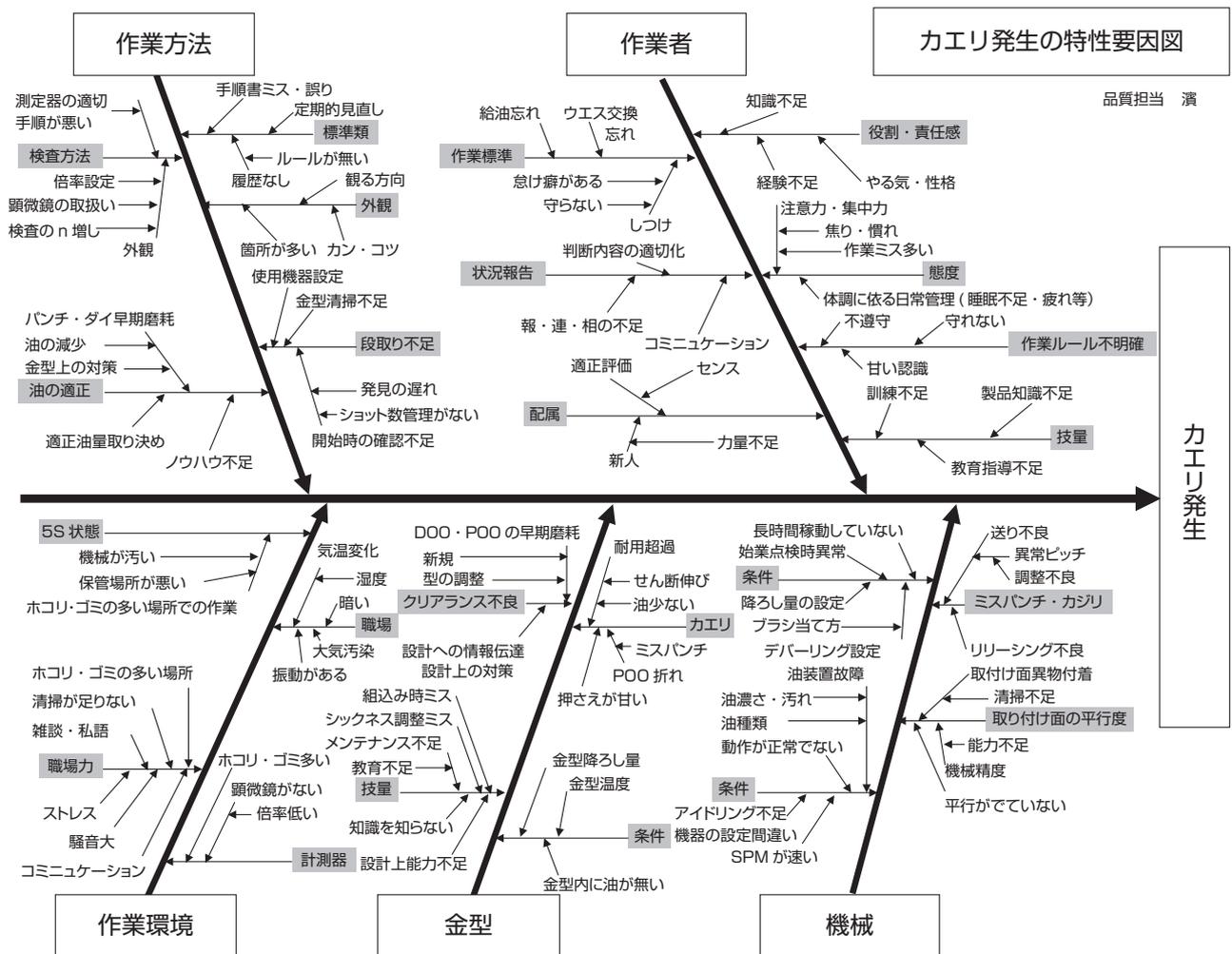


図10 発生した問題に着目した詳細な特性要因図

よる研究の活動が、競争的資金の取得や特許戦略、連携先から他のプロジェクトへの参画等、活動範囲の拡大につながった。2013年6月には新たに研究開発室を設けて、また関連会社設立^[17]により研究成果の展開を図り始めている。

