

# 特殊鋼

2014  
Vol.63 No.3

# 5

*The Special Steel*

特集／切削加工と特殊鋼



# 特殊鋼

| 5 |

## 目次

2014

### 【編集委員】

委員長	紅林 豊 (大同特殊鋼)
副委員長	甘利 圭右 (平井)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	佐藤 元晴 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	川添 健一 (新日鐵住金)
〃	松村 康志 (大同特殊鋼)
〃	内藤 靖 (日新製鋼)
〃	石川流一郎 (日本金属)
〃	宮川 利宏 (日本高周波鋼業)
〃	佐藤 昌男 (日本冶金工業)
〃	加田 善裕 (日立金属)
〃	山岡 拓也 (三菱製鋼室蘭特殊鋼)
〃	中村 哲二 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)

## 【特集／切削加工と特殊鋼】

### I. 総論

1. 特殊鋼の切削加工  
..... 広島大学 山根八洲男 2
2. 切削加工シミュレーション  
..... 東京電機大学 松村 隆 6
3. 快削鋼の最近の動向  
..... 山陽特殊製鋼(株) 藤松 威史 11

### II. 切削加工技術の動向

1. 工具
  - (1) ドリルにおける高速度工具鋼の用途と性能  
..... (株)不二越 柴田 朝子 15
  - (2) バイト (旋削工具)  
..... (株)タンガロイ 小野沢 賢 19
  - (3) エンドミル  
..... 日立ツール(株) 馬場 誠 23
  - (4) ギアカッター・ブローチ  
..... 三菱マテリアル(株) 河野 賢祐 26
  - (5) タップ加工の動向  
..... オーエスジー(株) 中嶋 孝之 29
2. 加工機
  - (1) マシニングセンタ  
..... (株)牧野フライス製作所 粕谷 建司 33
  - (2) 超精密立形加工機  
..... 東芝機械(株) 天野 啓 36

### III. 最新の切削加工技術

1. 環境にやさしく、生産性も高い  
セミドライ加工..... フジBC技研(株) 井上 勤 39
2. ハードターニング加工..... 高松機械工業(株) 澤山 一也 43
3. 表層ナノ結晶粒化プロセスによる  
鉄鋼材料の力学的高機能化  
..... 豊橋技術科学大学 戸高 義一 46

#### IV. 会員メーカーの商品紹介

##### 「みつびし Non-Pb 快削鋼シリーズ」

Non-Pb SC快削鋼…… 三菱製鋼室蘭特殊鋼(株) 渡辺 幹 49

“特集”編集後記…………… 山陽特殊製鋼(株) 西森 博 50

#### ●一人一題：「震災について思う」

……………大洋商事(株) 北 信一 1

■業界の動き …………… 51

▲特殊鋼統計資料 …………… 54

★倶楽部だより（平成26年2月11日～平成26年4月10日）…………… 58

☆特殊鋼倶楽部の動き …………… 60

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 …………… 61

#### 特集／「切削加工と特殊鋼」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	軸受営業部 軸受CS室長
委員	小椋 大輔	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 次長
〃	本田 正寿	大同特殊鋼(株)	特殊鋼製品本部 自動車材料ソリューション部 主任部員
〃	内藤 靖	日新製鋼(株)	商品開発部 特殊鋼開発チーム 主任部員
〃	西 徹	日本冶金工業(株)	高機能材営業推進部 次長
〃	加田 善裕	日立金属(株)	高級金属カンパニー 特殊鋼事業部 技術部長
〃	中矢 干城	三菱製鋼(株)	技術管理部
〃	山岡 拓也	三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	技術部部长
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	甘利 圭右	(株)平井	常務取締役

## 震災について思う

大洋商事(株) きた しん いち  
代表取締役社長 北 信 一

あの忌まわしい東日本大震災から三年が経過しました。人によっては「もう三年」、「ようやく三年」、「まだ三年」と感じ方は様々だと思います。私にとってはつい昨日の出来事のような気がしてなりません。忘れもしませんあの日は、会社の営業会議の真っ最中で各支店、営業所のグループ長以上の幹部社員が本社（中央区・新富町）近くのホテルの会議室に集まり年間見通しや予算計画の策定などで熱い議論を戦わしている時で進行係がコーヒブレイクを宣した直後でした。地中から突き上げるような激しい衝撃と揺れで建物が倒壊するのではないかと最悪の事態が一瞬脳裏をよぎりましたが、誰言うことなく「とにかく外に出る」との掛け声でせまい階段を転げ落ちるような感じで外に出ました。隣接のビルからも多数の人が飛び出してきました。信号機や電線、視野に入ってきたビルが大きく揺れていました。老朽化したホテルへは危険なので戻らず、歩いて二三分のところにある本社へ戻り、近くのコンビニから食料を買い込んで一夜の籠城となりました。私を含めて阪神淡路大震災の経験者が数名いたので手際よく対応できたような気がします。大阪支店の関西組は奇跡的に動いていた新幹線で帰阪できました。

私の実家は福島県の相馬市にあり海岸より4キロほど内陸部だったので津波の被害は免れましたが、ブロックの塀は倒れ、屋根瓦が数十枚落下、棚にあったものが幾つか落ちた程度で人的被害はありませんでした。

この状況が確認できたのが翌日の昼近くでした。電話は全く掛からず、携帯電話も役に立たず、公衆電話が比較的繋がりやすかった。両親の無事は確認できて安堵したが海に近い場所にあった母方の親戚では祖父母と孫娘が津波の犠牲になってしまいました。取引先の社員一名も激しい揺れが収まった直後に連絡の取れない家族の安否を確認に車で自宅まで戻って津波の犠牲になったと聞いた。親戚の孫娘も偶々遊びに行っていた祖父母宅で命を落としてしまいました。世の中一寸先は闇と言うのが紙一重の差が生死を分けてしまう、この様な事例が私の周りでも枚挙に暇がないくらい起きていました。

私は、地震のメカニズムについて論ずる知識は持ち合わせていないが、初期の地震だけでも壊滅的な被害になっていたと思うもののそれに輪を掛けた想像を絶する大津波が被害を大きくしてしまったような気がします。更に、原発の事故がもたらした放射能汚染、事故当日の風向きによって紙一重の運、不運がありました。風向きによっては実家のある相馬地区が汚染されていたかも知れないし、関東地方だって立ち入りが出来ない地区が出来たかも知れない、そういった複合的な事象が重なって被害が更に大きくなったのではないかと考えています。

福島は民謡の宝庫と言われています。特に、私の育った相馬は「相馬盆唄」「相馬二編返し」や「新相馬節」「相馬流山」など数え上げたらきりがありません。それらの民謡のどの歌詞の中にも、のどかで自然豊かな故郷の風景が唄われております。再び、この自然が戻ってくるのに何年かかるのか予測すらない状況です。今でも原発汚染のために立ち入りの制限を受けている飯館村があります。この村に実家の母が俳句の同好会で詠んだ句碑があります。母は、孫達に見せたいと念じておりますが、生活をするために戻れない住民の人達からすると贅沢なことを言うなどお叱りを頂くかも知れませんが、こんな些細な願望すらも拒絶される厳しい環境下に置かれているのが現状です。

幕末に会津藩が幕府に懇請されて朝廷をお守りするために京都守護職に着いたが、天下の情勢の変化と共にいつの間にか朝敵の汚名を着せられて時の官軍に攻め滅ぼされる悲劇がありました。上層部の情報不足か判断ミスなのか後世の識者がいろいろ分析していますが、圧倒的多数の下級武士や町人、百姓は何も知らされないまま戦乱に巻き込まれたのではないのでしょうか、原発の事故にも似たようなことが言えると思います。安全神話のバールでくるんだ原子力発電がエネルギー政策の寵児として持て囃され、開発から運用まで地元には多大の恩恵をもたらしてくれましたが、ひとたび安全神話が崩れるとキバを剥いて襲いかかって来て原発難民を生んだのです。いつの時も被害をまともに受けるのは一般庶民です。私は、原発廃棄論者ではありませんが電力は産業の血液として必要不可欠なものとして認識しております。原発の安全な終息と共に新しいエネルギーの開発が望まれます。

# 切削加工と特殊鋼

## I. 総論

### 1. 特殊鋼の切削加工

広島大学大学院 工学研究院 特任教授 やま 山 ね 根 やすお 八洲男

#### まえがき

本稿は特殊鋼の流通に携わる若手の皆さんを念頭に書いた。対象としている読者の皆さんが、どのような専門教育を受けてこの仕事につかれているのかは不明であるが、大学や高専などの機械系の出身者の割合は多くないと思われるし、まして切削加工の講義を受けた人たちはごく少数と考えられる。

そこで、本稿では特殊鋼を扱われる皆さんに最低限知っておいて欲しい、材料選択から始まり、切削加工の基本的な考え方や材料の被削性（削りやすさ）を解説し、切削加工に携わる者がどのような思いで材料を見ているのかについて述べたい。

#### ◇ 材料選択

我々の身の回りには、自動車を初め非常に多くの工業製品があふれている。これらの製品には特殊鋼を含め様々な金属材料や非金属材料が使われているが、材料を使う側の立場から言えば、材料の特性が具体的に意識されるのは、設計段階からである。

設計では、部品に加わる応力（部品の単位面積あたりに加わる力）や、部品が使われる環境条件（飛行機などでは軽量化が重要であるし、高温下で使用される場合は高温強度や耐酸化性なども必要となる）など様々な要因に加え、素材費および加工コストを考慮して使用する材料を決定する。

素材の価格は市場経済により決定するが、問題は加工コストである。部品をどのように加工するかは生産技術の担当となるが、加工コストは、

- ①使用する機械に関わる経費
- ②人件費
- ③電気代

④工具・切削油剤、加工プログラム、その他など多くの経費を個別に求め合計する必要がある。ただし、通常は計算が煩雑になるため個々の経費を時間単価として求め、「加工時間」×「時間単価」で加工コストを算出することが多い。製造する立場から言えば、加工コストは出来るだけ抑える必要があり、「時間単価」を抑えると同時に、「加工時間」を可能な限り短くする必要がある。

「加工時間」は素材の被削性に左右されることは容易に想像が付く。快削鋼（機械的特性は若干犠牲にしても被削性を向上させた材料）のような削りやすい材料もあれば、SUS304やTi合金あるいはインコネルのような非常に加工しにくい材料もある。加工しにくい材料は素材コストも高くなるがそれ以上に加工コストが高くなるのが問題である。

設計者は生産技術者と連携し、部品に要求される様々な特性を満足させた上で、素材・加工コストを考慮して材料を決定することとなる。

#### ◇ 切削加工の特徴

前述のように切削加工では、「可能な限り加工時

間を短くする」という基本的な要求がある。このためには「切削加工の原理」を理解する必要がある。切削加工は刃物（工具）を用いて、被削材の不要部分を切り屑として分離し、残った部分を機械部品などとして利用する加工である。このため、工具刃先付近で「被削材の大変形」が生じるとともに、工具は被削材から大きな反力（切削抵抗）を受け、また変形による発熱により工具刃先の温度上昇（切削温度）が生じる。

これら切削抵抗や切削温度が原因となり、切り屑のトラブルや工具の損傷などを引き起こす。工具が損傷すると、部品に要求される寸法精度や仕上げ面粗さを得ることが出来ないため、工具は「寿命」と判断される。寿命は通常、分（min）の単位で示すことが多い。この単位が示しているように、工具の寿命は機械部品の寿命のように何年という長さから較べれば、非常に短いのが特徴である。

切削加工において最も重要なのは加工された部品の「寸法精度」「仕上げ面粗さ」「加工コスト」であり、これらを要求する範囲に収めるにはどうすれば良いかが「加工技術者」の腕の見せ所となる。しかし、これは簡単な話ではない。図1に示すように、切削加工では、「切削条件（切削速度、切り込み、送り、使用工具、切削油剤など）」を初め、「被削材の特性」、さらには使用する「工作機

械やプログラム」など、加工に際し決めなければならない条件が非常に多い。言い換えれば選択肢の幅が非常に広い加工法であると言えるが、これは逆に、「どこをどう変えればどうなるか」という因果関係が複雑になることを意味している。

対象とする「被削材」で希望する「寸法精度」や「仕上げ面粗さ」「切り屑処理性」「工具寿命」を得ようとするれば、「切削条件」や「工作機械」などの「入力条件」をどうすれば良いのかと言った問題を解くには、場当たりの対応ではなく、切削加工中に何が生じているかを理解していることが重要である。

### ◇ 切削加工のメカニズム

図2は切削時の刃先で生じている現象を模式的に示したものである。

切り屑生成機構は工具刃先が被削材内に押し込まれることにより、刃先前方の被削材内部で生じる大規模変形とそれに伴う切り屑分離メカニズムを議論するものである。ここでは、被削材を変形させるのに必要な応力とそれに伴う温度上昇および凝着が主たる議題となる。なお、凝着とは被削材の一部が工具刃先に付着する現象であり、ステンレスやTi合金あるいはフェライト系のダクタイル鋳鉄の切削などでしばしば観察され、これが生じると刃先の損傷を引き起こしたり、仕上げ面が

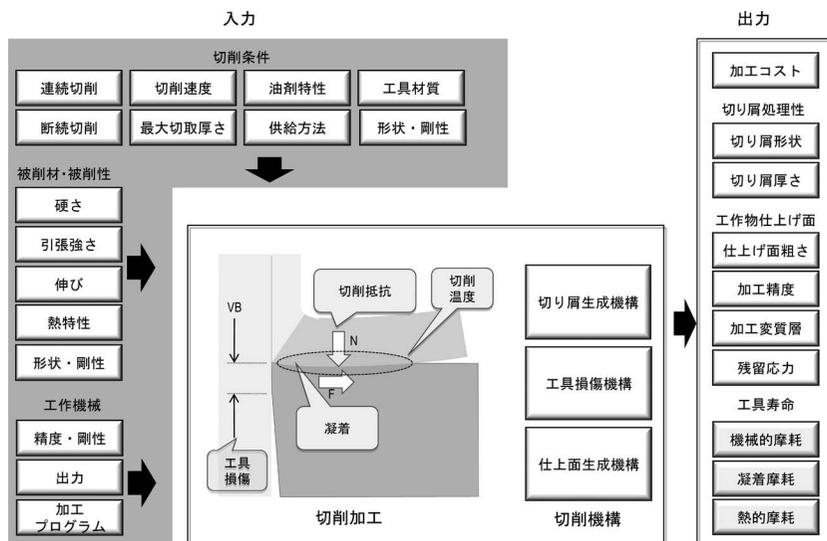


図 1 切削加工の入出力

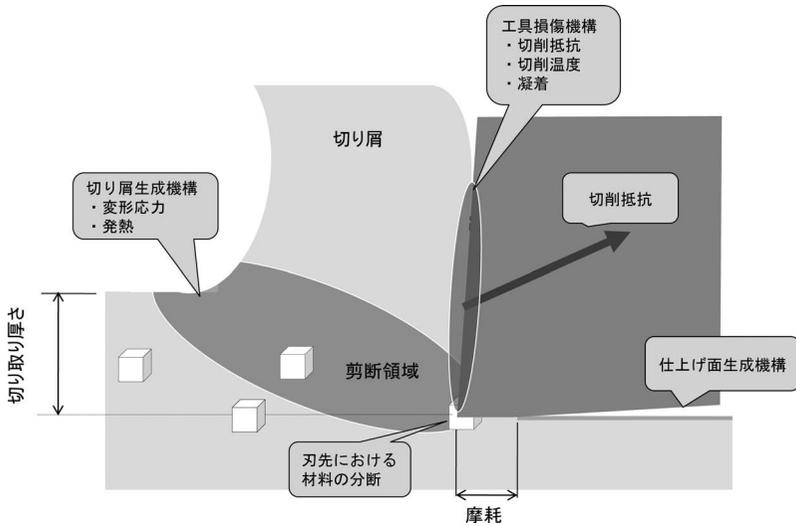


図 2 工具刃先で生じている現象

悪化したりするため、切削加工では避けることが望ましい。

工具損傷機構は、切り屑生成に伴う力（切削抵抗）や温度上昇（切削温度）あるいは被削材の工具への凝着により、工具が受ける損傷を取り扱う。

仕上げ面生成機構は切削加工の結果、仕上げ面が生成される現象を議論するものであり、潤滑の有無などにより大きく異なることから、トライボロジー的な要因が深く関わり、未解明な部分も多い。

