

(解説)



## 社会に安全を届けるものづくり技術—金属加工技術—

赤澤浩一\*<sup>1</sup>(博士(工学))・藤井康之\*<sup>1</sup>(博士(工学))・柿本英樹\*<sup>1</sup>(博士(工学))・吉岡典恭\*<sup>2</sup>・山本雄也\*<sup>1</sup>

### Manufacturing Technology Delivering Safety to Society. Metal Processing Technology

Dr. Koichi AKAZAWA・Dr. Yasuyuki FUJII・Dr. Hideki KAKIMOTO・Noriyasu YOSHIOKA・Yuya YAMAMOTO

#### 要旨

当社グループの金属材料や産業機械は、人々の安全・安心な暮らしを支えてきた。金属材料の製造プロセスとして、多くの場合「圧延」「鍛造」などの熱間加工により、形状だけでなく性能、品質が作りこまれ、さらに「成形加工」や「切削加工」により、高精度な形状に仕上げられる。当社グループのものづくりには欠かせない、「圧延」「鍛造」「成形」「切削」を代表とする加工技術について、各コア技術の概要をこれまでの技術開発と実用例を交えながら説明する。さらに、『未来の安全・安心な社会の実現』にむけて必要不可欠であるものづくりの革新につながる新たな取り組みについても述べる。

#### Abstract

KOBELCO Group's metal materials and industrial machinery have played a significant role in supporting people's safe and secure lives. The manufacturing process of metal materials typically involves hot processes such as "rolling" and "forging." These processes shape the materials and enhance their performance and quality. Additionally, high-precision shapes are achieved through "forming" and "cutting" processes. This paper explains the core processing technologies that are indispensable in KOBELCO Group's manufacturing, including "rolling," "forging," "forming," and "cutting." It provides an overview of these core technologies, complemented by descriptions of past technical developments and practical examples. Furthermore, it discusses new initiatives that contribute to the innovation of manufacturing, which is essential for realizing a safer and more secure society of the future.

#### 検索用キーワード

ものづくり, 加工, 圧延, 鍛造, 成形, 切削

まえがき = 当社グループの金属材料や産業機械は、これまでに自動車、航空機、高層建築物、圧縮機など、輸送機器、社会インフラ、産業インフラに利活用され、人々の安全・安心な暮らしを支えてきた。当社グループが生産するこれらの素材/素形材、産業機械には当然のことながら品質や供給安定性など極めて高い信頼性が求められている。さらに、近年では、強度や大きさ、加工形状の複雑さなど素材/素形材に求められるニーズは増々高度化しており、この要求に応え続けていくためには、絶え間のない「ものづくり力」の向上が必須である。

金属材料の製造プロセスとして、溶解・精錬、鋳造などによって得られた素材を圧延、押出、鍛造などの高温での塑性加工により一次加工し、さらにそれらをプレス成形や伸線、冷間鍛造などの二次的塑性加工、さらには機械加工により最終製品にしている。多くの場合、「圧延」「鍛造」などの熱間加工により、形状だけでなく性能、品質が作りこまれ、さらに「成形加工」や「切削加工」により、高精度な形状に仕上げられる。これまでに当社は、鉄鋼、アルミ、銅、チタンなど素材の拡大に対応しながら、品質、機能、生産安定性を向上するための各加工技術に磨きをかけてきた。いっぽう、素材に求められる機能の向上は、同時に加工の難しさの増大を伴う

ことが多い。そのため、当社の社内製造工程で培った難加工素材に対する加工技術をお客様のものづくりを支える独自のソリューション技術として発展させ、お客様における素材の「使い勝手」の向上を支援している。さらに現在では、お客様と連携し、製造工程全体を俯瞰（ふかん）した課題解決を行うなど、社会からの高い期待に応えるべく技術開発活動を続けている。

本稿では、当社のものでなく、加工技術について、各コア技術の概要をこれまでの実用例を交えながら説明する。さらに、未来の安全・安心な社会の実現にむけて必要不可欠であるものづくりの革新につながる新たな取り組みについても述べる。