産総研側から見た場合、研究事例には事欠かないが、その適用となると難しい。特に製造技術の開発においては、製造現場を持たないため生きた素材がないと言える。そこで企業との共同研究等が中心になるが、まず言葉の課題から始まる。例えば、研究では標準で「ミクロン（マイクロメートル）」を用いるが、製造現場では「〇〇分の〇」であり、ミリメートルを基準に（表現なく）分数で表現となる。「1 μm 」は「1千分の1」となる。製造現場での用語と研究用語は必ずしも一致していないなど、コミュニケーションから難しい。実際上記の寸法の例でも、「50 μm 」という寸法を研究者は1 μm の50倍として認識するが、現場では、「100分の5 mm」であり、感覚では1 mmの10分の1の半分、という認識である。数学的には同じ値であるが、認知としては違う物と理解した方が早い。製造現場では公差が生きているため「おおまかな値」も標準であり、数字の認識からも50 μm に対する1 μm は研究者では1 μm 「も」違って2%という認識だが、百分の5に對した千分の1は僅かな違いに思える。もっとも1000分の1の精度要求の加工の難しさは現場の方が体験しているのであるが。小松精機工作所との共同研究においても、感覚のずれは当初大きい物であった。しかし、毎月技術者と共同で実験を進めることにより、相互にコミュニケーション能力を高めることができ、結局どちらの感覚も使い分けられる研究者と技術者が生み出された。それが最大の成果と考えている。小松精機工作所との技術的な検討では、現在はナノメートルのオーダーまでを普通に議論しているが、時により、100 nmという表現、時には万分の1という表現を自在にこなして議論をしている。今後の研究課題でも、新しい加工技術、製造技術が開発を進めている。これらは、既存技術の枠を超えて境際、境界領域の仕事となる。その時はさらにコミュニケーション能力が求められる。ニュートン力学すら知らずに済んだ時代から、気がつけば量子力学を普通に使う世界に入っている、知識だけではなく感覚的なすり合わせが求められていると言えよう。そのためにも一緒に一つの実験を行い、呼吸を揃えて行くことが重要である。どれほど優れた研究成果でも単純に移転できるわけではないのである。

7 終わりに

戦後の高度成長期に多くの地方中小企業にもたされた高

度化した加工技術は、そのけん引役であった企業のグローバル化とインターネットに代表される技術革命とリーマンショックに代表される経済的な問題に翻弄され、それらの環境変化に適合せざるを得ない環境になっている。地方中小企業も例外なく、グローバルな競争にさらされている^[18]。このような環境の中において競争力を維持するためには、自前主義ではなく連携による課題の解決が競争力と差別化を図る一つの方法である。特に、就業者割合の変化のないところでは自ずと課題解決に限界があり、顧客との距離を縮めることは困難をきたす。

多様化するニッチな顧客ニーズをつかむために、連携可能な周囲の人や技術や知識の理解を進め、それと有機的に連携することで、これまでにない競争力を構築することが可能になり、さらにその一方新たな顧客の創造が可能になる。

多くの地方中小企業は連携研究の推進に、「人」、「もの」、「カネ」の限界から躊躇するが、相互理解によるスモールスタート・アップにより、研究環境を構築し、拡大と現場への展開を行うことで、これまでにない範囲での効果を得ることが可能である。