何れの機構にせよ、切削抵抗、切削温度および凝着がキーワードであり、これらを理解し、必要があれば正確な値を知ることが切削加工を理解する上で必要不可欠である。

### ◇ 被削性指数

被削性の判断基準は幾つかあるが

- ① 切削抵抗
- ② 切削温度
- ③ 工具寿命
- ④ 切り屑処理性
- ⑤ 仕上げ面粗さ
- ⑥ 凝着性

などが、一般に使われている。

ある材料（例えばSUS304）を取り上げ、これがどの程度の被削性を持っているのかを数値化して知りたい場合、基準となる材料を定めて、これに対しSUS304がどの程度の被削性を持つのかという

相対的な評価を行う場合が多い。

これは、これまでに述べた切削加工の複雑性に原因がある。切削加工では多くの要因が絡み合っており、使用した工作機械によっても結果は異なる。従って、SUS304を切削した結果「工具寿命が何分」であった、という情報はあまり意味を持たないことになる。そこで、使われるのが相対評価である。例えば一般によく使われる材料を基準材として、SUS304は基準材の60%

の被削性を持つという表現である。

具体的には、図3に示す工具寿命線図を使う。工具寿命線図は、両対数グラフを用いて、切削速度－工具寿命の関係を示した図である。多くの場合、両者の関係は両対数グラフ上で直線になることが知られている。この図は両者の関係を実験的に見つけた、F.W.Taylorにちなんでテーラーの寿命線図と呼ばれることもある。

さて、低炭素硫黄快削鋼SUM21を基準材料（被削性が優れた材料）として、SUM21を切削した場合の工具寿命が例えば20分となる切削速度をV（SUM21）とし、被削性を知りたい材料（ここではSUS304）を切削した場合の同じ20分の工具寿命となる切削速度をV（SUS304）とすれば、被削性指数は

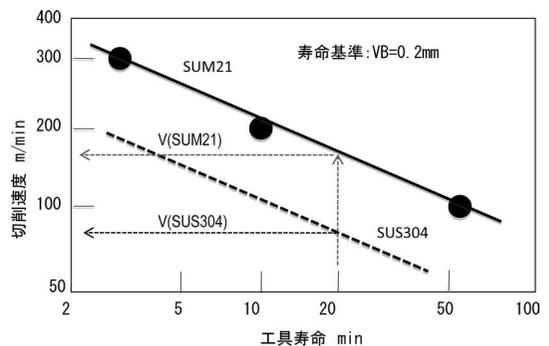


図 3 工具寿命線図の例

$$\text{被削性指数} = V(\text{SUS304}) / V(\text{SUM21}) \times 100$$

と表される。すなわち、被削性指数が小さくなればなるほど削りにくい材料となる。従ってもし、自社でSUM21を加工した経験があれば、どの程度の切削速度で削れば良いのか、ということが被削性指数を使って推定することが可能となる。被削性指数（英語ではMR: Machinability Rating）についてはインターネットなどに公表されているので参考にされたい。

### ◇ レーダーチャート

さて、被削性指数は実験的に求めた基準材料に対する切削速度比であり、定量的な意味を持つが、よく知られているようにSUS304と言っても熱処理条件により硬さや引っ張り強さは大きく異なることから、被削性指数を厳密に求めようとするほど、膨大な実験が必要となる。また、被削性指数自体、厳密な値を取るとは考えにくく、もう少し簡便な被削性を表す指標があると便利である。

レーダーチャートは簡便であると同時に実験をすること無く、公表されている材料特性から被削性を知りたいという要望から考案された。背景となる考え方は論文<sup>1)</sup>を参考として頂くとして、基本となる材料特性は

- ①硬さ (Hv)
- ②引っ張り強さ (MPa)
- ③伸び (%)
- ④(熱伝導率×比熱×密度)<sup>-0.5</sup>

の4つである。

レーダーチャートも基準材料（この場合はS45C）をベースとし、S45Cのそれぞれの値に対し、例えばSUS304の値の比を求め、図に示したものである。例えば、硬さについては

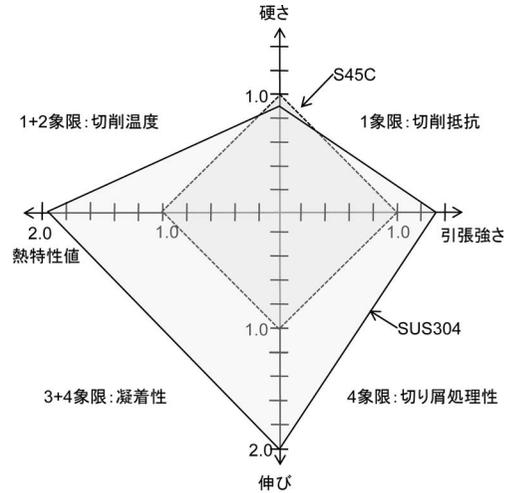
$$Hv(\text{SUS304}) / Hv(\text{S45C})$$

となる。従ってS45C自身のレーダーチャートを書くと、硬さについては

$$Hv(\text{S45C}) / Hv(\text{S45C}) = 1$$

となる。他の軸も同様、それぞれの値は1となり正四角形となる。そこでSUS304の①～④の値が分かっていたらそれぞれS45Cの値との比を取り、各軸に記入すると図4のようなようになる。

詳細は省略するが、それぞれの象限の面積は図に示すような被削性の判断基準と関連を持つこと



面積が大きくなるほど被削性は悪くなる

図 4 レーダーチャート

から、材料の被削性をおおよそ判断できることとなる。

### むすび

コンピュータやカメラあるいは自動車など耐久消費財と呼ばれる幾つかの品々を、ここ1-2年で個人的に購入した。購入の際には販売担当者と話をしたが（当方は基本的に話し好きである）、担当者により商品知識に対する絶対量が大きく異なり、年年その差は増大しているように思われる。

少し話をただけで、「これ以上何を聞いても無駄」と思わせる人もいれば、知識量は今一つであるが「鍛えてみたい若者」（教授の悪い癖である）、さらにこちらが「期待する以上の知識を与えてくれる人」、等々様々である。

流通に限らず仕事をする上で最も大事なことの1つは情報交換である。人に信頼されなければ得られる情報も限られてくる。客は担当者から情報を得ようとするが、担当者も客から情報を得ようと心がけているはずである。「商品に対する知識は客の信頼を得る上で重要な要素」であると思うが如何であろうか。

### 参考文献

- 1) 山根八洲男、関谷克彦：難削指数による難削材性の評価、精密工学会誌、70巻、3号（2004）p. 407-411

## 2. 切削加工シミュレーション

東京電機大学 まつむら 松村 たかし 隆  
工学部 教授

### まえがき

製造工程におけるITの活用は、情報機器、ネットワーク技術の発達とともに増え、製造作業の合理化だけでなく、サービス、生産技術のデータベース化など様々な分野でその効果を発揮している。また、近年では、切削過程のシミュレーションに対する期待も高まり、メーカーの生産現場では、シミュレーションによる切削作業の改善に対する試みが増えている。切削過程に対する数学モデルの導入は、Taylorの工具寿命方程式に基づく経済性評価と切削条件の最適化に関する研究から始まり、これまでにその実用化に対して数多くの試みがなされてきた。しかし工具寿命方程式のデータベース化には多大な切削試験を要するため、年々変化する工具や被削材の特性に対応できないという問題があった。このような状況の中で、少ない材料試験または切削試験でデータベースを完備し、切削過程をシミュレーションできれば、切削工程の最適化が可能になるという期待が高まった。切削過程のシミュレーションの研究は1970年代より始まり、学会等で多くの成果が報告されているが、当時はコンピュータの性能が低く、そのシミュレーションも実用レベルにはほど遠いものであった。しかし、近年では、パーソナルコンピュータでも有限要素法解析が可能となり、切削過程のシミュレーションに対する関心が高まっている。ここでは、切削シミュレーションに期待される効果を述べ、現在の切削シミュレーションを技法ごとに解説する。また、著者が開発している切削シミュレーションについて紹介する。

### ◇ 切削シミュレーション導入に対する効果

自動車・航空機産業をはじめ、多くの分野で切削は不可欠な加工技術となっているが、切削作業において適切な工具と切削条件を選定することはコストおよび生産性の観点から重要な課題であり、

これが同業他社、さらには海外企業に対する競争力の強化につながる。そのためメーカーにおける生産技術開発では、種々の切削試験により試行錯誤を繰り返し、作業の改善や最適化を図っている。

一般に、切削工具の切れ刃形状は工具摩耗だけでなく、びびり振動や切りくず処理に対しても影響を及ぼすため、これらを考慮した形状設計が望まれている。そのため工具メーカーでは、種々の切れ刃形状を設計しそれらの性能を評価している。しかしながら設計の成否は試作と切削試験の結果を待たなければならず、新工具の開発にはかなりの期間が必要となる。

一方、工具ユーザーである自動車および自動車部品をはじめとする多くのメーカーでも、最近では自社で工具設計を手がけるようになってきている。これは自社の専用工具を使用することが、他社にない品質の確保と生産効率の向上につながると考えられているからである。しかしながら、これらのメーカーが自社で工具を内製することは困難であるため、社内で設計した工具を工具メーカーに外注している場合が多い。そのため、設計した工具の性能は新工具納入後の切削試験による評価を待たなければならないのが現状である。

このような現状に対して、切削シミュレーションに基づく工具設計が可能となれば、設計段階での評価、すなわちデザインレビューが試作と切削試験なしで可能となり、工具の開発や改良に対する期間とコストを削減できる。また新工具開発後も所与の作業に応じて切削条件を最適化できることになる。

### ◇ 切削シミュレーションの分類

切削シミュレーションを大別すると、

- (1) 切削係数法
- (2) エネルギー解析法
- (3) 有限要素法

になる。これらの特徴を表1に示す。切削係数法

表 1 切削シミュレーション

	解析手法	出力	特徴(長所・短所)
切削係数法	切削力 = 比切削抵抗 × 切削面積 + 刃先の押込み力	切削力	【長所】 計算時間が早い、びびり振動の解析まで容易に可能。 【短所】 工具形状に依存する比切削抵抗のデータベースの管理が問題。
エネルギー解析法	三次元の切りくず形状を二次元切削の重ね合わせとしてモデル化。切りくず流出方向はエネルギー最小の方向	切削力 切りくず流出方向 切削エネルギー	【長所】 ①切りくず流出方向が解析的に得られる。②二次元切削データのみで任意の切れ刃形状に対応するため、工具形状設計に利用できる。③データベースの管理が容易。 【短所】 比切削抵抗法に比べて解析時間がかかる。
有限要素法	塑性力学に基づく数値解析。流動応力特性により材料の変形を逐次解析	切削力 材料と工具の応力・ひずみ・温度	【長所】 ①切りくず形状が得られるため、切りくず処理の具体化が可能。②材料内部の応力、ひずみ、温度から加工変質層、残留応力等が評価できる。 【短所】 ①解析時間がかかるため、三次元の複雑な工具形状に対する解析が困難。②流動応力特性の完備、管理が困難。

は、切削厚さと切れ刃長さを幾何学的に計算し、単位面積あたりの切削抵抗(比切削抵抗)と単位切れ刃長さあたりの刃先力に基づいて切削力を解析するものである。この解析法に基づいたシミュレーションは、これまでにTlusty<sup>1)</sup>、DeVorらの研究をはじめ国内外において数多くなされている。また近年ではAltintasの研究グループ<sup>2)、3)</sup>によってアメリカやカナダを中心にCutPro<sup>4)</sup>が市販され、びびり振動解析まで対応できるようになっている。

エネルギー解析法<sup>5)</sup>に基づく切削シミュレーションは、切削係数法が切削力のみを出力するのに対して、切りくず流出方向が得られることが利点として挙げられる。特に近年の各メーカーが試みているドライ切削や、切りくずの絡みが工具の折損を引き起こすドリル加工では、切りくず流出方向の情報が重要になっている。解析で得られる情報としては、次に挙げる有限要素法に比べてはるかに少ないが、例えば、ノートパソコン上で数分の解析時間内に切削力と切りくず流出方向が得られることから、現場レベルでの実用性が高い。また、前述の切削係数法で使用される比切削抵抗は切れ刃形状に依存するため、それぞれの形状に応じてデータベースを用意しなければならない。これに対して、エネルギー解析法は二次元切削に関する特性を基礎データとし、切れ刃形状の変化に対して容易に対応できることから、工具の形状設計にお

ける支援ツールとして利用できる。エネルギー解析法による切削過程のシミュレーションは、これまでに旋削<sup>6)</sup>、フライス<sup>7)</sup>、ドリル<sup>8)</sup>に応用されている。また最近では、旋削加工において切削温度と工具摩耗まで解析できるシミュレーターも開発されている<sup>9)</sup>。

有限要素法解析では、切削過程における工具と材料内部の状態に対し、上述の2つの手法に比べてはるかに多くの情報が得られる。切削過程の解析に対する有限要素法の導入は1970年代より試みられているが、近年ではThird wave systems社によってAdvantEdge<sup>10)</sup>が市販され、国内外の各メーカーで、その利用が増えている。同社の解析ソフトは、エンドミルやドリルによる三次元の切削過程にも対応できるようになっているが、解析に時間がかかるため、工具設計や切削条件の最適化ツールとしては、未だ課題が残されている。また、解析には材料の構成方程式が必要であるが、この特性を得るには高ひずみ速度の材料試験が必要であるため、このデータベース作成は容易ではなく、現在のところ、Third wave systems社のデータベースを使用した解析がほとんどである。