#### 1. 圧延

##### 1.1 圧延技術

鋼材を中心に当社で製造される金属材料の多くが圧延加工を経て製品となる。圧延工程は、厚板、薄板、線材、棒鋼、形鋼などの各形状に加工するとともに、板厚などの寸法、形状、表面性状などを制御しつつ、材質を造り込む役割を担っている。また当社では、鉄鋼、アルミ、銅、チタンの板材、線材を製造しており、カーボンニュ

\*<sup>1</sup> 技術開発本部 材料研究所 \*<sup>2</sup> 技術開発本部 ソリューション技術センター

ートラル (CN) といった新たな社会課題も加わる中で、多岐にわたる製品品目において、生産性を担保しながら歩留まり良く製造するためには、圧延技術のさらなる高度化が必要となる。そのため実機現象を模擬した実験的検討、および複雑な圧延現象を忠実に再現する高度な圧延シミュレーションを駆使し圧延技術の高度化に取り組んできた。

本章では、これまで当社の圧延製品を支えてきた圧延技術と将来に向けた圧延技術開発についての事例を紹介する。

## 1.2 生産基盤を支える圧延技術

圧延時には板厚や表面性状を適切に制御すること、および材質の造り込みを適切に行うことが課題である。板厚の制御に関しては、アルミ熱間粗圧延を対象に、圧延機の初期設定 (セットアップ) 精度を改善すべく有限要素法 (FEM) と実験的検討から圧延温度、圧延荷重予測モデルを構築することで、高精度な板厚制御を実現し、歩留まり向上に寄与してきた<sup>1)</sup>。また形状制御では、ロールの弾性変形と熱変形、材料変形を連成したシミュレーションモデルを用い、ソフト面では自動形状制御システム (AFC)<sup>2)</sup>、ハード面では多段圧延機 (KST, KT)<sup>3)</sup> などの製品化を実現するとともに、圧延機メーカーとして培った本技術を活用し操業条件の適正化にも貢献してきた。表面性状制御では表面きずという必ずしも原因が明確でなかった課題に対し、スケールと圧延変形の両面からの基礎実験検討からきず発生メカニズムを明確化するとともに、自社開発の剛塑性三次元FEM解析を用い線材圧延のしわきずの発生予測、発生指標を導出し、きず発生率低減を実現した<sup>4)</sup>。材質の造り込みに関しては、結晶粒を微細化するために、必要な温度域で必要な圧下量を確保しつつ、同時に鋼板の平坦度も担保可能なプロセスメタラジー圧延技術を厚板圧延で実用化してきた<sup>5), 6)</sup>。

## 1.3 将来の社会を見据えた圧延技術の開発

昨今ではCNといった新たな課題も加わり、従来圧延製品に求められてきた特性以外の高機能、複合機能が求められてきており、それに対応するための特徴のある圧延技術開発にも取り組んでいる。

その一つは、圧延転写技術である。バイオミメティック材料に代表されるように、表面の微細な凹凸により撥水 (はっすい) 性、伝熱性、光学特性などの多様な表面機能を発現できることが知られている。当社では圧延の特徴である大面積、高生産性、低コストという強みを活かし、表面に微細な凹凸を転写する圧延転写技術を開発した。本技術をチタン薄板に適用し高伝熱チタン板 HEET<sup>TM</sup> の実用化に成功 (図 1) し、再生可能エネルギーの一つとして着目されている海洋温度差発電の実証プラントに国内で初採用されている<sup>7)</sup>。本製品は、海洋温度差発電用途のみならず、化学プラントや発電設備、大型輸送船など海水を用いて冷却、加熱を行う熱交換器への適用拡大が検討されている。

もう一つは、フレキシブルテーラードブランク圧延技術である。自動車軽量化に伴い、部位ごとに異なる特性

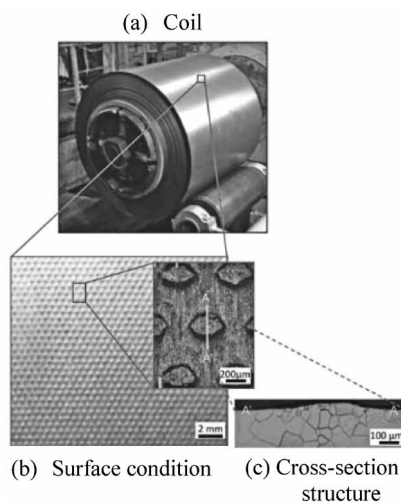


図 1 高伝熱チタン板 HEET<sup>TM</sup>  
Fig. 1 High heat-transfer titanium sheet HEET<sup>TM</sup>