産総研等の研究所から見ると製造を担っている中小の企業との連携は不可欠である。その一方研究所側としては、研究の結果がそのまま利用できると考えがちであるが、製造部分については間接的な内容が多い。実際に作っている製品毎に作り方が違うし、課題も千差万別であり、直接対応できるケースは極まれなのである。また企業側もすぐに直接的な解決を求めているケースが多いと思う。間接的な対応では、原因の究明であり、解決策の模索があり、最後に漸く解が得られるのであるが、原因の究明もなく、「今こうだから、解決して欲しい。」という進め方がよく見られる。企業にしてみれば、「今までは上手くいっていた」「新しい製品は上手くいかない」というような単純な事象から、「今までの進め方に問題はない」「悪いのは（直接トラブルの）ここだけ・・・ここを直せば問題ないはず」というような思考に陥っているケースが多い。しかしながら「今まで上手くいっていた」のはたまたま条件が良かったから、とか「運が良かったから」と言ってしまうとよいようなケースとも言えるのである。特に古くからある製造技術では日々難易度が高まっているのであるが、そこに気がつかないケースが多い。最先端では、すでに教科書には書かれていないレベルでの仕事が進み、課題の考え方も異なってきている。難しくなっていることに気がつかないと「上手くできるはず」という意識になり、本質を見つけ損なう。今回小松精機工作所との共同研究においても、「上手くいっていた」経験が悪く働き、真の問題点を見損ねていたのが原因といえる。産

総研の研究者としては、新しく作った技術に頼ることなく、現在上手いかわからない理由を、一つずつ分析することにより、原因究明に努めた。その結果として課題解決を導き、その過程を通して、企業側も「さらに難しい課題を見据えて」「高いレベルでの解決策の模索」の意識を持ち、しっかりと原因の究明を進める、という心構えが強くなったと思う。今回の共同研究でも開発当初から、「この辺に問題があるのでは?」という問いかけを行っても、「今まで問題がなかったから」と後送りになっていて、一つ一つの課題要因を明確化することにより、最後に漸く原因へとつながっていった。後から振り返ればその回り道は企業と研究所が摺り寄るために必要な過程であったかと思うし、その回り道こそ次の課題、より難しい製品を目指した取り組みへと向かう基本となったと言える。昨年度から共同でサポインのテーマを開始したが、今までの技術では作れなかったような微細・精密製品の製造を可能とする難易度がさらに高い技術開発を実施している。その中でも、現在進めている共同研究では、技術を正確に分析するため、見えない加工を見える化する技術である。これは教科書の1ページを新しくするような内容であるが、企業が持つことによって、技術者の知見や経験値を高め、難易度の高い加工への進展を容易にしている。またサポインでは単独企業ではなく、上流の材料メーカと下流の最終製品を開発した企業との連携、さらに産総研・大学という研究機関を持って製品の量産を目指している。世界シェア 30 %の企業であるからこそ、少しの回り道を厭わずに次世代も世界と競争に勝ち残ろうとしている。企業側は少しの遠回りを我慢しつつ対応し、研究所側も、面倒がらずに細かな対応を行うことで、その結果より新しい、難しい、高付加価値の製品へ向かっていけるのである。製造技術の高度化は新しい産業を生み出していく礎になるがそこには時間が必要である。今行っている開発の次の、さらに厳しい条件の加工において、有効になって行く、その有効性が見える形に置き換えて行く必要がある。プレス加工は古くから使われている加工技術であり、「過去の技術」「企業中心で進めれば十分」という見方も強く、大学や研究機関での研究テーマとしては衰退している。しかしながら実際最先端の企業の現場では常に新しい課題との戦いである。それは短絡的に「新しい装置を買って来れば」、「新しい技術を買って来れば」では解決できず、原因究明と真の解決を目指してこそ次の高みに登れるのである。その意味においても研究機関の担う役割は重要である。