#### ◇ エネルギー解析法に基づく切削シミュレーション

以下では、現在、著者らが開発しているエネル

ギ解析法に基づく切削シミュレータについて紹介する。

### 1. 旋削加工用切削シミュレータCyber Turning

Cyber Turningは旋盤加工において、被削材、工具形状、工具材質、切削条件を入力情報とし、切削力、切りくず流出方向、切削温度、工具摩耗を予測する。

切削力の解析では、図1のような旋削における三次元の切りくず生成過程を、切削方向と切りくず流出方向を含む面内の二次元切削の重ねあわせとして考える。解析に必要な基礎データは、二次元切削におけるせん断角、せん断せん断応力、摩擦角に関する実験式であり、これらが切りくず生成モデルにおける二次元切削の物理的な諸量を与える。この方法では、切りくず流出方向を仮定すると、切削速度と切りくず流出速度を含む面内の二次元切削におけるすくい角が幾何学的に計算でき、二次元切削モデルとこの面内で消費するエネルギーが得られる。これを切削領域で積分すれば切りくず生成に消費される切削エネルギーが計算されるが、切りくず流出方向は切削エネルギーが最小となるように決定され、これに基づいて切削三分力が計算される。

このように切削力解析において、せん断面でのせん断仕事や工具面での摩擦仕事を計算できるため、これに相当する発熱強度を考えれば、切削温度分布が解析できる。図2は有限体積法による切削温度分布の解析例である。有限体積法は有限要素法に比べて解析時間が短く、同図の温度分布は通常のノートパソコンでも数十秒で計算できる。さらに、このような温度分布と応力分布が得られれば、次式の摩耗特性式に基づいて、すくい面摩

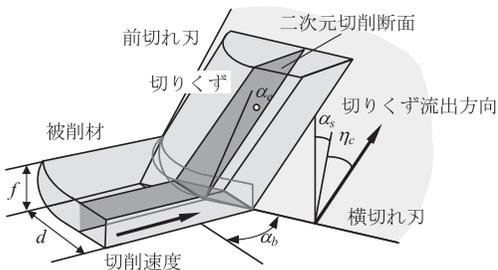


図1 旋削過程における三次元切りくず生成モデル

耗や逃げ面摩耗の解析が可能である。

$$\frac{dW}{\sigma dL} = C \exp\left(-\frac{\lambda}{\theta}\right) \quad (1)$$

ただし、 $dW/dL$ は単位面積単位擦過距離当たりの摩耗体積、 $\sigma$ と $\theta$ は工具面の応力と温度、 $C$ と $\lambda$ は工具摩耗特性定数である。図3にインコネルX750の切削における逃げ面摩耗の予測シミュレーションと実測値を比較した例を示す。

このシミュレータはチップブレイカ付き工具などの複雑な形状には対応していないが、特に専門的な知識がなくても簡単に操作でき、視覚的に切削状態を把握できる。現場や生産管理部門において切削条件や工具形状を決定する際に、それらの影響を調べたり、最適化の指針を考える場合に利用できる。また有限要素法のように詳細ではないが、刃先の温度や応力が解析できるため、切れ刃

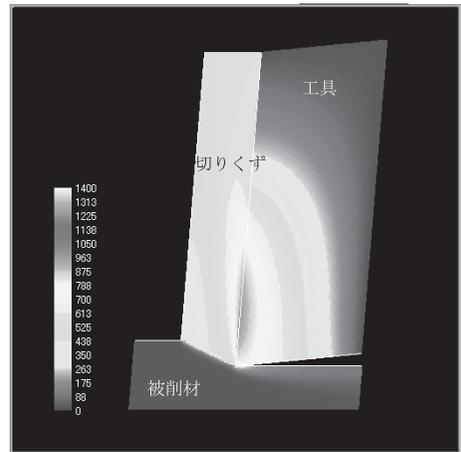


図2 切削温度分布の解析例

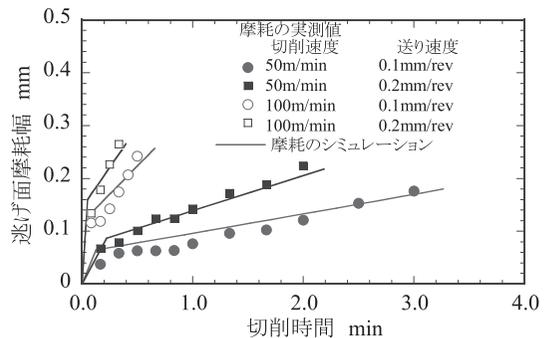
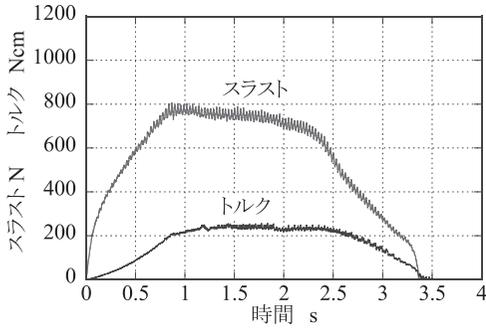
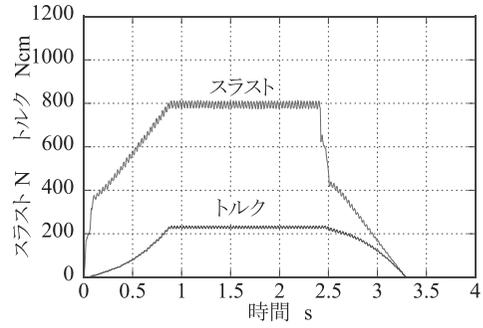


図3 逃げ面摩耗のシミュレーション



(a) 測定値



(b) シミュレーション

切削条件: 被削材, Ti6Al4V; 工具, 超硬 (TiAlNコート); 工具回転数, 995rpm; 送り, 0.1mm/rev.

図 4 圧延チタン合金のドリル切削シミュレーション

の溶着や被削材に対するコーティング材質の適合性などの評価に利用できる。さらに、切りくず流出方向が解析できるので、これに基づいて切削条件や工具形状を調節しながら、切りくずを排出する方向を制御できる。

## 2. マシニングセンタ作業用切削シミュレータ Cyber Machining<sup>11)</sup>

Cyber Machiningはエンドミルやドリル加工などのマシニングセンタにおける切削作業に対して、切削力と切りくず流出方向を予測する。また、得られた切削力に基づき、振動を考慮した動的切削過程の解析も可能である。簡易的な解析ではあるが、ドリルの切削シミュレーションでは、切削温度、工具摩耗まで予測できる。

このシミュレータの特徴は、切れ刃形状編集機能によってユーザーが切れ刃形状を任意に定義し、切削状態を解析できることである。そのためこのシミュレータは、工具開発におけるデザインレビューの解析ツールとして利用できる。

この解析に必要なデータは、Cyber Turningと同様の二次元切削モデルに関する実験式である。しかし、一般の加工現場で実加工と異なる二次元切削試験によって二次元切削データを用意することは困難である。そこで、このシミュレータでは、エンドミルやドリル切削で得られた切削力データに基づいて、二次元切削データを逆解析によって同定し、データベースを作成できるデータベース管理機能を有している。したがって、一度、データベースができれば、他の様々な切削条件や工具形状に対して切削状態を解析できる。また、逐次、

切削力データを入力して特性データを同定すれば、データベースの質も改善され解析精度が向上する。図4にチタン合金のドリル切削におけるシミュレーションと実測との比較を示す<sup>12)</sup>。このようにチゼル部の食いつきからリップ部が貫通するまでの一連の切削過程を解析できるため、これらの切削力変化に基づいてチゼル、シンニング、リップの形状設計が可能となる。

## むすび

ここでは切削過程のシミュレーションに関する歴史的な背景から最近の動向について述べてきたが、コンピュータ技術の発達にともない、シミュレーション技術は今後もより多くの製造現場で有効に活用されるであろう。切削過程のシミュレーションに対するユーザーの要求は、以下のようにまとめられる。

- (1) 汎用性 (シミュレーションが対応できる作業と解析できる物理諸量)
- (2) 解析時間
- (3) 解析精度
- (4) データベース管理の容易さ

シミュレーションの導入においては、まず目的を明確にし、汎用性と解析時間に対する仕様を決めるべきである。また、シミュレーションの精度は、解析に必要なデータベースの質に依存するため、データベースの管理が可能なソフトを導入すべきである。読者が切削シミュレーションを有効に利用し、さらなる切削作業の改善を進められることを期待したい。

## 引用文献

- 1) Smith, S., and Tlusty, J., "An Overview of Modeling and Simulation of the Milling Process," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 113 (1991) pp. 169-175
- 2) Bayoumi, A. E., Yucesan, G., and Kendall, L. A., "An Analytical Mechanistic Cutting Force Model for Milling Operations: A Theory and Methodology," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 116 (1994) pp. 324-330
- 3) Yucesan, G., and Altintas, Y., "Prediction of Ball End Milling Force," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 118 (1996) pp. 95-103
- 4) <http://www.malinc.com/>
- 5) Usui, E., Hirota, A., and Masuko, M., "Analytical Prediction of Three Dimensional Cutting Process —Part1 Basic Cutting Model and Energy Approach," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 100 (1978) pp. 222-228
- 6) Usui, E., Hirota, A., and Masuko, M., "Analytical Prediction of Three Dimensional Cutting Process — Part2 Chip Formation and Cutting Force with Conventional Single-Point Tool," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 100 (1978) pp. 229-235
- 7) 広田明彦、白井英治：平フライス切削における切削抵抗の解析的予測、精密機械、44巻、4号（1978）pp. 508-514
- 8) 広田明彦、笠原和夫：ドリル加工における切りくず生成状態と切削抵抗の解析的予測（第1報）—切削模型とエネルギー解析法および二、三の予備的結果、精密機械、47巻、8号（1981）p. 987
- 9) Matsumura, T., Obikawa, T., Shirakashi, T. and Usui, E., "On the Development of Cutting Process Simulator for Turning Operation," Proceedings of the 6th International ESAFORM Conference on Material Forming (2003) pp. 519-522
- 10) <http://www.thirdwavesys.com/>
- 11) Matsumura, T. and Usui, E., "Predictive Cutting Force Model in Complex-shaped End Milling Based on Minimum Cutting Energy, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, No. 5 (2010) pp. s458-466
- 12) Matsumura, T., Tamura, S. and Arrazola, P.J., "Cutting Force Prediction in Drilling of Anisotropic Materials," Key Engineering Materials, Vols. 504-506 (2012) pp. 1365-1370



### 3. 快削鋼の最近の動向

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 藤 松 威 史

#### まえがき

切削加工は、機械部品の製造コストやリードタイムに対して大きなウェイトを占めている。特に近年では、生産性向上のために加工設備の無人運転化や、高速・高能率加工化に精力的に取り組まれるようになった背景から、切削トラブルの回避は以前に増して重要課題となっている。他方で、環境保全の観点から切削に関わる環境負荷因子の軽減が求められている。特殊鋼の分野においては、従来から切削加工性に優れ、強度への悪影響が小さいPb快削鋼が重用されてきた。しかし、Pbは環境負荷物質であるために使用規制の動きが活発化しており、欧州ELV指令（ELV：End of Life Vehicles）ではPb等の重金属の使用制限条項が設けられている。現時点で、0.35mass%以下のPbを含有する鋼材は例外的に規制対象外<sup>1)</sup>であるが、今後の規制強化については予断を許さない。そこで、製鋼メーカー各社は1990年代から精力的な研究開発に着手し、Pbに代替可能な有望な快削性物質として硫化物（MnS）、BN、黒鉛、Bi、P、Sn、Te等が見出され、そこから様々なタイプのPbフリー快削鋼が提案された。以下では、最近の主要なPbフリー快削鋼の特徴とその動向について紹介する。

#### ◇ 快削鋼の主分類

快削鋼は、快削性物質の被削性改善機構の違いにより下記の4タイプに大別される<sup>2)</sup>。

- ①低融点物質（Pbなど）による溶融脆化を利用するタイプ
- ②軟質介在物（硫化物など）への応力集中効果を利用するタイプ
- ③低融点酸化物（Ca系など）による工具表面被覆保護効果を利用するタイプ
- ④マトリクスおよび結晶粒界脆化元素（Pなど）を利用するタイプ

Pb代替物質には被削性向上効果以外に、環境への影響、調達容易さ、製造工程に対する負荷への配慮も必要となる。それらの点から、安価な硫黄（S）を活用した②の硫化物を利用するタイプのPbフリー快削鋼に注目が集まり、硫化物の応力集中効果の副作用として生じる強度低下を硫化物形態制御で補ったさまざまな快削鋼が開発・提案されている。表1に快削鋼に利用される主な合金元素を示した。

#### ◇ Pbフリー快削鋼の特徴

Pbフリー快削鋼として代表的な硫黄（S）快削

表 1 鋼の快削性に寄与する主な合金元素

合金元素	快削性に対する寄与
C	セメントタイトの黒鉛化による潤滑作用
B	h-BN形成による応力集中作用、潤滑作用
Ca、Mg	硫化物形態制御、工具面保護作用
P	マトリクス、結晶粒界脆化
S、Mn	硫化物の主要形成元素
Ti	硫化物形態制御（微細分散）
Cr	硫化物大型化による切削面粗さ向上
Zr	硫化物形態制御
Se、Te	硫化物形態制御（球状化）による被削性、異方性改善
Pb、Bi	潤滑作用、溶融金属脆化、応力集中作用

鋼、黒鉛鋼、BN快削鋼、Bi快削鋼の特徴、および最近の主な知見について以下に示した。

### 1. 硫黄 (S) 快削鋼

硫黄 (S) 快削鋼には、S添加によって鋼中に非金属介在物として数 $\mu\text{m}$ 以上程度の大きさのMnSが生成・分散しており、これが切削時の応力集中源としてき裂の発生・伝ばを助長することで広範な条件下で快削性を発揮する。一方、硫化物は熱間加工方向に延伸する特徴があり、その分散状態に起因して鋼材の圧延方向とその直交方向で強度差 (異方性) が出る場合がある。代表的なPbフリー硫黄快削鋼にはAISI 12L14代替の低炭素硫黄快削鋼、および機械構造用硫黄快削鋼がある。前者は快削性と仕上面精度が求められ、後者は快削性と機械的強度の両立が求められている。