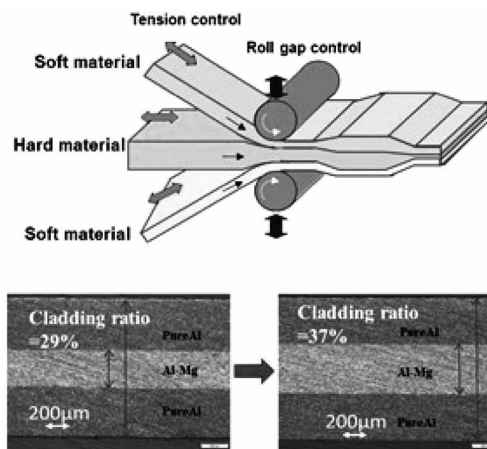


図 2 アルミクラッド材のクラッド比率の制御  
Fig. 2 Control of cladding ratio of aluminum clad material

(強度・延性) が求められる部材に対し、特性の異なる三種のアルミ材を冷間圧延接合し、かつ圧延中の張力を制御することでクラッド比 (各層の板厚比) をコントロールし、長手方向に機械的特性を制御可能なことを実証した (図 2)<sup>8)</sup>。今後、本技術の特徴を活かした複合材料の開発や用途展開が期待されている。

## 2. 鍛造

### 2.1 鍛造技術

当社で製造している代表的な素形材の製品を図 3 に示す。船舶用クランク軸<sup>9)</sup>では、世界のトップシェアを占め、自動車サスペンション用アルミ鍛造部品<sup>10)</sup>においては国内トップシェアを誇る。さらに、チタン合金の航空機部品<sup>11)</sup>では30年以上の納入実績がある。このように、船舶・自動車・航空機といった輸送機器の重要部品を、当社では国内最大級の大型プレス機を使用して効率よく鍛造加工している。

鍛造加工とは、工具である金型を使用して素材を変形させることで形成する加工方法で、 casting時に生じた casting組織を破壊して内部組織を均一化するとともに、製品形状を作り出す重要な役割がある。当社では、所定温度に素材を加熱して鍛造する熱間鍛造工程を実施している。

熱間鍛造工程は、素材歩留まりや後工程のコストに影響するため、出荷するまでのトータルコストを考慮して素材形状や金型形状を設計する必要がある。

鍛造工程を設計するためには、鍛造荷重や、欠肉/欠陥と言った鍛造形状を予測する必要がある。近年では、計算機の性能向上により、数値シミュレーション技術を活用することが一般的となっている。当社では、形状および材料の種類が多岐にわたるため、数値シミュレーション技術の高度化・予測精度の向上に注力するとともに、これを活用した工程設計を実施してきた。さらに近年では、当社へのものづくりに対する信頼と期待に応えるため、社内で培った数値シミュレーション技術をお客様の工程に適用するソリューション活動にも注力している。

本章では、数値シミュレーション技術を活用して、歩留まり向上を目的とした社内工程設計事例を紹介する。

## 2.2 数値シミュレーション技術を活用した鍛造工程設計技術<sup>(2), (3)</sup>

船舶用エンジンや発電機などに使用されているクランク軸は、製造方法によって一体型クランク軸と組立型クランク軸に分類されている。昨今、船舶業界ではエコシ



(a) 大型船舶用組立型クランク軸<sup>9)</sup>  
(a) Build-up type crankshaft for large ships<sup>9)</sup>



(b) 自動車サスペンション用アルミ鍛造部材<sup>10)</sup>  
(b) Aluminum forged parts for automobile suspension<sup>10)</sup>



(c) チタン合金製航空機用着陸装置部材<sup>11)</sup>  
(c) Titanium alloy aircraft landing gear parts<sup>11)</sup>