この論文がこれから研究所と企業の共同研究を進めるときの参考になれば幸いである。

参考文献

- [1] 藤本隆宏: *ものづくり経営学*, 光文社新書, (2007).
- [2] K. Ohmae: *The Borderless World*, HarperCollins Publishers, (1990).
- [3] 小松隆史, 小松誠, 柳沢春登, 上原恒浩, 柳沢保, 真鍋清一: 電子制御燃料噴射インジェクタ用オリフィスのプレス加工技術開発, *塑性と加工*, 52 (611), 1281-1285 (2011).
- [4] 中野禪, 芦田極: オンデマンド型MEMS製造装置に見るミニマル・マニュファクチャリング, *精密工学会誌*, 77 (3), 254-258 (2011).
- [5] 明渡純, 中野禪, 朴載赫, 馬場創, 芦田極: エアロゾルデポジション法-高機能部品の低コスト、省エネ製造への取り組み-, *Synthesiology*, 1 (2), 130-138 (2008).
- [6] S.Nakano, K. Ito, T. Inoue, M.Yoshida and H. Ogiso: Improved lifespan of micro-scale punch tools by ion implantation, *Trans. Mat. Res. Soc. Jap.*, 32 (4), 865-868 (2007).
- [7] S.Nakano, Y. Ming, M. Yoshida and H. Ogiso: Surface damage of gold-ion implanted Co-WC micro-punch tools during press processing, *Trans. Mat. Res. Soc. Jap.*, 36 (1), 83-86 (2011).
- [8] 中野禪, 白鳥智美, 鈴木洋平: 微細形状プレス加工の可視化技術開発: 微細丸孔打抜き加工の場合, *素形材*, 53 (7), 22-26 (2012).
- [9] 中野禪, 白鳥智美, 鈴木洋平, 加藤正仁: 微細打ち抜き加工の可視化実験, *第62回塑性加工連合講演会論文集*, 441-442 (2011).
- [10] 中野禪, 鈴木洋平, 栗飯原拓也, 白鳥智美: 微細穴あけ金型の可視化技術とナノ精度位置調整金型の開発, *塑性と加工*, 56 (650), 213-218 (2015).
- [11] 白鳥智美, 中野禪, 鈴木洋平: 小径孔締め打ち抜き荷重の監視によるカスづまり検知, *第62回塑性加工連合講演会論文集*, 443-444 (2011).
- [12] 加藤正仁, 白鳥智美, 鈴木洋平, 中野禪, 小松隆史: 微細粒組織を有するSUS304極薄板への微細穴の斜め抜きにおける材料変形挙動, *塑性と加工*, 55 (638), 223-227 (2014).
- [13] 加藤正仁, 白鳥智美, 佐藤直子, 鈴木洋平: オーステナイト系ステンレス鋼の組織制御に伴う拡散接合に及ぼす炭素量の影響, *第65回塑性加工連合講演会論文集*, 99-100 (2014).
- [14] 中野禪, 鈴木洋平, 栗飯原拓也, 白鳥智美: ナノステージ組み込み金型によるセンタークリアランス微細孔抜き加工評価, *第65回塑性加工連合講演会論文集*, 215-216 (2014).
- [15] 白鳥智美, 中野禪, 鈴木洋平, 栗飯原拓也: ナノステージ組み込み金型によるダイの位置調整が微細穴切り口面に与える影響, *第65回塑性加工連合講演会論文集*, 217-218 (2014).
- [16] 鈴木洋平, 白鳥智美, 中野禪, 加藤正仁, 栗飯原拓也: オーステナイトステンレス鋼の加工温度が微細穴抜き加工に及ぼす影響, *第65回塑性加工連合講演会論文集*, 219-220 (2014).
- [17] (株)ナノ・グレインズ社ホームページ: <http://www.nanograins.co.jp/>, 閲覧日2015-04-30.
- [18] 小松隆史: 地方中小企業の産学官連携の事例と連携のメリットとデメリット, *塑性と加工*, 54 (632), 787-791 (2013).

執筆者略歴

小松 隆史 (こまつ たかふみ)

1995年東京電機大学工学部機械工学科卒業。同年より1999年までアイルランドおよびイギリス留学で経営学を学ぶ。1999年小松精機工作所入社。生産技術担当を経て、生産管理課課長、製造部長を経て、現在常務取締役兼研究開発部長。2014年に株式会社ナノ・グレインズを立ち上げ代表取締役社長を兼任。この論文では、企業側における共同研究の推進責任者として、具体的な現場の課題の吸い上げと解決策推進、企業側から見た産総研との連携による成果と社内の変化について執筆。



中野 禪（なかの しずか）

1989年電気通信大学大学院修士課程修了。同年機械技術研究所入所。2001年新エネルギー・産業技術総合開発機構に出向。2003年電気通信大学より博士（工学）。マイクロマシンプログレッシブ加工を中心に製造関連技術の開発。現在は、この論文の微細プレス加工の他、ミナルファブ、金属積層造形技術を研究中。現在製造技術研究部門機能造形研究グループグループ長。この論文では、プレス加工の可視化、表面処理パンチの開発、また小松精機工作所と共同研究において、可視化技術・分析評価実施。産総研部分の執筆。