AISI 12L14は、OA機器用シャフトや自動車の油圧制御バルブ等<sup>3)</sup>に用いられ、Pを0.04~0.09%、Sを0.26~0.35%、およびPbを0.15~0.35%含有するなど極めて多量の快削性物質が添加されている。細径部品が比較的多く、仕上面精度の点から比較的低速で切削され、また切削抵抗を減らす快削性物質が多いことにより切削箇所が400℃程度の低温下で切削される<sup>4)</sup>。その特徴から、切削工具先端には構成刃先と呼ばれる付着物が形成されやすい。構成刃先は被削材が工具表面に堆積したものであり、工具のように振舞って工具寿命を延長させる場合がある。その一方で、切削中の生成・脱落が避けられないため、仕上げ面精度への影響が懸念されている。仕上げ面粗さを向上させるには、構成刃先を小さく、かつ安定させる必要がある<sup>4)</sup>。そこで、AISI 12L14代替のPbフリー低炭素硫黄快削鋼では、快削性付与と仕上面粗さ向上を両立させるために凝固段階でのMnS大型化や熱間圧延時のMnS変形抑制が指向されている。その手段として、酸素含有量の増大<sup>5)、6)</sup>や、Cr、Sの増量等<sup>3)</sup>が図られている。図1、2<sup>5)</sup>に示すように、MnSを大型化した場合 (Steel S) の仕上面粗さはTi微量添加による硫化物微細分散鋼 (Steel T) より優れ、Pb快削鋼 (Steel Pb) に匹敵している。

機械構造用用途では、クランクシャフト用途等のPb快削鋼に代替可能なPbフリー硫黄快削鋼の研究開発が活発に行われた。同用途では熱間鍛造後の削り代の多さや、油穴の深穴加工性確保の点か

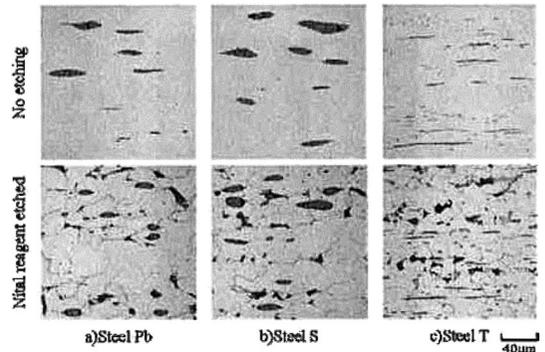


図 1 供試鋼のマイクロ組織<sup>5)</sup>

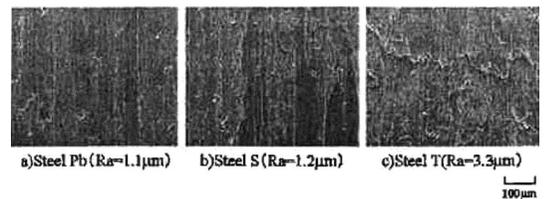


図 2 二次元切削表面のSEM観察結果、および表面粗さ<sup>5)</sup>

ら鋼素材の快削化の要求が強く、一方で部品機能として繰返し荷重下での強度も要求される。そこで、Pbフリー化にあたっては快削性と機械的強度という相反する特性の両立が望まれている。その実現のため、硫化物形態制御による異方性改善の取組みが精力的に行われ、硫化物の均一分散化<sup>2)、7)</sup>、アスペクト比低減<sup>8)~10)</sup>等によって異方性軽減が図られている。硫化物均一分散には、溶鋼段階の鋼にCaを添加することでCa系酸化物 (CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系酸化物、あるいはアノルサイトやゲーレンイト) を人為的に生成させ、これを硫化物核として利用する<sup>9)</sup>。また、Ca-Mg系酸化物も硫化物核として有効とされる<sup>2)、7)</sup>。さらに、CaやMgを添加した鋼では、硫化物中にCaやMgが固溶して熱間加工中の硫化物変形を抑えるため、低アスペクト比の硫化物を得やすくする。図3<sup>2)</sup>はCa、Mg添加を利用したシャルピー衝撃値の異方性改善の一例である。疲労強度についても、Ca添加あるいはCa、Mg添加の硫黄快削鋼において、き裂伝ば試験におけるき裂発生・伝ば挙動にPb快削鋼との有意差が無いとの報告がある<sup>8)、11)</sup>。また、切削性に関し、CaやMgを添加したタイプのPbフリー硫黄快削鋼は、工具表面温度が高温になる超硬工

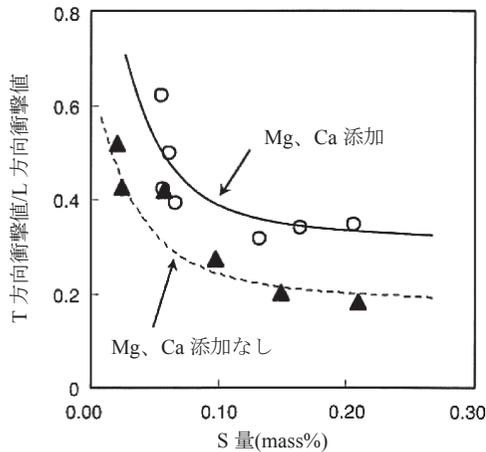


図 3 S量とMg、Ca添加が衝撃値異方性に及ぼす影響 (JIS 2mmUノッチ試験片、室温、ASVa45C)<sup>2)</sup>

具旋削の際に被削材中の比較的低融点のCa、Mg含有酸化物、あるいは(Ca、Mn)Sのような硫化物が工具表面に付着して保護膜を形成<sup>2)、7)、9)~13)</sup>し、熱拡散による工具摩耗を大きく軽減する。最近、保護膜の形成機構に関し、Ca脱酸鋼切削時のP20種超硬工具へのゲーレンイト組成系付着物の堆積・成長には、それに先立って工具材質のWCと(Ti、W)Cの摩耗速度差による凹凸形成が関与するとの報告が行われた<sup>14)</sup>。一方、硫黄快削鋼の切り屑の切れ易さは、Pb鋼と同等もしくは優れるとの報告もある<sup>2)、13)</sup>。また、不必要なS増量は機械構造部品の強度を低下させる懸念があるため、硫化物を微細分散化して鋼中数密度を高めて切り屑処理性を改善した事例も紹介されている<sup>15)</sup>。なお、ブローチ加工のような極めて低速の切削では、Pbの溶融脆化は十分発揮されにくく、むしろ硫黄快削鋼の方が有利と考えられている<sup>16)</sup>。

## 2. 黒鉛快削鋼

上記紹介したPbフリー硫黄快削鋼は、広範な用途に適用可能であるが、非金属介在物を多く含むことから冷間鍛造性に優れるとは言いがたい。そこで、冷間鍛造部品用のPbフリー快削鋼としては、冷間鍛造性を阻害しない快削物質を選定する必要がある。開発事例として、鋼中セメンタイトを黒鉛化して利用するものがある<sup>17)</sup>。硬質なセメンタイトを軟質な黒鉛に変えることにより、鋼材硬度が低下して冷間加工性が良好になる<sup>18)</sup>。さら

に、黒鉛は潤滑作用があり<sup>19)</sup>、ハイスドリル加工性はPb快削鋼を凌ぐとの報告がある<sup>18)</sup>。また、黒鉛は焼入れ加熱時に固溶するので疲労強度を劣化させない<sup>17)</sup>。一方、鋼中セメンタイトの黒鉛化に長時間を要すること<sup>17)</sup>や、黒鉛化を阻害するCr、Mnの添加が制限されること<sup>18)</sup>など課題もある。黒鉛化処理の時間短縮のため、黒鉛と構造や形態が類似したBNを黒鉛核として利用した例が報告されている<sup>17)</sup>。

## 3. BN快削鋼

BN快削鋼は、硫黄快削鋼と同じく被削性と機械的強度の両立を目指して開発された。BN(六方晶BN)は白色黒鉛とも称され、上記の黒鉛に類似した結晶構造、物理的性質を有する<sup>20)</sup>。BNを鋼中に析出させるための鋼へのB添加量は数10ppm程度とごく微量であり、機械的性質への影響は小さいと考えられている。BNには①切欠き効果、②切り屑せん断域での脆化作用、③潤滑効果、④工具の拡散摩耗抑制効果があるとされ<sup>20)、21)</sup>、ハイスドリル加工、超硬工具加工のいずれにおいても優れた被削性を示す<sup>20)~23)</sup>。なお、④に関連して、BN含有快削鋼切削時にAlNが工具表面に付着して熱的摩耗(拡散摩耗)を抑制するとされる<sup>21)~24)</sup>。AlNが付着しやすい工具としてP種工具<sup>23)</sup>やTiAlNコーテッド超硬工具<sup>22)</sup>が紹介されている。また、低S量で快削性が得られることから黒鉛快削鋼と同様に冷鍛用途への適用が期待されている。

## 4. Bi快削鋼

Pbは融点が低く(327°C)、切削中の温度上昇により溶融脆化して切り屑を分断しやすくする。この優れた特性を継承する快削物質としてBiが見出されている<sup>25)</sup>。Bi(融点271°C)はPb同様の低融点物質でありつつも、人体への蓄積性はPbより極めて低いとされる<sup>26)</sup>。また、BiはPbの約半分の添加量でPb快削鋼同等のハイスドリル寿命が得られ、切り屑処理性にも優れるとされる。一方、超硬工具寿命向上効果はPb快削鋼と同様にあまりみられない。Pb快削鋼に類似した特徴から代替は容易と考えられるが、Biはレアメタルであるため原料調達性には課題が残る。

## むすび

製鋼メーカー各社によって環境負荷物質である

Pbを含有する快削鋼に代わるPbフリー快削鋼の開発が精力的に行われた。それによりAISI 12L14代替の低炭素硫黄快削鋼やクランクシャフトやコンロッドなどの機械構造用途では既に実用化が進んでいる。最近では、鋼種開発はほぼ一段落し、Pbフリー快削鋼における被削性改善機構をより高度な手段を用いて解明しようとする取組みが行われている。他方で、高速・高能率加工やドライ・セミドライ加工化の流れから、部品の切削加工条件はますます苛酷化していくと予想される。Pbフリー快削鋼の特長として本稿で紹介した工具面保護作用は、そのような環境下でより効果を発揮しやすいと考えられる。切削加工は生産性を大きく左右する重要工程であり、昨今の生産性向上ニーズから今後も切削加工のトラブルシューティングは避けて通れない。切削工具、潤滑技術、切削装置、シミュレーション技術のさらなる進展と併せて、快削鋼の有効活用による切削諸問題の解決が期待される。

#### 参考文献

- 1) G. Bernsmann, M. Bleymehl, R. Ehl and A. Hessler: Stahl und Eisen, 121 (2001), 87
- 2) 常陰典正、藤松威史、平岡和彦: Sanyo Technical Report, 10 (2003)、35
- 3) 村上俊之、富田邦和、白神哲夫: JFE技報、23 (2009)、17
- 4) 坂本浩一、家口浩、杉村朋子、阿南吾郎、吉田敦彦、辻武司: R&D神戸製鋼技報、56、No.3 (2006)、35
- 5) 松井直樹、長谷川達也、藤原順介: 精密工学会誌、76 (2010)、1166
- 6) 磯部浩一、草野祥昌、前出弘文: 鉄と鋼、80 (1994)、890
- 7) 家口浩、土田武広、新堂陽介、坂本浩一、染川雅実、鹿磯正人: R&D 神戸製鋼技報、52、No.3 (2002)、62
- 8) 加藤英久、佐藤公保、野口貴久、八明輝修、森幸太郎: 愛鋼技報、21 (2003)、7
- 9) 狩野隆、羽生田智紀: 電気製鋼、75 (2004)、27
- 10) 速石正和、狩野隆、紅林豊: 電気製鋼、73 (2002)、5
- 11) 藤松威史、常陰典正、平岡和彦: Sanyo Technical Report, 11 (2004)、50
- 12) N. Matsui and K. Watari: ISIJ International, 46 (2006)、1720
- 13) 狩野隆、次井慶介、中村貞行: 電気製鋼、71 (2000)、89
- 14) 渡里宏二、藤原順介、松永和則: 精密工学会誌、78 (2012)、517
- 15) 渡里宏二: 機械技術、60 (2012)、39
- 16) 次井慶介、中村貞行: 電気製鋼、69 (1998)、35
- 17) 岩本隆、村上俊之: JFE技報、4 (2004)、64
- 18) 三木武司、小此木真、戸田正弘、橋村雅之、蟹沢秀雄、片山昌: 塑性と加工、40 (1999)、1111
- 19) 末吉秀一、大重俊則、末永勝郎、田中良平: 日本金属学会誌、12 (1988)、1285
- 20) 村上俊之、富田邦和、白神哲夫: JFE技報、23 (2009)、10
- 21) 村上俊之、白神哲夫: NKK技報、178 (2002)、21
- 22) 田中隆太郎、山根八州男、関谷克彦、鳴瀧則彦、白神哲夫: 精密工学会誌、72 (2006)、1227
- 23) 山根八州男、田中隆太郎、関谷克彦、鳴瀧則彦、白神哲夫: 精密工学会誌、66 (2000)、229
- 24) N. Tsunekage, K. Kobayashi and H. Tsubakino: Proceedings of The International Conference on Steel and Society (ICSS 2000), The Iron and Steel Institute of Japan (2000)、299
- 25) 染川雅実、鹿磯正人、松島義武、家口浩: R&D神戸製鋼技報、51、No.1 (2001)、13
- 26) K. M. Koch et al.: British J. of Clinical Pharmacology, 42 (1996)、207

## Ⅱ．切削加工技術の動向

### 1．工具

#### (1) ドリルにおける高速度工具鋼の用途と性能

(株)不二越 しば た あさ こ  
工具事業部 柴田朝子

##### まえがき

日本の産業は、部品、金型、自動車、航空機、電気・電子、発電など多岐に亘るが、どの産業においても「穴加工」は無くてはならない加工であり、切削加工プロセスの中でも大きな割合を占めている。穴加工は切削加工の他に、プレス加工や放電加工、電解加工、超音波加工、ウォータージェット加工、レーザー加工など、その加工法も進歩しているが、現在でも最も一般的に利用されているのが「ドリル加工」である。ドリル加工においても、省エネルギーやコスト削減が大きな課題としてあげられており、ドリルの長寿命化、穴精度の向上、サイクルタイムの短縮など多くの要求が高まっている。

ドリルの母材としては、高速度工具鋼または超硬合金が広く使用されている。ここでは高速度工具鋼（ハイス：High Speed Tool Steel）の特長、用途について紹介する。

ハイスドリルの価格は超硬ドリルの1/2と安価でありコストパフォーマンスに優れており、また、抗折力、引張強度が大きく、靱性も高く、欠けにくい特長を有している。そのため、剛性の低い機械や偏析のある被削材などでも安定した加工が可能となり、現在でも幅広い分野で使用されている。一般的なハイス工具の使用例を次に示す。

