

特殊鋼[®]

2023

Vol.72 No.5

The Special Steel

9

特集

切削加工の基礎と最近の動向

特殊鋼

| 9 |

目次

2023

【編集委員】

委員長	迫間 保弘 (大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫 (中川特殊鋼)
委員	平地 伸吾 (愛知製鋼)
〃	斎藤 隆 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	深瀬美紀子 (大同特殊鋼)
〃	松原 大 (日本製鉄)
〃	竹内 俊哉 (日本金属)
〃	谷井 一也 (日本高周波鋼業)
〃	吉田 統樹 (日本冶金工業)
〃	上野 友典 (プロテリアル)
〃	佐山 博信 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	番場 義信 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	関谷 篤 (竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人 (平井)

【特集／切削加工の基礎と最近の動向】

I. 総論

1. 切削加工の歴史・現状とその原理
..... 東京農工大学 笹原 弘之 1

II. 切削加工のトレンド

1. 切削加工の高速化..... 大同特殊鋼(株) 中川 純一 6
2. 切削シミュレーション..... (株)神戸製鋼所 鯨井 孝典 10

III. 切削加工機の種類

1. 旋盤..... (株)TAKISAWA 藤原 卓也 15
2. ボール盤..... (株)キラ・コーポレーション 谷崎 泉 18
3. マシニングセンタ..... DMG森精機(株) 多賀 充 20
4. 複合加工機..... ヤマザキマザック(株) 家田 光将 22
5. ホブ盤..... (株)カシフジ 瓜生耕一郎 24

IV. 切削工具の種類

1. 旋削工具..... (株)タンガロイ 古屋 孝一 27
2. 深穴加工のトレンドと超硬ドリルの進化
..... オーエスジー(株) 山本 剛広 30
3. エンドミルとは
—基礎・種類と用途・進化—
..... (株)MOLDINO 岩田 正己 33

V. 先端加工技術の紹介

1. ハードワーリング加工..... 小木曾工業(株) 永井 太郎 35
2. 最新ワイヤ放電加工技術による加工事例
..... 三菱電機(株) 近久晃一郎 37

VI. 切削加工に対する会員メーカーの取り組み

エンジンバルブの穴明加工… フジオーゼックス(株)	久島 晃二	39
高速度工具鋼オリジナル鋼種…………… (株)不二越	中谷 理恵	40
被削性に優れる新冷間ダイス鋼「SLD-f」 …………… (株)プロテリアル	村崎 拓哉	41
“特集”編集後記…………… 愛知製鋼(株)	宇田川毅志	59

■業界のうごき……………	42
▲特殊鋼統計資料……………	45
★倶楽部だより (2023年6月1日～7月31日)……………	49
◇お知らせ メタルジャパン 東京展に継続出展……………	51
第74回白石記念講座……………	52
第249・250回西山記念技術講座……………	55
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧……………	58

特集／「切削加工の基礎と最近の動向」編集小委員会構成メンバー

(2023年3月23日現在)

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	宇田川毅志	愛知製鋼(株)	品質保証部 お客様品質・技術室 チーム長
委員	斎藤 隆	(株)神戸製鋼所	鉄鋼アルミ事業部門 線材条鋼ユニット 線材条鋼商品技術部 主任部員
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	深瀬美紀子	大同特殊鋼(株)	技術開発研究所 企画室 主任部員
〃	松原 大	日本製鉄(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	谷井 一也	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 技術部 開発室 課長
〃	吉田 統樹	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 課長
〃	上野 友典	(株)プロテリアル	金属材料事業本部 冶金研究所長 兼 特殊鋼研究部長
〃	佐山 博信	三菱製鋼(株)	技術開発センター 研究第一グループ グループ長
〃	白神 哲夫	中川特殊鋼(株)	フェロー

切削加工の基礎と最近の動向

I. 総論

1. 切削加工の歴史・現状とその原理

東京農工大学 大学院 ささ はら ひろ ゆき
機械システム工学専攻 笹原弘之

まえがき

切削加工は、切削工具と工作物との間に相対運動を与えることにより、工作物の不要な部分を切りくずとして除去し所定の形状を創成する加工法である。形状を創成するために使用される加工機械を工作機械といい、一般に工作機械を使って行われる除去加工を総称して機械加工と呼ぶ。

切削加工は、平面、円筒面、穴、溝、ねじ、自由曲面などの様々な形状を能率よく高い精度で加工できる。旋削では、切削の主運動を工作物の回転により与え、工具に送り運動をX-Z面内で指定し目標形状の輪郭に沿って少しずつ移動することにより工具と工作物との干渉部分を削り取る。加工できる形状は切削の主運動と送り運動の組み合わせに依存し、切削の主運動を工作物回転により与える場合が旋削に、工具回転により与える場合がフライス加工やドリル加工などにそれぞれ対応する。

また、切削加工の対象となる大きさは数mの構造物から1mm以下のマイクロ部品まで幅広く、金属に限らず樹脂やセラミックスなど導電性のない材料も加工できる。到達できる精度は、工作機械や工具の精度に依存するが、1 μ m以下の精度での加工が実用化されている。近年の特色ある切削加工の例として、図1(a)の航空機主翼内の軽量で高剛性のインスパークは、アルミニウム合金の



図 1(a) 航空機アルミ構造部品

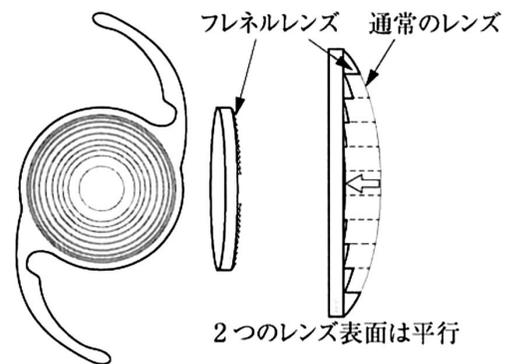


図 1(b) 白内障治療用二重焦点眼内レンズ

ブロックからフライス加工により削り出され、接合部の無い薄肉一体構造となっている。図1(b)の白内障治療用二重焦点眼内レンズは、遠近両用の二重焦点フレネルレンズ（レンズの表面を細かく分割して輪帯レンズの集合として厚みを減らし

たレンズ)となっており、素材の含水性樹脂を液体窒素で冷却固化し、ダイヤモンドバイトを使用した超精密旋削により作られている。

本稿では、切削加工の歴史と現状を概観するとともに、切削加工を正しく理解するための基本原理について述べる。

◇ 切削加工の歴史

切削加工の原理は古くからものづくりに用いられてきた。図2は紀元前4000年ころの壁画で、弓に張った弦をドリルに巻き付け、弓を手で引いてドリルを回転し石材に穴をあけている様子を示している。その後18世紀ころまでは、機械的な動力がなかったため加工技術はあまり進歩していなかった。18世紀にワットが蒸気機関を発明したが、その実用化には蒸気漏れを小さくするための正確な円筒面を持つシリンダが必要であった。1776年にウイルキンソンが図3のようなシリンダ内面を切削加工する中ぐり盤を開発した。切削の主運動は工具の回転で、その工具はピニオンを回転することにより両端支持の軸上を移動する構造となっている。これにより工具刃先は円筒面上を運動し、

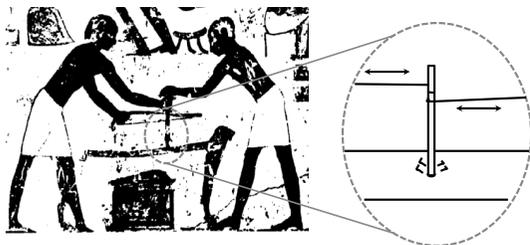


図 2 石材にドリルで穴を開けている様子 (紀元前4000年)

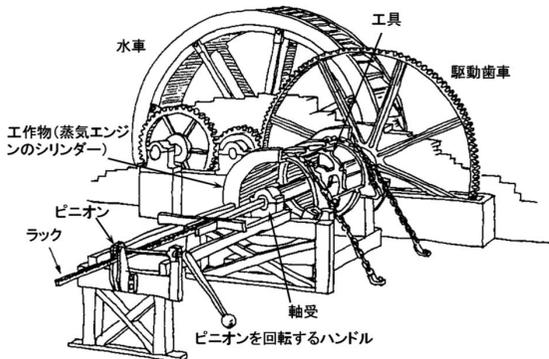


図 3 ウィルキンソンの中ぐり盤 (1776)

その包絡面として正確な円筒面が加工できるようになった。現在の切削用工作機械においても、いかに精密かつ高速に工具刃先の運動軌跡を制御するのが重要な課題である。

現代の工作機械は数値制御 (Numerical Control) となっており、非常に高い精度と運動速度が実現されている。その礎は1952年、マサチューセッツ工科大学の研究者ジョン・T・パーソンズが開発したプログラマブルな数値制御装置に始まる。機械の動きを数値的に定義し、パンチカードや磁気テープなどの媒体に記録し運転できるようになった。現在では、NC工作機械は、製造業の中心の技術として位置づけられており、高精度・高効率な加工を実現するために、多様な形態や機能を持つ工作機械が開発されている。図4に示すように旋回2軸 (A軸、C軸) と直進3軸 (X、Y、Z) を同時に制御するにはNC工作機械とその動作をプログラムするCAMソフトウェアが必須となっている。

さらに今日では、AIやIoTを活用し、スマート・マニュファクチャリングの実現を図る取り組みが盛んとなっている。昨年開催されたJIMTOF (日本国際工作機械見本市) において各メーカーからその取り組みが多数出展された。いまや工作機械は単体で機能するものではなく、ロボットや自動搬送装置とも組み合わせられ、工場全体の生産を最適化するスマートファクトリーとして利用されるものとなりつつある。また、昨今のカーボンニュートラルに向けた取り組みとして、消費電力の削減に向けての取り組みも盛んとなっている。切削油剤を供給するクーラントポンプを必要な時

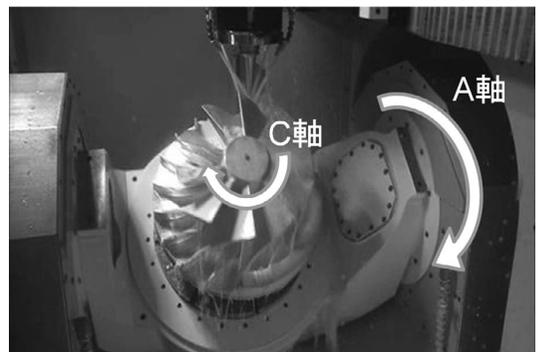


図 4 5軸制御マシニングセンタによるインペラ加工

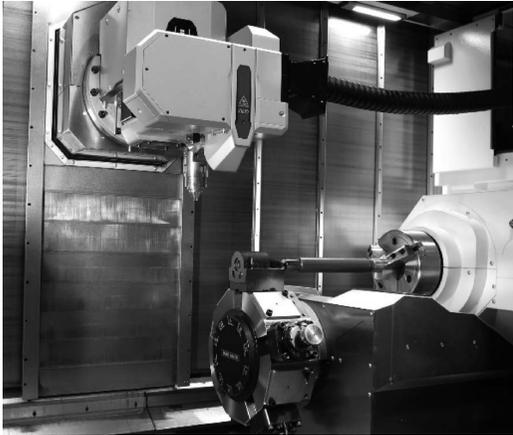


図 5 金属AMと切削加工を複合した工作機械

だけ運転する、暖機運転を極力少なくしても高精度を実現する、軽量化構造により高速化し稼働時間を短縮するなどの取り組みが各社で行われている。

また、アディティブ・マニファクチャリング（三次元積層造形技術）が新しい製造技術として脚光をあびているが、高い精度や表面粗さが求められる場合には、最終的に切削などの仕上げ加工を必要とする。切削加工とアディティブマニファクチャリングは必ずしも相反する技術ではなく、両者の長所を活かすことが必要となっている。いわゆる指向性エネルギー体積（Directed Energy Deposition）と呼ばれる、粉末やワイヤを供給し、レーザなどの高エネルギービームで熔融固化積層するタイプの造形機では、造形物の精度がそれほど高くないこともあり、切削による仕上げ加工と組み合わせる場合も多い。図5のような、積層造形の後に直ちに切削加工を行える工作機械も日本の工作機械メーカーで開発されている。

◇ 切削加工の原理

切削加工では、金属、樹脂、場合によってはセラミックスなどのぜい性材料まで加工対象となるが、以下では金属切削を想定し、その加工のメカニズムを説明する。まず、金属材料の表面を工具で除去する場合とナイフでリングの皮をむく場合とで異なる点を考えてみる。図6に示すように、ナイフは薄く刃先のくさび角が小さいが、金属切削の工具には大きな加工力が作用するため、工具

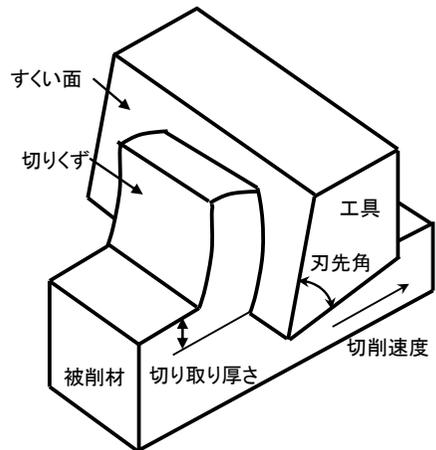


図 6 リングの皮むき（上図）と金属切削（下図）

が変形したり破壊したりしないようくさび角（刃先角）の大きい工具を使用する。両者では刃物のくさび角が大きく異なるだけでなく、除去されたものの長さも大きく異なる。リングのむいた皮の長さは、皮むきした経路の長さとはほぼ等しい。一方、金属切削時の切りくずの長さは、条件によるが切削した距離のおよそ1/3～1/5程度に短くなる。言い換えると、切りくずの厚さは切り取り厚さの3～5倍程度に厚くなる。つまり、リングの皮はリングの表面から刃先によって分離されただけであるが、金属切削の場合は切りくずとなる際に大きな塑性変形を伴うことを意味する。

図7に炭素鋼を切削した際の切りくずの断面の金属組織写真を示す。切りくずの厚さが切り取り厚さより大であることがわかる。また、点線で示す領域を通過する際に反時計回りのせん断変形を生じ、その結果として切りくずの金属組織が左上から右下方方向に細長く伸びる。このせん断変形が

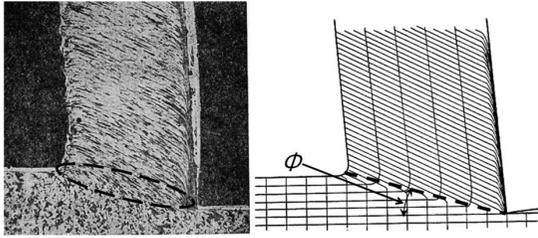


図 7 切りくず断面の組織写真とせん断変形

生じる領域をせん断域と呼び、金属切削で重要な役割を果たす。多くの場合せん断域の幅は狭く、面で近似可能である。これをせん断面と定義し、工具刃先で材料の不要な部分を分離しながら仕上げ面を創成し、分離した部分をせん断面で瞬時にせん断し切りくずとして除去する単純化されたモデルをせん断面切削モデルと呼ぶ。

図8に切込みが同一で、すくい角だけが異なる場合の半生成切りくずを示す。すくい角が大きいほど切りくずが薄くなり、せん断角が大となっていることがよくわかる。このことは切削力の大きさに大きく関連してくる。同一の切り込みでも、切りくずの厚さが薄いほど切削力は小さく、切りくずが厚いほど大きな切削力となる。

金属を切削する際には大きな抵抗（切削抵抗）が生じる。それは工具や工作物のたわみにつながり、加工精度低下の要因となる。工作機械や切削工具の設計や最適切削条件の設定を行うためにも切削抵抗を予測できると有用である。切削抵抗の予測には、あらかじめ切削試験を行い、単位切削断面積あたりの切削抵抗（比切削抵抗）を求めておき、切り込みや送りといった条件の変更に対して、比切削抵抗に切削断面積を乗じて切削力とする方法が最も簡単である。切削抵抗が切り取り厚さや切削幅にほぼ比例する関係を利用している。

近年では、有限要素法による切りくず生成のシミュレーション用ソフトも開発され、エンジニアレベルでの利用が可能となってきた。この場合、基本的には切削時の物理状態を計算機内で再現しているのので、切削力だけでなく、温度やひずみ、残留応力といった物理量も同時に求めることができる。

切削において、工具や切りくずは非常に高温になる。これは、切削において消費されるエネルギー

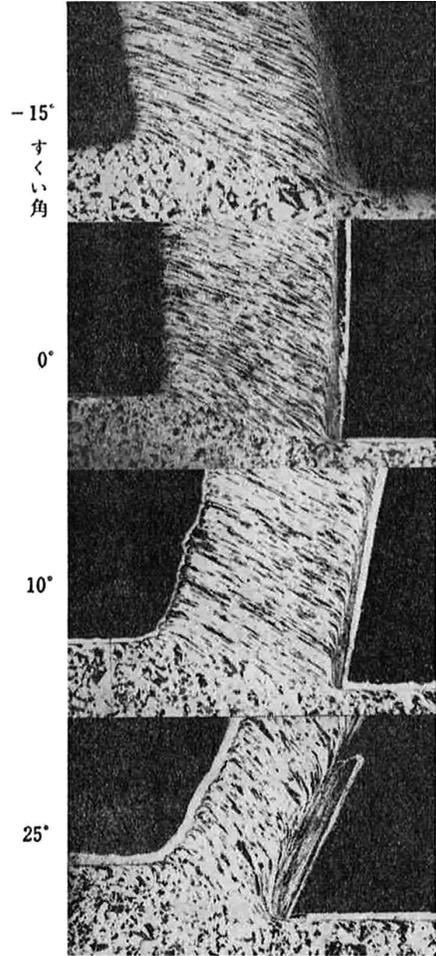


図 8 すくい角による切りくず厚さ・せん断角の変化

のほとんどは熱に変換されるためである。切削抵抗に抗してなした仕事に相当するエネルギーは、切削方向の力の大きさと切削速度との積として与えられる。したがって、切削速度が増大するほど単位時間に発生する熱量は増大し、温度上昇量も大きくなる。発生した熱は工具、工作物、あるいは工作機械に伝わって温度を上昇させ、熱膨張して熱変形が引き起こされる。従って、高精度な加工を行うには、それらの温度変化を極力抑えるか、あるいは温度変化による変形を補正するような加工を行う必要がある。また工具温度の上昇は工具の強度を低下させると共に、工具-工作物界面を熱的に活性化させ、工具の摩耗を促進させる。

図9は有限要素法により求めた切削時の温度分布である。切りくずはせん断面付近を通過する際

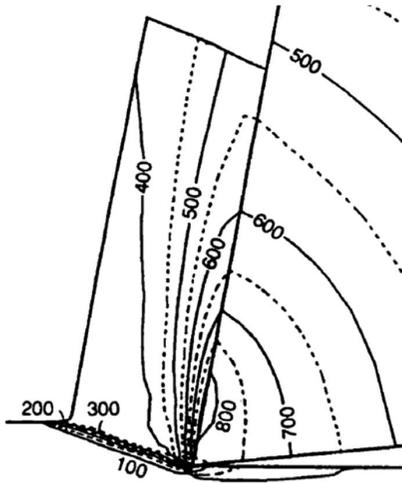


図 9 数値解析による切削温度分布の例 (単位℃)

に350℃程度まで昇温していること、工具すくい面に近いほどすくい面の摩擦熱源の影響により温度が高いことがわかる。また最高温度はすくい面の刃先から離れた点に現れることもわかる。当然な

がら、工具と工作物の材質、特に熱伝導率や切削油剤の使用によっても温度は変化する。

むすび

切削加工は古くて新しい技術である。新材料ができればそれに対応する切削加工技術の開発が必要となる。精度や能率の追求もとどまるところを知らず、製品の高付加価値化に寄与している。新しい工作機械や工具の開発によって革新的な変化が生じることもある。しかしその原理は本稿の後半に述べたとおりであり、その骨子は今のところ不変である。大雑把にしか触れることができなかったが、切削油剤や切りくず処理なども、自動化やSDGsの実現に向けて重要な課題となっている。これからの切削加工を取り巻く状況の変化と発展に注目したい。

(本稿の一部は、笹原弘之(編著)、はじめての生産加工学2応用加工技術編、講談社、(2016)を基に再構成)

II. 切削加工のトレンド

1. 切削加工の高速化

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 なか がわ じゅん いち
 プロセス技術研究室 **中 川 純 一**

まえがき

切削加工は、金属やプラスチックといった多種多様な素材を、切削工具を用いて削り出し、希望する寸法や形状にする加工方法の1つである。切削加工の長所としては、多種多様な形状をつくり出せること、出来上がりの製品寸法精度が高いことである。一方で、切削加工の短所としては、複雑な形状になればなるほど、多くの刃物と様々な加工方法を用いることになるため、時間とコストがかかってしまうことである。時間を費やさず低コストでものづくりをするためには、いかに早く製品を加工するかであり、切削能率（切削速度、送り速度、切込み量等）を上げることが効果的である。しかし、能率と品質はトレードオフの関係にあるため、むやみやたらに切削条件を変更すれば良い訳ではなく、顧客からの製品規格を満たしながら切削加工工程を組み立てる必要がある。現状、切削条件の変更は現場のカンとコツで調整することが多いが、製造エンジニアが切削加工のメカニズムを理解することでより早く適切な条件を

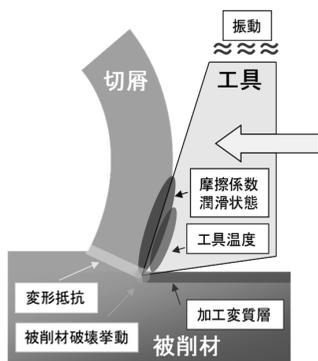
探索することが期待できる。本稿では、切削加工現象の見える化技術から切削加工の高速化を図るための最新技術動向について紹介する。

◇ 切削加工現象

図1(a)と図1(b)に切削現象の概略図と評価手法の一覧を示す。切削加工現象は様々な因子が複雑に作用するため、各種評価技術により見える化し、各影響因子を分けて考える必要がある。本稿では、数ある切削評価試験の中でも切削抵抗と切削温度の測定技術について述べる。

1. 切削抵抗の測定技術

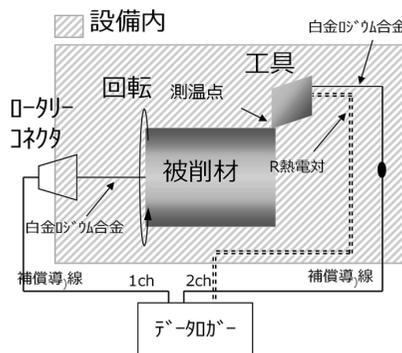
材料の削られやすさ（被削性）の評価や工具の破損や加工機の限界負荷を知るための方法として切削抵抗の測定がある。この測定方法は、切削動力計と呼ばれる測定器を加工機に設置することで切削加工中の切削抵抗が測定できる。例えば、切削チップの形状を選定する際、切削抵抗を比較することで切れ味の判定をするための有益な情報となる。また、切削抵抗の振幅が大きい場合、不安定な切削となり、直近での工具破損リスクが高い



(a) 切削現象の概略図

評価項目	手段
加工変質層・残留応力	・微小X線応力測定
工具磨耗	・実体顕微鏡 ・SEM
変形抵抗・破壊挙動	・圧縮/引張試験
加工力(切削抵抗)	・圧電式動力計 ・主軸電力
摩擦係数・潤滑評価	・加工力/摩擦試験 ・クーラント循環システム
工具温度	・工具熱電対法
切削・工具間の反応性	・EPMA
振動・剛性評価	・加速度センサ ・ハンマリング試験 ・FFT解析 ・回転/バランス試験
加工精度	・表面粗さ計 ・三次元形状測定機 ・3Dスキャナカメラ

(b) 切削評価手法の一覧



(c) 切削温度の測定方法

図 1 切削現象の概略図と評価手法

ということがわかる。これら切削抵抗の大小と振幅の結果から切削工具の性能評価や切削条件の最適条件を選定するのに有効となる。

2. 切削温度の測定技術

切削加工時の超硬と被削材の境界面は高温かつ高圧状態であり、その界面の切削温度は800℃以上に上昇する。そのため、超硬母材に関しては構成元素である炭素やコバルトなど拡散現象が起こり、工具の摩耗が促進されることが知られている。工具摩耗を抑制するためには、切削条件と切削温度の関係を調査し、適切な切削条件に変更することが重要となる。切削温度を測定する手法は、放射温度計、サーモビューワなどを用いた手法がいくつかあるが、ここでは被削材と工具間の界面の温度測定ができる被削材-工具熱電対法を紹介する。図1(c)に切削温度の測定手法を示す。この原理は、切削工具と被削材を一对の熱電対素子とし、回路に生ずる熱起電力によって高温接点の温度(工具と切屑の接触面温度)を測定する。切削抵抗ほど測定が簡単ではないが、事前に切削条件と切削温度の関係を調査しておくことで工具摩耗の要因となる拡散を抑制可能な切削条件を選定するための一助となる。

◇ びびり振動の抑制手法¹⁾

切削加工の高速化を語る上でびびり振動のメカニズムは深く理解しておきたいところである。びびり振動は、異常な振動であることから加工面性状や工具破損など生産への影響が大きい。一般的にびびり振動は、ロングドリルなどのL/Dが長い工具や薄肉製品でワーク剛性が低い場合に発生しやすくなる。びびり振動の種類は大きく分けて自