図3 当社で製造している代表的な製品

Fig. 3 Representative products manufactured by our company

ップの流れにより、環境規制の強化および運航時のエネルギー効率化の観点から、エンジンコンパクト化による燃料改善ニーズが高まっている。このようなニーズに対応するためには、高出力・高強度な軽量部材を供給する必要がある。

これに対し、当社の一体型クランク軸では鍛造-機械加工の一貫プロセスを有する強みを生かし、高纯净度鋼の開発やニアネット形状に鍛造できる世界で唯一のRR鍛造法の実用化によって、高負荷に耐えうるクランク軸の製造を可能にしている。

今後、当社はエンジンメーカーと共同で船舶の軽量化・コンパクト化の可能性を探り、お客様の発展に貢献していく。

図4にRR鍛造法における変形挙動を示す。この方法は、金型内にセットされた素材に対し、プレス機の圧下力をくさび機構によって素材の軸方向からの圧縮力に変換する。これにより、素材を軸方向に圧縮してバレル変形させ、予備変形を施したアームと呼ばれる部位を形成する。その後、上下方向からの圧下も加わり、ピン部が偏心されると同時に、軸方向の圧縮を引き続き行うことで、ピン軸・アーム・ジャーナル軸を一体で鍛造する。このように、RR鍛造法では材料流動が非常に複雑な特徴がある。

今回、数値シミュレーション技術を活用してRR鍛造法における歩留まり向上を目的に、素材・金型形状設計を実施した事例について簡単に紹介する。なお、詳細については参考文献<sup>(2), (3)</sup>を参照されたい。図5に素材投入量を削減し、金型形状を適正化して実機試作した結果を示す。その結果から、数値シミュレーションを活用することで、従来に比べて素材投入量を削減できることを

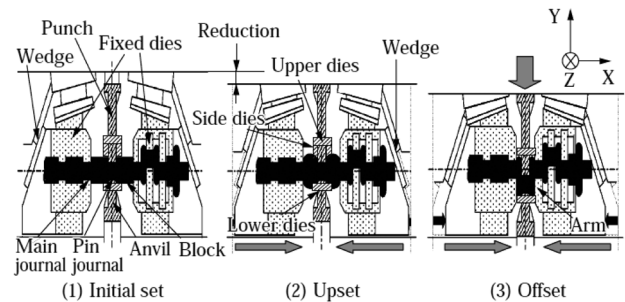


図4 RR鍛造法における変形挙動  
Fig. 4 Deformation behavior by using RR forging method



図5 実機試作で得られた鍛造形状  
Fig. 5 Actual forging shape

実証し、数値シミュレーション技術を活用した工程設計が有効であることを示した。

### 3. 板成形

#### 3.1 板材成形技術

当社素材分野の主力製品である薄鋼板やアルミ板材は、自動車産業との関わりが強く、当社は自動車車体部品の高度化要求を技術革新の後押しにしてその高機能化を果たしてきた。さらに、素材開発に加えてその適用に不可欠となる成形技術の開発にも取り組み、高機能な材料の実用化や適用拡大を通じて自動車の安全性向上や軽量化の一端を担ってきた。板材成形品には、大量生産手段としての生産性や経済性に加え、成形性、寸法精度、表面性状など多様な製品品質が求められるため、成形プロセス中の板材の挙動、材質の変化、工具の変形を把握し、お客様の要求品質に応じた最適なプロセスを設計することが重要となる。

本章では、高機能材料の適用拡大や板材製品の品質向上により、自動車の安全性や軽量化を支えてきた当社の板材成形向け技術開発の取り組みについて紹介する。

#### 3.2 当社の板材成形向け技術開発の取り組み

当社は自動車車体部品向け素材の特性を活かした使い分けとして、骨格系部品に超高張力鋼板、パネル系部品にアルミ板の適用を提案している<sup>14</sup>。共通の品質課題となる成形時の割れ・しわに加えて、前者には寸法精度や工具の耐久性、後者には面性状や意匠性などの個別の品質課題があり<sup>15</sup>、部品ごとの要求品質を確保するための成形技術や評価技術の開発に取り組んでいる。最近の事例として、成形性の予測精度向上と寸法精度不良の対策提案を紹介する。