- ①切削条件：低速・高送り
- ②加工機械：汎用の機械、剛性のない機械あるいは手動機
- ③ワーク：剛性がない、保持が弱い
- ④生産形態：生産ロットが小さく、加工コストを低減する場合

##### ◇ 溶解ハイスと粉末ハイス

ハイスは、その製造方法より溶解ハイスと粉末ハイスの2種類に大別される。溶解ハイスの製法はスクラップ・原料鉄などを電気炉などで溶解し、鑄込みにより鋼塊を製造し、鍛造、圧延により素材を製造するものである。組織を構成する結晶粒径及び炭化物は比較的粗いものとなり、高合金材では被研削性は悪くなるものの粉末ハイスと比較すると安価で製造できる。これに対し粉末ハイスは、アトマイズ法により微粉末を製造し、その粉末を充填しHIP処理により鋼塊を製造する。その結晶粒と炭化物が微細で、金属組織の偏析も少ない。そのため、靱性が高く疲労強度も高い特性を示す。加えて被研削性にも優れており再研削も容易である。さらに、耐摩耗性を向上させるバナジウムや高温硬度を高くするコバルト等の元素を溶解ハイスではできないような高合金化にすることが可能である。

##### ◇ 表面処理

ハイス工具への表面処理は、ホモ処理、窒化処理、コーティング等があるが、中でもコーティングは工具の耐摩耗性を向上させ、長寿命化、高能率化を実現させた重要な要素技術である。コーティングの切削工具への適用は1980年代前半のTiNから始まり、その後は硬さや耐熱性に優れるTiCNやTiAlNなどの複合多層膜が開発され、その結果、様々な被削材への対応が可能となった。

次にハイス材とコーティング膜の組み合わせによる高精度、高能率加工を、ドリルの事例とともに紹介する。

## 1. 粉末ハイスによる高汎用ドリル～SGドリルシリーズ～

SGドリルシリーズは韌性の高い高級粉末ハイスの採用でチッピングを抑制し、TiCN系多層膜SGコーティングの採用により耐摩耗性を向上させた、ハイスドリル最高峰の長寿命ドリルである。精度の高いエンドミルシャンクを採用し、刃先の振れやシンニング精度を厳しく管理することで基準穴などの高品位・高精度穴加工に最適である。

## 2. SG-ESRドリルによる加工事例

図1にSG-ESRドリルφ12によるステンレス鋼SUS304の加工事例を示す。切削速度12m/min、送り量0.25mm/rev、穴深さ28mm通り穴ノンステップでの寿命比較事例である。従来品は加工初期で折損している。加工を観察すると、切りくずが分断されずドリルに絡み付き、加工音が急激に大きくなる。刃先を確認したところ、写真のように摩滅して無くなっていることが分かった。

ステンレス鋼は難削材に分類され、切削が難しい被削材の1つである。その大きな理由は3点上げられ、1つ目は熱伝導率が一般鋼の約1/4程度と低く、切削熱が加工物や切りくずに伝わらず刃先に集中してしまうこと。2つ目は切削によって被削材が硬くなる、加工硬化という現象が発生してしまうこと。最後に3つ目は延性が高く切りくず

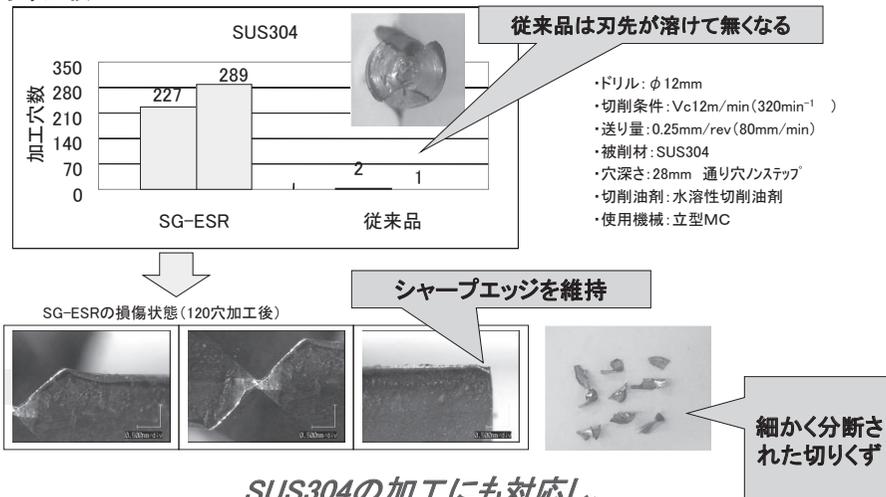
が伸びやすいため、分断し難く、切りくず詰まりや絡まりを引き起こしてしまうことである。そのため、従来品は、加工点の温度が急増し、ハイス材が軟化して摩滅してしまうという現象が発生する。これに対しSG-ESRドリルは剛性と切りくず排出性を高次元でバランスさせた溝形状を採用し、切りくずのカール性と分断性を大幅に向上させ、120穴加工後も損傷が小さくシャープエッジを維持していることが分かる。ハイスドリルでは材料、コーティング、形状の組み合わせがより重要となる。

## 3. 溶解ハイスによる高能率加工～AGドリルシリーズ～

AGドリルシリーズの大きな特徴は、ハイスドリルによる高能率加工を実現させるために、高合金ハイスとTiAlN系コーティングとを組み合わせ、高速性能を向上させることで超硬並みの高速加工を可能とした点である。図2にAGドリルシリーズの切削領域を示す。

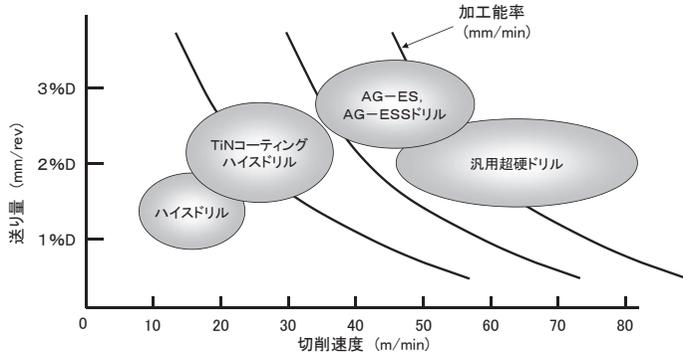
また、一般鋼から調質鋼まで幅広い被削材で高能率加工を実現したAG-ESSドリル、AG-ESドリルの他に、難削材であるステンレス鋼用のAG-SUSドリルショート、AG-SUSドリルレギュラーや、工具径の10倍以上の深穴加工が可能なAGパワーロングドリルなど、用途に合わせて選定することができる。

### ・寿命比較



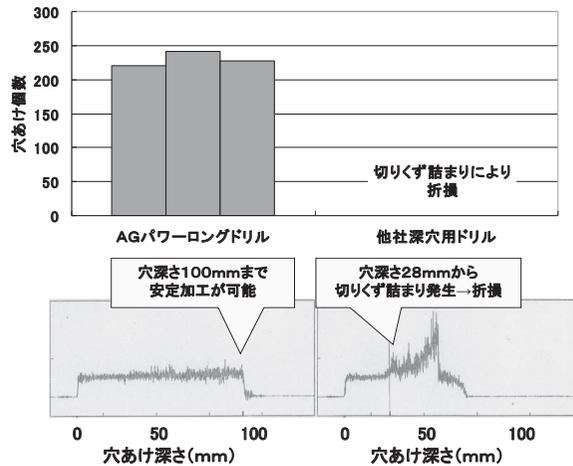
**SUS304の加工にも対応し、  
対被削材の汎用性を大幅に向上!**

図 1 SG-ESR加工事例



※一般鋼（炭素鋼、構造用鋼など）

図 2 AGドリルの切削領域



ドリル:φ6×222×165  
 被削材:S50C(180HB)  
 切削速度:30m/min(1600min<sup>-1</sup>) 送り速度:240mm/min(0.15mm/rev)  
 切削油剤:水溶性切削油剤 穴あけ深さ:100mm

図 3 AGパワーロングドリルの深穴性能

#### 4. 溶解ハイスによる深穴加工～AGパワーロングドリル～

工具径の10倍以上の深穴加工では、切りくずの排出性が悪く、切りくずが詰まったり、切削油剤が刃先まで供給されず切れ刃の早期損傷に至ったりと、難しい加工である。その対策としてステップ加工を行うことが一般的であるが、深穴のためサイクルタイムが長くなり生産性が低下してしまう。

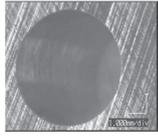
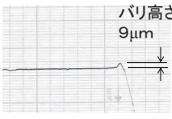
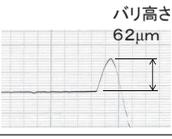
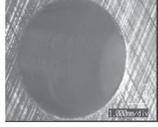
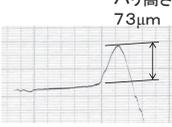
AGパワーロングドリルは深穴のノンステップ加工が可能なドリルであり、サイクルタイムの大幅な短縮を実現するドリルである。溝形状は心厚を大きくし、曲げ及びねじれ剛性を高めており、

ヒール部を大きなR形状にすることで切りくず排出性と切削油剤の浸透性を向上させた。また、コーティング表面を平滑化することで、切りくずの排出性が大幅に向上し、深穴のノンステップ加工を実現させている。

図3にAGパワーロングドリルφ6によるS50C(180HB)の深穴加工事例を示す。AGパワーロングドリルは穴深さ100mmのノンステップ加工が可能である。一方、他社品は穴深さ28mm付近から切りくず詰まりが発生し、折損に至っている。

#### 5. AG-ESSドリルによる加工事例

図4にAG-ESSドリルφ6によるS50C(200HB)

ドリル	切削速度 (回転数)	送り速度 (送り量)	加工 時間	裏バリ状況	
				写真	高さ
AGESS φ6.0	45m/min (2,400min <sup>-1</sup> )	430mm/min (0.18mm/rev)	39秒		
SD φ6.0	20m/min (1,080min <sup>-1</sup> )	140mm/min (0.13mm/rev)	97秒		
超硬ドリル φ6.0	50m/min (2,650min <sup>-1</sup> )	400mm/min (0.15mm/rev)	42秒		

被削材S50C 穴深さ12mm通り穴 ウェット加工(水溶性) BT30立て型MC使用

図 4 AG-ESSドリルの裏バリ

の加工事例を示す。工具はAG-ESSドリル、SD、超硬ドリル3種類を使用し、板厚12mmに貫通穴を加工した。切削は、各工具のカタログ条件で行い、サイクルタイムと裏張りの比較を行った。他社超硬ドリルは裏バリ高さが73μmと大きく、AG-ESSドリルの裏バリ高さが9μmの8倍以上である。超硬ドリルは母材が硬くて脆いことから、欠けが生じ易い。そこで、刃先にホーニングと呼ばれる微小の面取りを施工することで欠けを抑制している。欠けは抑制できるものの、刃先のシャープ性はハイスドリルに劣るため、本評価のようにバリ

が大きく発生してしまう。AG-ESSドリルは切れ味が良いため裏バリが小さく、サイクルタイムも最短であり、高能率条件でも穴の品位が優れることが分かる。

本稿では、ハイスドリルの特長、用途について事例を交えて紹介してきた。SGドリルシリーズやAGドリルシリーズは幅広い分野で安定した加工能率、抜群の穴精度を発揮し、様々な加工シーンで活躍するドリルである。今後も、生産性の向上を実現する優れた工具を提供し、ものづくりの発展に貢献していく。

## (2) バイト (旋削工具)

(株) タンガロイ おのぎわ さとし  
マーケティング部 小野沢 賢

前回、『切削に関する特集 (2008年)』では、『難削材』というキーワードからステンレス鋼および耐熱合金の旋削加工について新工具材料の特長および加工事例について紹介した。その後、近年では部品の小型化、高強度化および高精度化を背景に、被削材料の高張力化および高強度化が進んでいる。市場における各種製品の小型化や軽量化が進み、加工現場においては更に加工の難易度が増し、高品位小型部品をいかに高精度、高能率に生産するかが今後の物づくりのキーとなる。一方、切削工具には、小型部品に対応可能な工具が要求され、また被削性の低下により切削力が上昇しても安定した加工が可能なインサートとインサートクランプ剛性に優れる工具が求められている。今回は、小型化した部品に対し、従来よりも加工精度を維持しながら高能率で経済性に優れる小型部品加工用旋削工具DoMiniTurn (ドゥーミニターン) シリーズについて紹介する。

### ◇ 独創的な形状により経済性に優れる DoMiniTurn (ドゥーミニターン) シリーズ

ここでは、小型部品加工において、経済性に優れ高効率かつ安定加工を実現する2つの工具、小径内径加工用工具“DoMiniTurn/Bore Line”(写真1)と小型CNC旋盤や自動盤向け外径加工用工具“DoMiniTurn/External Line”(写真2)を紹介する。



写真1 DoMiniTurn/Bore Line (内径加工用)



写真2 DoMiniTurn/External Line (外径加工用)

### ◇ DoMiniTurn/Bore Line/小径加工用 両面仕様インサートと クランプ剛性の向上

従来、加工径 $\phi$ 20mm未満の小径内径加工では、ポジインサートが多用されている。この理由の一つには、内径加工におけるインサートと被削材との干渉回避と低抵抗化によるびり抑制である。今回、従来ではポジインサートしか適用できなかった小径加工領域に、新発想による両面仕様インサートの使用を可能とし、切りくず処理性に優れるインサートと切りくず排出性に優れる高剛性なクランプホルダとの組み合わせにより、高効率安定加工を実現する“DoMiniTurn/Bore Line”を開発した。

“DoMiniTurn/Bore Line”に適用されるインサートは、最小加工径 $\phi$ 12の内径加工でも両面仕様インサートを適用でき、かつ従来のポジインサートと同等の耐びり性を有している。図1は、新発想による独自の両面インサート“TS形、SS形”のWXGU形を示す。TS形、SS形インサートは、従来のネガインサートと異なりポジインサートと同等の耐びり性を維持させるために、独自の逃げ面形状を有している。また、切れ刃にはインクリネーションを有し、先端に突出した3次元ブレーカにより、安定した切りくず処理が可能である。特に、切りくずポケットを広く設けたことで内径