励びびりと強制びびりに分類され、対処方法がそれぞれ異なることが知られており、ここではその2種類のびびり振動の発生メカニズムと対策について述べる。

1. 自励びびり発生原因と対策

自励びびりは、切削過程の中に振動をフィードバックして拡大する。図2(a)に示すような1回転前に切削する際に生じていた振動が加工面の起伏として残り、その振動が現在の切削において切り取り厚さが変動して再生され、増幅することで発生する。このように自励びびりのメカニズムは明らかになっており、研究としては古く50年以上も前にTlustyらによって定式化されている。彼らは、図2(b)に示す安定限界線図と呼ばれるびびり振動が発生しない最適な回転数と切込量が計算できるグラフを提案した。この安定限界線図を描くには複雑な計算を解く必要があるが、ブリティッシュコロンビア大学のAltintas教授によって開発されたびびり振動を予測するソフトウェアCUTPROTMを用いることで誰でも簡単に安定限界線図を描くことができる²⁾。使い方は、ソフトウェアの指示に従い、ハンマリングと呼ばれる動特性評価を取得した後、工具情報およびデータベース内の被削材を入力し、計算を実行するだけで安定限界線図を描くことができる。

2. 強制びびりの発生原因と対策

強制びびり振動は、何らかの強制的な振動原因が機械の振動特性によって拡大させて発生する。この振動源には、エンドミル加工、フライス加工などの断続切削における周期的な切削力、ニッケル基合金やチタン合金の切削時に発生する鋸状の切屑生成時の周期的な切削力の変動、工作機械内

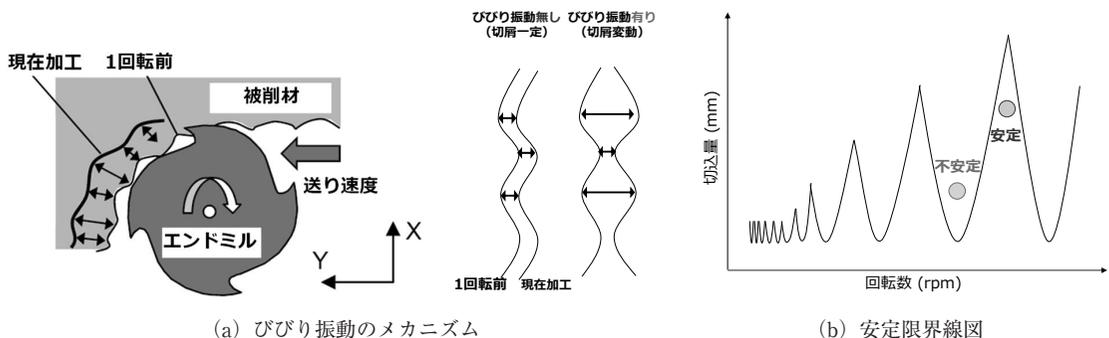


図 2 再生びびり振動の原理と安定限界線図

部の軸受、歯車、モータのコギングなどの振動、回転軸の不釣り合い、加速度による慣性力、油空圧の変動、床から伝わる振動などがある。強制びびりを抑制するには、切削力を減らすこと、機械構造と工具の動剛性を向上させることが基本的な対策となる。

3. びびり振動の種類判別

自励びびり振動と強制びびり振動の紹介をしたが、それぞれ対策が異なるため、びびり振動の種類を判別する必要がある。この判別方法としては、切削加工中の振動を測定し、周波数解析 (FFT: Fast Fourier Transform) をすることが挙げられる。強制びびりは、エンドミルなどの断続加工時における切削力で表される切削基本周波数の整数倍において振動が大きくなるのがわかっている。切削基本周波数 (切削基本周波数 = 回転数 × 刃数 / 60) は、工具の刃数と回転数によって計算することができ、切削基本周波数の整数倍と振動の周波数が一致した場合は強制びびり、整数倍と一致しない周波数が発生した場合は自励びびりと判別することができる。

◇ 高圧クーラント技術の適用³⁾

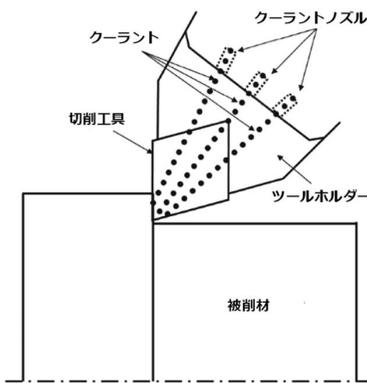
ガスタービンやターボ部品に使用される耐熱合金部材など高い難削性を有する材料に対する加工の対策として高圧クーラントの適用が有効である。これら被削材は炭素鋼などに比べて低い熱伝導率と高い高温強度から工具刃先の切削温度が上昇し易く、工具寿命の低下や突発的な工具破損により

製造コスト増加の一因となっている。高圧クーラントの特徴は、被削材から発生した切屑と工具刃先との間にクーラント液を高圧かつ正確に供給することにあり、以下の効果が期待できる。

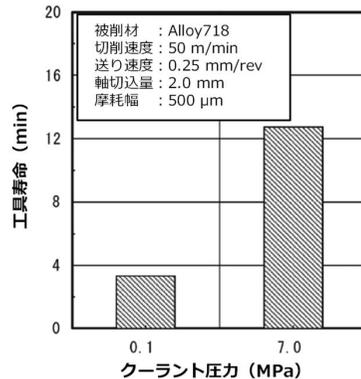
- (1) 工具刃先の冷却効果
- (2) 高圧クーラント流で切屑を工具刃先から離すことによる摩擦発熱抑制効果
- (3) 高圧クーラント流による切屑破碎性

一般的に高圧クーラント技術は、切削熱がこもり易い旋削加工やドリル加工などの連続加工に適用されることが多い。ここでは旋削加工に適用した事例を紹介する。図3(a)に高圧クーラントのホルダとクーラントの排出方法を示す。クーラント液は専用的高圧ポンプ装置により高圧でクーラントが排出される。ここでは圧力7.0MPa、流量25L/minで試験をした結果を示す。また、スルスピンドル方式でクーラントを供給し、高圧クーラント専用治具に設けられた内径φ1.0mmのクーラントノズルから工具すくい面側の刃先へ注液した。

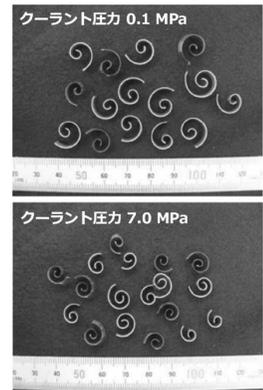
図3(b)にAlloy718を切削速度50m/minで旋削加工した際のクーラント圧力と工具寿命の関係を示す。クーラント圧力0.1MPa(低圧)では3.3minであった工具寿命が7.0MPa(高圧)へ高圧化することで3.9倍の12.8minまで改善された。図3(c)にAlloy718を切削速度50m/minにて低圧および高圧クーラントで旋削加工した際の切屑形状を示す。クーラント圧力を0.1MPaから7.0MPaへ高圧化することで、切屑のカール径が小さく、細かく破碎された切屑が形成されることがわかった。



(a) ツールホルダの概略図



(b) クーラント圧力と工具寿命



(c) 切屑形状

図 3 高圧クーラントホルダの概略図と実験結果

◇ 加工負荷予測から送り速度の最適化⁴⁾

最後に切削負荷を予測し、送り速度を最適化する手法を紹介する。機械加工の製造現場には5軸制御のマシニングセンタの普及が進み、産業機械用インペラーディスクや自動車用ターボチャージャーなどの加工では同時5軸または割り出し5軸制御加工が主流になってきている。これらの加工ではCAMを用いてNCプログラムの作成を行うが、工具姿勢が複雑に変化するため、従来の経験による加工条件やNCプログラムの最適化は非常に困難になってきている。複雑化するNCプログラム作成の一助として、近年は切削シミュレーション技術の活用が盛んに行われている。工業的に用いられる切削シミュレーション手法は、有限要素シミュレーションと切削負荷シミュレーションが代表的である。前者は、切削工具の応力や温度分布などが得られ、工具形状デザインや切削条件の最適化に活用されている。後者は、切削工程全体の切削負荷とその変動の大きさが得られ、NCプログラムの最適化に活用されている。

図4にインペラーの同時5軸加工へ切削負荷シミュレーションを適用した事例を示す。図4(a)に従来のNCプログラムで加工した場合の切削負荷変動の予測値を、図4(b)に最適化NCプログラムで加工した場合の切削負荷変動の予測値を示す。

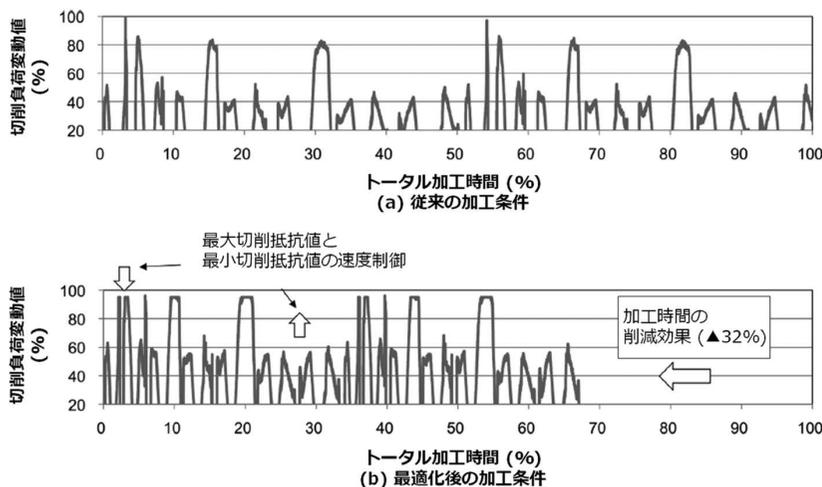


図 4 切削負荷平準化による高速化

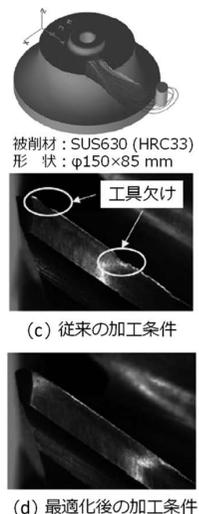
最大切削力を抑制しながら、低負荷領域の送り速度を増加させることで、加工時間が32%短縮された。図4(c)(d)にそれぞれのNCプログラムで加工した後の工具刃先写真を示す。従来のNCプログラムでは、工具刃先にチッピングが見られていたが、切削負荷予測で最適化した場合、チッピングは見られなかった。結果として、工具欠損を回避しつつ、高速化を図ることができた。

むすび

本稿では、切削現象の見える化技術と高速加工のための最新技術を紹介した。切削加工は高速現象で理解しづらい部分は依然残るものの、評価手法は日々進化している。これら複雑なメカニズムを1つずつ解明することで今後も切削加工の高速化につながるアイデアが生まれることを期待する。

参考文献

- 1) 中川純一、杉野敦、八田武士：強制びり振動条件下における工具寿命と表面粗さにおよぼす振動変位の影響、電気製鋼、87(2016)、1、5
- 2) CUTPRO™、MAL Manufacturing Automation Lab. Inc. www.malinc.com
- 3) 杉野敦、八田武士：超耐熱合金の高能率切削加工、電気製鋼、82(2011)、2、165
- 4) 八田武士、中川純一：切削負荷シミュレーションによる切削加工の高能率化、電気製鋼、87(2016)、1、45



2. 切削シミュレーション

（株）神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所 加工技術研究室 くじら い たか のり
鯨 井 孝 典

◇ 切削シミュレーションの有効性

切削加工は工具を用いて対象を削り取る加工であり、生産性、コスト、精度が求められる。一方で、切削時の刃先における工具摩耗や欠損、工具やワーク本体の変形による加工誤差やびびり振動など、加工中には様々なトラブルが生じ、工具コストの増加・形状や加工面の品質低下、さらには不良品の発生による製品の廃却や再加工によるコスト増加につながる。これらは生産性を犠牲にすれば解決するトラブルも少なくないが、当然ながらそれはコスト増加の要因となる。これらのトラブルを解消するためには、工具刃先、工具本体、切削条件を含めた多くの要素を考慮して最適な工程を設計する必要があるが、実加工による実験・検証には膨大な時間とコストが必要であるため、短時間で実施することは容易ではない。

そこで重要となるのが切削シミュレーションである。シミュレーション技術を活用し切削現象を数値的に予測、短時間で対策を立案することで、トラブルを回避しながら高精度かつ生産性の高い切削加工が実現可能となる。

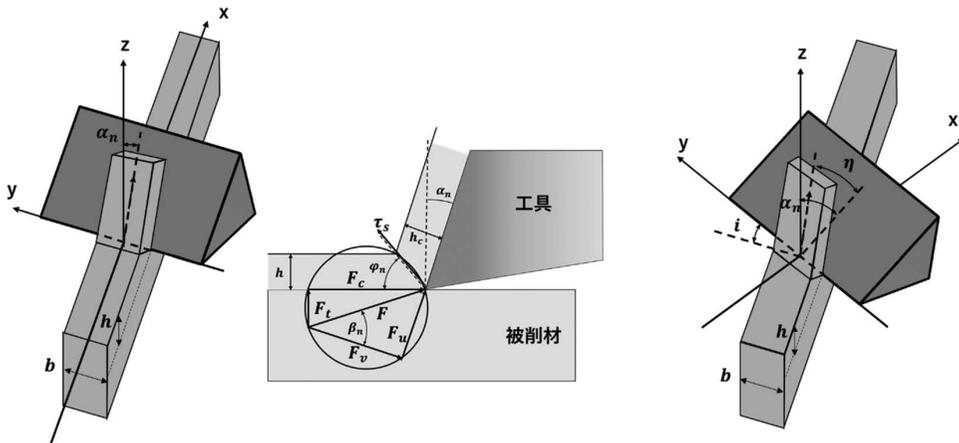
本稿では2章にてトラブルの解消に用いられることが多い切削抵抗、工具摩耗、びびり振動および工程の最適化についての従来技術を紹介し、3章にて近年の技術動向としてデジタルツインに関連した内容を紹介する。

◇ 従来の切削シミュレーションの技術

1. 切削抵抗のシミュレーション

切削加工において被削材を削る際に工具が受ける力を切削抵抗と呼ぶ。切削抵抗が大きければ工具のたわみによる加工誤差や後述するびびり振動など多くの加工トラブルの要因となるため、より高効率・高品質な加工の実現には数値的な評価が重要となる。切削抵抗は被削材材質や工具形状、切削条件によって変化するが、被削材の影響をシミュレーションで求めるには硬さや強度だけではなく、伸びや加工硬化性を含む材料物性や温度依存性まで考慮する必要がある、むしろ煩雑になる場合もある。ここでは最も単純な切削モデルである2次元切削実験により被削材の影響を求め、それを理論的に拡張する手法を紹介する。

図1(a)は2次元切削の状態を示す。2次元切



(a)2次元切削モデル

(b)傾斜切削モデル

図 1 2次元切削モデルと傾斜切削モデル

削では切れ刃稜線方向に、切れ刃に垂直な面内の現象は全て同一と考えることができる。まず、このモデルとほぼ同等とみなされる加工（突っ切り加工など）試験を複数条件で実施し、切削抵抗値、切りくず厚さを取得、図1に示す幾何学的関係から被削材に影響される β_n ：工具－被削材間の摩擦角、 τ_s ：せん断面せん断応力、 ϕ_n ：せん断角を求められる。

ここで2次元切削が模擬できるのは工具進行方向と切れ刃が垂直になる突っ切り加工やプレーナー加工などの一部の加工形態に限られる。そのため他の多くの切削加工に適用するためには、図1(b)に示す傾斜切削への拡張が必要となる。傾斜切削は2次元切削で求めた β_n 、 τ_s および幾何学的な力の関係から切削抵抗を算出できる¹⁾。一般的な旋削加工やフライス、エンドミル加工などは刃先を微小分割すると傾斜切削が連続しているとみなすことができるため、積分計算により様々な加工様式の切削抵抗が予測可能となる。さらに工具や被削材について材料力学計算やFEMなどの剛性解析と組み合わせれば工具や材料のたわみを算出して加工精度を予測することもできる。

2. 工具摩耗のシミュレーション

切削加工によって工具刃先は摩耗し、その形状変化によって加工面性状や寸法精度の悪化、切削抵抗の増加によるびびり振動などのトラブルの要因となる。そのため工具摩耗を予測し、トラブルを回避できる加工工程を設計することが重要である。

工具摩耗の形態は様々だが、鋼材の切削において現在主流の超硬工具では比較的高い温度域で使用されることが多く、工具と被削材の反応性によって生じる摩耗（拡散摩耗・酸化摩耗）と全ての温度帯で機械的なこすれによる摩耗（アブレイブ摩耗）が主要因であり、次式のモデルが提案されている²⁾。

$$dW = dL \cdot C_1 \cdot H_w / H_t + dL \cdot C_2 \cdot \exp(-C_3 / \text{temp}) \quad (1)$$

ここで dW ：工具の逃げ面摩耗量、 dL ：切削距離、 temp ：切削温度、 $C_1 \sim C_3$ は工具と材料の組み合わせ毎に変化する係数、 H_w 、 H_t はそれぞれ被削材と工具の切削温度条件下の硬度を表す。モデル式の第1項はアブレイブ摩耗項であり被削材と工具の硬度の比で表される。第2項は工具と被削材

の反応性摩耗項であり、刃先温度の増加に伴って指数関数的に増加することを表している。

ここで切削温度の導出にはFEMシミュレーションソフトを活用した解析が手軽かつ有効であり、AdvantEdge FEM（Third Wave Systems社）やDEFORM（Scientific Forming Technologies Corporation社）が一例として挙げられる。

$C_1 \sim C_3$ は事前の実験で求め、FEMシミュレーションで得られた温度解析結果を式（1）に代入すれば摩耗量を予測することが可能となる。さらに切削温度を送り速度、切削速度などで定式化することで実用的な摩耗量の予測が可能となり、高効率な切削条件設計や生産性向上に繋げることができる。

3. びびり振動のシミュレーション

切削中に工具またはワークが振動を起こす現象をびびり振動と呼ぶ。びびり振動は加工面性状の悪化や工具の欠損を誘発するため、生産性に大きく影響する重要な問題となる。

切削で取り扱うびびり振動は、強制びびり振動と自励びびり振動の2種類に大分される。強制びびり振動はモータや歯車の振動、地面から伝わる振動などの変位外乱によって生じ、自励びびり振動は切削時の切削力の変動と機械構造の伝達特性が関与して生じる不安定現象である。特に自励びびり振動は、一旦発生すると大きな振動に成長することが多く、実用上問題になりやすい。本稿では、自励びびり振動の予測シミュレーションと切削条件設計例について説明する。

加工中の工具とワークは相対的に微小振動を起こしており、図2のように加工面には周期的な凹凸形状が転写される。自励びびり振動は工具の次の刃が加工面を切り取る際に刃の振動と凹凸形状に位相差があると切りくずの厚みが増加し、切削抵抗が著しく変化することで振動が成長し、びびり振動として現れる。一方で元の加工面と加工中の面の凹凸の位相差が一致していれば厚みは変動せず、振動は成長しない。

振動を抑制できる切削条件は工具形状と材料物性（比切削抵抗）、工具やワークの振動特性から設計できる。振動特性とは物体の共振周波数におけるマス・バネ・ダンパ系振動方程式の係数（ m 、 c 、 k ）であり、インパルス応答法によって求めることができる。

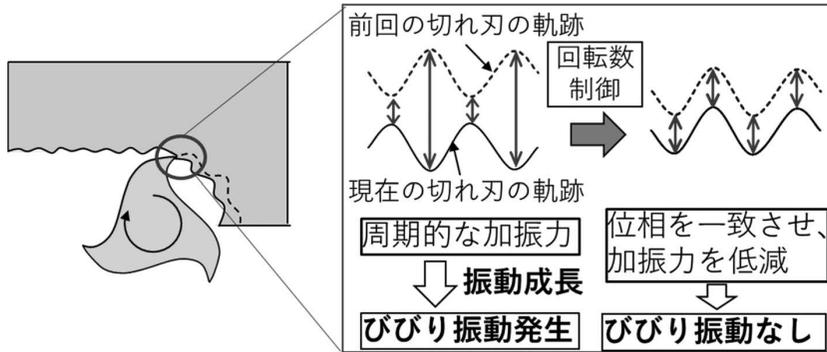


図 2 再生型自励振動のメカニズム

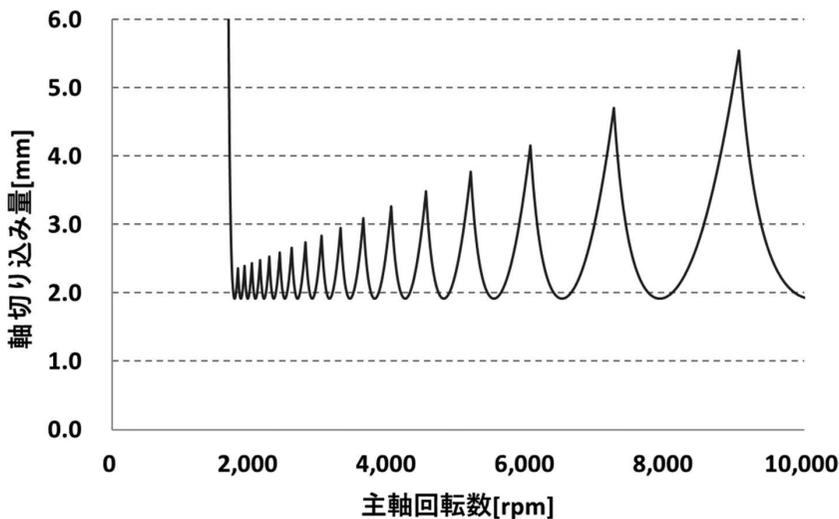


図 3 びびり振動の安定限界線図

上述の設計項目から得られた解析結果の例を図 3 に示す。これは安定限界線図と呼ばれ、切り込み量が線よりも低い値であればびびり振動を抑制した加工が可能になる。例えば軸切込み3mm、8,000rpmでびびり振動が発生した場合に回転数を9,000rpmに上げることでびびり振動を抑制しつつ、より高効率な加工に繋がる可能性があることがわかる。現在ではCutPro (Manufacturing Automation Laboratory社) やMetalMAX (株) 牧野フライス製作所) などこの手法を簡便に活用するためのソフトウェアやオークマ(株)の加工ナビのように、本手法を元にした振動抑制機能を搭載した加工機械が市販され、高効率・高品質な加工が実現されている。

4. 工程解析のシミュレーション

これまで紹介した技術は微視的な刃先の現象に

基づいて加工工程を適正化する技術だった。一方で巨視的な観点で加工工程に着目するとワーク形状の凹凸や角、隅の加工など切り取られる量が逐次変化する場合、過負荷になることを恐れて切り取られる量が最大になる部分を念頭に置いた安全な切削条件を設定しがちになる。逆に言えば切り込み量の少ない部分では、より高効率化できる可能性が高い。

ここでワークの加工部位ごとに切削条件を最適化するには加工パス情報を記載したNCプログラムをその加工部位ごとに編集が必要となる。しかし、複雑な部品形状ではNCプログラムが数百～数万行以上にわたり、切削条件の確認と編集を人の手で行うのは現実的ではなく、それを補助するツールが必要となる。例えばProduction Module (Third

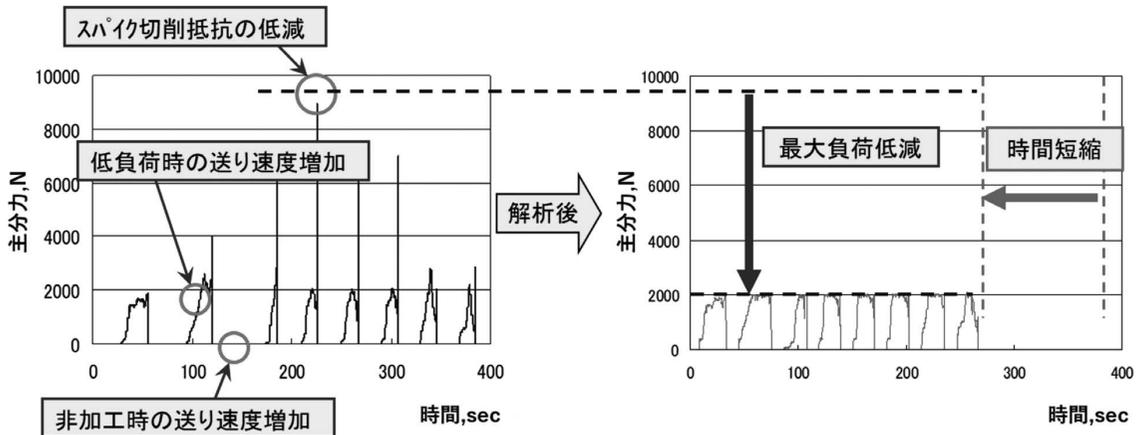


図 4 送り調整による工程最適化

Wave Systems社)では、加工対象の形状、NCプログラム、材料パラメータ、びびり振動の安定限界線図等の諸元を読み込ませることで加工工程全体の切削条件や切削抵抗等を算出する。そして過負荷や低負荷となっている箇所を発見し、予め設定した閾値を元に切削条件を最適化することで安定かつ高効率な加工工程を設計することができる(図4)。この結果、加工時間の短縮及び工具コストの削減となり、コストダウンに寄与できる。