査読者との議論

議論1 全体

コメント（市川 直樹：産業技術総合研究所製造技術研究部門）

プレス加工での微細穴あけに関する課題解決を事例にして、産総研と中小企業との間で行われた連携とその展開についてそれぞれの観点から述べられている。地方中小企業の状況の変化からの産総研や大学との連携の重要性と必要性、企業と産総研の間のコミュニケーション、問題意識の共有、お互いの信頼と率直な提案、課題解決につながる幅広い技術の提案をしていくことなどが、対象とした研究課題の変遷と共に述べられ、その過程が中小企業への技術の橋渡しのために重要であることが分かる。

特に製造技術の課題解決において研究者と現場技術者の考え方の違いがあること、それを乗り越えて、どのように連携関係を構築し課題の解決を図ったのかということが具体的に報告されており、ものづくりに関する研究成果を製造現場に移転するアプローチの成功事例として重要である。研究者と現場との連携成功のポイントは、プレス加工プロセスの可視化を行ったことで現場技術者の課題解決の考え方が変わったことにある。

議論2 連携のきっかけや背景

質問（市川 直樹）

連携のきっかけから金イオン注入処理の実験、その実験を行っていく過程でパンチ力測定や金型内部の現象可視化など評価手法への展開となっていたとあるが、その間の企業側の見方の記載がもう少しあると良いと考える。実験開始の際には評価や実験が既存のもので比較的容易に行えることが企業側での承認のポイントとあり、企業側からは金イオン注入処理で寿命が延びることが当初の期待だったと思われる。それが当初の目論見から外れ、金イオン注入がうまくいかず、代わりに評価での共同研究継続になった際に、企業側としてこの結果についてどのように見ていたのか、また、共同研究を継続する判断のポイントの記載が欲しい。

回答（中野 禪）

金イオン注入処理パンチについては、現場導入での課題として、実験室と現場での状況の違いがあり、そのままでの導入は難しい事を産総研側でも当初から認識していました。特に微細穴の斜め打ち抜きという、通常では行えないような難易度の高い加工での申し出であったこともあり、研究課題としても難しいことについて、サンプル提供時点から、意見交換を十分に行えるように心がけていました。また産総研の設備として、主要な設備となる、金型工具の寿命評価装置を始めとした、研究ツールや成果も見学していただくなど、意見交換の素材を提供し、さらに現場に持ち込んだ場合の予想される課題もコメントさせていただきました。工場内の現場はノウハウの固まりのため、サンプル提供時や研究初期には、公開してもらえず、実験もお任せするしかないため研究者としては難しい対応と言えました。後に伺った話では、考えられる手法は相当試験されていて、その中で「他所では聞いたこともなかった、なにか良く分からない技術を開発

している。」という点に大きく興味を持っていただいたようで、（実際イオン注入等は十分な理解を得ていただくためには相当の説明が必要です。）とりあえず「良く分からない」可能性に賭けていただけたことが、本件に繋がったようです。

また、サンプル提供等の実験でも加工の中身を知る事、状況把握の重要性等についてご説明していったことが、「金型内での現象は、実は良く分かっていない」と認識していただけた。そこまで持ち込めたことが良かったと思います。文中にも記載しましたが、最初から最後までコミュニケーションが重要であると言う事を改めて認識しました。

回答（小松 隆史）

企業側としては、金イオンパンチによるパンチの長寿命化が実現されれば、短期的な効果が見込めるが、それ以外に、経営側として長期的な効果として産総研との連携研究により新たなもの見方が、発生することを期待していました。結果として、金イオンパンチでの工具の長寿命化に結びつかなかったが、自社の加工について新たなもの見方が始まったことが明らかになり、共同研究継続になりました。