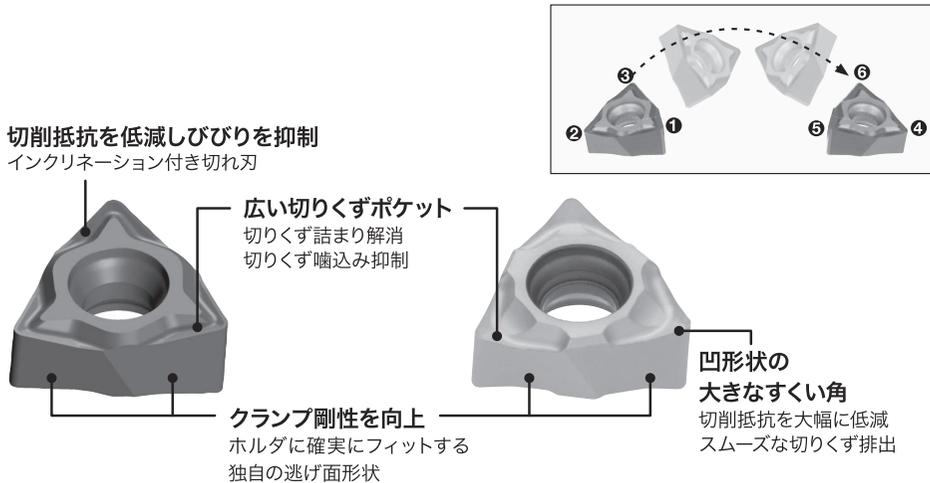


図 1 TS形、SS形インサート

加工で問題となる切りくずの噛み込みを抑制し、切りくず排出性を向上させる設計となっている。TS形は鋼加工に適したブレイカ設計とし、SS形はステンレス加工に適した凹面形状の大きなすくい角を持つブレイカとしている。これらの機能を持たせることで、小径の内径加工でも安定した切りくず処理性が得られる。さらに、これらのインサートは外周研削仕様のG級仕様であり、従来のポジG級インサートと同等の加工精度も得られる。

図2に従来のポジ使用ホルダとDoMiniTurn/Bore Lineの切れ刃角の違いを示す。小径加工においてポジインサートが使用されている理由は、インサートの逃げ面と被削材との干渉を回避するためである。また、切れ刃角を小さくすることが可能で、チップブレイカのすくい角を維持し、切削抵抗を低減できるためである。DoMiniTurn/Bore Lineは、インサートに独自の逃げ面形状を採用したことで、両面仕様でありながら従来のポジインサートと同等の切れ刃角を維持し、切削抵抗を抑制できる両面仕様の3次元ブレイカを用いてφ

12mmからの小径内径加工に適用できる。これにより、経済的に優れた両面仕様インサートを使用した小径加工用工具を実現している。

さらに図3に示すように、ホルダのインサート座には、インサート側面の独自形状の特徴を生かしインサート浮き上がり防止用のダブテール形状を採用しており、従来のポジインサート用ホルダよりもインサートクランプ剛性を大幅に向上している。また、構造シミュレーションによりホルダ剛性に影響しない箇所最適な切りくず排出ポケットを設けたストリームジェットバー構造を採用しており、剛性に影響しない箇所最適な切りくず排出ポケットを設けている。これにより切りくず排出性が向上し、インサートと切りくずの噛み込みによる欠損が抑制され、安定した工具寿命が得られる。

#### ◇ DoMiniTurn/External Line小型CNC旋盤や自動盤対応外径加工用工具

DoMiniTurn/Bore Lineで採用した独創性に優



図 2 ホルダの切れ刃角の比較

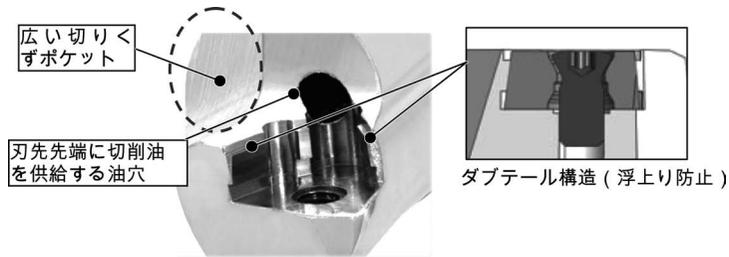


図 3 ホルダの特長

れたインサートを小径外径加工用工具にも展開した DoMiniTurn/External Line を開発した。従来、小型CNC旋盤や自動盤での小物部品加工は、切削抵抗の低減を目的に片面仕様のポジインサートの使用が主流であった。DoMiniTurn/External Line は、外径加工工具に新発想の両面仕様インサート形状を使用することで、ポジインサートと同等の低抵抗化を実現し大幅な工具費の削減に寄与する次世代工具である。

インサートには、先に紹介した DoMiniTurn/Bore Line 用の TS 形、SS 形を適用できることはもちろんのこと、低切込み時の切れ味に優れるインサート JTS 形、JSS 形を新たに追加設定した。ブレーカ形状の基本形状は Bore Line 用の TS 形、SS 形と同じであり、大きなすくい角を持つ両面ブレーカインサートにより低抵抗化を実現し、加工

中のびびりを発生することなく小物部品で安定した外径加工を実現する。追加設定した JTS 形、JSS 形は、小物部品の高精度なワーク隅 R 指示に対応するため、インサート刃先のコーナ半径を R0.1 から設定し、コーナ半径もマイナス公差を採用している (図 4)。

また、DoMiniTurn/External Line のホルダは、Bore Line と同じくインサートポケット部をダブルテール構造にすることで、切削時におけるインサートクランプ剛性を向上させ、G 級インサートとの組み合わせで高精度加工の安定化を実現した。図 5 に示すように、DoMiniTurn シリーズの基本である独創的なインサート側面形状を有していることから、外径用においても切れ刃およびコーナ部をポジティブにしていることで、従来のポジインサートと同様に使用可能である。

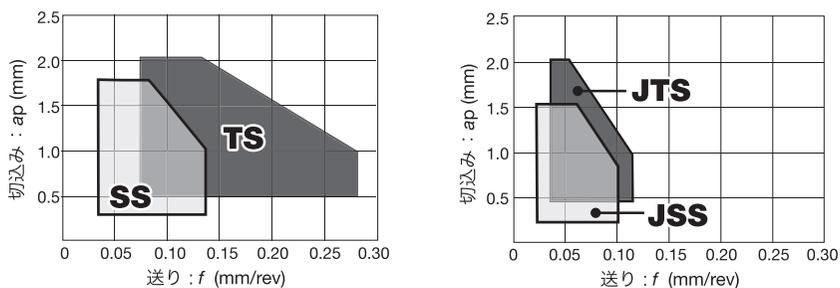


図 4 DoMiniTurn用インサートの推奨領域

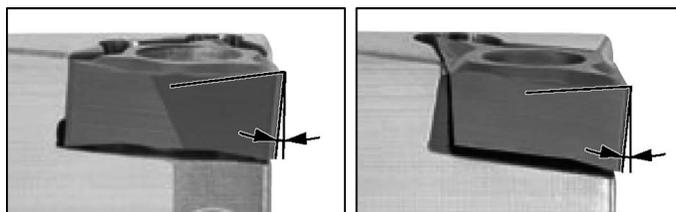


図 5 DoMiniTurn/External Lineの切れ刃状態

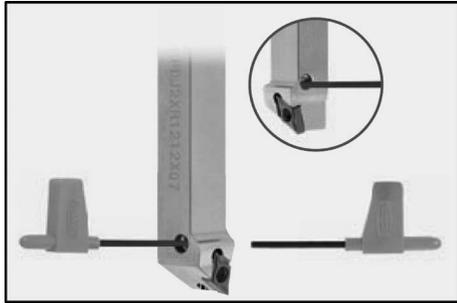


図 6 DoMiniTurn/External Lineの切れ刃状態

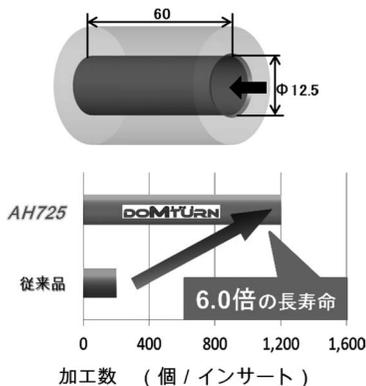
さらに、DoMiniTurn/External Lineは、図6に示すように櫛刃型自動盤でのインサート交換が容易な背面クランプ型バイトを設定した。このインサートの着脱性に優れるホルダには、直接ねじでインサートをクランプするスクリーオン形バイトと合わせ、2種類のクランプ仕様のホルダを設定している。ホルダは、刃先位置のオフセットがないシャンク仕様とし、シャンクサイズも10角から16角までサイズを揃えており、広範囲な加工で選択しやすいシリーズ構成になっている。

### ◇ 加工事例

DoMiniTurnシリーズの内径加工および外径加工の加工事例について紹介する。

#### 1. DoMiniTurn/Bore Lineの加工事例

従来品：シャンク径φ10、超硬シャンク  
 インサート：TCMTタイプ（3コーナ）  
 DoMiniTurn：E10M-SWLXR04-D120  
 インサート：WXGU040304L-TS AH725  
 （6コーナ）



被削材：スリーブ (SCM440 φ12.5)  
 切削速度： $V_c = 180\text{m/min}$   
 送り： $f = 0.20\text{mm/rev}$   
 切込み： $a_p = 1.0\text{mm}$   
 加工深さ：50mm  
 切削油：Wet（内部給油）

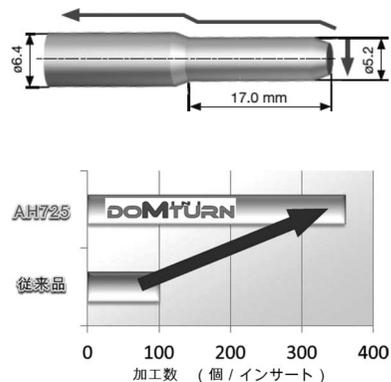
結果：従来品は片面仕様のポジンサートを使用していたが、切りくず噛み込みによりインサートがチッピングして加工数が安定しなかった。DoMiniTurnに変更したことで、使用可能なコーナ数は2倍になり、切りくず処理性も改善され寿命も延長され、従来品に対してインサート1個当たり6倍の加工数が可能となった。

#### 2. DoMiniTurn/External Lineの加工事例

従来品：自動盤用ホルダ  
 インサート：DCGTタイプ  
 （2コーナ2014/03/19 13:08）  
 DoMiniTurn：JSWL2XR1212X04  
 インサート：WXGU040304ML-TS AH725  
 （6コーナ）

被削材：シャフト (S45C φ6.2-φ6.4)  
 切削速度： $V_c = 60\text{m/min}$   
 送り： $f = 0.12\text{mm/rev}$   
 切込み： $a_p = 0.6\text{mm}$   
 切削油：Wet（外部給油）

結果：従来品は片面仕様のポジンサートを使用しており、インサート1個あたり約100個の加工数であった。DoMiniTurnに変更したことで、使用可能なコーナ数は3倍になり、インサート1個当たり約300個の加工数が可能となったことで、大幅な工具費の低減となった。



# (3) エンドミル

## まえがき

エンドミル業界においては、高能率・高精度・長寿命加工といったキーワードを基に工具形状やコーティング開発が進められている。金型の低コスト化を実現する為に高能率加工に対応した工具開発、また金型の小型化・高精度化に伴い切削工具においても同様に小径化・高精度化が進み、金型の長寿命化に伴い高硬度鋼に対応した工具開発が進んできた経緯がある。本稿では、これらの工具開発の中でも高硬度鋼の直彫り加工および高速度鋼製エンドミルを中心に紹介する。

### ◇ 高硬度鋼の高能率直彫り加工

#### 1. 高硬度鋼の直彫り加工検討

昨今の金型業界においては、金型寿命の向上を目的により高硬度の金型材を使用するユーザーが多く見受けられる。しかし、高硬度の金型材への変更に伴い金型製作時間、加工費の増加などの問題が発生する。

通常の高硬度鋼の金型製作においては図1に示す通り、熱処理前に粗加工し、熱処理を施した後、仕上げ加工を実施することが一般的である。但し、自社に熱処理炉を持っているようなユーザーであれば別だが、持っていないユーザーでは熱処理にかかるリードタイムが長くなり、製作期間が延びてしま

うこととなる。また、熱処理による金型材の変形があった場合、熱処理後の加工において取り代が不均一となり、工具が短寿命化する、低能率での加工を余儀なくされる、などの問題点も発生する。

そこで、粗加工の段階から熱処理実施済みの高硬度鋼を高能率直彫り加工することで、熱処理のリードタイムをなくし、金型の製作納期を大幅に短縮することが可能となる。更に仕掛かり品、在庫品の減少などの組み合わせにより製造コストも削減することが可能である。よって高硬度鋼の粗加工における高能率・長寿命加工が可能な工具・コーティング開発や高能率加工方法が求められているといった現状がある。

#### 2. 高硬度鋼向けに開発したボールエンドミルの特徴

上記の背景を基に、55HRCを越す高硬度鋼を高能率に加工することが出来る工具として開発したのが図2(a)に示すエポックハイハードボールである。一般的にボールエンドミルの加工においては、工具中心部の切削速度がゼロとなるために非常に切削性が悪く、チッピングなどの異常損傷が発生しやすい。そこで図2(b)に示すような工具先端部に微小エンド刃を設けることで、工具中心付近の切削性を向上させている。また、工具の寿命を大きく左右するコーティングについては、従来より耐酸化温度が高く、耐摩耗性の優れた

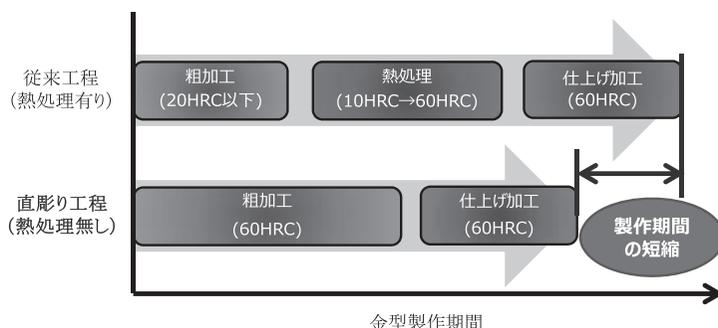


図 1 従来工程と直彫り工程の製作期間の違い

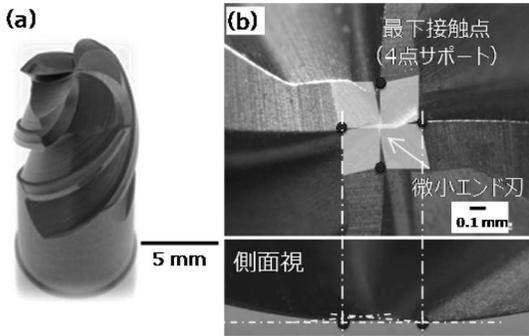


図 2 エポックハイハードボール (a) 外観、(b) 先端部詳細

ATHコーティングを採用している（被膜硬度：3,800HV、耐酸化温度：1200℃）。このコーティングは高硬度被膜と高耐熱被膜の2種類の膜を積層することによって高硬度、高耐熱を実現し、特に切削時の熱や耐摩耗性の問題が発生する高硬度鋼の切削において、大きな効果を発揮する。