◇ デジタルツインとシミュレーション

2011年にIndustrie4.0が発表されて以来、日本でもIoTやDXの取り組みが盛んになっており、DMG森精機株のように切削分野でもデジタルツイン技術の開発が報告されている³⁾。デジタルツインは現実の現象をバーチャル空間で再現して再び現実にフィードバックを行う技術となるが、実機で測定したデータと物理モデルを組み合わせることで実機の状態を考慮しながら現象を予測できることがメリットとなる。このような流れの中でシミュレーションの新たな活用方法が出てきている。

例えばデジタルツイン技術の活用として、これまでリアルタイムの推定が難しかった加工中の刃先の温度を推定する手法が報告されている⁴⁾。本手法は事前のFEM解析を元に工具ホルダと刃先の温度関係の計算モデルを構築、放射温度計により実測する工具ホルダの温度と組み合わせ、刃先温度を推定するというものである。事前に刃先温度の計算モデルを構築することで計算負荷を下げ、

リアルタイムの刃先温度を推定可能にしている。

また、複数のシミュレーションソフトと、加工中の工作機械から得られるプロセスデータ(各モータ負荷や位置情報など)を用い、クラウドシステムにより連携させた工程設計の報告もある⁵⁾。これは部品形状や工具情報、材料物性値などを入力情報とし、CAMソフトによる加工パスの算出、FEMシミュレーションによる工具-ワークの接触状態や切削力の算出、それに伴うたわみ量の算出など、複数のソフトウェアにまたがる解析をクラウドシステムで自動的に連携させつつ、相互に情報をやり取りして適正な加工工程を提案する。さらには一度実際に切削加工を行えば、その際に工作機械から得られるプロセスデータを加えて解析精度を向上させて加工工程の最適化を行い、最大100 μ mあった形状偏差を5 μ mまで低減した例がある。また、このような解析は非常に計算負荷が高いことが課題になるケースが多いが、クラウド上でPCを連携させることで、数日以上かかる計算を1時間で完了するなど、高度なクラウドコンピューティング技術を活用している点でも興味深い。

むすび

本稿では従来技術として切削抵抗や工具摩耗、びびり振動などの切削シミュレーションの概要を、また近年の技術動向として、リアルタイムに実測したデータや工作機械から得られるプロセスデータとシミュレーションを組み合わせたデジタルツイン技術の事例を紹介した。

昨今では切削加工においてもAIなどのDX技術の活用が進んでおり、多くの検討事例も報告されている。今後は、切削シミュレーション技術とDX技術を組み合わせることで、更なる高精度、高生産性、低コストな切削加工の実現が期待されている。

参考文献

- 1) 社本英二：3次元切削機構に関する研究（第1報）、精密工学会誌、Vol. 68、No. 33（2002）、p. 408
- 2) 尾崎勝彦ほか：切削シミュレーション技術、R&D神戸製鋼技報、Vol. 61、No. 1（2011）、p. 84
- 3) DMG森精機㈱：工作機械のデジタルツインを活用した「デジタルツインテストカット」を開始 https://www.dmgmori.co.jp/corporate/news/pdf/20210216_testcut.pdf
- 4) 石川県工業試験場：工作機械のデジタルツイン適用にむけた取り組み <https://www.cybernet.co.jp/ansys/download/wp/202202/mcwpp202202-0170.html>
- 5) P. GANSEER et al、DPART—A DIGITAL TWIN FRAMEWORK FOR THE MACHINING DOMAIN、MM Science Journal、November（2021）、p. 5134



Ⅲ．切削加工機の種類

1．旋盤

(株) T A K I S A W A ふじ わら たく や
カスタム設計部 技術営業課 主査 藤原卓也

まえがき

旋盤とは、工作物を回転させ、バイト（刃物）を当て不要な部分を削り取る機械で、円筒や円錐、皿形などの回転軸に対して対称形状を加工することができます。外丸削り、中ぐり、穴あけ、ねじ切り、突切りなどの各加工が可能で、バイトを変えれば多様な加工に対応ができます。

初期の旋盤はイギリスのモズリーにより1780年頃に造られたと言われています。

切削加工機の中でも最も古くから使われており、多種多様な種類があります。

◇ 旋盤の種類

1) 汎用旋盤（普通旋盤）

一般的に旋盤というと汎用旋盤のことを指し、基本構造はベッド、主軸台、心押し台、往復台、送り装置、刃物台で構成されており、普通旋盤とも呼ばれます。

主軸に取付けたチャック（工作物を保持する部品）で材料を固定し回転させ、刃物台にセットしたバイトを押し当てて削ります。往復台にあるハンドルやレバーなどを使い、手でバイトを移動させるため、加工時間が比較的長くなる、熟練度により精度に差が出るなどのデメリットがある一方、目的とする作業にすぐ取りかかれる、作業中に変更や修正の対応ができるといったメリットがあります。機械のそばで1つ1つ寸法や精度を確認しながら加工するため、試作品や特注品などの少量生産に向いています。

2) CNC旋盤

手で操作する汎用旋盤に対し、Numerical Control（数値制御）により自動で加工できるのがNC旋盤です。さらにComputer（コンピュータ）を内

蔵したNC旋盤がCNC（Computerized Numerical Control）旋盤になります。

CNC旋盤は、バイトの位置を数値で表し動きはサーボモータで制御するため、主軸と送り軸の同期や、送り軸2軸の制御による円弧・テーパなど複雑な形状の加工が可能になります。バイトの交換も旋回式の刃物台で自動的に行い、プログラム通りに加工できるので、大量生産に向いているといえます。また、ロボットやロードとの組合せにより、材料の投入から完成品の取り出しまでを人手を介さず長時間自動的に行うことができます。

複雑な加工形状や寸法・精度の維持を作業者の熟練度に頼らず安定かつ効率的に量産できる一方で、事前のプログラム作成という直接加工しない工程が必要となります。汎用旋盤において手作業で行っていた全ての作業手順とバイトの送り量や材料への切り込み量といった作業者が様子を見ながら感覚で決めていた切削条件を事前に計算しプログラミングする必要があるため、試作品や特注品の少数ロットの生産、修正や追加工には向いていない面もあります。

3) CNC普通旋盤

汎用旋盤にコンピュータ数値制御と対話型操作ソフトが内蔵されたもので、初心者でもNCの知識を必要とせず、汎用機の感覚で容易に加工ができる操作性の良い機械です。この旋盤では、円筒形状の部品の外径と内径の切削加工や、ねじ切り、溝加工、テーパ加工、円弧形状の加工ができる他、円弧とテーパを組み合わせた加工や曲線など汎用旋盤では不可能な複雑な形状の加工も行うことができます。また、対話型操作ソフトを使用することで、ねじ切りや溝加工など熟練者にしかできない難しい加工も誰でも簡単に行えます。

この機械は少量多種の加工を行う鉄工所、工場

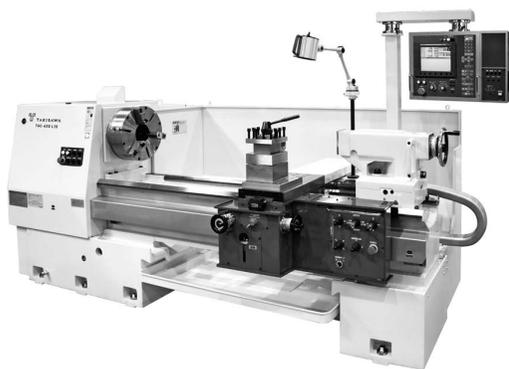
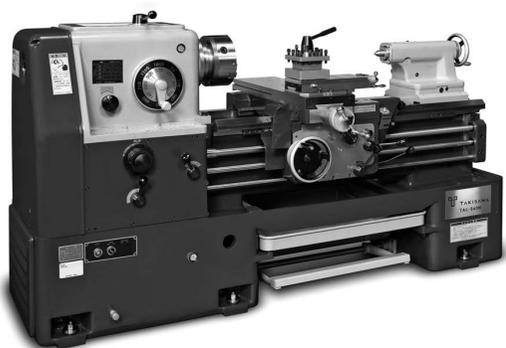


図 1 普通旋盤とCNC普通旋盤

の保全部門や工業高校、短大、大学など学校関係で多く採用されています。

4) 卓上旋盤

汎用旋盤をコンパクトにした小型の旋盤で、作業台の上に置くサイズの旋盤を卓上旋盤といいます。ベンチレースとも呼ばれ小さな部品の加工に使用します。

5) 正面旋盤

長さに比べ外径の大きな部品を加工することを目的とした旋盤です。主軸に面板を備え、主として正面削りを行う旋盤で、刃物台は主軸に直角方向に幅広く動きます。

6) 立旋盤

旋盤の主軸は横向きが一般的ですが、立旋盤では主軸が上向きで刃物台が垂直・水平に移動する旋盤です。立旋盤では水平面で回転するテーブルにワークを取り付け、長さに比べ外径の大きい部品や横型ではチャックへの固定が難しい重量物や不釣り合いの工作物の加工に使用します。

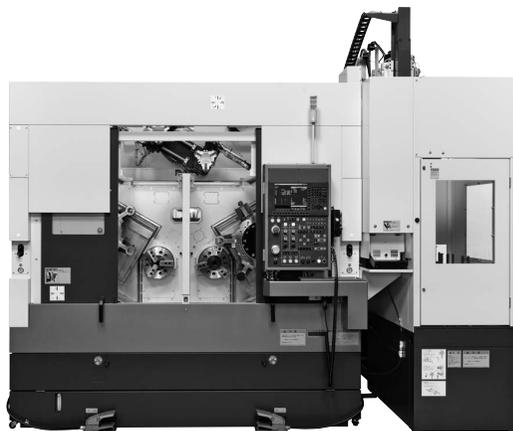


図 2 平行主軸旋盤ガントリーローダ付

7) 対向主軸旋盤

対向主軸旋盤とは、2つの主軸が対向して配置されている旋盤のことで、1工程から2工程へワークをダイレクトに受け渡すことができ、高精度な位相決めや長さの管理が必要な表裏加工に適しています。

8) 平行主軸旋盤

主軸を正面に向け平行に配置した2つ主軸と2つの刃物台で構成されたCNC旋盤で、左右独立した加工が行えます。表裏反転装置とガントリーローダを搭載した自動機が主流で、ライン長を抑えた省スペースでの表裏同時加工や左右同一加工によるサイクルタイムの短縮が可能な量産加工に最も適したタイプの旋盤です。個々の主軸に別々に受け渡しを行うことで、対向主軸形では必要な表裏の受け渡し時の非切削時間を短縮でき、量産効率を追求した構造と言えます。また、連結・ライン化することで複数工程の全自動加工など多様なシステムへの対応が可能です。

9) 複合CNC旋盤

CNC旋盤にフライスの機能を搭載した工作機械で、旋削だけでなくフライス加工や穴あけ・タップなどの加工も同時に行うことができます。

刃物台への工具取り付け本数には制限がありますが、複数の切削加工機を使って製作していた部品を1台で完成させることができ、材料の着脱作業や工程間の移動などの削減、さらに省スペースにもつながり工場全体の生産性の向上が可能です。

むすび

旋盤にはいろいろな種類がありましたが、基本は回転する工作物を2次元平面で動くバイトによって円筒形状を形成する切削加工機です。汎用旋盤でもCNC旋盤でも、工作物と刃先の関係は同じ原理であり、現在でも汎用旋盤は作業者の技術や技能教育のために重要な機械であり続けています。

汎用旋盤の操作を体験し、機械や刃物や工作物

に対して最適な切削とはどのようなものかという感覚を研ぎ澄ますことで、旋削するノウハウを覚えることは、CNC旋盤での切削においても役立つ技術になります。切削条件の調整力はCNC旋盤における使い熟しに係わり生産性にも大きく影響を与えます。

切削加工の入り口として旋盤作業を実践し、汎用旋盤で削る楽しさを体感しながら、技術・技能の伝承のお役に立てていただければ幸いです。



2. ボール盤

（株）キラ・コーポレーション 技術部 顧問 谷崎 泉

まえがき

弊社は、1927年愛知県幡豆郡吉田町に吉田鉄工所として船用内燃機関及びラジアルボール盤の製造を開始しました。1956年には卓上ボール盤・タッピング盤の製造販売を開始しました。1965年には20機種月産2,000台体制、1970年には同3,000台体制と国内外で急激に伸びていきました。1956年からの出荷台数累計は約80万台となり、市場ではボール盤のキラと言われるまでになりました。また、2010年には歴史的価値のある工作機械の顕彰（ロングライフベストセラー賞）を工業技術博物館様より頂戴し工作機械産業の発展に寄与しました。ここにボール盤に関する内容を記載しましたので参考にして頂ければ幸いです。

◇ ボール盤について

ボール盤は、主としてドリルを使用して工作物に穴あけ加工を行う工作機械です。ドリルは主軸と共に回転し軸方向に送られ穴あけを行います。ドリル以外にもリーマ加工、座グリ加工、面取り加工、タップ立加工を行う事が可能です（図1参照）。

当初ボール盤には、直立ボール盤、ラジアルボール盤、多軸ボール盤、卓上ボール盤、深穴ボール盤、多頭ボール盤があり、2007年には、ポータブルボール盤、数値制御ボール盤が追加されました。2012年には数値制御ボール盤からドリリングセンタに変わり、2019年に数値制御ボール盤は削除されました（JIS B 0105：1993 工作機械－名称に

関する用語）。

ここでいうボール盤は、定置式非けいたい金属加工専門機の事を言います。ボール盤の部品、加工方法はJIS B 0106に部品等の名称も定義されています。

◇ 仕様・構造

ボール盤の大きさ、能力を表すには、振り（主軸中心からコラムまでの距離の2倍の寸法を表す）とテーブル上に載る被削材の大きさにより判断出来ます。穴あけ能力は、一般的にネズミ鑄鉄をドリルで加工できる最大径で表示します。

主軸の移動距離は被削材の要求加工長以上の仕様を選択する必要があります。主軸の回転数は商用電源周波数（50Hz・60Hz）によって変わり、主軸までの伝達方式がベルト駆動、又は歯車機構により段階的等比級数的に設計され寿命向上が図られています。

一般的な主軸速度表記は、無負荷時の速度ではなくある程度の負荷を含む表示がされており、現実的な加工が可能ないように設計されたものが多いです。

主軸端の構造、主軸形状には雄テーパ形状、及び雌テーパ形状のものがあり、被削材の加工要求に応じて選択が必要です。一般的に工具が13mmまでのストレートドリルの場合はドリルチャックを使い、ドリル径が大きくなるに従いモールステーパの工具と主軸が必要になります（図2・3、表1・2参照）。

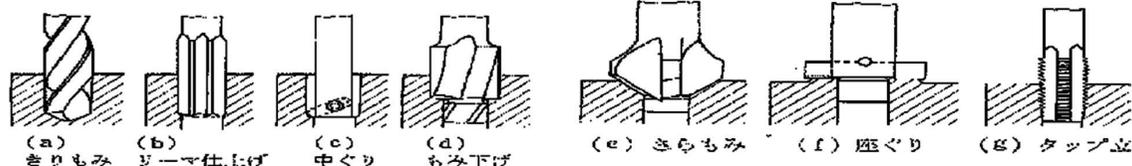


図 1

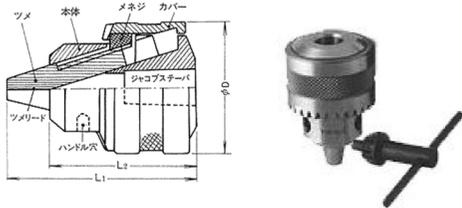
◇ ボール盤用工具

ストレートドリルを使用するには、ドリルチャックが必要です。

テーパシャンクドリルを使用するには、モールステーパの主轴が必要です。



ストレートドリル形状



ドリルチャック形状 縮付工具 (チャックハンドル)

図 2

表 1

ドリルチャックの寸法 寸法：mm

テーパ	使用範囲	外形D	長さ (L1)	長さ (L2)
D4	0.4~4.0	25	40	32.5
JT1	0.5~6.5	35.5	54	45
JT2S	0.5~10.1	43.8	68	53.5
JT6 (2I/2)	0.7~13.0	55	88	68.5

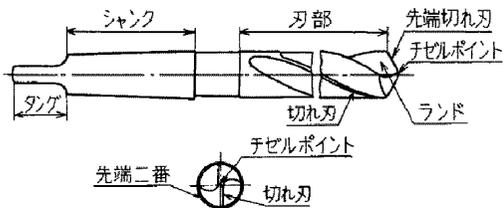


図 3

表 2

テーパシャンクドリルの寸法 寸法：mm

モールステーパ番号	MT1	MT2	MT3	MT4
ドリル径 (直径)	2.0~14.0	14.5~23.0	23.5~32.0	33.0~50.0

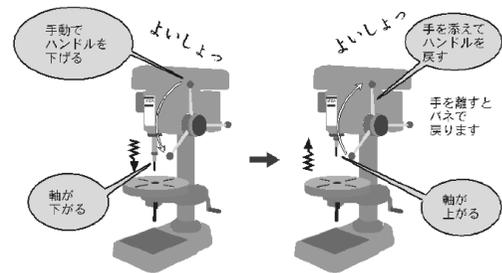
◇ ボール盤の種類

ボール盤の概要を記載してきましたが、実際に必要な機械の機種選択 (図 4 参照)、主轴回転数の選択、材料と送り量の決め方又、その時の加工に必要な動力と推力など弊社ホームページ (<https://www.kiracorp.co.jp/catarog/>) に記載しております。具体的な数値も記載しておりますので是非ご参照をお願い申し上げます。

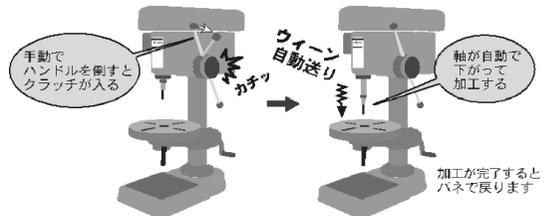


ボール盤の種類

手動型



自動送り付き型



自動送り付き型 (手動タップ兼用)

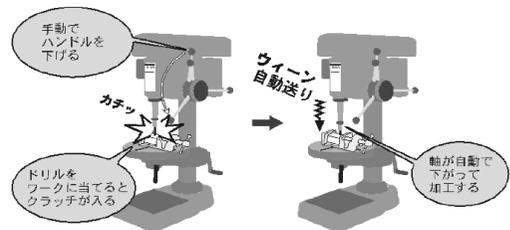


図 4

3. マシニングセンタ

DMG森精機(株) 執行役員 次世代機種開発 担当 多賀 充
マシニングセンタ 開発 担当

まえがき

工作機械は大きくターニングセンタとマシニングセンタに分類される。ターニングセンタは被削材(ワーク)を回転させ、刃物(工具)をワークに接触させることで旋削加工を行う。対象となるワークは主に円筒形状となる。対してマシニングセンタは主軸に把持された工具を回転させ、テーブル上に固定されたワークに接触させることで切削加工を行う。ワークは円筒形状に限らず、直方体形状のものから異形のものまで様々である。また自動工具交換装置(ATC: Automatic Tool Changer)を装備していることもマシニングセンタの特徴の1つである。本稿ではマシニングセンタの基本構造から関連する最新の技術動向について、当社製品の事例に基づいて紹介する。

◇ マシニングセンタの構造

マシニングセンタには大別すると立形、横形、門形の3つの種類がある(図1)。それぞれの特徴

を次に述べる。

主軸(刃物の回転軸)が垂直方向に取り付けられているものを立形マシニングセンタという。主軸軸線方向をZ軸として、水平方向に移動するX、Y軸と合わせた直線3軸で構成される。ワークの固定が容易であり、構造上、主軸へのアクセス性も良い。

主軸が水平方向に取り付けられているものを横形マシニングセンタという。X、Y、Z軸(直線3軸)にB軸(テーブル回転軸)を加えた4軸の構成となる。テーブルが回転することにより90度ごと4面にワークを取り付けられ、1回の段取りで多数個のワークを加工できる。さらにパレットチェンジャ(APC: Automatic Pallet Changer)により、一方のワークが加工中にもう一方のパレットへワークの着脱を行えるため、稼働停止時間を削減できる。また切りくずがワーク周辺に堆積しにくい構造であり連続加工を伴う自動化に適している。

主軸を支える構造体が門の形をしているものを門形マシニングセンタという。門の内側をワーク

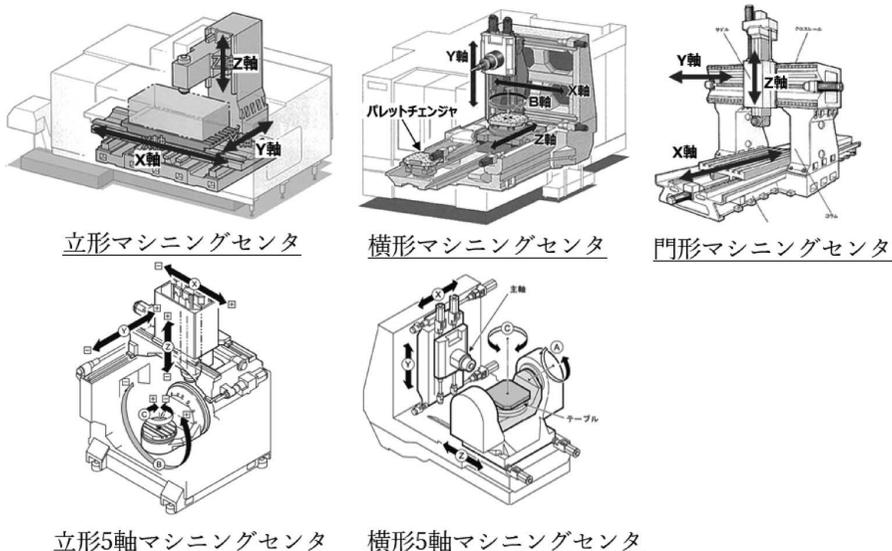


図 1 マシニングセンタの構造

とテーブルが通り抜ける構造で、大型ワークの加工に適している。

マシニングセンタに限らず工作機械は剛性設計を基本としている。加工点（主軸とテーブル間）で発生する切削力に対して、変位をいかに小さくできるかが加工精度に大きく影響する。要求精度はマイクロメートル単位であり、加工時に発生する振動や熱による影響をいかに抑えられるかも高精度加工を実現する為に重要な要素となる。

◇ 5軸マシニングセンタと工程集約

X、Y、Zの直線3軸で構成されるマシニングセンタの場合、ワーク正面から加工できるのは1面のみとなるが、回転軸を2軸追加することでワークの4側面を含む5面に正面から加工が可能となる。直線3軸と回転2軸で構成されたマシニングセンタを5軸マシニングセンタといい、回転・傾転軸を利用して最適な角度から工具をアプローチさせることで、複雑形状の加工が可能となる。また、これまでは複数台で分割していた工程を5軸マシニングセンタ1台に集約することで、ワークを取り付ける段取り作業の回数や時間を大幅に削減でき、さらに、ワークの付け替えによる取り付け誤差をなくし、精度向上、品質の高い加工を実現できる。また、工程を集約することで1台あたりの稼働率を上げ、仕掛在庫を削減できる。

◇ 自動化

工程集約を実現することで、自動化の導入が加速する。一例として、ワークを搭載したパレットを自動交換することでさらに連続稼働が可能となる。ワークを搭載したパレットを最大99個、自動で交換できる当社のパレットプールシステムを導入することで、長時間の連続稼働が実現できる。また、搭載されるワーク、工具、および加工プログラムはパレットごとに異なり複雑な運用となる為、これらのスケジューリングが非常に重要となる。当社ではこれらスケジューリングのソフトウェアも自社で開発を行っており、システム全体をお客様へ提供している。

◇ 加工3悪（切りくず・クーラント・ミスト）

工程集約、自動化によって稼働率が高くなると、

切削時に排出される切りくず量が多くなることに加え、クーラント（切削油）使用時のミスト（加工時に発生するオイルミスト）発生量の増加、クーラント自体の劣化による廃液処理量の増加が課題となる。当社では切りくず・クーラント・ミストを「加工3悪」と定義し、これらの影響を最小限とする装置を自社開発し加工機とあわせて提供している。

機内の切りくず堆積を抑制し切りくずに起因する問題を大幅に削減する「AIチップリムーバル」は、加工機内の画像情報をもとに切りくずの堆積場所と量を分析し、専用のノズルを駆動し自動洗浄を行う。また、クーラントタンク内のスラッジ堆積を抑制しクーラントを清浄に保つ「ゼロスラッジクーラントタンク」は、メンテナンス作業およびクーラント廃棄量削減に大きく貢献する。さらに、大風量かつ空気清浄機と同等の清浄度を実現するビルトインミストコレクタ「zeroFOG」は、加工室内のミストを確実に回収することで工場内への漏れ出しを防止し、工場の労働環境、作業者の健康への影響を大きく改善する。

むすび

本稿では、マシニングセンタの基本構造から関連する最新の技術動向について紹介した。

近年、人手不足による省人化や生産工程における省エネ化への対策はますます需要が高まっている。そこで当社は、工作機械を中心として実現する一連の効果をMX（マシニング・トランスフォーメーション）として、お客様に提案している。まずは、高精度な5軸・複合加工機により工程を集約し、周辺機器の導入で自動化を実現することで、生産性の向上が可能となる。工程の自動化が進むことで、全工程で生じる情報をデジタル・AI技術で収集・分析・可視化することが可能となり、DX（デジタル・トランスフォーメーション）を実現する。これらにより、不要な仕掛品や中間在庫、廃棄物、エネルギー消費量の削減が進み、GX（グリーン・トランスフォーメーション）の実現が可能となる。当社は今後も、より付加価値の高い製品、システム、エンジニアリング、サービスを提供し、お客様におけるリーナプロセスの構築、経営資源の最適化、CO₂削減に貢献していく。