##### 3.2.1 成形性の予測精度向上

自動車部品の品質課題の早期解決にCAEを活用した事例が増えている。CAEモデルに成形限界線を組み込んだ成形性評価もその一つで、当社は実機フェーズの品質不具合低減に向けて成形限界線の精緻化に取り組んでいる。伸びフランジ変形においては二つの形態の割れがあることが報告されおり<sup>16</sup>、また伸びフランジ成形のように板面内にひずみ勾配が生じる素板端部の成形限界は、板材の機械的特性値だけでなく、ひずみ勾配の程度や打ち抜き条件にも依存することが知られている<sup>17</sup>。そのため、素材端部の成形限界は様々な加工条件を含む多くのデータベースから割れ形態ごとに同定して求める必要がある。そこで、割れ形態ごとの成形限界線を導出す

ることで成形性の予測精度の向上を図っている<sup>18</sup>。導出された成形限界線の例を図6に、これを伸びフランジ成形の板端部割れ予測に適用して実験結果と比較検証した例を図7に示す。図より、実験結果を精度よく予測できていることが確認できる。

##### 3.2.2 寸法精度不良の対策提案

寸法精度不良は、素板が成形プロセスの複雑多様な変形履歴を経る過程で内部に応力が発生し、それが離型時に弾性回復することによって生じる。その弾性回復量は降伏点に比例して増加するため、寸法精度不良は高強度材の適用を阻害する深刻な問題の一つとなっている<sup>19</sup>。したがって、対策には素板に発生する応力の抑制や相殺が有効と考えられ、当社は成形プロセスの改善によって応力を制御して寸法精度不良を低減することを目指している<sup>20</sup>。その一例として、屈曲した部品の寸法精度不良(キャンババック)を改善した事例を図8に示す<sup>21</sup>。図は離型後の製品変形の駆動力となる素板内の長手方向

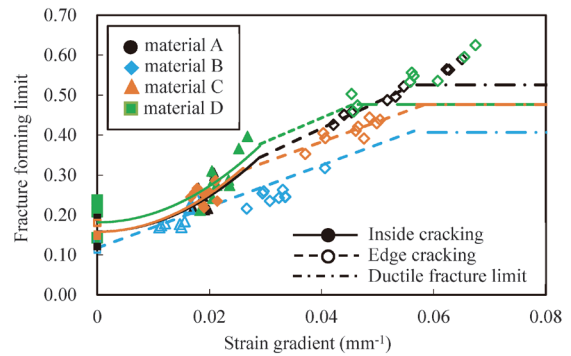


図6 割れ形態ごとに同定した伸びフランジ成形限界線  
Fig. 6 Fracture forming limit in stretch flanging by each fracture type

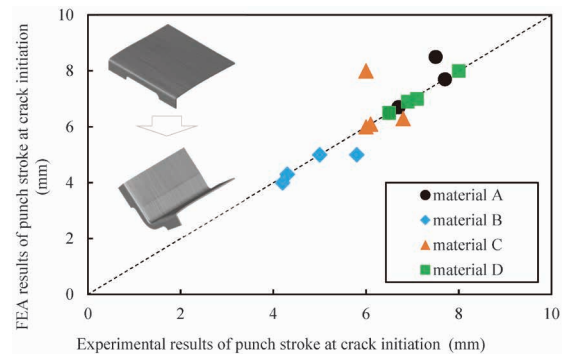


図7 割れ発生ストロークの予測結果と実験結果の比較  
Fig. 7 Comparison of FEA and experimental punch stroke at crack initiation