その他のエポックハイハードボールの特徴としては以下の通りである。

- (1) 不等分割の採用による振動抑制
- (2) 広いチップポケットの採用による切りくず排出性の向上
- (3) R刃と外周刃を滑らかに繋ぎ、側面切削に対応した強ねじれ外周切れ刃の採用

本工具においては、最新のCAMとの組合せによって、より高能率な加工も可能となる。

### 3. 高硬度鋼の高能率切削加工事例

それでは高硬度鋼の高能率切削において、エポックハイハードボールと従来工具とを比較した加工事例について紹介する。テストに使用した被削材は日立金属㈱製の粉末ハイスであるHAP40 (SKH40相当：64HRC) であり、使用した工具は工具径が8mmのエポックハイハードボール（型番：EHHB4080-ATH）および従来4枚刃工具とした。切削条件については図3に示す。加工後の工具摩耗状態を見たところ、図3に示す通りエポックハイハードボールについては切削距離が40mの場合もチッピング等の欠けもなく、安定した逃げ面摩耗を示し、更に継続使用な状態であった。対し従来工具は切削距離が20mの段階で刃先に大きなチッピングが見られ継続使用不可能な状態であった。このことよりエポックハイハード

被削材：日立金属㈱製 HAP40 (SKH40相当、64HRC)  
 工具径：8mm (R4)  
 切削条件： $n=3$ ,  $600\text{min}^{-1}$ ,  $V_f=1$ ,  $220\text{mm}/\text{min}$   
 $a_p \times a_e=0.5 \times 1.5\text{mm}$ 、エアブロー

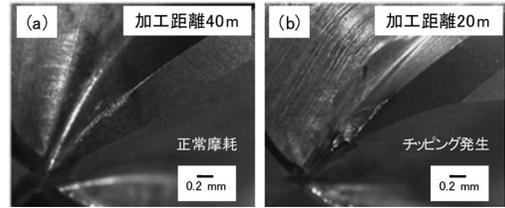


図 3 HAP40加工後の摩耗状態

ボールは、従来工具と比較し2倍以上の寿命を示すことが分かる。エポックハイハードボールを使用することで、熱処理済みの高硬度鋼の切削においても安定した切削性能を発揮することが可能であり、粗加工の工具費および加工時間を短縮することが可能となる。

### ◇ 高速度工具鋼製（以下、ハイス）エンドミルの高速・高能率加工検討

近年では、一般的に超硬合金製のエンドミルが使用されているが、今もなお回転数が上がらない機械や、ある一部の切削加工においてはハイスエンドミルを使用せざるを得ない場面も数多く見受けられる。そのような中においても、コスト削減のため高速、高送り加工の要望や環境配慮による切削油剤削減のニーズは数多く存在し、これらの課題に対する工具開発が進められている。

#### 1. ハイスエンドミル用コーティングに求められる特性

ハイスエンドミルは超硬工具に比べ、母材の耐熱性が低いため、摩耗の進行も早くなる。また、ハイスエンドミルの摩耗形態を観察したところ、工具母材の塑性変形にコーティングが追従できずに剥離してしまう現象が確認された。そこでハイスエンドミル用コーティングに求められる特性としては、単に高硬度、耐酸化性が良好なだけでなく、工具母材との密着性を向上させ、塑性変形に対して追従性を持たせることが重要となる。

#### 2. 開発コーティングの特徴

上記の背景より開発されたコーティングがATコートである。ATコートの組成は $\text{AlCrSiN}$ 系であり、その特性は、コーティングの耐熱性と靱性を

向上させている点である。Alの添加量の適正化により、コーティング硬度を確保しつつ、Cr添加量の適正化によってコーティングの靱性、および工具母材との密着性を向上させることが可能となった。

現状、もっとも一般的なコーティングとしてTiAlNコートがあるが、その硬度はピッカース硬さで2,800HV程度、酸化開始温度は800℃程度である。それに対し、ATコーティングは硬度が3,000HV、酸化開始温度が1100℃と向上している。密着性については図4に示すとおり、コーティングを施した表面にロックウェル硬度計にて圧痕試験を実施した際、従来のTiAlNコートが広い範囲で剥離を起こしたのに対し、ATコートでは剥離がなく、工具母材の塑性変形に追従してコーティングも塑性変形をしている様子が確認される。これらの特性により、ATコートは高速切削条件下においても安定した加工が可能になっただけでなく、被削材によってはドライ加工が可能となった。

**3. ラフィングエンドミルでのドライ切削事例**  
 溶製ハイス（材質8%Coハイス）にATコートを実施した工具径が12mmのATラフィングエンドミル（型番：RQR12-AT）を用いて切削評価を実施した。被削材はダイス鋼である日立金属(株)製DAC（SKD61相当：23HRC）を使用し、切削条件は通常の高スエンドミルより高速条件にてドライ加工による評価とした。切削条件および切削時の摩耗推移グラフを図5に示す。

結果、従来の溶製ハイスにTiNコートを実施した工具と比較し3倍の寿命を示し、また粉末ハイスにTiCNコートを実施した工具と比較しても約2倍の

被削材：日立金属(株)製 DAC (23HRC)  
 工具径：12mm (4枚刃)  
 切削条件：n=1, 800min<sup>-1</sup>, Vf=500mm/min  
 ap×ae=6×6mm、ドライ

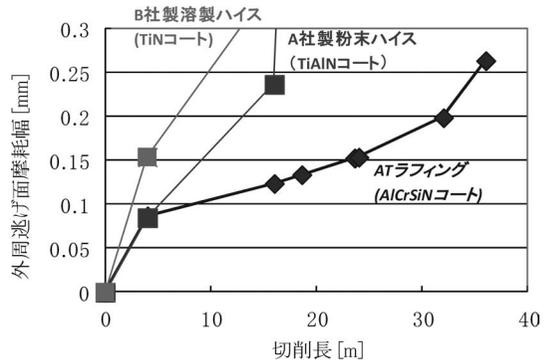


図5 DAC切削時の摩耗推移

工具寿命を示した。これはATコートの高い密着性と耐酸化性による効果と考えられる。

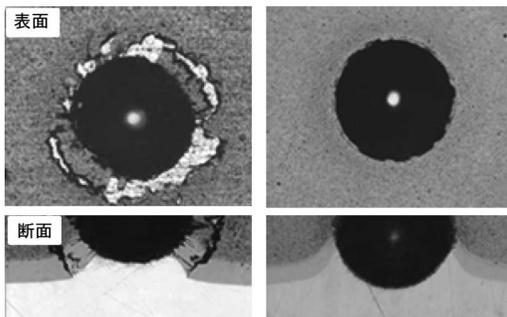
ハイスエンドミルで鋼材を切削する場合、発熱による摩耗進行を防ぐため切削条件は切削温度が上がらない領域を設定するのが一般的である。また、水溶性や油性切削液を使用し冷却させることで切削を安定させている。しかし、耐酸化性と密着性に優れたATコートにより従来のハイスエンドミルの切削速度領域（20～30m）と比較し約2.5倍～3.5倍の領域での使用が可能となり、加工能率に関しては3～5倍での加工が可能となる。これは、工程のリードタイム短縮、ならびに加工費の低減にも大きく寄与できることを示す。

現状、金型製作に関しては海外の金型メーカーと対抗するため、より加工時間短縮、加工費の低減が求められている。更には品質面においても、当然向上させる必要があり、高硬度鋼の直彫り加工にはこれらの諸問題を解決できる可能性がある。今回はボールエンドミルの紹介であったが、高硬度鋼の直彫り加工においては穴あけ、ねじ立てなどの問題も存在し、これらについても弊社のラインナップしている高硬度鋼向けの工具を使用することで安定した加工が可能となる。

ハイスエンドミルについてもコーティングの技術開発が進むにつれ、従来の切削領域より高速、高送り領域での使用が可能となった。

今後も加工時間の短縮、加工費の低減に寄与できる工具の開発を進めていく所存である。

ロックウェルCスケール、母材：溶製ハイス



TiAlNコート  
剥離あり

ATコート  
剥離なし

図4 ATコートとTiAlNコートの密着性の違い

## (4) ギアカッター・ブローチ

三菱マテリアル(株) 河野賢祐  
明石製作所

### まえがき

当社の工具製造の歴史を振り返ると1911年（明治44年）までさかのぼる事が出来る（写真1）。

その当時国内には精密な工具を製造できる優秀なメーカーは無く、当社（当時は神戸製鋼所）は海軍指導のもとハイスドリルや歯切工具の国産化のためにオーストリア・ポーレル社からそれら工具の製造権を獲得しドイツ・ライネッカー社製の工具製造機械を導入した。

そして同年末には国内初となるハイスドリルの本格生産を開始し、それから2年後の1913年（大正2年）には国産化第一号となるアングランドホブの生産を開始した。

その後、より精度の高い歯車製造要求に対応するため、1930年（昭和5年）に当時最新鋭のクリンゲルンベルグ社製歯形研削盤（写真2）を導入して国産初となるグラントホブの本格生産を開始した。

第二次世界大戦を経て高度成長期に入ると、民間産業の発展とともに工具需要も拡大し、当社は1961年（昭和36年）に現在の場所に工具専用工場（現明石製作所）を建設し、その翌年からブローチとシェービングカッタの生産を開始した。

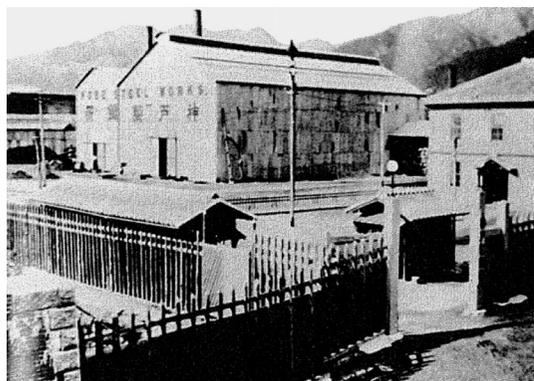


写真1 創立当時の本社工場（神戸市、1911年）

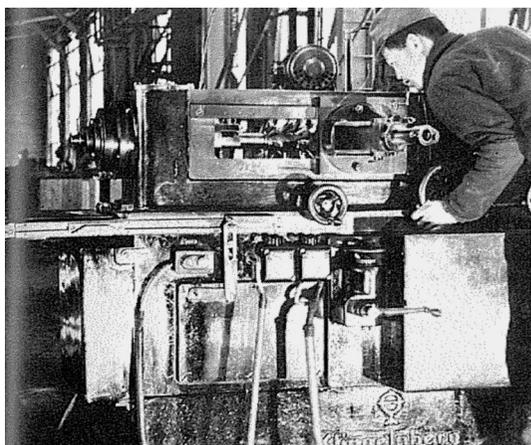


写真2 クリンゲルンベルグ製歯形研削盤（1930年）

シェービングカッタでは1972年（昭和47年）にドイツCARL HURTH社とプランジシェービングカッタの技術提携を結び、国内へ初めてプランジシェービング加工技術を導入、その優れた加工技術を広めることで国内自動車産業の歯車製造技術発展に大きく貢献してきた。

このように、当社は常に先陣を切って最新の歯切工具を製造供給し国内歯車製造技術の変革を進めてきた。そして昨年2013年（平成25年）にソリッドホブ製造開始100周年を迎えることが出来たのである。

### ◇ ホブ切り加工の変遷

このようにハイスホブを用いた国内歯車加工の歴史は100年余りを経過したが、その中で特筆すべき大きな技術革新はコーティング処理技術の進歩とドライ加工技術の確立である。

特にハイスホブの表面を酸化開始温度800℃以上のAlTiN系、AlCrN系コーティング膜で保護することで、高速でのドライ加工を実現したのは日本発の技術であり、これらの技術革新によりハイスホブ切り切削速度は格段に向上し、その高い加工能率と優れた安定性から、100年余りを経過した

現在でも、最も広く使用されている歯切り方法となっている。

図1にホブ切り加工条件の変遷を示す。

ホブ切り加工は、非常に厚い切り屑を出す断続切削であり、切削加工中にホブ歯先近傍は高温高圧にさらされている。工具刃先温度がハイス鋼の焼き戻し温度（550℃程度）を超えると母材の硬度低下が生じてしまうため、刃先温度が焼き戻し温度を超えないように切削速度が制限される。

このため、コーティング処理技術が登場するまでは切削油による潤滑・冷却作用の向上とホブの材質変更による耐熱性向上のみが切削速度を上げるための手段であり、その当時のホブ切り最高切削速度は約60m/min程度であった。

1980年初頭にNASAで開発されたTiNコーティング技術が民間の切削工具にも適用されるようになると、数μmではあるが硬質で断熱性に優れた薄膜が過酷な刃先環境から工具刃先を保護し、それまでの切削速度を飛躍的に向上させた。

TiNコーティングで最高切削速度は約100m/min、さらに現在のAlTiN系、AlCrN系コーティング膜では最高切削速度は150m/minにまで向上することが出来る（スクイ面コーティング膜無しでウェット加工の場合）。

さらにドライ加工によってクレータ摩耗の進展が抑制される現象が確認され、スクイ面にコーティング膜が無い状態で最高切削速度180m/minを達成する事が出来た。

現在ではリコーティングビジネスが確立して再研削後でもスクイ面にコーティング膜を付けることが出来るようになり、ハイスホブを用いたホブ切り加工で最高切削速度300m/minと超硬ホブでの領域まで到達することができたのである。

### ◇ シュービング加工の変遷

歯車研削加工やホーニング加工などの熱処理後仕上げ加工へ大きくシフトしつつある現在でも、シュービング加工は高能率で高精度に歯車を仕上げ加工方法として重要であり、今でも多くの歯車製造ラインで使用されている。

当社は1972年（昭和47年）にドイツCARL HURTH社からプランジシュービングカッタの技術を導入して以来、常にシュービングカッタのトップメーカーとして国内自動車産業の歯車製造に貢献してきた。

シュービング加工はカッタ駆動でのワーク連れ回り加工であり、セレーションエッジで歯面を削り落とすと同時にランド面で歯形精度を仕上げているという特異な切削機構を持ち、さらにランド面で仕上げられた歯形精度によって合否が決まるために、工具摩耗量よりも工具設計値が工具寿命を大きく支配する加工方法である。

ロバストな工具設計にする事でワーク加工精度は向上し、さらにカッタ材質や表面処理などでの長寿命化を進めているが、プランジシュービングカッタの技術導入以降での革新的な変化はなく、