4. 複合加工機

ヤマザキマザック(株) 美濃加茂製作所
技術ブロック機械設計1グループ

いえ だ みつ まさ
家 田 光 将

まえがき

「DONE IN ONE」加工工程を集約し1台で自己完結の実現を目的とした工作機械が複合加工機である。当社は1983年、旋盤にミーリング軸・C軸機能を付加したSLANT TURN 40N-ATCを開発して以来、40年以上にわたり、複合加工機の開発・設計・製造・販売・加工といった活動を通じて多くの経験を積み重ねてきた。

本稿では、複合加工機の代名詞と言われる当社複合加工機「INTEGREXシリーズ」について、中でも最新の「INTEGREX i-Hシリーズ」開発の背景・コンセプト等を紹介しながら複合加工機を解説する。

◇ 複合加工機とは

複合加工機とは、その名のとおり1台の機械にさまざまな加工機能を取り込むことにより、工程集約を実現した機械であり、今なおさまざまな進化が続いている。

NC旋盤のベース機は、旋削主軸と刃物台を駆動するX・Z軸を有しているが、これにY軸とミーリング軸、C軸機能さらにはB軸機能を搭載することで斜め穴・面加工、キー溝やワーク中心からY軸方向へオフセットした加工を可能にしている。さらにX・Z・Y・C・B軸の同時5軸制御による加工はインペラなどの自由曲面の加工も可能にした。こうした加工能力の進化に加えて、第2旋削主軸を直線駆動のW軸に搭載することで、2つの旋削主軸間でワークの掴みかえを可能とした。これにより丸物だけでなく角物ワークも対象に2工程の連続加工をワンチャッキングで実現する工程集約の進化も実現している。

複合加工機の導入により、さまざまな形状の加工が可能となる（加工能力）と同時に、加工コスト低減や納期短縮といった効果が得られる（生産性向上）。

こうした複合加工機が持つ能力は、日々新たに開発される加工アプリケーションを実現するための機構・機能搭載や、周辺機器との連携を深める事で、さらなる進化を続けている。

◇ INTEGREX i-Hシリーズの開発

当社の複合加工機INTEGREXが備える汎用性は網羅しつつ、これからますます必要とされる機能・仕様とは何か？目まぐるしい環境の変化が起きている時代に、それらに柔軟に答え適用し続けるために必要な要素とは何か？この時代に適したINTEGREXを考え議論する事から開発は始められた。

1. 自動化の容易化

自動化装置との高い親和性を実現するために、機械前面（フロントドア側面）デザインをフラットにした（図1）。

これは、旋削主軸が把持する素材や完成したワークの出し入れ（いわゆるマテハン、マテリアルハンドリング）や旋削主軸に搭載するチャック爪の交換などの機外の自動化装置を配置する際の制限事項を極力減らすことで、自動化しやすい機械構成とした。実際に多関節ロボットを活用したTA（Turn Assist）といった自動化システムを機械正面に配置することが可能でフロントフラットデザインによる効果を示している（図2）。

こうしたデザインは具体的に、工具マガジン本体を機械の背面に配置する事で実現している。また自動化が進む事により機械に必要な工具本数が



図 1 機械外観



図 2 フロントフラットデザイン

増加する傾向にあり、マガジンを機械背面に配することで大容量工具マガジンの展開が容易となった。一方で、これまでのINTEGREXと同様に機械前面でのマガジン工具アクセス性を確保するべく前面に工具の段取り装置を配置した。

自動化への取り組みは他に、長時間連続無人運転の様な従来よりも長い時間軸で考える機械の生産性や、MTTR（平均修復時間）の様な自動化装置を停止して保守を行う時間をいかに短くすることが出来るかを追求し、サービス保守性に配慮した機器構成とした。

例えば、機内で加工領域と機械の駆動装置とを隔離するカバーの交換性を改善した。従来では刃物台上下移動軸であるX軸カバーはカバー式での交換が必要であったが、これまでのサービス部門の経験から交換頻度の高い部分を特定し、破損箇所を単独で交換できる構造にした。これによりカバーの吊り治具等は不要になり、MTTRも短縮することができた。

2. ダウンサイジング

従来のINTEGREXに対し加工領域、最大ワークサイズを拡大しながらも、機械全体のフットプリントを従来機同等以下で実現した（図3）。その結果、機械奥行き寸法を2,170mm（INTEGREXi-100/200H）とし、国内の機械輸送においてトレーラからトラックに切り替えることができた。また、海外への機械搬送時の海上輸送コンテナサイズを従来のFULL VOIDからOVERHEIGHTにダウンサイジングする事も可能となり、ひっ迫する海上輸送枠確保の争奪戦に柔軟に対応することができた。

ダウンサイジングは具体的に、切削を行う刃物台の小型化と機器配置の見直しによって実現している。新規開発した刃物台は出力24Kwで20,000rpm（オプション）を実現し高い生産性を発揮しながら

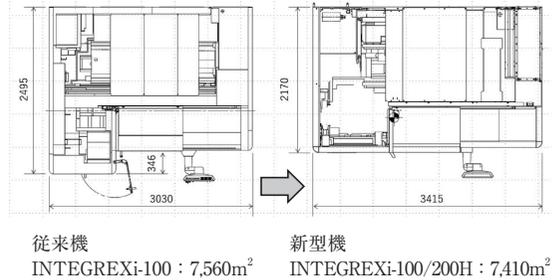


図 3 ダウンサイジング

も、その全長を430mmと、従来よりも20%小型化したことで加工領域の拡大に寄与できた。加えてミーリング軸の回転制御と高精度位置決めによりロータリスケールを搭載し、ギア加工機能を可能としたAG（AutoGear）といったアプリケーションの拡充も網羅している。加工工程を集約し1台で自己完結することを目的として生まれた複合加工機はこれまで専用機で実現してきた加工アプリケーションも取り込むことで、さらなる進化を続けている。

3. モジュラーコンセプト

今後ますます進化する加工アプリケーションや、生産活動の環境および工作機械への要求の変化に、柔軟に適用し進化を続けていくために、INTEGREXiHではモジュラーコンセプト設計を採用した。これは、<固定化したプラットフォーム>と<柔軟に変化する搭載ユニット>の役割を明確にしユニットの共通化や展開を考慮したものだ。

例えば、共通化したユニットが搭載された完成機に対しビルトインの自動化装置を後付けしたいといったご要望に柔軟に答えることが可能となる。

むすび

複合加工機とは、についてINTEGREXiHシリーズの開発背景、コンセプトを紹介しながら解説した。

INTEGREXiHシリーズを開発したことにより工程集約を進める市場に向けて自動化の容易性を付加価値として備えた複合加工機の提案が可能となった。

これからも難削材を始め、あらゆる市場の要求に柔軟に応え、機能、複合化などモジュラーコンセプト設計をベースに進化するより良い設備を開発して行く所存である。

5. ホブ盤

(株)カシフジ 瓜生 耕一郎
技術部 技師長

まえがき

ホブ盤(図1)は、日本機械学会の機械工学辞典で「ホブを用いて創成歯切りを行う工作機械。ホブが回転することによって、歯面の仕上げ面に、ラック歯形の切れ刃が少しずつ進むように現れ、歯車素材はそれと同期回転することによって創成歯切りされる。歯切り盤として最も能率がよい(中略)ホブ形状によって、スプライン、ウォーム、スプロケットなど特殊形状が加工できる」とされている。始めに登場するホブは使用する工具の名称で、同じく機械工学辞典で「歯車の切削創成に用いるウォーム形状の歯切り工具。ウォームのねじ筋を横断する多数の溝を設けて、ねじ面と溝との交線を切れ刃とし、切れ刃の外周、ねじ底、側面のすべてに逃げ面を設けたフライス状工具。(後略)」と紹介されている。

ホブは、1830年頃にウォームに溝を付けて歯切り工具としたことが始まりであると言われ、機械工学辞典の説明には発明の歴史も表われている。

ホブ盤は1856年にドイツ人Christian Shieleがイ

ギリスで特許を取得したのが最初と言われている。この機械は、ホブと歯車材の間に強制運動を与える最初の歯切り盤であったが実際に作られたのかは不明である。その後、1887年にアメリカ人G. B. Grantが、1894年にはドイツ人J. E. Reineckerがホブ盤を製作した。1897年にはドイツ人Hermann Pfauterによって平歯車だけでなくすば歯車も換え歯車を交換するだけで加工ができる差動装置付きの画期的なホブ盤が発明され、メカ式ホブ盤の基礎を築いた。日本では、欧米の機械を参考にして1910年代にホブ盤が開発されたのが始まりである。1950年代には米国M.I.TでNC制御フライス盤が開発された。しかし、ホブ軸と歯車軸の同期回転の実現が難しく、NCホブ盤が初めて発表されたのは1975年であった。

◇ ホブ切り

ホブを用いて歯車を創成歯切りするのがホブ切りである。創成歯切りとは、「製作する歯車にかみ合うラック、もしくは相手歯車の断面形状を持った工具と被削歯車材とのかみ合いの相対運動すな

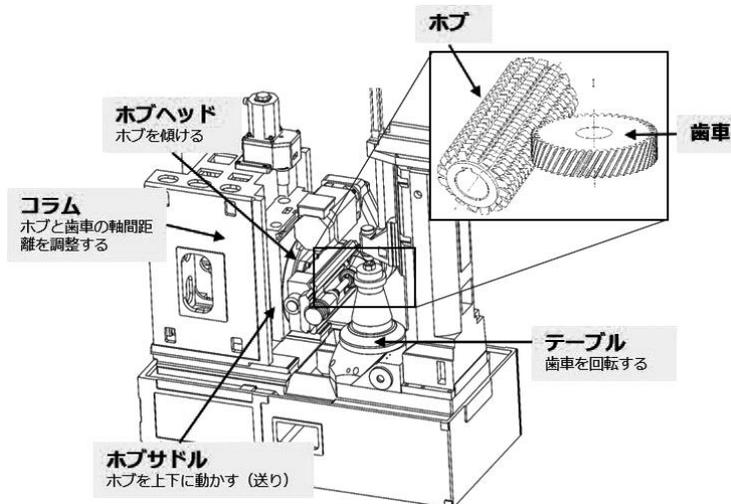


図 1 NCホブ盤

わち創成運動によって歯車の歯面をつくる歯切り法」である（機械工学辞典）。つまり加工しようとする歯車の歯溝とは異なる形状を持つラックなどを用い、相対運動によって歯車を“創り出す”加工方法である。一方で、歯車の歯溝形状と同じ形の工具を使用する方法は成形歯切りと呼ばれている。

(1) ホブと歯車材の同期

ホブがウォームとウォームホイールのかみ合いを参考に発明されたことから想像できるように、ホブと歯車材は一定の回転比で同期して回転する。

(2) はずば歯車の加工

同期回転させながらホブを歯車材の軸方向に送ると平歯車が加工できる。はずば歯車は送り量と歯車のねじれ角に応じて同期回転比をわずかに補正することで加工される。すぐば歯車の場合も含め、回転比は式(1)によって得られる。

$$\frac{N_h}{N_g} = \frac{Z_g}{Z_h} \left(1 + \frac{f_i \sin \beta}{\pi m_n Z_g} \right) \quad (1)$$

(ホブ回転数 N_h 、歯車回転数 N_g 、ホブ条数 Z_h 、歯車歯数 Z_g 、歯車ねじれ角 β 、歯直角モジュール m_n 、送り量 f_i)

回転比は送り量の影響を受けるが差動装置付きのメカ式ホブ盤であれば送り量は「送り」換え歯車で、ねじれ角は「差動」換え歯車によって独立して変更できる。NCホブ盤では回転比は自動で計

算される。また、歯直角方式と呼ばれるはずば歯車であれば同じホブを使って平歯車、はずば歯車ともに加工できる。

(3) ホブ取り付け角

ホブはラックをねじ状に並べたものであり、使用時にはねじ筋の方向と歯車の歯溝方向が合うように傾けて機械に取り付ける。その角度はホブのねじ筋の進み角 γ （右を+）と歯車のねじれ角 β （右を+）から $\beta - \gamma$ で得られる。

(4) 送り

縦型ホブ盤を例とすると、ホブ切りでは歯車材に対してホブを上向きにも下向きにも送ることができる。上向き送りはクライムホブ切り、下向き送りはコンベンショナル送りと呼ばれている（図2）。従来のホブ盤では機械構造の関係から送りねじのバックラッシの影響を受けにくいように下向き送りが行われていた。そのため、下向きがコンベンショナルとなっている。クライムホブ切りはフライス加工の下向き切削に相当し、コンベンショナルホブ切りは上向き切削に相当する。切り取り厚さの変化の仕方が異なり、加工対象や使用する機械の剛性などを考慮して選択されている。ホブ切りでの送り量はテーブル（歯車）1回転当たりのホブの歯車軸方向移動長で表される。式(1)において送り量 f_i はクライムが+、コンベンショナルが-である。

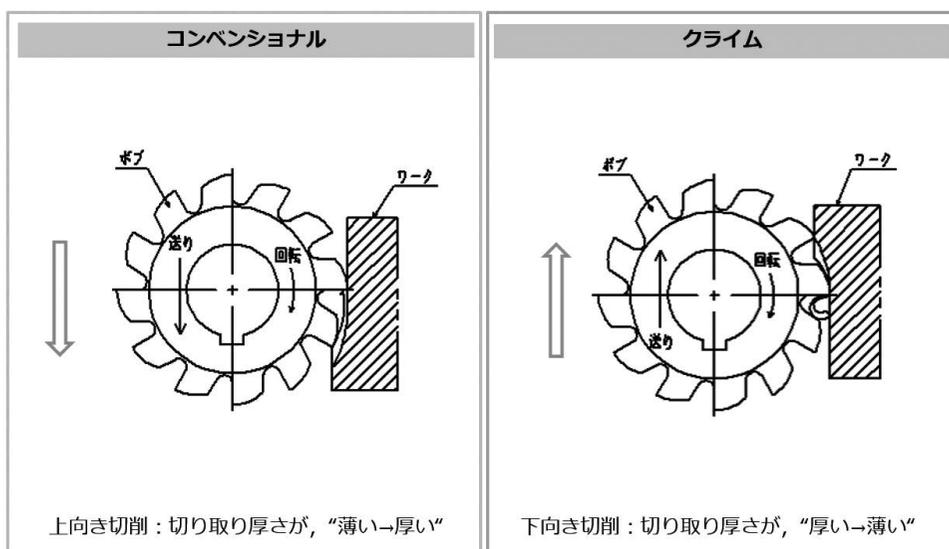


図 2 送り方向

(5) 切削

ウォームはその回転をウォームホイールに滑らかに伝えるが、ホブは有限個の溝によって切れ刃を得ているためホブ切りは断続切削となる。また、歯溝を創成する過程で切削に関与する切れ刃の歯車材に対する位置と角度が次々に変わるため、切れ刃ごとに異なる形状の切りくずを出す。さらに、歯車材を回転させながらホブを送るため、いくつかの歯溝を同時に加工しながら次々に歯溝を加工していくという複雑な加工である。

(6) 工具材

ホブには粉末ハイスや溶解ハイス、超硬材などが利用でき、コストや要求加工時間などによって選択される。国内ではハイスが主流ではあるが超硬ホブも増えつつある。

(7) 切削油

従来は油性切削液を用いたウエットホブ切りが主流であったが、近年はドライホブ切りが増えて

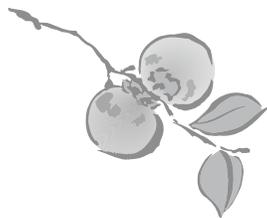
いる。対環境性の向上とドライ化による高速切削が主な目的である。

(8) 歯車材

歯車にはSCM415やSCr420などの浸炭材が使われることが多いが、通常のホブ切りは焼き入れ硬化前の加工であり特段の困難さは現状ではない。今後、EV用歯車などでより高強度材などが使われるようになった場合には加工条件の見直しなどが必要になる可能性がある。

◇ ホブ盤

ホブ盤とは前述のホブ切りを行う機械である。精度のよい歯車を加工するためには、ホブと歯車材の同期回転が正確であること、断続で複雑かつ高い切削負荷に耐える静剛性／動剛性を持つことが必要である。そのため、機械自体が高剛性であることに加えて工具と歯車材は両持ち支持されているところが特徴的である。



Ⅳ. 切削工具の種類

1. 旋削工具

(株)タンガロイ マーケティング本部 ふるやこういち
スキルアップセンター 古屋孝一

◇ 旋削工具の基礎

旋削加工とは、被削材（材料）を回転させ、切削工具を移動させることで切削する加工であり、使用する機械は旋盤と呼ばれ、汎用旋盤、NC旋盤、堅旋盤、自動盤などがある。これら旋盤で使用する工具を（バイト）ホルダと呼ぶ。

図1は、代表的な旋削加工をまとめたものである。大きくわけて、外径と内径に分けられ、倣いや溝入れ、ねじ切りなどの加工がある。刃物台に取り付ける部位をシャンクと呼び、主に外径用のホルダは角シャンク、内径用のホルダは丸シャンクが用いられる。

図2は、刃先交換式ホルダとよばれるタイプであり、実加工の現場で最も多く使用されている工具である。先端には被削材を削るインサートが取

り付いており、損傷したらコーナまたはインサートを交換して使用する。刃先交換式ホルダは、1950年代後半に普及が始まり、それ以前はロー付けバイトと呼ばれる先端に超硬合金をロー付けした工具が主流であった。刃先が磨滅したら刃研を行い、再利用する工具であるが、刃研のスキルと時間を要するため、誰もが容易に工具を交換できるよう刃先交換式が開発され現在に至っている。

インサートの上面には模様のような凹凸が付いており、これをチップブレイカと呼ぶ。旋削加工は、連続切削となることが多く、加工中に生成される切りくずは伸びる傾向にある。伸びた切りくずは、被削材や工具に絡み付きやすく、作業の障害となることが多い。この切りくずの流出方向をコントロールし、強制的にカール・折断させるのがチップブレイカの役割である。刃先交換式ホルダの普及に伴い、チップブレイカ付きインサートは、色々な被削材や削り代（切込み）に合った様々な形状のものが開発され、加工条件に合わせて最適なものが選定できる。

◇ 工具材種の基礎

切削加工では、被削材を削る際に切りくずが生成され、切りくずと工具接触面との摩擦により、インサートの刃先は高温かつ大きな負荷が掛かる。また、被削材中の硬質粒子により、刃先は徐々に擦られ摩耗が進行していく。

工具材種に求められる特性としては、下記の4つが挙げられる。

1. 高硬度であること
2. 高温硬度が高いこと
3. 高靱性であること
4. 化学的に安定していること

図3は、現在切削工具で使われている材種の韌

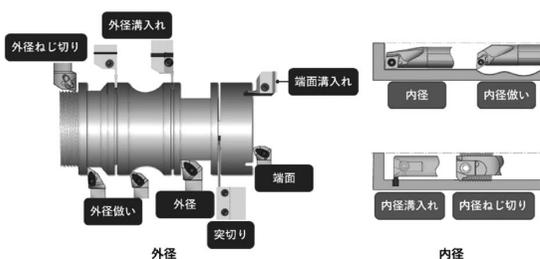


図 1 代表的な旋削加工

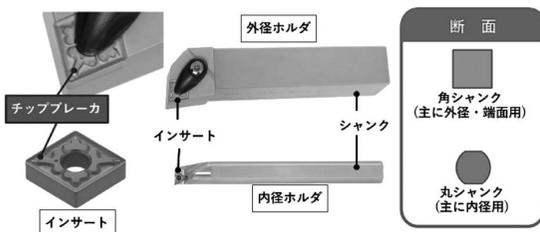


図 2 刃先交換式ホルダ

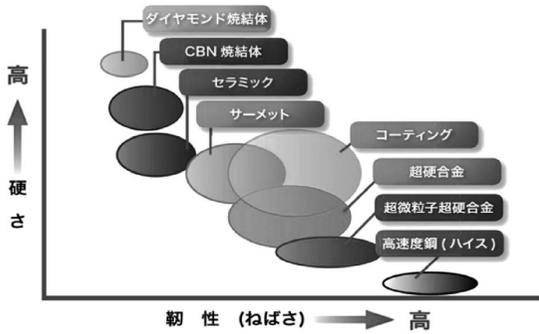


図 3 各材種の韌性と硬さの相関

性と硬さの相関を示している。理想の工具材種は、相反する韌性と硬さを併せ持つことであり、中でもコーティング材種はバランスの取れた材種であり、現在最も多く使用されている。

◇ 旋削工具のトレンド

製造業にとって製造コストの低減は永遠の課題と言える。一般的な製造コストの内訳は、材料費が2割、工具費が1割以下、設備費・管理費が7割強と言われており、コストダウンには、生産性を上げることが効果的である。一定時間内で要求される部品形状を品質通りに数多くの合格部品をつくるためには、加工時間の短縮、加工していない時間の削減（ダウンタイム）、加工不良の削減などが重要である。

切削工具は、生産性の向上に寄与するため

- ①高効率に加工できる工具
- ②工具交換時間の短縮
- ③剛性のある工具

上記3点をキーワードに日々進歩している。

刃先交換式ホルダやチップブレーカの進歩は、切りくず処理トラブルによる機械チョコ停の減少につながり、また工具材種の進歩はより高い切削条件で加工することが可能となり、高効率加工につながる。最近の傾向は、工具のクランプ剛性を高めたホルダや、よりセットアップが容易にできる工具が増えてきている。その一例を紹介する。

◆ADDMultiTurn (アド・マルチ・ターン)

外径・端面加工用工具

ADDMultiTurnは、外径・端面・後挽き・微い加工を連続して加工でき、機械空転時間のダウンタイムを削減する事が可能な工具である。一般的



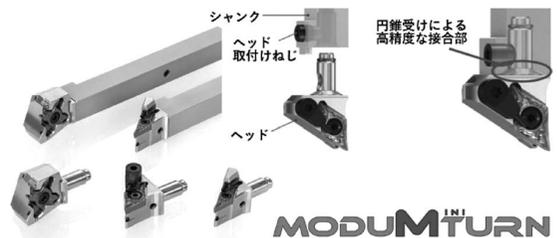
な前挽き加工に対して3倍の高送りによる後挽き加工が可能で、加工能率の向上が可能である。

◆ModuMiniTurn (モジュ・ミニ・ターン)

自動盤向けヘッド交換式工具

自動盤の機内作業スペースは狭く、従来の一体式工具のセットアップやインサート交換には、時間を要していた。

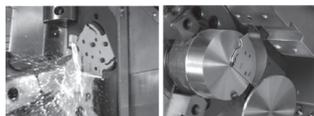
ModuMiniTurnは、ヘッドとシャンクを分割したことで、シャンクを刃物台にセットしたまま工具交換が可能となり、工具セットアップ時間を大幅に削減することが可能となった。これにより、機械稼働率が大幅に向上し、生産性の向上に大きく寄与することができる。さらに、独自の高精度なカップリング機構により、安定した加工が可能である。



◆TungFeedBlade (タング・フィード・ブレード)

高効率外径突切り・溝入れ用工具

TungFeedBladeは、刃物台にセットするブロックの2面拘束とブレードの下あごサポートにより、優れた真直性が得られる。ブレードは、従来タイプと比べ切削力の掛かる方向に厚みを持たせることで剛性が向上しびり振動が起りにくい。ホルダとブレードの高剛性化により、高送りによる高効率加工を可能とした。



ブロックは2面拘束仕様



TUNGFOBLADE

従来ブレード

TUNGFOBLADE



下あごサポート

むすび

昨今、SDGsへの取り組みの一つであるカーボンニュートラルは、世界各国で注目され実現に向けて様々なアプローチで各企業が取り組んでいる。生産性や加工能率を向上させる旋削工具（切削工具）は省エネにもつながり、カーボンニュートラルの実現に向けた一助となるよう今後も進歩させていきたい。



2. 深穴加工のトレンドと超硬ドリルの進化

オーエスジー(株) やまもと たか ひろ
デザインセンター開発グループ 山本剛広

まえがき

以前から切削工具には高能率、高精度、長寿命加工が求められています。これらを実現するために、ハイスドリルから超硬ドリルへの切り替えが進み普及してきましたが、穴加工の中でも特に難易度の高い深穴加工においては、以前からガンドリルやハイスロングドリルが多く使用されています。これは、深穴加工においては特に切りくず排出が難しく、工具の欠損や折損などを起こしやすいため、じん性が低い超硬工具では難しいと考えられていました。しかしながら、近年では、超硬素材、表面処理、刃先処理など工具仕様の進化によって、ドリル径の30倍（以下、30Dと記載）以下の深穴加工においては、超硬ツイストドリルによる高能率加工が可能になりました。

しかし30Dを超えるような深穴加工もまだまだ多くあり、その加工に超硬ツイストドリルを検討するも高能率・安定加工が難しく、以前と同様にガンドリルなどで加工を行うため、生産性や、工具寿命が悪く、加工コストがかかるといった問題を抱えていらっしゃるお客様も多いのではないのでしょうか。また最近では、金型を例に挙げますと、EV化に伴い、部品点数の集約によるコスト削減とともに部品自体の高強度化と軽量化、そしてそれによる電費向上を目的としてアルミニウム合金部品を一体成型するという動きが出ています。これに伴って金型が大型化し、加工される穴もより深くなるため、今後も深穴加工では、生産性や工具寿命、工具費などが課題になります。