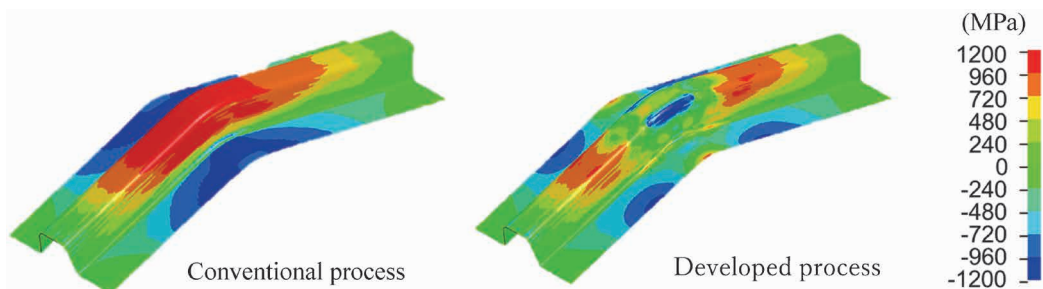


図8 従来工法と開発工法の応力分布の比較 (製品長手方向)  
Fig. 8 Comparison of stress distribution by conventional process and by developed process

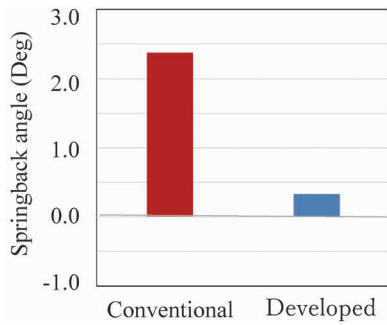


図9 従来工法と開発工法のキャンパーバック量の比較

Fig.9 Comparison of springback angle by conventional process and by developed process

応力分布を示している。本事例では寸法精度不良の主要因となる金型離型前の応力が屈曲天板部の引張り応力と同フランジ部の圧縮応力であることを特定し、それらを途中工程の材料挙動を制御することで低減した。その結果、図9に示すようにキャンパーバック量を改善させることができた。

## 4. 切削

### 4.1 切削技術

航空機部品、自動車部品などの機械部品は高い品質と精度が求められる。このような部品の加工には、生産性、精度、コストのバランスに優れた切削加工が必要不可欠である。当社の切削加工技術は古くは空気圧縮機やドリル工具などの国産化を推し進める中で発展し、さらに、顧客と連携したソリューション活動の中で成長してきた。いっぽう、近年はCNに向けた軽量化や高強度化、自動車の電動化に伴う部品構成の変化など、切削加工の対象物が大きな変革期にあることに加え、プロセスデータやAIの活用など、技術面も大きく変化している。これらに対応すべく、当社では試作実験による評価のほか、FEM解析による刃先現象の分析技術や振動理論を元にしたびり振動予測技術など、切削シミュレーション技術の開発を推し進めてきた<sup>22)</sup>。本章では、その具体例を紹介する。

### 4.2 シミュレーションやプロセスデータを活用した切削加工技術の高度化

#### 4.2.1 旋削加工時の切りくずの分断予測技術

旋削加工において切りくずが分断せず、装置に絡まると自動化の阻害要因となるほか、加工面への傷や工具の損傷原因となるため、処理性の高い分断した切りくずが生成されるよう、材料、切削条件および工具形状（チップブレイカ）を選定する必要がある。これを、簡便に素早く実施できるよう、切りくず分断予測技術の開発に取り組んだ。

切りくずは工具すくい面のチップブレイカと呼ばれる凹凸により曲げられ、切りくずに生じる曲げひずみが限界となる破断ひずみ  $\epsilon_c$  を超えると分断する。そこで、切削条件やチップブレイカ形状をもとに、切りくず形状を幾何学的に算出する手法を構築し、各切削条件における切りくずの分断可否を予測した。結果の一例を図10にコンタ図で示した。図中の赤色の破線よりも右上であ