議論3 パンチの可視化実験について

質問（市川 直樹）

金型を見ることは難しいため、ここではパンチを観察できる位置まで引き上げて、その様子を見るということがポイントかと思います。また、企業側からこうした変化を見たときの印象や将来の可能性として感じたことはどのようなことなのでしょう？

回答（中野 禪）

プレス加工においては、見たいという意識は以前からあるのですが、1) 透明な材料で作ると、その素材より弱い材料しか加工できない、2) 分割すると条件が変わってしまう、3) 都度分解し評価すると、加工数が少ない条件しか評価できない、等見ることでできない技術でした。その中で、先人の長い時間の研究活動によりあらかじめの状況が掴まえていた、という現状でした。しかしながら加工の先進化によりより詳細に分析することが求められ、特に過去の理論上では解決策が見いだせないような微細穴加工や、複雑な異形状等、加工の本質をどう見極めるかが重要となり、見えない物が見える、もしくは推定できる技術の重要さは増大していると思います。今回の寿命評価装置も、加工の瞬間を見ているわけではなく、1回毎に打ち抜いた工具の表面を観察すること、それを40 SPM（毎分40回）というちょっと遅めの実生産レベルで実現できるようなシステムを構築できたことが、実際の加工現場の模擬試験が行えるレベルとして優れているのです。さらに、何回も繰り返し類似実験をこなすことにより、「時々生じる異常」をきちんと掴まえて検討できることが重要です。「いつも起こる現象」は解決が容易な見つけやすい課題ですが、「時々生じる現象」は捉えどころが少なく、生産現場では一番大きな課題と言えます。確率的な現象のため、数で仕事をするしかない、その僅かな確率を逃さず掴まえられる技術を作れた点がニーズに合っていたのではと思います。

コメント（小松 隆史）

企業側では、パンチの一工程ごとの工具の変化を見ることは不可能と思っていたが、その前提がこの研究により覆され、見えなかったものが見えることにより、製造現場での新たな効果を期待していました。その結果、製造現場にて事象を分解しての理解が進んで、根本原因を考えての対応が進んだことは、当初の予想と合致しました。

質問（市川 直樹）

研究や事例がないと言い切っているのですが、「そのような取り組みはされていなかった」というような表現の仕方も検討してみたらと思います。ちなみに、微細穴でなければ1ショットごとに評価したよ

うな事例はあるかと思えます。

回答（中野 禪）

例えば 1000 ショットずつ加工した後に、型をばらして評価する手法については、機械技術研究所においても実施していた例はあります。これも直径 10 mm という寸法の打ち抜きでした。この場合の課題としては型を分解するので、その後で組み直しても同じ状態に再現できないという課題があります。また例えば 10 mm クラスの微細穴ではないケースでなら、1 ショット毎の評価があったかといえ、調べた範囲では見つかりません。その理由もある程度明確で、工具に掛る応力が微細穴と相当するような厳しい条件での加工となるためには、いくつかの条件が必要です。一つ目は、板厚が孔径より厚いケースとなります。直径 8 mm の穴あけを 10 mm の板に打ち抜く例がほぼ相当するのですが、このような加工例がそもそも少ないことがあります。次の条件として、工具の加工精度ですが、微細穴あけでも通常サイズの穴あけでも工具を加工する精度は変わらないのが現状です。つまり、微細加工は相対的に精度の低い状態で加工をしないといけないのです。先の直径 8 mm で 10 mm の板を打ち抜く場合の工具の加工公差は、1 μm を実現可能です。またクリアランスを 5 % ときつめに取っても、その隙間は 0.5 mm (500 μm) あり、その中に 1 μm の加工公差の工具を組み合わせて加工を行えます。この時はクリアランス：工具精度 = 500：1 となります。一方微細加工でも加工公差は 1 μm 程度です。板厚 0.1 mm に対する 5 % のクリアランスは 5 μm ですので、クリアランス：工具精度 = 5：1 となります。現状の微細プレス加工は十分な精度を得られていないため、より寿命等の課題が顕著に表れてくるのです。逆にマクロな加工では、相対的に精度の高い工具を使い、摩擦や凝着量も同じように相対的に小さな摩擦や凝着となることから、寿命対策を十分に検討する必要が小さかったと言えます。一般的な大きさの実験では、1 ショットが与える影響が小さく、ショット毎の変化を追いかける必要がなかったから、と考えられます。微細加工では 1 ショットが与える影響が相対的に大きいので、今回の研究が必要になったのです。