本稿では、30Dを超える深穴加工において、高能率で安定した加工を可能にした油穴付き超硬ロングドリルADO-40D・50Dを紹介します。

◇ ADO-40D・50Dの特長

30Dを超える深穴の高能率・安定加工を実現したADO-40D・50Dの一番大きな特長は、新開発の

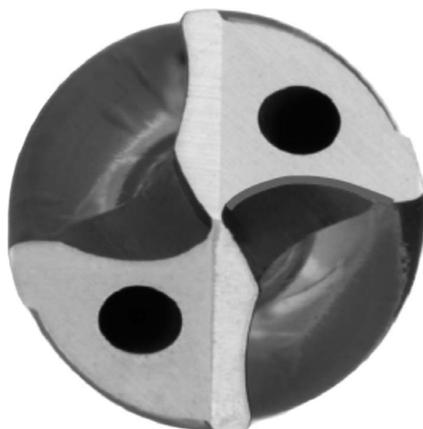


図 1 Rギャッシュ

Rギャッシュ (PAT) です。

このRギャッシュは、切りくずの排出が難しいドリル中心部におけるチップルームを大きく設計することで、中心部における切りくずの排出をスムーズにします。またCAE解析の活用などにより最適化した独自のR形状により、深穴加工で最もトラブルの原因となる切りくずの流れと形状をコントロールし、圧倒的な切りくず形状の安定性を実現しています。

従来型の超硬ツイストドリルにおいても細かく分断された切りくずを生成できますが、特に炭素鋼や合金鋼、ステンレス鋼といった各産業で使用される特殊鋼などの加工においては尻尾の長い切りくず、つながった切りくずなど、形状の不安定なものが混在します。これらの切りくずが深穴加工においては切りくず排出を阻害し、突発的な工具破損につながります。また、Rギャッシュでは切りくず形状の安定性に加えて、切削抵抗を従来工具比で30%程度も低減することができ、加工振動抑制や直進性の向上を実現しています（図2：事例紹介）。これらの特長により、30Dを超えるような深穴の加工においても、高能率で、安定した長寿命加工が可能です。

被削材	SCM420H
工具径	φ5
穴深さ	250mm (止まり)
切削速度	60m/min
送り量	0.20mm/rev、0.25mm/rev
加工方法	ノンステップ
切削油	水溶性切削油
希釈倍率	20倍
クーラント圧	7MPa
使用機械	複合旋盤
パイロット穴径	φ5
パイロット穴深さ	25mm

被削材	SCM440(82~90HRB)
工具径	φ3
穴深さ	120mm (止まり)
切削速度	80m/min
送り量	0.14mm/rev
加工方法	ノンステップ
切削油	水溶性切削油
希釈倍率	20倍
クーラント圧	3MPa
使用機械	横形M/C
パイロット穴径	φ3
パイロット穴深さ	15mm

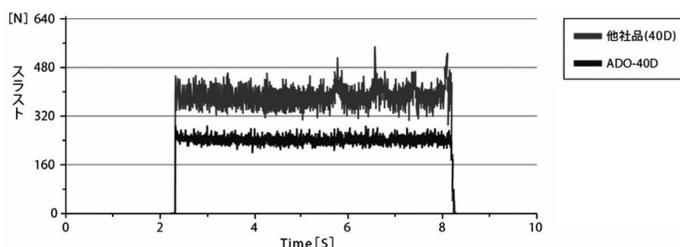
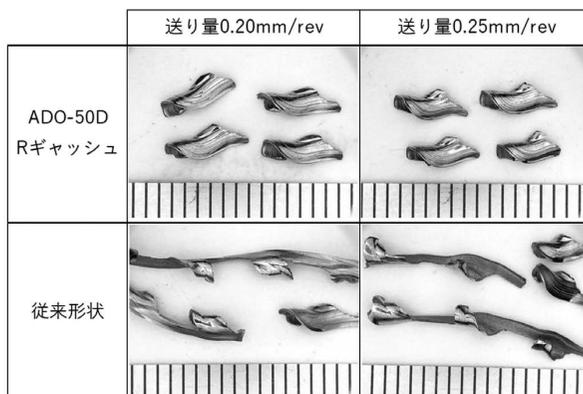


図 2 SCM材加工時の切りくず形状、及びスラスト抵抗比較

その他の特長としては、切りくずをよりスムーズに排出し、かつ突出しの長いボディの剛性を確保するための溝仕様です。チップルームとして機能する溝幅を大きくすることで切りくずの排出性を向上、それに加えてねじれ角を25°とすることにより、切りくず排出性を損なわずに、工具の剛性を確保しています。また、表面処理もドリル専用開発されたEgiAs（イージアス）コーティングを施しています。EgiAsコーティングは耐摩耗層とナノ周期積層を多層で組み合わせる構造により、従来のコーティングに比べてドリル加工時に発生しやすいクラックの伝播を抑制します。また硬層と軟層を組み合わせることにより、内部応力が緩和されることから耐摩耗性とじん性の両立を実現しています。

このように工具仕様、表面処理を含めた様々な要素が開発され、30Dを超える深穴加工においても、超硬ツイストドリルによる高能率で、安定した長寿命加工が可能となってきました。次にその加工事例を紹介させていただきます。

◇ 加工事例

従来から深穴加工で広く使用されるガンドリル、及び従来型超硬ドリル（他社品）に対して、深穴加工の工程数削減、高能率化、長寿命化を実現した事例を紹介します。

この穴径φ8、穴深さ391mmの加工では従来、パイロット穴加工→超硬ツイストドリル加工（深さ215mm）→ガンドリル加工（391mmまで）の3本の工具を使用していました。パイロット穴加工→超硬ツイストドリル（391mmまで）と2本の工具で加工した事例です。従来型の他社超硬ドリルでは加工不安定で、寿命も短く、2工程化が不可能でした。しかし、Rギャッシュを採用したADO-50Dを使用することにより、ガンドリルを使用した加工においては1穴約3分かかっていた加工が57秒に大幅短縮できました。さらに工具寿命もパイロット穴加工以降の長い距離を1本の工具で加工しているにも関わらず、従来の3工程で加工し

被削材 : SCM440 (生材)
 穴深さ : 391mm
 機械 : 横形マシニングセンタ (BT50)
 切削油 : 水溶性切削油
 希釈倍率 : 20倍
 クーラント圧 : 3MPa (ガンドリルの場合、7MPa)

項目	第一工程 (パイロット穴)	第二工程 (深穴)	第三工程 (深穴)
加工深さ	40mm	215mm	391mm
ガンドリル	使用工具	従来型超硬ツイスト(5D) φ 8 h8	従来型超硬ツイストロング(30D) φ 8 e8
	加工条件	V=60m/min、f=0.16mm/rev F=382mm/min	V=50m/min、f=0.12mm/rev F=239mm/min
	工具寿命	1250穴	200穴
従来型ツイスト ドリル使用	使用工具	従来型超硬ツイスト(5D) φ 8 h8	従来型超硬ツイストロング(50D) φ 8 e8
	加工条件	V=60m/min、f=0.16mm/rev F=382mm/min	V=70m/min、f=0.15mm/rev F=418mm/min
	工具寿命	1250穴	60穴以下 折損多発
ADOドリル使用	使用工具	ADO-5D φ 8 h8	ADO-50D φ 8 e8
	加工条件	V=70m/min、f=0.24mm/rev F=668mm/min	V=62.8m/min、f=0.30mm/rev F=750mm/min
	工具寿命	1750穴	256穴

ADO-50D φ 8 切りくず形状と256穴加工後の刃先損傷状況

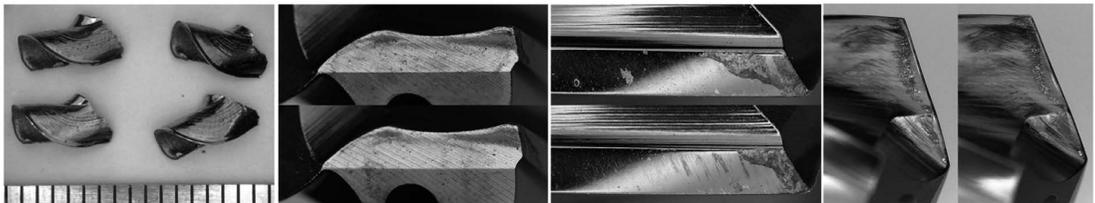


図 3 ガンドリル、及び従来型 (他社) 超硬ロングドリル 比較事例

ていた時の第2工程、第3工程、それぞれの工具
 に対して約1.3倍以上の穴数、2.5倍以上の切削長と
 大幅な寿命向上を達成しています。

このようにガンドリルや従来仕様の超硬ツイスト
 ドリルでは加工時間がかかる、突発的な折損が
 多い、寿命が短い、不安定といった問題が多か
 った30Dを超えるような深穴加工において、非常
 に安定した、高送り・長寿命加工を実現できるよ
 うになってきています。

むすび

上述した通り、今後も30Dを超える深穴加工、
 あるいは更に深い50Dを超える深穴加工におい
 て、従来のガンドリルから超硬ツイストドリルへ
 の切り替え需要が増加する可能性が考えられま
 す。今後もこういった需要に応えられるよう、継
 続して新しい工具、加工技術の開発に取り組んで
 いきます。

3. エンドミルとは

—基礎・種類と用途・進化—

株 M O L D I N O いわ た ま さ み
ソリューション営業部 岩 田 正 己

◇ ミーリング工具のなかのエンドミル

工具自身が回転する工具の種類をミーリング工具と呼ぶ。フライス工具、または回転工具、転削工具ともいう。旋削工具が、工作物（ワーク）が回転する工具であるのに対しての呼び方である。

ミーリング工具のなかには工具の底面方向にしか切れ刃が付いていないものがある。これが正面フライス工具で、底刃のみを有している。削り方としては平坦な面を加工していくものである。「エンドミル」とは、底刃（エンド刃ともいう）に加えて外周刃が付いたものである。工具の外周方向に切れ刃が付いているので、側面切削や溝切削が可能になる。エンドミルは多種の加工工法が採れる切削工具、ということもできるだろう。

以下、切れ刃部分の素材と把持するシャンク部分の工具素材が一体となった、「ソリッドエンドミル」を例に説明する。また、使用される工作機械の軸数X、Y、Zの3軸機を対象として、説明していくこととしたい。工具が工作物に対して位置を変えていく運動を送り運動という。この送り運動を縦横に使えるのがエンドミルの特長ということもできる。基本的には横送り運動（機械のXY軸を動かす）が主体になるのだが、底刃が中心まで達しているエンドミルでは縦送り運動（機械のZ軸方向に動かす）で切削できる工具もある。

◇ 刃部形状によるエンドミルの種類

切れ刃部分を刃部というが、この刃部形状によってエンドミルは何種類かに分かれる。それぞれ加工できる形状が違ってくる。工具の送り運動の方向、すなわち加工方法も異なってくる。

1. スクエア刃エンドミル

Square、英語で四角形を表す刃部形状を持ったエンドミルは、その名の通り、外周方向から見た

刃のシルエットが直角形の形をしている（写真1）。必然的に削った工作物もカドがある形になる。または垂直壁の荒加工、仕上げ加工もできる。溝切削、側面切削、突き加工（Z軸のマイナス方向に加工）などが可能な加工方法である。

2. ラジラス刃エンドミル

Radius、英語で半径Rを表している。底刃コーナがR（アール）状になっているエンドミルである（写真1）。3.で説明するボール刃と、スクエア刃の中間タイプということもできる。削った工作物のカドもRが残ることも容易に想像できるだろう。最終的に底Rを加工する用途のみならず、工具切れ刃コーナ部の欠損防止の観点からもRを付加したエンドミルということもできる。スクエア刃と同じく溝切削、側面切削が可能で、また底面仕上げ加工にも使われることも多い。

ラジラス刃エンドミルを説明する上でもう一つ重要なこととして、荒加工用途に適していることを挙げたい。この荒加工用途のエンドミルは、上の工作物のカドRを作製するエンドミルとは別アイテムとして発売されていることが多い。コーナR部の刃先強度を増し高能率荒加工に耐えられるような刃形を追求したものを、他と分けて「高送りラジラス」タイプということもある。

3. ボール刃エンドミル

Ball、英語では球形の形状を表している。先端刃（エンド刃）は外周側から見て半円状をしており、一般には、先端のボール刃とそれに続く外周刃で構成されている（写真1）。主切れ刃が単一のRで構成されているおかげで、工具半径R以上の曲率の曲面を持つほぼ全ての工作物を削ることがができる。

曲面部の加工や仕上げ加工が使用用途であり、強みを持っている工具であるが、反面、工具サイズと比較して大きなR切れ刃を持つエンドミルな

スクエア刃
エンドミル



ラジアス刃
エンドミル



ボール刃
エンドミル



写真 1 刃部形状によるエンドミルの種類

ので、ボール切れ刃が欠損しにくいのも特長の一つである。

◇ 進化していくエンドミル

ところで、エンドミルは回転して工作物を削り取っていく工具なので、ある一つの切れ刃部位は接触、非接触を繰り返す。このような切削形態を断続切削といい、常に（連続的に）接触している連続切削と比較して切削温度が上がりにくく、高速切削に向いていることが知られている。

1. コーティングや工具素材の進化

高能率を求めて高速切削が追求されるようになったこと、ワーク材料も金型寿命向上などを狙って硬い材料が増えてきたことがあって、エンドミルに被覆するコーティングが進化してきた。1990年代はTiNやTiAlNが主流であった。2000年代に入ると、TiAlNやAlCrNにSi等を含ませ、硬さと耐熱性を向上させたコーティングが登場し、高速切削性能をはじめ工具性能は著しく向上した。また、

工具素材の方も、cBNやPCD工具など現在では超硬合金以外の素材も使われるようになってきている。

2. 振動を抑えるための工具形状の進化

断続切削で問題となるのが振動対策である。丸棒であるシャンクを長く突き出して使う、あるいは深い溝部を彫り込む場合など工具突き出し量の長い加工では、特に切削振動が課題となる。この点についてもエンドミルは進化を遂げてきた。シャンク部と刃部の間を繋ぐ首部の剛性を持たせるために、形状的な工夫を行ってきた。

また、びびり振動の特性に注目し、「不等分割刃」という切れ刃と切れ刃の間隔を不等ピッチにするエンドミルも登場している。また、刃形状自体のなかで切削抵抗の変動を制御していく工夫も、様々な形でなされている。これらのエンドミルは切削中の異常振動を抑える効果があり、加工面品位が向上する。また、欠損や切れ刃のチッピングの発生を大幅に抑えることが実証されている。エンドミルは形状面でも大きな進化を遂げてきた。

V. 先端加工技術の紹介

1. ハードワーリング加工

小木曾工業(株) なが い た ろう
技術開発部 部長 永井 太郎

まえがき

当社は、1939年創業のみがき棒鋼メーカーであり、引抜・旋削・研削・高周波焼入・焼戻などの棒鋼製造技術を基盤とした社内一貫生産が特長である。特に研削技術ではボールねじに適した長尺高精度加工を得意としている。本稿では、当社が生産する切削ボールねじの加工技術である「ハードワーリング加工」について、その工法や特徴、適用例を設備ユーザーとしての視点から紹介する。

◇ ワーリング加工とは

Whirling (ワーリング) とは、ぐるぐる回る・回転する、といった意味の英単語である。図1にワーリングツールの写真と、各制御軸の概略図を示す。ワーリング加工は、内側に複数枚の刃物を取り付けたリング状のツール「ワーリングリング(以降、リング)」を高速回転させ、被削材に接触させることで切削が行われる「内刃断続切削加工」である。

送りねじを加工する際の具体的な加工方法を図1に沿って説明する。まず、A軸を回転させ、リングを加工する送りねじのリード角度に合わせる。次にリングをC軸中心に高速回転させる。この時、

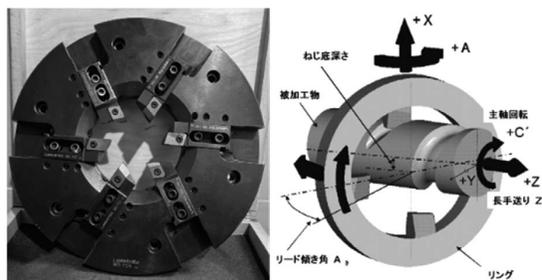


図 1 ワーリングリングと制御軸概略図

回転数はリング内側に取り付けた刃物の先端周速が被削材に適した切削速度となるように設定する。リングが回転した状態でリングをX軸マイナス方向(図1では下方向)へ移動することで切削が開始される。刃先が送りねじのねじ底に到達する位置までリングをX軸マイナス方向へ移動し、次に被削材をC軸回転させながらリングをZ軸マイナス方向へ移動させることで送りねじが加工される。この際、被削材のC軸回転数とリングのZ軸移動量は、送りねじのリード長さに合わせ同期制御する。加工機により、3m以上の長尺加工も可能である。一方でワーリング加工は素材外径精度が製品のねじ精度に直結する為、素材加工には精密研削技術が必要不可欠である。

◇ ワーリング加工の特徴

ワーリング加工の特徴は、被削材を問わず「1パス」で加工が完了することである。

旋盤などで行うねじ切り加工では、複数回の切削で徐々にねじを成形する。この場合、溝深さが深いほどパス回数が多くなる。また、リード角度が大きくなるにつれ、切削速度の確保が難しくなる。難削材や高硬度材では、むしろやビビリといった加工面の悪化や熱膨張による寸法ばらつきなど、高精度のねじを得ることは難しい。一方、ワーリング加工では、刃先がねじ溝の底に到達した状態から加工が進行する為、溝深さに依らず1パスで加工が完了する。図2に加工概念図を示す。

削り代はC軸回転数で決まり、その適正值は、被削材の材質や硬度で決める。鋼材を例にとると、焼入材では0.05mm/rev程度、非焼入材では0.1mm/rev程度である。焼入材加工にはCBNチップが使用される。断続切削の為、加工面は多角形状となるが、円弧軌道で切削するため凹凸は非常に微細

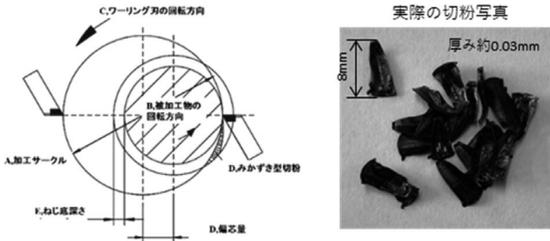


図 2 ワーリング加工概念図

である。また、切削速度はリング回転数によって任意に設定できる為、加工面のトラブルが発生しにくい。削り代が小さく、切粉が薄く短い断続切削であるため、切削水を使用しないドライ切削が基本である。

◇ ハードワーリングによるボールねじ加工

ここからは、当社のボールねじ軸製品を例に、焼入材を対象としたハードワーリング加工の特徴や利点を解説する。ボールねじは、送りねじ軸とナット、ボールの要素から構成される機械要素部品であり、主にモーターの回転運動を直線運動に変換する部品として使用される。ボールねじには、大きく分けて搬送用、位置決め用がある。ねじ軸の成型方法は、加工精度によって選択され、搬送用には主に転造加工、位置決め用には、ねじ研削加工が適用される。ここでは位置決め用ボールねじ軸の製造工程について、従来の製造工程とハードワーリング加工を活用した製造工程を対比しながら説明する。

図3にそれぞれの工程図を示す。どちらの加工工程でも、素材には引抜や旋削加工による「みがき棒鋼材」を使用し、耐摩耗性を向上させる為の熱処理（焼入・焼戻）が必要不可欠な工程となる。また、リード長さのばらつき（リード精度）が位置決め精度に影響する為、最終工程には精度の高いねじ研削加工が適用される。従来の工程では、旋削加工でねじ溝を成型した後、熱処理を行う為、



図 3 位置決め用ボールねじ製造工程

冷却の際の熱分布が不均一になり易く、熱処理歪み量が大きくなる。ねじ研削工程では、数回から数十回の研削により歪みを修正することになる。一方、ハードワーリング工程では、ねじ成型前に熱処理を行う為、歪み量が少なく、矯正も容易である。ねじ研削回数は従来工程より大幅に削減できる。また、用途によっては、ねじ研削工程を省略することも可能である。

むすび

ハードワーリング加工について、工法と特徴、適用例について紹介した。ワーリング加工は、幅広く普及した技術ではないが、用途によっては工程を大幅に短縮することができる画期的な技術である。

今回紹介した内容がワーリング加工方法への理解の一助となれば幸いです。

謝 辞

本稿の執筆に当たって、資料を御提供頂いた、株式会社ライストリツ日本 古蔵 様に深く感謝を申し上げます。

2. 最新ワイヤ放電加工技術による加工事例

三菱電機㈱ 産業メカトロニクス製作所 ちか ひさ こういちろう
放電システム部電気制御設計課 近 久 晃一郎

まえがき

電気自動車（EV）の販売台数は2023年から30年までに170%以上増加すると予想される。自動車産業は放電加工機における最大市場であり、自動車のEV化に伴う部品構成の変化に放電加工機の機能も追従する必要がある。

EV化に伴い、モータの高効率化、摺動部品（歯車等）の静穏化のための金型精度の高精度化が要求される。また車重軽量化のため電子部品、樹脂部品が増加しプラ型、微細プレス型の生産性向上が要求される。

本稿ではこれらの要求に応えるための、微小なコーナ、ノズル離れ加工における最新の加工制御とその加工事例について紹介する。

◇ 微小なコーナの加工における課題と対策

ワイヤ放電加工機ではワイヤ電極の線径が大きくなるほど加工速度が向上するが、インコーナの径によってワイヤ電極の線径が制限されてしまう。そのため、ワイヤ放電加工機では可能な限り大きな線径で小さなインコーナを加工することが要求されるが、ワイヤ線径以下の微小なコーナ^{※1}を高精度に加工するためにはユーザによる加工条件の調整が必要となる。

※1 水仕様加工機におけるワイヤ線径以下のコーナを微小なコーナと定義

これらの課題を解決するため当社ではインコーナの径によらず形状の加工が可能な“Maisart制御（コーナ）”を開発した。

本制御では三菱電機独自のAI技術である“Maisart（マイサート）”を使用することで、コーナ部加工中の放電発生確率をモデル化し電気エネルギーや加工速度をコーナの形状に合わせて最適に調整する。

図1 上段はギア用鍛造型を想定した加工サンプルである。Maisart制御（コーナ）により $\pm 2\mu\text{m}$ 以下の高精度な形状加工が可能であることが分かる。

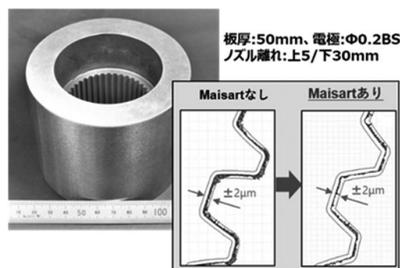
◇ ノズル離れ加工における課題と対策

ワイヤ放電加工機では、切削での前加工により工作物の板厚変化、ザグリがある場合や、固定治具、工作物との衝突回避の必要がある場合に、加工液ノズルがワーク上面（下面）から離れた状態で加工を行うノズル離れ加工が一般的である。しかしワークとノズルの位置関係は加工精度と密接に関係しており、ユーザによる試し加工と加工条件の調整が必要となる。

これらの課題を解決するため当社では板厚やノズル離れ量によらず高精度加工が可能なる“Maisart制御（ノズル離れ）”を開発した。

本制御では三菱電機独自のAI技術である“Maisart”を使用することで、加工中の極間電圧、放電周波

Maisart制御(コーナ)



Maisart制御(ノズル離れ)

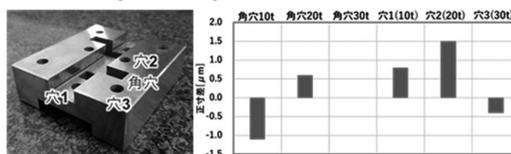


図 1 加工事例

数やその変化等から板厚に加えてノズル離れ量を推定し電気エネルギーや加工速度を状態に合わせて最適に調整する。

図1下段はコネクタ用プレス型を想定した加工サンプルである。Maisart制御（ノズル離れ）により、試し加工や加工条件を切替えることなく $\pm 2\mu\text{m}$ 、 $\text{Ra}0.2\mu\text{m}$ の高精度加工が可能であることが分かる。

む す び

ワイヤ放電加工機はEV化に伴い高精度化、生産性向上が要求され、当社はMaisartを活用した加工技術により課題を解決した。今後もユーザーニーズに継続的に応えるべく、新技術と製品開発に取り組んでいく所存である。



VI. 切削加工に対する会員メーカーの取り組み

● フジオーゼックス(株)

エンジンバルブの穴明加工

まえがき

当社は大同特殊鋼(株)のグループ会社でエンジン部品の製造・販売を行っております。主要製品であるエンジンバルブは、エンジンを自動車の心臓に例えるなら、心臓内部にある弁のような部品であり、シリンダ内の吸気口と排気口に設置されて、常に高速で開いたり閉じたりして空気と燃料の流入や燃焼ガスの排出をコントロールしています。材質はエンジン稼働時の約800℃に耐えられる強度が必要なため、主に耐熱鋼が使用されております。エンジンバルブの種類としては、材料を鍛造・熱処理・研削・表面処理した中実バルブが主流ですが、近年のエンジンの高効率化に伴い、エンジンバルブは更に高温に曝されるため、冷却性能に優れた中空バルブの需要が高まっております。中空バルブには軸部のみ中空の軸中空バルブと傘部まで中空の傘中空バルブがあります(図1)。中空内部に低融点であるナトリウムを封入し、エンジン回転時の上下運動によるシェイキング効果により、熱をバルブ傘部から軸部およびシリンダヘッド側に積極的に逃がすことで冷却性能を高めております。また、中空形状にすることにより、軸中空バルブでは約10%、傘中空バルブでは約17%それぞれ軽量化され(燃費の向上も図られ)ます。今回は中空バルブの穴明加工についてご紹介いたします。