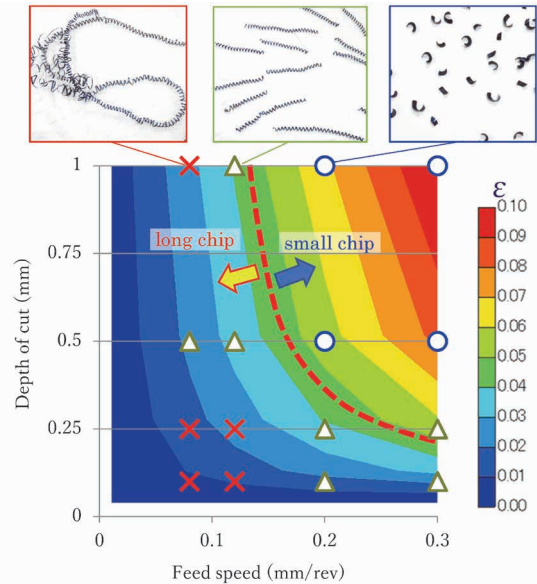


図10 切りくず分断予測結果と実験結果の比較

Fig.10 Comparison of chip breaking prediction results and experiment results

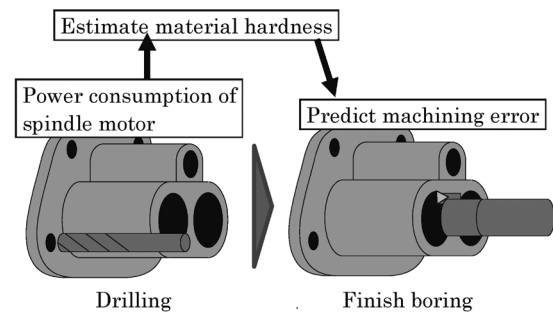


図11 加工誤差予測技術の概要

Fig.11 Overview of machining error prediction technology

れば分断、左下であれば連続するという予測に対し、○、△、×で示した実験結果はよく一致しており、有効な予測技術であることを確認できた。本技術により社内外の切削工程において切りくず処理性に問題が生じた場合に、迅速な切削条件および工具選定・ソリューション提案が可能となった。

#### 4.2.2 工作機械のモータ電力を用いた加工誤差予測技術

当社は産業用空気圧縮機を製造しているが、そこで多く使われる鋳鉄材は硬さがばらつきやすく、同一加工条件でも材料のばらつきにより加工精度が悪化し、修正加工が必要となるため、生産性の低下を招いてしまうことがある。仕上げ加工前に加工誤差が予測できれば、切削条件の調整により加工精度のばらつきを抑制できる。そこで図11に示すように仕上げ加工前のドリル加工時の主軸モータ電力から材料硬さを推定し、仕上げボーリング加工時の加工誤差量を予測した。さらに加工誤差量の予測結果から、送り速度を増減させて加工形状を目標どおりにするよう調整した結果を図12に示す。本技術により自動補正加工を行うことで、数 $\mu\text{m}$ レベルの高精度加工を手戻りによる追加工なしに実現でき、製造コストダウンや製造工程の少人化に貢献できることが明らかとなった。

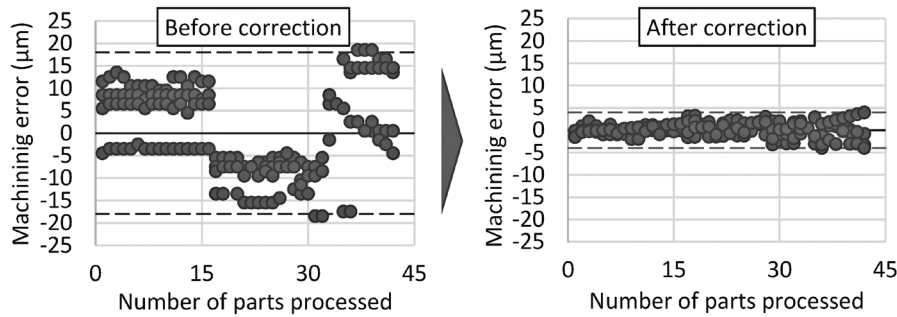


図12 自動補正による高精度加工の効果  
**Fig.12** Effect of high-precision machining by automatic correction

むすび= 今後、設備的に優位な新興国の台頭が予想される中、高機能な素材を高品質、高歩留まり、高生産性で加工する技術により、アドバンテージを確保し続けるとともに、より優位性のある新たな機能や付加価値を持った製品を開発していくことが重要である。その実現に向けて、前述した特徴のある加工技術を活用、進化させながら新たな機能性材料を創出し、カーボンニュートラル関連、エネルギー関連製品への展開を図っていく。