議論4 連携成功のポイント

質問（市川 直樹）

具体的な開発の経緯、連携の成功のポイント等をもう少し整理してください。産総研での技術開発、企業での評価や検討等がそれぞれでどのような目標でどのようなことをやったのか、その際の相手側の意見等考え方の差異がどのようにして埋まっていく（すり合わせていく）のかが分かるようにしてください。観察装置を用いて細かい条件の変化による状態の可視化をすることで、企業側も満足する結果になったとのことですが、企業側が求めていたこととの差異やそのギャップをどのように埋められていったのでしょうか？

回答（中野 禪）

一番有効だったのは、毎月産総研で行っていた実験中の意見交換で少しずつすり合わせを進めたことだと思います。数で勝負するような実験であり、実験装置は自動化してあるので、セットしてスタートすると、後は実験中の画像や荷重等のデータを見ながら、意見交換

を進めていました。実験途中で異常があれば原因の検討等を行い、異常がない時は淡々と実験だけは進むので、予想される原因等の検討等、が実施できました。その中で、最初はいかかっていたと思う考えが少しずつ寄り、結果として現場において課題をどう評価するか、というポイントへ行きついたらと言えます。また、詳細はノウハウ部分となるためお示しできませんが、最後の現場での評価において、工場の現場の作業者に大変厳しい無理なお願いをしたのですが、小松精機工作所の直接ご担当者がその負担と得られるであろう価値を判断できるようになっていたことから、実施していただき、最後の原因解明の証明ができて、成果に繋がったのです。お互いに「根気よく」、「あきらめない」、「決めつけない」、結果として得られたと思います。

コメント（小松 隆史）

中小企業と研究機関の共同研究において、多くの場合、課題の絞り込みにより狭義の研究がほとんどであります。特に、大学との共同研究においては、その傾向が強く、一つの課題に対しての解決方法を一つに限定してしまう傾向が多くあります。しかし、産総研との研究においては、課題に対して、同時並行で複数の包括的な手段により解決に繋がっていました。中小企業においては、一人の業務が多岐にわたるため、今回のような、より現場に近い研究が必要と考えます。

質問（金丸 正剛：産業技術総合研究所エレクトロニクス・製造領域）

本報告の連携成功のポイントをより理解しやすくするために以下の点をご検討ください。可視化に取り組むにあたり、何を可視化するのかなどについての現場技術者との議論や、それを通じて評価装置に何か工夫した点。その結果としてプレス加工の特性要因図が精緻化され生産工程の改善に効果を発揮したことを述べていますが、特性要因図の精緻化が可能となった理由と、現場活動への落とし込みの具体的な例示があると可視化の効果がより明確になるのではないかと。

回答（中野 禪）

現場技術者に対しては、まず「研究として何を見ることができているのか」、また、「現場では何を見ているのか」という点からスタートしています。実際としては、「研究でも見えない物はある」「現場では分かったつもりでいる」というところですが、そこから、データの一つ一つの意味、それから、途中過程として荷重の推移等の意味、わずか数ミリ秒で行っている一つに見える加工が、実際は複数の工程に分かれていて、その中で時事刻々と状態が変わっていることを少しずつ理解していただいたことがあります。装置は、当初の評価装置は遅く、かつ片側しかカメラがなかったのですが、小松精機工作所との研究に合わせ両側に取り付け、高速化も実現しました。プレス加工は生産速度が速く、そこで生じる事象を把握するには高速化が必須だったのと、両側で取りこぼしのない状況への対応でした。また研究当初と最近の実験では、当然進展があり、難易度も相当向上しています。研究当初のレベルではできなかった加工が普通に生産レベルで可能という進化は、現象をしっかり捉えられた結果、加工上の問題点が正確に捉えられたからだと思えます。