	中実バルブ	軸中空バルブ	傘中空バルブ
仕様	中実	中空部 ナトリウム	中空部 ナトリウム
諸元	材質 耐熱鋼・Ni基合金 用途 自動車・建機・船用	材質 耐熱鋼 用途 自動車	材質 耐熱鋼 用途 自動車

図 1 エンジンバルブの主な仕様

◇ 特徴

当社の中空バルブに使用される材料は主に軸中空バルブはSUH35、傘中空バルブはSUH38でいずれも難削材です。

中空バルブの軸部内径は両者ともに主力製品では約φ3ですが、製造方法は異なります。以下に代表例をご紹介します。軸中空バルブは外径φ5.5~6.0の軸部にφ3.0のガンドリルで深さ約50~60mmの深穴加工を行いますが、傘中空バルブは外径φ12.5の軸部にφ10.5のツイストドリルで深さ約30~40mmの穴明加工し、その後冷間鍛造にて軸部内径をφ3.2mmに成形します。

図2に各中空バルブの穴明加工に用いるドリルを示します。

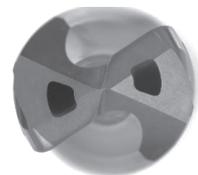
ドリル寿命は両者ともに、刃先形状、コーティングの種類により大きく影響を受けるため、設備の主軸モータの電流値を参照し、これらの最適化を行っております。当社では使用済みドリルの再研磨加工も社内で行っており、エンジンバルブ穴明加工に最適な刃先形状に再加工しドリル寿命の延長を追求しております。

また、穴明工程の改善については、近年IoT技術を活用し、穴明加工機主軸モータの電流値を常時監視することにより、ドリル寿命やドリル折損の予測に取り組んでおります。これらにより得られたビッグデータやAIを活用することで、穴明加工の更なる高効率化を目指しております。

〔フジオーゼックス(株) くしま こうじ
生産技術部 部長 久島 晃二〕



a. φ3.0 ガンドリル



b. φ10.5 ツイストドリル



a. 軸中空バルブ用φ3.0 ガンドリル



b. 傘中空バルブ用φ10.5 ツイストドリル

図 2 穴明加工に用いるドリル

高速度工具鋼オリジナル鋼種

まえがき

当社は1928年、創業者の「機械工具分野の自立こそ日本の産業を発展させる基礎である」という信念のもと、ハクソーという金切鋸刃から切削工具メーカーとしてスタートし、1938年に製鋼部門を立ち上げた。製鋼部門は不二越マテリアル事業部の前身であり、今まで、工具の開発とともにその素材である高速度工具鋼について独自の開発を進めてきている。今回、当社高速度工具鋼のラインナップと近年開発した新鋼種について紹介する。

◇ 高速度工具鋼のJIS鋼種

高速度工具鋼で最もスタンダードな鋼種はJIS SKH51 (6W-5Mo-2V) である。SKH51はドリル、タップ等に幅広く使用され、溶解により製造される高速度工具鋼JIS鋼種の中で最も韌性に優れる。次にSKH51に対し耐熱性を高めたSKH55 (6W-5Mo-2V-5Co)、更に耐摩耗性を高めたSKH59 (2W-10Mo-1V-8Co)、粉末冶金にて製造し韌性を最も高めたJIS SKH40 (6W-5Mo-3V-8Co) 等が標準的な鋼種として流通している。

一方、様々な工具に求められる切削性能に対して一般の高速度工具鋼 JIS鋼種の材料特性では不足する場合がある。当社はJIS鋼種の持つ性能から、更に工具の種類にあわせて成分設計を見直し改良することで、各種特性に優れたオリジナル鋼種を製造販売している。当社の高速度工具鋼の特性による位置づけを図1に示す。

◇ 当社オリジナル鋼種

切削工具に要求される特性に応えるため、過酷な環境に耐えることのできる高速度工具鋼を開発してきた。歯切り、穴あけ、金型の切削加工に求められる工具へは、耐熱性および耐摩耗性に優れたHS97Rを推奨する。この鋼種はSKH56 (6W-5Mo-2V-8Co) の改良鋼で、W、Mo、Coの添加量を高めている。また、SKH55 (6W-5Mo-2V-5Co) の改良鋼であるHS53MはW、V添加量を高めた耐摩耗性に優れる鋼種である。

SKH40などの粉末ハイスの耐摩耗性を向上させるには、Vが主体で硬質なMC炭化物をわずかに粗く分布させる必要がある。このような組織へコントロールするために真空溶解の技術を活用したDURO-SPがあり、比較的高級な切削工具用途に提案している。

タップ、ネジ切り工具は韌性や耐摩耗性が必要なことから、SKH51よりMoやVを増やしたHMT12、真空溶解技術により耐摩耗性と韌性を高次でバランスさせたHMT12Vを推奨する。

また、歯切りおよび切削性能の高い材料として、当社材で最も硬く耐摩耗性に優れるHS90がある。HS90は高速度工具鋼の溶解材としては最高レベルの1,000HVを出すことができる鋼種である。

むすび

最近の金型材は長寿命化を進めるため、より硬く粘り強い材種が使用されている。それらを切削加工する工具の寿命を高めるため、材料にもまた更に厳しい高性能が求められる。私たちが工具部門の要求に応えながら鋼種開発を進め、性能で市場のニーズに応えていく。

〔(株)不二越 マテリアル事業部 企画部 製品企画 中谷 理恵〕

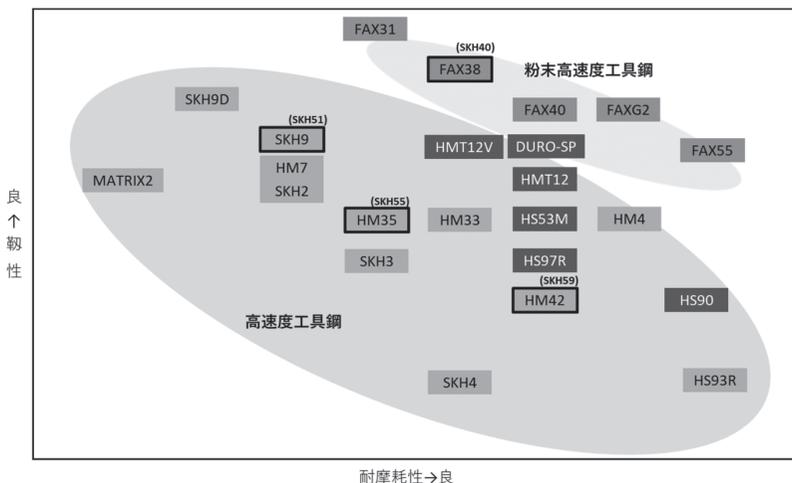


図 1 不二越の高速度工具鋼 特性による位置づけ

● (株)プロテリアル

被削性に優れる 新冷間ダイス鋼「SLD-f」

持続可能な社会への転換が叫ばれる中、自動車業界においては電動化が加速的に進みつつある。日本政府も「グリーン成長戦略」の中で、2035年までに新車乗用車の100%を電動車にすることを目標としている。このような背景から、バッテリーにより重量増となる電動車の燃費（電費）向上のために車体軽量化が強く求められている。自動車骨格部品（プレス部品）においては軽量化と衝突安全性の向上のため、高張力鋼板の適用拡大が進んでいる。使用される高張力鋼板は、より高強度化していることから、加工時に金型へ与えるダメージが深刻な問題となっている。また、脱炭素の社会的要求に伴う電力量低減への対応や、人手不足・働き方改革に伴う生産性向上も大きな課題である。金型製作においてもコスト低減やリードタイム短縮が求められており、金型製作工程の効率化は重要な課題となっている。

これらニーズの高まりに応じて、当社では新たな冷間ダイス鋼「SLD-f」を開発した。SLD-fは、ベラーグと称される、切削中の工具表面に形成される酸化物系皮膜を生成させやすい成分構成に調整するとともに、炭化物の微細化・低減を図っている。

図1に、金型の焼なまし材の切削加工における標準的な条件（切削速度 $V_c = 92\text{m/min}$ ）と、高速切削条件（ $V_c = 400\text{m/min}$ ）で加工したときの切削距離と工具摩耗の関係を、マトリックス系ダイス鋼との比較で示している。マトリックス系ダイス鋼では、切削距離30m時点で0.125mmの工具摩耗に対して、SLD-fでは、60mまでほとんど摩耗せず、120m時点でも0.049mmと、比較材の半分以下の摩耗に留まった。高速切削条件では、切削距離100mで工具摩耗が0.107mmと、比較材の標準条件よりも摩耗が少ない結果を示した。切削中のベラーグ形成による潤滑効果と、炭化物が微細かつ少ないことによる工具刃先へのダメージ軽減効果によって、大幅な工具摩耗の低減と、高速切削を可能としている。

また、このSLD-fは焼なまし材だけでなく、熱処理後60HRC級の硬さにおいても良好な被削性を示す¹⁾。熱処理後の良好な被削性の活用として、当社は60HRC級プリハードン材の使用を提案している。これにより、熱処理工程と、熱処理後の歪み調整作業を省略することが可能となり、金型製作における生産性改善に効果が期待できる。SLD-fのプリハードン材は、既に複数の需要家で採用されている。

被削性のよいSLD-fだが、金型として使用される場合においても、炭化物が微細で少ないことは、耐チップング性の改善に有効に働く。また、PVD処理を考慮した高い焼戻温度でも60HRC以上の硬さが得られるように成分設計されており、PVD膜の密着性向上にも寄与する。

本稿では、SLD-fの良好な被削性について紹介した。SLD-fは金型の作り方を変え、カーボンニュートラルや生産性などの課題解決に貢献でき得る材料であると考え。当社は今後も、需要家のさまざまなニーズに応えるべく、最適な金型材料の開発を進める。

※SLDは(株)プロテリアルの登録商標です。

参考文献

1) 阿部：型技術、vol. 38、No. 3、(2023)、p 28-31

〔(株)プロテリアル 村崎 たくや
特殊鋼事業部 工具鋼部〕

加工機械	MAKINO製 GF6 最高回転数:8,000min ⁻¹							
被削材	SLD-f、マトリックス系冷間工具鋼 焼なまし材 T250 × W165 × L250							
ホルダ	MOLDINO製 TR4F4063B-5 (Φ63mm)							
インサート	MOLDINO製 SDNW120520TR/GX2140							
切削条件	切削速度 V_c (m/min)	1刃あたりの送り量 f_z (mm/刃)	回転数 n (min ⁻¹)	刃数 z (pcs)	テーブル送り量 V_f (mm/min)	切込み ap (mm)	切削幅 ae (mm)	切削排出量 Q (cm ³ /min)
標準条件	92	1	465	1	465	1	42	19.53
高速条件	400	1	2021	1	2,021	1	42	84.88

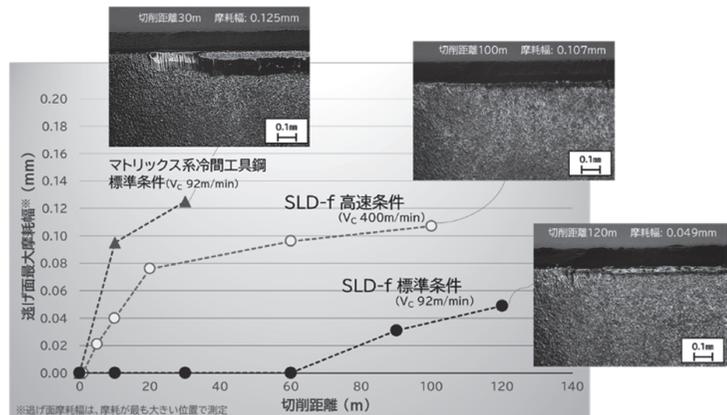


図 1 焼なまし材の切削加工評価結果

業界のうごき

UEX、伊勢原にファイバーレーザ導入 平鋼成形機の能力増強も

UEXは生産性向上を狙いに、伊勢原スチールサービスセンター（神奈川県伊勢原市）のCO₂レーザ切断機4基のうち1基をファイバーレーザに更新する。2023年度下期にアマダ製の10KWファイバーレーザを導入予定で、投資額は1億2,000万円。ファイバーレーザの導入は同社初となる。

2023年度の主な設備投資としては、伊勢原スチールサービスセンターの平鋼成形機の能力増強のため2,200万円の追加投資も行う。切断機については三島スチールサービスセンターでバンドソー2台を更新し、東北支店でメタルソー、九州支店でバンドソーを更新する。システム関連では基幹システム更新などに8,800万円を投じる。投資総額は4億5,800万円になる。

2023年度の単独のステンレス販売については販売単価102万5,000円、販売数量4万4,400トン、日当たり在庫販売105トンの見通しとしている。

(6月9日)

佐久間特殊鋼、国内拠点の機能強化 大規模修繕計画を策定

佐久間特殊鋼は国内拠点の機能強化に向けた取り組みを始動する。複数年にわたる建屋、設備などの大規模修繕計画を初めて策定し、緊急度の高い案件から順次着手する。ハード整備を通じて作業安全性を高めBCP対策を強化するとともに、より働きやすい職場の構築をめざす。

これまで倉庫の屋根や壁、備品類に不具合が生じた際は都度対応してきたが、各拠点で設備の老朽化が進みつつあり、5年程度のスパンで国内拠点のリニューアルを進めることを決めた。対象となる5拠点（本社、浜松・三重・関東・西尾各支店）に

ある建屋、備品の現状を詳細に調査した上で、緊急度に応じて4段階に分類。設計士の資格を持つベテラン社員が計画を立案し、近く各所での修繕を始動する。

緊急度の高い修繕は今年度内にすべて実施する予定。また今夏には間接部門が入る本社2階をフリーアドレス化する。

(6月21日)

大同DMS、ベトナムで工場移転 工具鋼の熱処理・表面処理も開始

大同DMソリューションはベトナムで新工場を開設し、新たに熱処理・表面処理を開始する。ベトナム現地法人は2030年の売上高で20年比増を目指す。インドでは3カ所目となる工場を8月に開設する。一方、メキシコやインドネシアでは一部拠点を閉鎖。成長の見込める地域、事業に投資を集中する海外戦略を推し進める。

ベトナム現法は大同特殊鋼との合弁。北部と南部に工場があり、北部の工場が手狭となったため拡張移転する。増資も行い、資本金を4億6,400万円（大同特殊鋼76%、DDMS24%）にした。

新たに建設した北部工場は、建屋面積が3,600平方メートルで従来の3.2倍。敷地は1万平方メートルあり、今後の需要動向次第では工場の増設を検討する。5月初旬までに旧北部工場から在庫や切断機を移設し、稼働している。熱処理・表面処理設備は新たに導入し、今年度上期中に稼働に入る予定。

(7月18日)

辰巳屋興業、大阪営業所の機能強化 事務所・倉庫建て替え完了

辰巳屋興業は、鋼材部の基幹拠点である大阪営業所（大阪市西淀川区）の機能強化を図った。先月末までに約4,600平方メートルの敷地内で新たな事務所棟、倉庫の建設を完了し、

9月をめどに本稼働する。安全で働きやすい環境を構築するとともに、従来以上に作業効率を高めてさらなる鋼材扱い量増加を狙う。総投資額は約11億円。

大阪営業所は特殊鋼・ステンレスの丸棒・線材・形鋼を、外部倉庫を含めて約5,000トン在庫し、幅広いユーザーに定尺販売する。新設した倉庫は鉄骨ブレース付きラーメン構造の平屋建てで、建屋面積は約2,500平方メートル。旧倉庫と同等の広さだが、クレードルシステムを導入し生産性を向上させ、製品ハンドリング時の疵発生防止対策を強化した。

地上3階建て・鉄骨ラーメン構造の事務所棟は延べ床面積約800平方メートル。

(7月5日)

中島特殊鋼、設備増強を推進 車向け製品切断・加工機能強化

中島特殊鋼は自動車向け製品の生産体制強化を図る。北崎IC工場で今月超硬丸鋸切断機2基を新規導入したほか、8月にCNC精密自動旋盤を3台増設する。秋口には新たなタイプの切断機を設置する予定で、ユーザーの精度要求や増産要請への対応力に磨きをかけ、需要の広がりに合わせて加工実績の拡大を図る。

レイアウト変更を行った上で、仕様変更を行った津根精機製超硬丸鋸切断機2基を導入した。ステンレス、特殊鋼素材の棒鋼を切断する。北崎IC工場の切断機は35台体制となり、月間切断能力は400万台前半まで高まった。9月に新タイプの切断機1台を新設し、既存設備を別工場に移設する方針。

切削やねじ切りなどを伴う品番が増え、秋以降新型車向け部品の生産が始まる見直しにあることから、機械加工部門も増強。第三工場に置くCNC精密自動旋盤の同型機を8月に3台追加で設置する。

(6月28日)

業界のうごき

野村鋼機、関東SCに太丸倉庫新設 「物流の2024年問題」対策で増員

野村鋼機は、今期（2024年3月期）の設備投資として関東スチールセンター（茨城県稲敷市）の増設を予定する。既存の倉庫が手狭なため、作業効率改善を目的に約3,300平方メートルの倉庫を新設する。大径丸棒の専用倉庫とし、元の倉庫は小中径丸棒専用とする予定。また来期以降に同規模の倉庫をさらに1棟新設するとしている。切断機は関東スチールセンターで1台、関東テクノセンター（群馬県前橋市）で3台更新する。

また「物流の2024年問題」に向けた取り組みとして、現場作業員を3人増員する。現在繁忙時のみ行っている2直体制を常時化し、積み込み体制を強化。従来運送業者が行っていた積み込み作業を負擔し、運送業者側の人員増と併せて運転手の労働時間削減につなげる。

なお7月15日付で新潟営業所を閉鎖する。業務は前橋支店が引き継ぐ。
(6月14日)

ヤマト特殊鋼、山形第三工場が本稼働 精密機械加工、ロボ導入で自動化

ヤマト特殊鋼は山形県天童市に機械加工工場を新設し、4月中旬から本稼働を開始した。山形県では第一工場（東根市）、第二工場（天童市）に続く第三工場で、建産機・工作機械関連を中心とした機械設備部品向けの金属加工を行う。竣工式は9月28日を予定している。

現在はCNC旋盤2台、ガントリーローダー付CNC旋盤4台、複合旋盤5台、ロボット付複合旋盤1台、ガントリーローダー付複合旋盤2台が稼働し、機械構造用鋼を中心に各種特殊鋼材の丸鋼を主に加工している。その他に材料の自動供給を行う産業ロボット2台、協働ロボット2台が

稼働しており、工程の多くを自動化している。

新工場では鋼材在庫は持たず、第二工場で切断した材料を加工する。また手狭だった第二工場から一部機械を移設し、空いたスペースでラインの効率化を行うなど、山形地区の3工場全体での効率化・能力増強を図る。
(7月14日)

リントツ、加工拠点でサマータイム 社員の健康増進、働きやすさ追求

リントツは6月16日からの3か月間、2加工拠点の工場勤務者を対象にサマータイムを導入する。社員の健康増進を図るとともに、働きやすい職場を追求して作業効率化を進めて、安定供給体制をより強固なものとしていきたい考えだ。

同社は昨年、半田ステンレス加工センターと潮干コイル流通センターでサマータイムを採り入れた。始業および終業を1時間早めて勤務時間を7時30分～16時30分としたことで、より涼しい環境で働くことができる、通勤時の渋滞を避けられる、プライベートの時間をより確保できるなどの効果があった。エアコン運用時間の短縮による節電、製品の積込時間短縮といった業務改善も実現したという。

社員にヒアリングした結果、今年もこの制度の採用を希望する声が9割以上に上ったため、継続実施することにした。
(6月14日)

秋山精鋼、前期売上高は96億円 今期、越子会社で細物磨棒鋼強化

秋山精鋼の2023年3月期単独売上高は前期比1%減の約96億円で売上数量は同15%減だった。設備投資はシステム更新のほか、ファイルサーバを刷新し、BCP対応としてクラウド化を行った。投資額は合わせて3億円超だった。

今期は売上高93億円を見込んでお

り、エネルギー費や人件費など諸経費上昇分の価格転嫁に注力する。設備投資は石岡工場の太径伸線機を老朽化更新する（約2億円）ほか、同工場の素材倉庫の建て替えを行っており（3億円弱）、完工は今年9月を予定している。

ベトナム子会社では主力のHDD需要が激減していることから、他分野の需要を捕捉するため細物の対応力を強化する。新型コロナウイルス感染症による渡航制限の影響で遅れていたが、昨年伸線機を1台導入した。中国の東莞秋山精鋼は2022年末で生産を終了しており、今期中に清算処理を済ませる予定。
(7月4日)

神戸製鋼の低CO₂鋼材が採用拡大 自動車用特殊鋼線材でも

神戸製鋼所の低CO₂鋼材「コベナブル・スチール」が自動車用特殊鋼線材で採用された。コベナブル・スチールは昨年の市場投入以降、自動車用鋼板、建築用鋼板、船舶用鋼板などで採用されてきたが、線材では初。

トヨタ自動車の競技車両「GR86」のエンジン部品締結ボルトとして採用された。低CO₂というコンセプトに加え、品質の高さが評価された。ボルト製造は青山製作所（愛知県・大口町）。

神鋼は2022年にコベナブル・スチールを市場投入。製造工程でのCO₂排出削減実績を製造・販売する鋼材に割り当てるマスパランス方式を採用しており、すでに複数の顧客への供給実績がある。今回採用された線材は、CO₂削減100%に相当する「コベナブル・プレミアム」。非調質ボルト用鋼を使用しているため、焼鈍、調質が不要となるなど鋼線・ボルト製造工程でのCO₂排出削減にも貢献する。
(7月5日)

山陽特殊製鋼、工具鋼で新販価方式 合金原料サーチャージ制を改定

山陽特殊製鋼は、工具鋼の合金原

業界のうごき

料に関するサーチャージ制を見直し、7月納入分から新方式に移行する。すべての工具鋼製品が対象で、変化の激しい合金コストを適正に販価に反映する方式に変更する。

主要な合金原料について直近10年間の市況に基づいて基準価格を設定する。足元の合金原料市況と基準価格の差額分を算定し、3カ月ごとに工具鋼の販価に反映する。鉄スクラップやエネルギー、諸資材価格の変動は必要に応じて販価に反映する。

同社は2005年から工具鋼の販売価格にサーチャージ制を導入している。従来は一定期間における合金原料の市場価格が基準価格を上回った場合、それを販価に反映していた。しかし、最近はモリブデン・バナジウム・タングステンなどの市況が短期間で急激に変化し、従来の運用では合金コストの上昇分を実質的に同社が負担する割合が増えていた。(6月14日)

大同特殊鋼、新SUS系粉末を開発 3Dプリンタ製プラ型用

大同特殊鋼は3Dプリンタ用金属粉末「DAP-AM」シリーズで、新たにプラスチック射出成形金型に適したステンレス系粉末「LTX420」を開発した。日本、米国、中国、韓国、欧州で特許出願済み。8月から販売を開始する。

耐食性や耐摩耗性が求められる金型に適した高硬度が得られるSUS420J2の成分を改良し、SLM方式(レーザ溶融による積層造形)に適した合金組織に調整したことで、120度予熱でも造形時に発生するひずみは大幅に低減する。これにより、造形中の割れを防ぐために必要とされてきた特殊処理が不要となり、150ミリ角を超える大型品も造形できるようになる。造形品の性能や製造性は従来のSUS420J2系金型材料と同等。

プラスチック射出成形分野では、

サイクルタイム短縮や成形品の品質改善を目的に、水冷孔を自由に配置できる3Dプリンタ製金型の使用事例が増加している。(7月21日)

日本製鉄、棒線二次加工会社を再編 松菱金属、日鉄精鋼、日鉄鋼線を統合

日本製鉄は、グループの磨棒鋼・冷間圧造用(CH)鋼線メーカーを再編する。松菱金属工業、日鉄精鋼、日鉄鋼線の3社を10月1日付で経営統合し、「日鉄プロセッシング」を発足させる。自動車関連向けが大半となる特殊鋼の棒線二次加工において経営資源を集中し、カーボンニュートラルや自動車EV化など外部環境の変化に対応して技術開発力を強化し、営業力を高める。

松菱金属工業を存続会社とし、本社は日鉄精鋼の本社がある大阪府堺市に置く。日鉄が過半を出資し、出資比率の詳細は3社に出資する商社らと協議する。統合会社の製造拠点は全国規模の10拠点となる。月間の販売数量(磨棒鋼、CH鋼線、素形品)は約4万トン、年間売上高は約700億円で、国内最大の棒線二次加工メーカーが誕生する。

統合によってBCP対応や生産の上方弾力性、物流2024年問題への対応に向けたデリバリー面などでもシナジーが見込める。(6月6日)

プロテリアル、新モータを試作・評価 フェライト磁石をxEV駆動に適用

プロテリアルは、量産フェライト磁石として世界最高レベルの磁気特性を持つ「NMF-15」を適用したモータを試作し性能評価を行った結果、xEV駆動モータに適用可能な100kWを超える最大出力が得られることを確認した。昨年12月にフェライト磁石モータを最適設計化することでネオジム磁石モータと同等の出力が得られることをシミュレーション

で確認したと公表していた。ユーザーの資源リスク軽減やコスト抑制に寄与する選択肢を複数用意することで、xEV分野の磁石に対する幅広いニーズに 대응していく。

15材を適用したラジアルギャップモータのロータを設計・製作し、既存の電磁鋼板製コアを用いたステータと組み合わせた実機で評価を行った。ネオジム磁石モータより高速回転させることで、最大出力はネオジム磁石モータの110kWにほぼ匹敵する102kWを測定した。磁石重量は2割増えるがモータ重量は変わらない。