また、製品開発のサイクルが増々短縮される中、当社のみならず顧客の工程も含めた、工程設計や加工工程の効率化が求められている。しかしながら、今後日本国内では少子化による労働人口の減少が予測され、従来、技術者の経験に基づいて行われていた加工工程設計をより高度に実施することは困難になると予想される。この課題の解決には、従来手法では把握しにくい現象を可視化するセンシング技術やシミュレーション技術が求められ、これらの膨大な情報を適切に活用して新たな価値を創出する技術の確立が重要になると考えられる。例えば、ビッグデータやAI/MIを組み合わせることにより、製品の最終形状から歩留まりや機能を最大化する素材/加工工具の適正形状の導出など、目的に応じた工程設計を実現できることが期待される。さらに、一部では実用化されつつある、トレーサビリティや、装置/加工プロセスの異常検知・予防保全にも活用できるようになるだろう。いっばう、工程設計を高いレベルで実現するには、例えば、過去に経験のない素材や加工形状などへの対応が困難であるなど、解決すべき多くの課題がある。これについては当社が従来から蓄積してきた計算科学的な手法や数値シミュレーションなどの技術をうまく融合させることが重要だと考えている。

今後も各加工基盤技術の高度化に加え、多様なDXを通じて安全・安心な社会やCNの実現に貢献していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 岩崎 慎ほか. R&D神戸製鋼技報. 2012, Vol.62, No.2, p.2-7.
- 2) 前田恭志ほか. 塑性と加工. 1991, Vol.32, No.363, p.476.
- 3) 北川聡一ほか. R&D神戸製鋼技報. 1998, Vol.48, No.1, p.43-46.
- 4) 串田 仁ほか. R&D神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.1, p.29-33.
- 5) 前田恭志ほか. CAMP-ISIJ. 2004, Vol.17, p.227.
- 6) 藤内秀人ほか. CAMP-ISI. 2001, Vol.14, p.1040.
- 7) 田村圭太郎ほか. R&D神戸製鋼技報. 2016, Vol.66, No.1, p.38-41.
- 8) 前田恭志ほか. 平成28年度塑性加工春季講演会. 2016, p.289.
- 9) 神戸製鋼所. 鑄鍛鋼製品 技術・製品情報. クランクシャフト. [https://www.kobelco.co.jp/products/casting\\_and\\_forging/index.html](https://www.kobelco.co.jp/products/casting_and_forging/index.html). (参照 2023-10-30).
- 10) 神戸製鋼所. アルミ・マグネシウム鑄鍛造品 技術・製品情報. アルミサスペンション. <https://www.kobelco.co.jp/products/magnesium/index.html>. (参照 2023-10-30).
- 11) 神戸製鋼所. エアバスA350XWB向け陸装置用チタン大型鍛造品の量産供給開始について. [https://www.kobelco.co.jp/releases/1195040\\_15541.html](https://www.kobelco.co.jp/releases/1195040_15541.html). (参照 2023-10-30).
- 12) 柿本英樹ほか. R&D神戸製鋼技報. 2005, Vol.55, No.3, p.26-32.
- 13) 柿本英樹ほか. 塑性と加工. 2006, Vol.47, No.548, p.829-834.
- 14) 内藤純也ほか. R&D神戸製鋼技報. 2019, Vol.69, No.1, p.60-64.
- 15) 薄鋼板成形技術研究会. プレス成形難易ハンドブック. 第4版 (2017), p.209-215.
- 16) 伊藤泰弘ほか. 塑性と加工. 2010, 51-598, 1063-1067.
- 17) 飯塚栄治ほか. 塑性と加工. 2010, 51-594, 700-705.
- 18) 宮澤貞雄ほか. 第73回塑性加工連合講演会講演論文集. 2022, p.89-90.
- 19) 杉山隆司. 塑性と加工. Vol.46, No.534 (2005), p.552.
- 20) 山本倫明. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.2, p.37-41.
- 21) 田中寛之ほか. 2019年度塑性加工春季講演会講演論文集. p.193-194.
- 22) 赤澤浩一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2006, Vol.56, No.1, p.49-53.