(7月25日)

三菱製鋼グループ、新規事業を検討 洋上風力発電関連で係留チェーンなど

三菱製鋼は、洋上風力発電の関連分野で三菱製鋼室蘭特殊鋼(MSR)、三菱長崎機工などグループ各社の総合力を生かし、素材から製品までの一貫体制を構築し、需要捕捉に注力する方針だ。MSRで10~15MW級風車に対応する係留チェーン向けの特殊鋼棒鋼供給を視野に入れるとともに、係留チェーン製造合弁の設立も検討する。三菱長崎機工は洋上風力発電の構造躯体用途に対応できる大型CNCベンディングロールを本社工場に導入し、2025年に稼働する予定。

大型の10~15MW級風車に対応する係留チェーンは直径160ミリ径以上になる。現在は国内でこのサイズを製造できる製鎖メーカーはいないが、国を挙げた洋上風力関連事業の育成・強化においてこの分野も重要な役割を担う。

三菱長崎機工は既存のベンディングロールが老朽更新期を迎えたのを機に、スピードアップによる生産性向上や大型化対応を狙いにして超大型機種を導入する。(7月21日)

文責：(株)鉄鋼新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他			
'21 暦年	221,395	4,709,058	3,726,591	8,435,649	374,891	987,441	2,578,832	580,434	4,875,054	493,548	9,890,200	18,547,244	
'22 暦年	206,094	4,161,155	3,482,662	7,643,817	318,691	838,284	2,439,490	475,955	4,516,055	447,854	9,036,329	16,886,240	
'21 年度	227,889	4,669,266	3,691,309	8,360,575	359,466	975,524	2,584,063	571,328	4,747,315	487,191	9,724,887	18,313,351	
'22 年度	182,740	4,012,556	3,357,873	7,370,429	311,005	793,313	2,311,937	456,157	4,507,723	423,410	8,803,545	16,356,714	
'22. 7-9月	46,999	996,288	849,948	1,846,236	76,617	200,068	638,774	115,906	1,146,735	101,301	2,279,401	4,172,636	
10-12月	45,737	1,028,575	867,133	1,895,708	81,250	198,823	583,243	109,666	1,100,806	110,258	2,184,046	4,125,491	
'23. 1-3月	35,338	984,492	785,333	1,769,825	74,388	175,694	493,810	111,681	1,125,730	97,788	2,079,091	3,884,254	
4-6月	38,246	952,827	846,719	1,799,546	76,517	188,980	495,423	106,383	1,144,291	89,220	2,100,814	3,938,606	
'22年 5月	17,608	333,873	300,345	634,218	24,043	71,240	196,022	41,215	394,593	38,242	765,355	1,417,181	
6月	18,272	330,109	263,815	593,924	27,546	76,380	199,987	37,009	354,900	37,872	733,694	1,345,890	
7月	16,090	320,424	296,553	616,977	25,760	73,427	209,409	40,154	363,507	32,149	744,406	1,377,473	
8月	15,308	329,391	274,061	603,452	22,611	62,534	222,303	36,578	401,647	35,116	780,789	1,399,549	
9月	15,601	346,473	279,334	625,807	28,246	64,107	207,062	39,174	381,581	34,036	754,206	1,395,614	
10月	16,490	357,381	301,222	658,603	28,608	68,094	190,015	38,150	372,924	41,187	738,978	1,414,071	
11月	15,324	345,164	300,086	645,250	26,549	68,296	197,861	34,586	384,759	35,699	747,750	1,408,324	
12月	13,923	326,030	265,825	591,855	26,093	62,433	195,367	36,930	343,123	33,372	697,318	1,303,096	
'23年 1月	10,758	331,191	262,466	593,837	23,487	64,599	164,079	34,868	387,230	32,249	706,512	1,311,107	
2月	12,306	321,354	252,217	573,571	26,558	57,958	162,938	36,468	334,507	31,260	649,689	1,235,566	
3月	12,274	331,947	270,470	602,417	24,343	53,137	166,793	40,345	403,993	34,279	722,890	1,337,581	
4月	14,111	294,106	274,535	568,641	24,121	56,801	158,871	31,869	341,088	27,530	640,280	1,223,032	
5月	12,338	328,136	301,747	629,883	24,464	63,799	163,134	36,763	416,512	32,096	736,768	1,378,989	
6月	11,797	330,585	270,437	601,022	27,932	68,380	173,418	37,751	386,691	29,594	723,766	1,336,585	
前月比	95.6	100.7	89.6	95.4	114.2	107.2	106.3	102.7	92.8	92.2	98.2	96.9	
前年同月比	64.6	100.1	102.5	101.2	101.4	89.5	86.7	102.0	109.0	78.1	98.6	99.3	

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'21 暦年	278,898	6,065,226	856,955	3,846,183	1,081,675	6,422,384	18,551,321
'22 暦年	293,422	5,401,742	1,019,267	3,386,987	1,083,496	5,701,276	16,886,190
'21 年度	286,265	6,050,584	877,842	3,749,037	1,115,176	6,239,200	18,318,104
'22 年度	278,130	5,184,392	997,569	3,270,099	1,070,471	5,555,186	16,355,847
'22. 7-9月	84,129	1,313,407	263,763	798,334	277,872	1,435,102	4,172,607
10-12月	66,566	1,288,168	256,375	876,236	265,894	1,372,247	4,125,486
'23. 1-3月	55,479	1,243,417	222,519	780,532	254,009	1,327,469	3,883,425
4-6月	62,224	1,277,181	251,833	735,664	237,077	1,373,420	3,937,399
'22年 5月	24,502	455,424	84,364	263,527	90,490	498,868	1,417,175
6月	24,975	443,267	77,186	270,442	83,984	446,038	1,345,892
7月	41,729	447,779	92,640	258,723	82,034	454,554	1,377,459
8月	16,861	408,817	98,612	267,493	97,178	510,582	1,399,543
9月	25,539	456,811	72,511	272,118	98,660	469,966	1,395,605
10月	21,063	455,338	90,559	301,824	90,234	455,050	1,414,068
11月	25,686	429,672	82,444	299,399	87,905	483,218	1,408,324
12月	19,817	403,158	83,372	275,013	87,755	433,979	1,303,094
23年 1月	19,898	411,241	78,269	261,088	89,757	450,854	1,311,107
2月	16,185	406,995	71,180	257,956	66,834	416,414	1,235,564
3月	19,396	425,181	73,070	261,488	97,418	460,201	1,336,754
4月	20,279	393,935	95,916	220,493	80,985	410,313	1,221,921
5月	19,762	439,045	84,860	260,339	79,810	495,172	1,378,988
6月	22,183	444,201	71,057	254,832	76,282	467,935	1,336,490
前月比	112.3	101.2	83.7	97.9	95.6	94.5	96.9
前年同月比	88.8	100.2	92.1	94.2	90.8	104.9	99.3

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'21 暦年	245,486	2,716,911	1,455,748	4,172,659	49,883	399,243	1,459,480	124,703	61,853	95,991	2,191,153	6,609,298
'22 暦年	240,621	2,647,463	1,418,096	4,065,559	60,774	373,650	1,457,325	114,890	71,058	91,912	2,169,609	6,475,789
'21 年度	247,110	2,752,134	1,092,322	3,137,987	36,133	300,281	1,125,634	93,152	45,860	73,500	1,674,560	4,996,127
'22 年度	232,624	2,551,967	1,358,265	3,910,232	72,037	360,226	1,396,971	106,248	68,738	89,161	2,093,381	6,236,237
'22年 10月	20,185	217,124	117,525	334,649	8,701	34,403	117,978	9,690	5,333	8,395	184,500	539,334
11月	19,319	209,822	115,273	325,095	8,713	32,445	119,009	9,984	5,384	7,461	182,996	527,410
12月	17,614	203,853	111,764	315,617	8,400	30,511	112,074	7,960	5,274	6,631	170,850	504,081
'23年 1月	17,273	194,923	96,843	291,766	7,239	25,625	104,030	7,483	4,498	6,249	155,124	464,163
2月	18,899	207,662	107,158	314,820	7,802	29,904	105,918	8,194	5,570	6,692	164,080	497,799
3月	19,361	208,388	103,101	311,489	8,594	27,467	116,662	8,651	5,454	7,987	174,815	505,665
4月	19,212	188,764	93,541	282,305	8,038	25,446	104,970	9,059	4,820	7,212	159,545	461,062
5月	19,465	197,523	102,953	300,476	6,876	28,681	95,350	7,740	4,853	6,527	150,027	469,968
6月	18,776	216,782	113,450	330,232	8,076	29,208	103,453	8,928	5,012	7,187	161,864	510,872
前月比	96.5	109.8	110.2	109.9	117.5	101.8	108.5	115.3	103.3	110.1	107.9	108.7
前年同月比	94.1	99.1	93.4	97.1	208.0	92.1	77.4	91.9	69.1	100.1	83.7	92.3

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'21 暦年	8,055	246,632	158,245	404,877	24,939	38,834	144,605	29,563	168,305	22,668	428,914	841,846
'22 暦年	10,897	221,700	136,904	358,604	21,346	37,569	156,975	22,390	137,751	16,870	392,901	762,402
'21 年度	7,544	239,228	149,869	389,097	21,922	36,386	140,730	29,025	139,691	23,830	391,584	788,225
'22 年度	8,870	207,670	133,119	340,789	17,942	28,734	126,791	21,907	129,474	19,381	344,229	693,888
'22年 10月	10,644	227,059	140,180	367,239	22,444	37,856	151,554	23,042	136,776	23,914	395,586	773,469
11月	10,472	225,398	143,009	368,407	24,487	37,084	150,496	21,897	140,504	19,005	393,473	772,352
12月	10,897	221,700	136,904	358,604	21,346	37,569	156,975	22,390	137,751	16,870	392,901	762,402
'23年 1月	10,139	223,278	146,521	369,799	19,537	35,904	157,955	23,252	162,728	21,153	420,529	800,467
2月	10,506	217,654	135,080	352,734	22,415	32,434	139,638	24,843	140,379	20,826	380,535	743,775
3月	8,870	207,670	133,119	340,789	17,942	28,734	126,791	21,907	129,474	19,381	344,229	693,888
4月	10,790	200,880	131,879	332,759	19,417	30,385	130,004	20,955	143,028	18,211	362,000	705,549
5月	10,265	209,719	127,480	337,199	19,015	32,108	129,650	21,385	137,902	20,332	360,392	707,856
6月	11,124	198,175	132,254	330,429	18,880	32,376	129,892	19,138	141,017	18,740	360,043	701,596
前月比	108.4	94.5	103.7	98.0	99.3	100.8	100.2	89.5	102.3	92.2	99.9	99.1
前年同月比	111.6	84.1	92.5	87.3	73.8	85.0	96.2	69.1	87.2	90.8	88.1	88.0

出所: 経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他		
'21 暦年	78,090	352,845	202,875	555,720	11,864	65,865	261,863	14,113	18,074	7,971	379,750	1,013,560
'22 暦年	81,587	253,146	197,352	450,498	11,832	52,605	258,437	12,975	14,050	8,869	358,768	890,853
'21 年度	77,786	312,576	208,973	521,549	13,253	62,840	253,404	15,438	16,809	10,270	372,014	971,349
'22 年度	81,307	258,660	201,555	460,215	5,698	53,549	251,097	11,289	13,844	10,330	345,807	887,329
'22年 10月	81,517	253,927	197,247	451,174	12,256	52,776	251,765	12,057	14,023	9,854	352,731	885,422
11月	80,549	248,667	198,668	447,335	12,831	52,074	251,946	11,374	14,344	8,965	351,534	879,418
12月	81,587	253,146	197,352	450,498	11,832	52,605	258,437	12,975	14,050	8,869	358,768	890,853
'23年 1月	81,879	256,088	200,010	456,098	7,543	54,067	253,500	12,829	13,916	9,251	351,106	889,083
2月	80,951	261,811	202,544	464,355	5,468	53,055	253,884	11,681	13,805	9,534	347,427	892,733
3月	81,307	258,660	201,555	460,215	5,698	53,549	251,097	11,289	13,844	10,330	345,807	887,329
4月	80,837	247,843	195,238	443,081	4,944	50,387	243,658	11,272	13,711	9,876	333,848	857,766
5月	81,642	252,735	200,367	453,102	4,220	53,273	244,734	11,215	13,321	9,697	336,460	871,204
6月	82,604	248,417	198,112	446,529	4,003	54,554	247,344	10,829	13,729	9,301	339,760	868,893
前月比	101.2	98.3	98.9	98.5	94.9	102.4	101.1	96.6	103.1	95.9	101.0	99.7
前年同月比	103.5	93.6	97.6	95.4	31.4	94.3	102.0	74.2	90.3	84.7	96.0	96.3

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸出

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼					その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	快削鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	合金鋼	計	
'21 暦年	41,270	437,028	558,747	995,775	198,944	846,790	122,324	73,541	1,241,600	2,866	5,394,930	5,397,827	7,676,441
'22 暦年	39,183	381,705	495,244	876,949	166,355	786,001	97,860	71,081	1,121,297	3,180	4,900,636	4,903,816	6,941,245
'21 年度	42,446	428,197	548,765	976,962	197,417	846,850	121,221	64,398	1,229,885	3,006	5,313,266	5,316,272	7,565,565
'22 年度	37,482	369,309	484,741	854,050	164,491	757,239	90,378	70,711	1,082,819	3,209	4,735,671	4,738,880	6,713,231
'22年 9月	2,646	29,962	34,361	64,322	13,818	61,311	8,725	4,471	88,325	166	402,565	402,731	558,024
10月	3,266	26,411	43,620	70,031	14,265	68,475	6,331	5,322	94,594	244	384,935	385,179	553,070
11月	3,244	39,194	46,008	85,203	10,636	55,160	4,360	9,811	79,966	410	369,508	369,918	538,331
12月	2,472	33,450	43,639	77,089	17,578	61,462	5,095	8,211	92,346	271	412,499	412,770	584,677
'23年 1月	2,279	20,320	35,874	56,104	15,328	51,258	4,206	5,078	75,871	209	316,903	317,112	451,365
2月	2,656	35,479	43,007	78,486	8,746	63,109	5,235	3,877	80,967	335	338,286	338,621	500,731
3月	3,411	27,251	38,246	65,497	16,600	64,405	10,776	4,529	96,310	259	381,842	382,101	547,319
4月	2,330	25,395	31,597	56,993	9,854	61,835	4,873	1,565	78,128	238	351,217	351,455	488,905
5月	2,225	24,124	33,154	57,277	13,428	52,497	6,689	4,364	76,978	172	400,166	400,338	536,818
6月	2,411	28,546	35,738	64,283	15,747	58,963	5,871	4,305	84,887	186	406,436	406,621	558,203
前月比	108.3	118.3	107.8	112.2	117.3	112.3	87.8	98.7	110.3	108.2	101.6	101.6	104.0
前年同月比	54.4	74.9	76.7	75.9	96.6	75.8	56.8	58.4	75.9	39.1	90.6	90.6	85.9

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸入

(単位：t)

年月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					計	快削鋼	その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管			高炭素鋼	合金鋼	計	
'21 暦年	3,425	7,333	282	12,395	11,674	237,726	18,602	280,679	310	7,765	274,257	282,022	573,769
'22 暦年	4,066	16,285	344	12,418	11,486	264,312	20,503	309,062	171	7,158	178,111	185,269	514,853
'21 年度	3,909	9,290	270	12,657	12,725	249,314	19,380	294,346	270	7,528	237,040	244,568	552,383
'22 年度	3,489	17,731	395	11,981	10,646	235,419	20,335	278,777	138	8,721	173,885	182,606	482,740
'22年 9月	303	2,256	26	737	611	18,289	1,505	21,167	22	168	12,842	13,011	36,759
10月	279	841	24	1,183	850	14,550	1,881	18,488	3	490	12,375	12,865	32,477
11月	254	2,118	48	986	802	19,805	1,647	23,287	・	176	17,521	17,697	43,355
12月	249	1,421	23	944	697	15,737	1,478	18,879	-	866	14,825	15,691	36,240
'23年 1月	187	1,455	49	925	842	17,348	1,755	20,919	3	1,639	13,235	14,873	37,438
2月	183	1,437	64	777	597	12,428	1,315	15,180	17	946	11,880	12,826	29,642
3月	224	2,074	23	835	884	13,432	1,667	16,841	-	1,020	18,227	19,247	38,385
4月	191	1,935	26	680	757	17,369	1,353	20,184	44	635	12,708	13,343	35,698
5月	219	2,012	22	946	866	15,108	1,730	18,673	-	666	12,956	13,622	34,526
p 6月	230	2,608	24	785	581	18,897	1,768	22,054	-	1,257	16,870	18,127	43,020
前月比	105.0	129.6	110.0	82.9	67.0	125.1	102.2	118.1	-	188.8	130.2	133.1	124.6
前年同月比	66.5	181.4	110.3	86.0	77.4	65.3	94.2	67.8	-	125.0	142.2	140.9	91.2

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p:速報値

関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	フルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック				
'21 暦年	7,846,958	1,154,054	3,818,910	379,007	4,448,340	765,762	-	222,252	119,477	11,205	102,086	55,176	15,414
'22 暦年	7,835,482	1,184,553	3,813,269	406,156	4,201,320	747,543	-	232,157	126,574	11,795	107,418	52,146	17,596
'21 年度	7,545,141	1,130,201	3,684,025	384,446	4,215,826	742,108	-	228,906	122,697	11,671	103,732	49,494	16,675
'22 年度	8,100,959	1,196,043	3,864,096	396,817	4,385,649	765,986	-	230,411	123,417	12,120	107,937	52,652	17,056
'22年 9月	757,790	115,750	369,095	36,358	395,163	69,750	-	20,440	11,637	1,243	8,763	4,476	1,508
10月	694,157	107,244	331,958	37,226	359,159	62,914	-	21,864	11,344	1,159	9,073	3,290	1,411
11月	767,241	113,308	371,870	32,284	377,079	68,593	-	22,342	11,718	1,216	8,466	4,158	1,342
12月	699,026	103,578	356,975	30,893	344,364	59,443	-	20,822	10,514	1,114	8,489	5,081	1,405
'23年 1月	620,476	90,382	256,178	26,232	382,338	61,931	-	16,133	8,364	922	9,296	3,244	1,291
2月	738,730	100,436	313,203	28,924	426,726	69,748	-	19,830	9,815	953	8,880	4,001	1,241
3月	866,260	112,526	384,804	34,967	572,494	93,378	-	22,231	9,893	1,117	8,529	6,688	1,410
4月	711,508	90,371	363,639	25,806	349,592	59,597	-	19,712	8,715	1,009	9,000	3,182	1,327
5月	623,531	74,256	296,960	23,005	326,731	54,228	-	17,897	7,752	983	8,315	3,731	1,195
6月	-	-	408,641	31,982	392,719	60,131	-	22,050	9,811	1,219	8,540	4,725	1,220
前月比	-	-	137.6	139.0	120.2	110.9	-	123.2	126.6	124.0	102.7	126.7	102.1
前年同月比	-	-	132.5	92.8	119.8	100.9	-	110.4	86.9	120.7	93.4	95.5	78.9

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、
 新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、
 軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、
 建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、
 機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、
 工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r:訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2023年6月分

鋼種別	項目	月別					
		実数 (t)	前月比 (%)	前年同月比 (%)	2015年基準指数 (%)		
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産	11,797	95.6	64.6	57.2		
	鋼材輸入実績	230	105.0	66.5	74.7		
	販売業者	受入計	19,738	97.4	105.9	73.1	
		販売計	18,776	96.5	94.1	71.5	
		うち消費者向	15,690	114.8	95.1	82.9	
		在庫計	82,604	101.2	103.5	139.9	
	鋼材輸出船積実績	2,411	108.3	54.4	50.6		
	生産者工場在庫	11,124	108.4	111.6	134.1		
	総在庫	93,728	102.0	104.4	139.2		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産	601,022	95.4	101.2	87.8	
販売業者		受入計	323,659	104.2	99.3	49.5	
		販売計	330,232	109.9	97.1	50.5	
		うち消費者向	269,046	111.8	100.2	61.3	
		在庫計	446,529	98.5	95.4	126.9	
鋼材輸出船積実績		64,283	112.2	75.9	78.2		
生産者工場在庫		330,429	98.0	87.3	94.4		
総在庫		776,958	98.3	91.8	110.7		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産	27,932	114.2	101.4	77.7	
		鋼材輸入実績	2,608	129.6	181.4	640.0	
	販売業者	受入計	7,859	127.7	216.7	37.1	
		販売計	8,076	117.5	208.0	38.5	
		うち消費者向	2,833	138.2	104.6	60.9	
		在庫計	4,003	94.9	31.4	32.8	
	鋼材輸出船積実績	15,747	117.3	96.6	100.1		
	生産者工場在庫	18,880	99.3	73.8	73.1		
	総在庫	22,883	98.5	59.7	60.2		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産	173,418	106.3	86.7	75.5	
鋼材輸入実績		22,054	118.1	67.8	152.4		
販売業者		受入計	106,063	110.0	81.6	42.3	
		販売計	103,453	108.5	77.4	41.2	
		うち消費者向	54,611	116.6	92.1	97.7	
		在庫計	247,344	101.1	102.0	181.0	
鋼材輸出船積実績		58,963	112.3	75.8	67.2		
生産者工場在庫		129,892	100.2	96.2	112.7		
総在庫		377,236	100.8	99.9	149.8		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産	37,751	102.7	102.0	73.6	
	販売業者	受入計	8,542	111.2	100.6	60.4	
		販売計	8,928	115.3	91.9	62.1	
		うち消費者向	8,560	115.3	94.5	61.5	
		在庫計	10,829	96.6	74.2	80.0	
	鋼材輸出船積実績	5,871	87.8	56.8	61.4		
	生産者工場在庫	19,138	89.5	69.1	69.0		
	総在庫	29,967	91.9	70.9	72.6		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産	386,691	92.8	109.0	93.7	
		販売業者	受入計	5,420	121.4	76.0	52.7
販売計			5,012	103.3	69.1	49.3	
うち消費者向			4,137	101.3	65.3	61.7	
在庫計			13,729	103.1	90.3	125.2	
生産者工場在庫		141,017	102.3	87.2	74.4		
総在庫		154,746	102.3	87.5	77.1		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産	97,974	102.2	85.8	70.8	
		販売業者	受入計	37,280	98.3	100.1	92.0
			販売計	36,395	103.4	93.6	89.8
	うち消費者向		35,041	104.0	95.4	95.4	
	在庫計		63,855	101.4	92.7	120.2	
	生産者工場在庫	51,116	97.5	87.1	73.9		
	総在庫	114,971	99.6	90.1	94.0		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	1,336,585	96.9	99.3	85.0	
		鋼材輸入実績計	43,020	124.6	91.2	52.9	
		販売業者	受入計	508,561	105.2	95.8	50.0
販売計			510,872	108.7	92.3	50.2	
うち消費者向			389,918	111.9	97.7	67.7	
在庫計			868,893	99.7	96.3	136.3	
鋼材輸出船積実績計		558,203	104.0	85.9	86.8		
生産者工場在庫		701,596	99.1	88.0	89.3		
総在庫		1,570,489	99.5	92.4	110.3		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算。

(注) 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの、生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(2023年6月1日～7月31日)

海外委員会

専門部会（6月13日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

2023年度調査事業テーマについて

市場開拓調査委員会

本委員会（7月11日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

- ①2023年度活動計画の検討
- ②2022年度活動報告

調査WG（6月5日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

2023年度調査事業テーマについて

編集委員会

本委員会（6月20日・Web会議）

- ①11月号特集「特殊鋼の技術と用語のやさしい解説（用語解説編・新材料、磁性材料等（仮題）」の編集方針、内容の確認
- ②今後の会議開催方式について

編集会議（7月20日・対面会議）

2024年1月号特集「特殊鋼の原料事情（仮題）」の編集内容の検討

人材確保育成委員会

大学学生人材育成事業

一般社団法人日本鉄鋼協会主催「2023年度経営幹部による大学特別講義」において、特殊鋼メーカーの講師による講義で、特殊鋼倶楽部発行の特殊鋼業界紹介パンフレット「夢みる鉄」を配布する等の協力を実施。

- ①開催校：横浜国立大学（5月30日）
受講生：理工学部機械・材料・海洋系学科、学部1年生（150～200名）
講師：三菱製鋼(株) 上席執行役員 小倉 雅之氏
- ②開催校：京都大学（6月14日）
受講生：工学部物理工学科材料科学コース 学部3年生、修士1年生（150名程度）
講師：愛知製鋼(株) 取締役・経営役員

（開発本部長）野村 一衛氏

流通委員会

説明会（7月18日）

演 題：2023年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課 課長補佐 鈴木 美保氏

方 式：オンライン同時配信（東京・名古屋・大阪3地区）

聴講者：127名

その他

物流2024年問題について、一般社団法人日本鉄鋼連盟主催「製品物流小委員会」への特殊鋼メーカー3社と共に参加協力。

6月度小委員会（6月20日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

7月度小委員会（7月26日・ハイブリッド会議〔対面＋Web〕）

[大阪支部]

定時総会（6月16日・対面会議）

- ①2022年度事業・決算報告
- ②2023年度事業計画（案）・収支予算（案）・役員改選（案）承認

説明会（7月18日・3団体共催）

演 題：2023年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課 課長補佐 鈴木 美保氏

方 式：オンライン配信（東京・名古屋・大阪3地区）

聴講者：38名（3地区計127名）

工場リモート見学会（7月27日・全特協との共催）

見学先：トヨタ自動車九州工場

内 容：会社概要、クルマづくりの流れ、トヨタ九州のクルマづくりのこだわり、トヨタ九州の環境の取り組み

方 式：オンライン配信

聴講者：81名

[名古屋支部]

定時総会（6月21日・対面会議）

①2022年度事業・決算報告

②2023年度事業計画（案）・収支予算（案）・
役員体制（案）承認

部会（対面会議）

構造用鋼部会（7月12日）

工具鋼部会（7月25日）

ステンレス鋼部会（7月26日）

説明会（7月18日・全特協との共催）

演 題：2023年度第2・四半期の特殊鋼需要
見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
課長補佐 鈴木 美保 氏

方 式：オンライン配信（東京・名古屋・大
阪3地区）

聴講者：27名（3地区計127名）



お知らせ

～メタルジャパン 東京展に継続出展～

第10回メタルジャパン（高機能金属展）[東京展]

会期：2023年10月4日(水)～6日(金)

時間：10:00～18:00 6日(金)のみ17:00終了 会場：幕張メッセ

主催：RX Japan 株式会社 協賛：(一社)特殊鋼倶楽部

特殊鋼倶楽部では、脱炭素社会に向けた取組みは特殊鋼の主要需要分野である自動車の内燃機関から電動化への転換期を迎えることになり、このことはより高機能な特殊鋼への変換を促すきっかけとして、新規用途、材料開発などから社会に貢献していくことが重要と考え、市場開拓調査委員会の事業の一環として、年2回関西と東京で開催される「メタルジャパン（高機能金属展）」に出展し、特殊鋼の重要な役割を広めています。

メタルジャパン（高機能金属展）東京展には2016年に初出展して以来、今回の第10回で継続すること8回を迎え、特殊鋼倶楽部ブースにて、特殊鋼商品知識の普及及び啓蒙、特殊鋼倶楽部及び会員会社の紹介、当倶楽部出版物配布、共同出展される会員会社の特色ある製品・技術・サービスを展示します。

また、協賛団体専門セミナーと題し、会員1社にセミナーに登壇いただきます。

万障お繰り合わせの上、ご来場下さい。会場にてお待ちしております。

【特殊鋼倶楽部ブース内会員会社展示】

- ・秋山精鋼株式会社 殿
 - ・ヤマト特殊鋼株式会社 殿
- (上記、五十音順)

【特殊鋼倶楽部ブース位置】

小間番号：37-48

【協賛団体専門セミナー予定】

日時：2023年10月6日（金）10時00分～10時45分

場所：幕張メッセ 第10回メタルジャパン会場内

演題：特殊鋼と3Dプリンタ（仮題）

講師：大同特殊鋼株式会社 次世代製品開発センター 新事業企画推進室 奥村鉄平 氏

第74回白石記念講座

新たなものづくり：3D積層造形（Additive Manufacturing）

の技術開発動向

▼2023年10月17日（火）【東京／ハイブリッド開催】

主催（一社）日本鉄鋼協会 協賛（一社）特殊鋼倶楽部

講座の視点

3D積層造形（Additive Manufacturing（AM））技術は、切削や鋳造などの従来の成形加工法では難しい3次元複雑形状品の成形加工が可能な技術である。当初は樹脂材料から開発が始まったが、その後金属材料にもその対象を広げてきた。金属AMの市場規模は年々拡大し、2030年には航空宇宙や金型、医療など各分野で合わせて2兆円規模にまで増加するとの予測もでている。本講座ではこうしたAM技術、特に金属AM技術について、世界市場の動向、これまでの発展状況や今後の展開、普及に向けた国としての取り組みなどについて解説いただくとともに、装置開発や原料となる金属粉末等の開発、金型や自動車用途といった応用例について、材料メーカー、装置メーカー、ユーザーなどさまざまな立場から紹介いただく。今後「ものづくり」においてますます重要になっていくであろう金属AM技術について、全体像から個々の事例までを合わせて理解を深めるとともに、技術展開の将来像を考える一助として頂ければ幸いである。

1. 日時・場所：2023年10月17日（火） 9：30～17：00 受付時間 9：00～16：00

鉄鋼会館 701号会議室（東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 鉄鋼会館7F）

<https://www.tekko-kaikan.co.jp/publics/index/4/> ※Cisco Webex Meetingsを使用

*今後の状況によっては、オンライン開催へ変更する場合がございます。あらかじめご了承下さい。

2. 講演題目および講演者、司会者

司会者：柳谷 彰彦（兵庫県立大学）

1）9：30～10：30 【基調講演】日本におけるAM研究開発の現状と今後の展開

大阪大学 大学院工学研究科 教授 中野 貴由

2）10：30～11：30 【基調講演】 Additive Manufacturingを活用した新しいものづくりに向けて

経済産業省 近畿経済産業局 地域経済部次世代産業・情報政策課 課長補佐 砂川 由佳

（一社）日本AM協会 専務理事 澤越 俊幸

司会者：中野 貴由（大阪大学）

3）12：30～13：20 AMにおける金属粉末の製造、特性および適用例

兵庫県立大学 金属新素材研究センター 副センター長 特任教授 柳谷 彰彦

4）13：20～14：10 金型用ダイス鋼系粉末開発による金属積層造形の用途拡大

大同特殊鋼(株) 機能製品事業部 次世代製品開発センター

新事業企画推進室 副主席部員 奥村 鉄平

5）14：10～15：00 電動化が求めるパワートレイン生産技術

日産自動車(株) パワートレイン生産技術開発本部 エキスパートリーダー 塩飽 紀之

6）15：20～16：10 金属AM装置の最新技術や国内外（特に海外）の活用事例について

三菱商事テクノス(株) 執行役員 ソリューション事業担当 柿田 圭二

7）16：10～17：00 AM/SMハイブリッド機による先端的製造技術

DMG森精機(株) AM開発部 R&D執行役員 部長 廣野 陽子

3. 講演内容

1) 【基調講演】日本におけるAM研究開発の現状と今後の展開

中野 貴由

Additive Manufacturing (AM) は、デジタル時代における最先端プロセスとして、さらには経済安全保障とも深く関連した技術として、航空宇宙・医療・自動車・エネルギー関連などの社会基盤分野にてその応用が進められている。とりわけ金属AMは、金属材料を局所的に溶融・凝固することで複雑形状の付与のみならず、原子レベルでの結晶配向をも制御可能な手段として、造形物の高機能化を実現する。日本では、2014年から、内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)、経産省・NEDOによる技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) などを中心とした大型国家プロジェクトにより、AMでの高付加価値モノづくりや国産AM装置作りが主導されるとともに、オールジャパンでのAMモノづくりを牽引する日本AM学会の設立が進められている。本講座では、本邦におけるAM研究開発の現状と今後の展開に寄せる期待について概説する。

2) 【基調講演】 Additive Manufacturingを活用した新しいものづくりに向けて

砂川 由佳、澤越 俊幸

グローバルで加速化するAdditive Manufacturing (AM) による量産化に対応するため、経済産業省近畿経済産業局は、2019年1月に「Kansai-3D実用化プロジェクト」を発足。本プロジェクトでは、産官学の広域ネットワークを構築し、AMを活用した新しいものづくりに挑戦する企業を対象に、装置導入やAMプロセス実証支援等の支援を展開してきた。2022年4月より本プロジェクトの運営を引き継いだ(一社)日本AM協会(2022年3月設立)とともに、本プロジェクト立ち上げの背景にある海外での活用状況や、本プロジェクトの取組概要等をご紹介します。

3) AMにおける金属粉末の製造、特性および適用例

柳谷 彰彦

近年、機運が高まりつつあるAdditive Manufacturing (AM) において、金属粉末、3Dプリンタ、ソフト、後処理技術など関連技術の進歩は著しい。そのなかでも使用される金属粉末と3Dプリンタの関係は料理にたとえると食材とレシピであり、食材に相当する金属粉末は非常に重要な役割を担っており、その種類も多くなってきている。本講座では、Fe系、Cu系をはじめとするAM用金属粉末および金属セラミックス複合粉末について、製造方法と特性および適用例、新規開発の事例を紹介するとともに、AMにおける今後の金属粉末について概説する。

4) 金型用ダイス鋼系粉末開発による金属積層造形の用途拡大

奥村 鉄平

海外では航空宇宙・医療分野を中心に金属積層造形(金属AM)は拡大している。一方、国内ではこれらの市場規模が小さく、これらに代わる金属AMの用途が模索されている。その一例としてダイカスト金型への適用が試みられ、一部では実用化している。3D造形したダイカスト金型は型温調整のための水冷孔を自由に配置することができ、鋳造品の品質向上や金型寿命改善が図れる。金型の造形にはマルエージング鋼粉末が用いられるが、人体に有害なCoを含有すること、鋳造型の特性上重要な熱伝導率が低いこと、造形品の輸出手続きが煩雑なことなどが金型分野での金属AM拡大阻害の一因となっていた。本講座では金属AMの金型分野へのさらなる拡大を目的に、従来広く金型製造に用いられてきたSKD61をベースに金属AM用に成分設計したダイス系金属粉末の開発事例を紹介する。

5) 電動化が求めるパワートレイン生産技術

塩飽 紀之

近年、自動車業界を取り巻く環境は、凄まじい勢いで変化している。環境要求から、CO2排出規制、燃費規制、ZEV Credit、PM規制、RDE規制また、車外騒音規制の制定、お客様の高いニーズにお応えするため、燃費向上はもとより、自動車としての走りの楽しさを追求した商品開発は、自動車メーカーとして、ますますその真価が問われている。自動車の主動力として、100年の歴史の主役であった、内燃機関が、電動化の大きな潮流の変化に差し掛かっている今、パワートレイン商品の構造が大きく変化する中でモノヅクリの方法も、大きく変化する時を迎えている。これからのパワートレイン生産技術の進化と展望について説明する。

6) 金属AM装置の最新技術や国内外（特に海外）の活用事例について

杉田 圭二

従来工法の鋳造、鍛造、焼結、加工などでは実現できない部品設計、形状を実現できる金属3Dプリンターは、欧米では普及が進んでいるものの、日本では従来工法の設計制限からの解放、転換が進まず、普及が進んでいない。本講座では、欧米ではどのような設計の自由化ができてきているか、その普及のためにGEはどのような金属3Dプリンター（ハード）と活用コンサル（ソフト）を提供しているかを最新の事例を交えて紹介する。

7) AM/SMハイブリッド機による先端的製造技術

廣野 陽子

Directed Energy Deposition（以下、DED）方式は切削加工型の工作機械との融合により、1台で、計測、積層造形、修復、仕上げが可能である。このため、付加価値の高い医療や宇宙産業のみならず、各産業で実用化が進んでいる。これは、金属3DプリンタではなくAMという呼び方へ変化した事実に現れている。金属3Dプリンタは、時間をかけて複雑なものを製造する機械というイメージであったが、DED方式は、コーティング代用や焼入れ代用による工程集約、材料費削減、省エネ、カーボンニュートラルなど、いま製造業に求められる全てといっても過言ではないアイテムが含まれる機械というイメージが世界的に持たれるようになった。量産に必要な機能を有したAM機開発を続けるだけでなく、アプリケーション開発やお客様との工程設計などに取り組んだ結果として得られた知見を紹介する。

4. 参加申込み【8月初旬開始予定】

[申込方法] 本会Webサイトからの**事前申込のみ**とします。当日参加受付は行いません。

※会場での参加者は、収容人数の関係上、定員になり次第締切とします。

[支払い方法] ①クレジットカードの**オンライン決済** または、②郵便振替のいずれかの方法で、**事前の入金**をお願いします。

※請求書の発行は致しません。

[締め切り] 申込、入金ともに**9月19日（火）までに完了**するようお願いします。

※入金の確認後、**開催約1週間前にテキストと領収証を送付**します。

※ご入金後の返金はいたしません。また、当日不参加の場合も返金はいたしませんのでご了承ください。

※オンライン受講についての詳細は本会Webサイトに掲載します。

5. 参加費（税込み、テキスト付）

会員8,000円、一般15,000円、学生会員1,000円、学生一般2,000円

注）会員割引は個人の会員のみ有効です。協賛団体の個人会員、学生会員も含まれます。

*非会員でご参加の方で希望される方には、下記会員資格を進呈します。（入会方法は別途ご案内いたします。）

・一般（15,000円）で参加 ⇒ 2024年12月までの準会員資格

・学生一般（2,000円）で参加 ⇒ 2024年12月までの学生会員資格

★テキストは、講座終了後残部がある場合、鉄鋼協会会員価格、一般価格で販売いたします。テキスト購入のお申込みは、本会Webサイト（出版図書案内）をご覧ください。

問合せ先：（一社）日本鉄鋼協会 育成グループ

TEL：03-3669-5933 FAX：03-3669-5934 E-mail：educact@isij.or.jp

第249・250回西山記念技術講座 環境劣化の腐食科学と防食技術の新展開

▼2023年11月2日（木）【大阪／対面開催】

▼2023年11月30日（木）【東京／ハイブリッド開催】

主催（一社）日本鉄鋼協会 協賛（一社）特殊鋼倶楽部

講座の視点

水素利用など脱炭素で持続可能な社会、安全、安心で強靱な国土を構築するためには、材料の環境性能の向上が不可欠である。本講座では、金属の環境劣化現象に関する基礎である湿食から高温酸化・腐食まで広く、腐食現象の学理、防食技術を学び、さらに最新の研究成果を概観することで、新たな技術革新への糸口を学ぶことを目的とする。このため、聴講者としては、腐食防食の初学者や若い研究者・技術者のみならず材料開発、材料評価に関する研究・技術者などの参加も歓迎する。

1. 日時・場所：

第249回（大阪）：2023年11月2日（木）9：00～17：15 受付時間：8：40～16：15

【対面開催】CIVI研修センター新大阪東7階E705会議室

（大阪市東淀川区東中島1-19-4 LUCID SQUARE SHIN-OSAKA）

<https://www.civi-c.co.jp/access.html#higashi>

第250回（東京）：2023年11月30日（木）9：00～17：15 受付時間：8:40～16:15

【ハイブリッド開催】鉄鋼会館 701号会議室（東京都中央区日本橋茅場町3-2-10）

<https://www.tekko-kaikan.co.jp/publics/index/4/> ※Cisco Webex Meetingsを使用

*今後の状況によっては、11月30日をオンライン開催とし、11月30日のみとなる場合がございます。
あらかじめ、ご了承下さい。その場合、11月2日の参加申込は自動的に11月30日に振替となります。
ご了解の上、お申込み下さい。

2. 内容および講演者、司会者

司会者：多田 英司（東京工業大学）※本講座の企画についての主旨説明

1）9：00～10：00 耐食性皮膜の構造と機能～不働態皮膜の電子物性など～

大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授 藤本 慎司

2）10：00～11：00 薄鋼板の使用環境での腐食現象・防食技術とその評価

JFEスチール(株) スチール研究所 表面処理研究部 部長 平 章一郎

3）11：00～12：00 金属の高温酸化・腐食とその防食の基礎的考え方

北海道大学 大学院工学研究院 材料科学部門 教授 林 重成

4）13：00～14：00 実用金属材料の局部腐食現象の考え方と高耐食化への展開

東北大学 大学院工学研究科 知能デバイス材料学専攻 教授 武藤 泉

5）14：00～15：00 鉄鋼材料の局部腐食と防食技術

(株)神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所 主任研究員 河盛 誠

6）15：15～16：15 高強度鋼の水素脆化特性に及ぼす水素、材料および応力因子の影響

東北大学 金属材料研究所 教授 秋山 英二

7）16：15～17：15 鉄鋼材料の水素脆化事例とその対策

日本製鉄(株) 技術開発本部 鉄鋼研究所 主席研究員 リーディングリサーチャー 大村 朋彦

3. 講演内容

1) 耐食性皮膜の構造と機能～不動態皮膜の電子物性など～

藤本 慎司

金属材料の耐食性などの表面機能は表面に生成する酸化物等の皮膜によってもたらされる。自発的に生成する厚さ数nmの超薄膜は不動態皮膜と呼ばれ、特にステンレス鋼などの高耐食性金属材料の不動態皮膜は非常に優れた環境遮断性を有する。不動態皮膜の構造機能については先達の優れた研究が多数あるが、半導体機能などの電子構造については未だ見解が一致しない点が多い。本稿では、導入として水溶液環境での金属材料の腐食現象の基礎を述べてから、不動態皮膜をはじめとする耐食性被膜の構造機能について概観し、さらに不動態皮膜の電子構造に関する著者らの研究成果を述べる。

2) 薄鋼板の使用環境での腐食現象・防食技術とその評価

平 章一郎

薄鋼板は、自動車・家電・建材・容器など多岐にわたって使用されるが、その用途により腐食を起因とする寿命の考え方も大きく異なっている。防食の観点では、亜鉛めっきが使用されるようになって久しいが、近年ではさらなる防食強化の観点での亜鉛複合めっきの開発も盛んである。また、その寿命評価を比較的短時間で判断する促進試験についても、いかに実環境を模擬できるかという観点での模索が続き、日々進歩が見られる。本講座では、薄鋼板の使用用途に対する腐食現象の特徴、ならびに防食技術開発の進展、さらに実用化に向けた材料の評価方法の開発状況について概説する。

3) 金属の高温酸化・腐食とその防食の基礎的考え方

林 重成

金属材料の高温酸化・腐食は、大気腐食や水溶液腐食と同様に、電子の授受を含む電気化学反応が基礎となる。一方、高温酸化・腐食が進行するメカニズムは大気腐食等とは異なり、より材料学的な観点からの理解が必要である。本講座では、純金属および合金の酸化から高温酸化の学理を概説した後、高温環境下において金属材料の防食のための保護性酸化スケールの形成と維持に必要な要因を整理する。また、高温材料の強度と耐酸化性を両立させるための材料設計について著者らの最近の研究成果を例として紹介する。

4) 実用金属材料の局部腐食現象の考え方と高耐食化への展開

武藤 泉

孔食、すき間腐食、粒界腐食などの局部腐食は、鉄鋼などの実用金属材料の耐用年数を左右する環境劣化現象の一つであり、工学的に重要な研究対象である。最近の研究により、局部腐食は、介在物や偏析などの材料側の不均一要因と、塩化物イオンなどの環境側の侵食性化学種の相互作用により生じる場合が多いことが明らかになってきた。本講座では、実用金属材料の局部腐食に関する考え方を環境側と材料側の両面から紹介する。また、材料側の不均一要因を不活性化するという観点から、介在物の改質に加え、CやNなどの軽元素の有効利用や高エントロピー効果を利用した耐食合金開発などの新しい取り組みについても紹介する。

5) 鉄鋼材料の局部腐食と防食技術

河盛 誠

腐食環境下で使用される金属材料は、孔食やすきま腐食といった局部腐食が生じる場合がある。そのため、材料の長寿命化や安全性向上に向けては、これら局部腐食の発生機構を明らかにし、抑制する技術が重要となる。局部腐食の発生要因の追求および防食技術については、過去から現在に至るまで多くの優れた研究がなされてきた。本講演では鉄鋼材料を中心として、局部腐食の発生挙動や、局部腐食に及ぼす材料の不均一性の影響、最近の防食技術の事例等について概説する。

6) 高強度鋼の水素脆化特性に及ぼす水素、材料および応力因子の影響

秋山 英二

高強度鋼の水素脆化には水素、材料および応力の因子が関与する。棒鋼や鋼板の高強度化が進められ、また水素エネルギー利用のため高圧ガス環境にさらされる材料の安全性が重視される中で、水素脆化特性評価のニーズは高まっている。講演では、これらの因子を考慮した評価法として、ボルトを模擬した環状切欠付き丸棒試験片や、プレス成形した薄板を模擬したU曲げあるいは張出試験片を用いた水素脆化特性評価法について解説するとともに、腐食環境が水素侵入に及ぼす影響について述べる。また、腐食環境中での水素侵入挙動や鋼中の水素の拡散挙動をその場観察可能な、新規に開発したIr錯体あるい

はポリアニリンを用いた水素可視化手法について紹介する。

7) 鉄鋼材料の水素脆化事例とその対策

大村 朋彦

高強度の鉄鋼材料は、水素による損傷（水素脆化）を起こすことがあり、大気腐食環境、硫化水素を含む湿潤環境、高圧水素ガス環境などでその事例が報告されている。水素脆化現象の理解には、環境から鋼中への水素侵入に始まり、最終的な破壊に至るまでの素過程を理解する必要がある。また、水素脆化の対策には、それらの素過程に及ぼす環境や材料等の作用因子を把握する必要がある。本講では、種々の環境における水素脆化の具体例、水素侵入や破壊の原因となる環境要因、材料組織と水素脆化感受性、これまでに開発された耐水素脆化鋼について概説する。

4. 参加申込み 【9月初旬開始予定】

[申込方法] 本会Webサイトからの事前申込みとします。当日参加受付は行いません。

第249回（11月2日）：会場の収容人数の関係上、定員になり次第締切とします。

第250回（11月30日）：会場での参加者は、収容人数の関係上、定員になり次第締切とします。

オンラインでの参加者は、人数制限は行いません。

[支払い方法] ①クレジットカードのオンライン決済 または、②郵便振替のいずれかの方法で、事前の入金をお願いします。

※請求書の発行は致しません。

[締め切り] 申込、入金ともに10月10日（火）までに完了するようお願いします。

※入金の確認後、開催約1週間前にテキストと領収証を送付します。

※ご入金後の返金はいたしません。また、当日不参加の場合も返金はいたしませんのでご了承下さい。

※オンライン受講についての詳細は本会Webサイトに掲載します。

5. 参加費（税込み、テキスト付）

会員8,000円、一般15,000円、学生会員1,000円、学生一般2,000円

注）会員割引は個人の会員のみ有効です。協賛団体の個人会員、学生会員も含まれます。

*非会員でご参加の方で希望される方には、下記会員資格を進呈します。（入会方法は別途ご案内いたします。）

・一般（15,000円）で参加 ⇒ 2024年12月までの準会員資格

・学生一般（2,000円）で参加 ⇒ 2024年12月までの学生会員資格

★テキストは、講座終了後残部がある場合、鉄鋼協会会員価格、及び一般価格で販売いたします。

テキスト購入のお申込みは、本会Webサイト（出版図書案内：<https://www.isij.or.jp/publication/books.html>）をご覧ください。

問合せ先：（一社）日本鉄鋼協会 育成グループ

TEL：03-3669-5933 FAX：03-3669-5934 E-mail：educact@isij.or.jp

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 25社</p> <p>販売業者 100社</p> <p>合 計 125社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>高 周 波 熱 錬 (株)</p> <p>(株)神 戸 製 鋼 所</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 鉄 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 製 鐵 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>(株)広島メタル&マシナリー</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>(株)プ ロ テ リ ア ル</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)ISSリアライズ</p> <p>(株)U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼松トレーディング(株)</p> <p>(株)カ ム ス</p> <p>(株)カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p> <p>住友商事グローバルメタルズ(株)</p>	<p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大同DMソリューション(株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テ ク ノ タ ジ マ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デルタステール(株)</p> <p>東京貿易マテリアル(株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>(株)ト ー キ ン</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 島 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 モ ル デ イ (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 物 産 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>(株)平 井</p> <p>(株)フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p>	<p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)プ ル ー タ ス</p> <p>(株)プ ロ テ リ ア ル 特 殊 鋼</p> <p>平 和 鋼 材 (株)</p> <p>(株)堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三井物産スチール(株)</p> <p>(株)メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>リ ン タ ツ (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

今月号は切削加工について特集しました。近年では切削加工機の進歩に伴い、加工精度と複雑な形状の加工が可能となっています。また、切削工具の進歩に伴い、従来では加工しづらい材料について加工が容易になっています。

このように切削加工全体の進歩により、高精度な切削加工が可能になったことから、例えば、自動車の騒音低減やエネルギーの高効率化など、様々な分野に貢献していると考えています。

切削加工は様々な分野で重要な工程となっている中で、広報誌「特殊鋼」では2014年5月号以来の特集となっていることもあり、本特集では、切削加工の全体を理解いただくための特集としました。第1章で総論を述べ、第2章では切削加工のトレ

ンドを紹介しています。そして、第3章、4章で切削加工機および切削工具の解説とし、最後に先端の加工技術を紹介しています。本構成にすることで、今の切削加工について理解いただけるものとなっております。

切削加工について本特集を読むことで少しでも理解を深めていただき、様々な分野に貢献いただければ幸いと存じます。

最後に本特集を発刊するにあたり、大学や企業の方々に多大なご協力をいただきました。紙面を借りて、厚く御礼申し上げます。

〔愛知製鋼株式会社 品質保証部 お客様品質・技術室 宇田川毅志〕
技術サービスチーム チーム長

特 集／特殊鋼の技術と用語のやさしい解説 (用語解説編・新材料、磁性材料等)

- I. 構造用鋼
- II. 工具鋼
- III. 特殊用途鋼
- IV. 機能材料
- V. 磁性用語
- VI. 硬質磁性材料
- VII. 軟質磁性材料
- VIII. 非磁性

1月号特集予定…最近の特殊鋼原料事情

特 殊 鋼

第 72 卷 第 5 号
© 2 0 2 3 年 9 月
2023年8月25日 印 刷
2023年9月1日 発 行

定 価 1,252円 送 料 200円
1年 国内7,434円 (送料共)

発 行 所
一般社団法人 特 殊 鋼 倶 楽 部
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館
電 話 03(3669)2081・2082
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>

編集発行人 脇 本 眞 也
印刷人 増 田 達 朗
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。