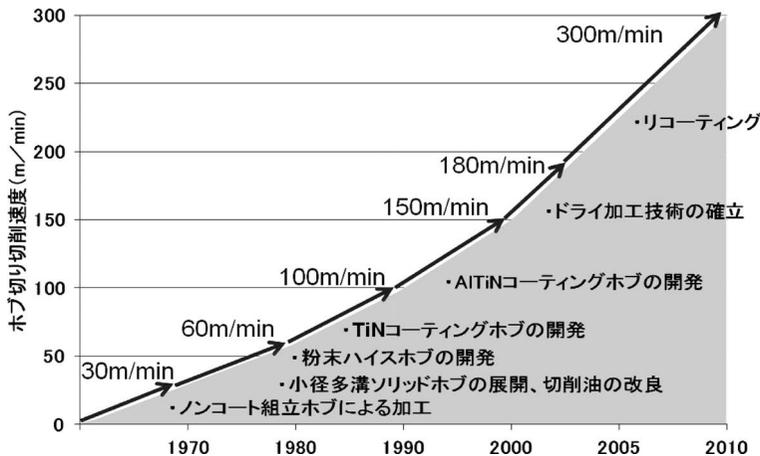


図1 ホブ切り加工条件の変遷

その意味では完成された技術と言える。

当社では 不等ラウンドセレーションカッタ、非対称セレーションカッタ、マルチパターンセレーションカッタ、ファインピッチセレーションカッタ、HSPシェービングカッタ、KHVZシェービングカッタ、カッタ振れ影響解析、歯形噛み合い解析シミュレーションなどの多くのカッタバリエーション、解析技術を持ち、シェービング加工時に生じる様々な問題解決に対応出来るようにしている。

#### ◇ ブローチ加工の変遷

ブローチ加工は複雑な形状をワンストロークで仕上げる事ができる切削方法であり、加工に使用されるブローチカッタは当社の製品の中でも1961年（昭和36年）の製造開始当初から最も変化の少ない工具と言える。

切削速度は3～10m/minと低いが加工時間は10秒前後と非常に短く、他のどのような切削方法よりも生産性は高い。また低速切削・微小切込切削で工具歯形状とワーク形状が同じとなる内面切削のため切削油の働きが非常に重要な加工であり、鋳鉄などの特定材料以外ではドライ加工は困難である。

カッタ材質やコーティング処理技術による工具面での進歩はあるが、他の工程とのサイクルタイムの兼ね合いから切削速度は上げられず、そのため主に加工寿命の向上を図ってきている。

被削ワークに対応した変化としては、自動車のATやCVTに使用される遊星歯車のリングギヤ（ヘリカル内歯車）を加工する大径ヘリカルブローチがある。これは歯車を仕上げ加工する工具であり、高い歯形精度を要求されるためにスプライン

ブローチのような外径上がり刃のみではなく、歯形測定機で精度管理された歯厚上がり刃を有するシェルを組み込んだ構造となっている。

当社は2000年に機上での歯形計測技術を確認し世界初となる一体形（本体部とシェル部を一体化）大径ヘリカルブローチを商品化した。

これからも新しい技術開発によりブローチ加工での変革を進めていく。

#### むすび

平成7年（1995年）3月号、平成12年（2000年）5月号、平成17年（2005年）3月号の過去3回の歯車加工特集に寄稿させて頂いたが、それから19年、14年、9年が経過した今回の寄稿にあたり、あらためてその当時の歯車加工を取り巻く環境とそれに対応しようとする歯車加工用工具の変遷を振り返ってみることができた。

この間、省スペースでかつ耐久性を向上させるために歯車材は難削材化していく一方、伝達効率の向上や騒音の低減を図るために加工精度は高精度化し、さらに環境負荷低減のために塩素レス化、水溶性化、ドライ化のように切削油は工具に厳しい方向へ移行している。

このように切削工具にとってより厳しい条件へ変化していく中で、カッタ材質およびその熱処理技術、表面処理技術、コーティング処理技術、カッタ設計技術などの技術革新によって、多様化し高度化するユーザーニーズに対応し、国内歯車産業発展の一翼を担うことが出来た。

今後の5年、10年で歯車加工にどのような環境変化が生じるかは全く予想できないが、今まで同様に歯切工具・ブローチが重要な位置を得られ続けるように技術革新を進めていきたい。

## (5) タップ加工の動向

オーエスジー(株) なか じま たか ゆき  
デザインセンター 中 嶋 孝 之

### まえがき

タップ加工において、工具選定に悩みを持つお客様が増えている。

背景には、部品の小型化・軽量化、長寿命化などの要求に伴う被削材の多様化や工作機械の発展、切削油剤の水溶性化など使用環境の変化がある。

工具メーカーは、お客様のニーズに応えるべく様々な「用途別タップ」を展開しているが、用途・種類が細分化されている為、工具選定が難しい。1種類の工具で様々な被削材や加工条件に対応できれば、この悩みを解消することができる。そんな発想で開発された「S-XPf」と「Aタップシリーズ」を本稿にて紹介する。

尚、紹介する工具はともに高速度工具鋼（HSS）を母材に使用している。多くの切削工具において超硬母材が主流になる状況とは異なり、タップはHSSを用いることが一般的である。下穴品位や切りくずのかみ込みなどにより工具欠損を生じやすく、母材に高い靱性を必要とする為である。

### ◇ 現状分析

「そもそも、なぜ用途別タップが必要なのだろう。」この疑問を解決する為、当社のコミュニケーションダイヤルお客様相談窓口への相談実績（2013年上半期）を図1に示す。タップ加工のトラブルTOP3は折損・欠け、ねじ精度の不良、むしろ・かじりとなっており、切りくずに関わるトラ

タップ加工のトラブルTOP3 Tapping troubles		
No.1	折損・欠け Breakage and Chipping	26%
No.2	ねじ精度の不良 Dimensional error	17%
No.3	むしろ、かじり等 Galling	14%
	その他 Others	43%

2013年上期当社コミュニケーションダイヤルへの相談実績より  
Source: Technical Consultation Division

図 1 タップ加工のトラブル

ブルが過半数を占める。切りくずをいかにスムーズに排出するかが課題である。

タップ加工は、1回転当たりの送りが固定されている上、ドリルやエンドミルなど他の回転工具と比較して、切削速度の適応領域が狭い。被削材や加工環境の変化に応じて仕様の異なるタップを使い分けることで切りくずトラブルを回避しているという背景がある。

### ◇ 対策の提示

本稿においては、対策として下記2製品を提示する。

#### ①盛上げタップ「S-XPf」

切りくずを発生させなければ、切りくずによるトラブルを回避することができる。

#### ②切削タップ「Aタップシリーズ」

安定した切りくず排出性を持ち、幅広い被削材や工作機械、切削油剤などに対応できる画期的な製品である。盛上げタップが使用できない場合に推奨する。

#### 1. 盛上げタップ「S-XPf」

##### (1) S-XPfの特長

S-XPf 切削領域と対応被削材で不可能を可能にする

盛上げタップは、塑性変形を利用してめねじを形成する為、タッピングによる切りくずを生じない。切りくずトラブルによる突発停止やチョコ停（瞬停）を排除して無人・省人化を可能にする反面、一般的な盛上げタップは、アルミなど塑性変形を得やすい被削材に用途が限定されるなどの欠点を持っていた。

ここで紹介する新世代盛上げタップS-XPfは、ねじ部仕様の最適化などにより、発熱抑制とタッピングトルクの軽減を実現しており、炭素鋼の加工も可能にしていることが大きな特長である。S-XPfの被削材ごとの切削条件基準表は、製品カタログを参照いただきたい。

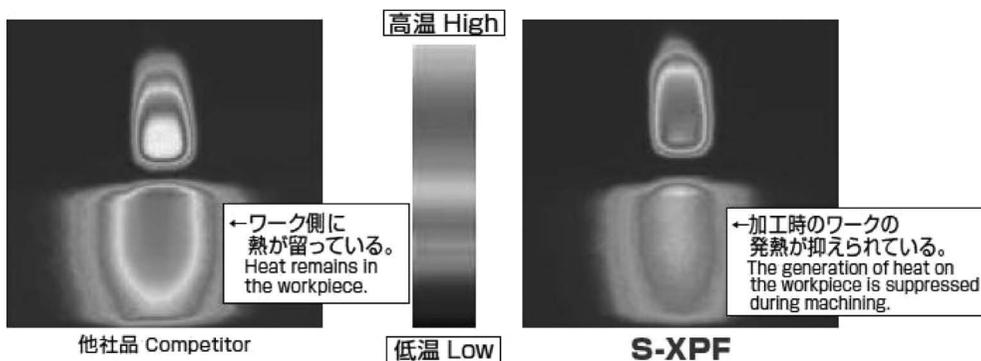


図 2 発熱状況の違い

使用工具 Tool	M10×1.5 2P
被削材質 Work Material	SCM440 (30HRC)
下穴 Hole Size	φ9.25×19mm (通り) (Through)
ねじ立て長さ Tapping Length	19mm(1.9D) (止り) (Blind)
切削速度 Tapping Speed	15m/min(477min <sup>-1</sup> )
切削油剤 Coolant	水溶性切削油剤 塩素フリー 10倍 Water Soluble Chlorine-Free (10%)
使用機械 Machine	横形マシニングセンタ Horizontal Machining Center

	加工穴数 Tapping Holes (Holes)									
	0	200	400	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	
S-XPF	1,369穴 (Holes) GP-OUT									
	1,448穴 (Holes) GP-OUT									
従来品 Conventional Product	2穴 (Holes) GP-OUT									
	2穴 (Holes) GP-OUT									

図 3 S-XPF加工事例

図2は、タッピング直後の従来品とS-XPFの発熱状態を比較した画像（サーモグラフィ画像）である。この画像からもS-XPFの発熱が抑えられていることがわかる。

尚、サーモグラフィの特性上、外部給油を行った状態での測定が困難である為、タッピングペストを塗布した環境下での測定結果であることは、ご了承ください。

## (2) S-XPFの加工事例

図3はSCM440 (30HRC) を加工した事例である。S-XPFは1,000穴を超える加工が可能であり、従来品に対して圧倒的な耐久性である。不可能であった加工が可能になっている。

## 2. 切削タップ「Aタップシリーズ」

### (1) Aタップの特長

#### Aタップ 切りくず排出性の改善

通り穴加工用のポイントタップと比較して、止り穴用のスパイラルタップ（以下、SFT）は、切りくず処理が特に難しく、我々も頭を悩ませることが多い。切りくずをシャンクに向かってかき出すような加工を行う必要がある為、切りくずをか

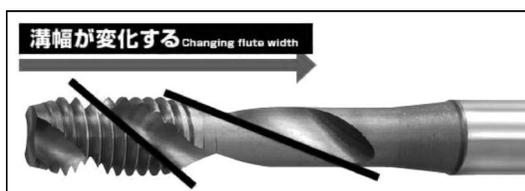


図 4 イメージ図

み込んだり、シャンクに絡み付いたりといったトラブルが起りやすい。

A-SFTでは、切りくず排出性を向上させる手段として、溝部に不等リード溝（図4参照）を採用している。タップ加工は食付き部で切りくずを形成し、それ以降の溝で切りくずの排出を行う機構になっている。その為、「食付き部分」と「排出する部分」の溝リード・溝幅を変えることで、切りくずの形状をコントロールし、排出性を大幅に向上させている。

#### Aタップ 幅広い切削領域

幅広い切削領域に対応するには、高い耐摩耗性および耐溶着性を併せ持つ必要がある。Aタップでは母材に粉末ハイス、表面処理にVコーティン

グを採用することで実現している。また高速領域での加工にも対応できるよう、切れ味重視の刃先仕様を採用している。

図5に切削領域のイメージ図を示す。水溶性切削油剤を用いて中・高炭素鋼（S45C等）を加工する場合のものである。従来品が切削速度25m/min以下になっているのに対し、約3倍の高速領域まで加工可能である。特筆すべきは、以前から高速領域のみに特化した「用途別タップ」は存在するが、低速領域と高速領域の両方で性能を発揮するAタップのような製品はこれまでに存在しなかったことである。

但し、切削速度15m/minを超えるような領域では、同期送り機構付きの工作機械にて使用することを推奨する。Aタップの被削材ごとの切削条件基準表は、製品カタログを参照いただきたい。

#### Aタップ 様々な被削材に対応

図6に、軟鋼（SS400）とステンレス鋼（SUS304）のめねじ外観写真を示す。これまでは1種類の工

具でこの2つの材料を加工するのは難しかったが、Aタップでは加工可能である。共にむしろ、かじりの認められない綺麗なめねじ面となっており、被削材を選ばない性能を確認できる。

### 3. 加工事例の紹介

図7はステンレス鋼（SUS304）を加工した事例である。ステンレス鋼は、切りくずの取り扱いが難しく、ねじ立て長さが工具径の1.5倍（=1.5D）を超えると安定加工が難しいとされる。これに対してA-SFTでは2Dの深穴が、水溶性切削油剤にて安定加工できている。

図8はマシニングセンタにおけるA-SFTの事例である。切削速度を15、30、40m/minと変えて加工を行ったが、それぞれの速度で結果にばらつきはなく、安定加工が可能である。

これは、お客様による加工実態（ワーク形状や設備の制約など）に合わせた切削速度の選定が可能であることを示している。

以上、工具選定に関する悩みを解消する画期的

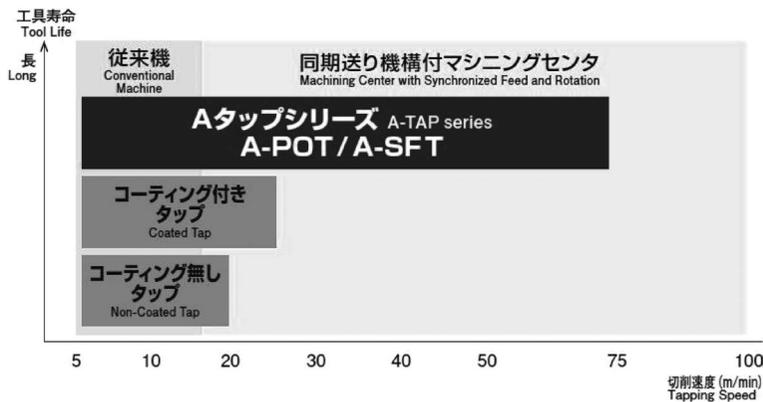
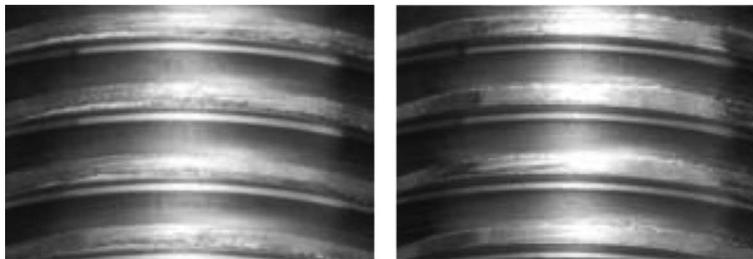


図 5 切削領域のイメージ図



SS400

SUS304

図 6 めねじ外観

## SUS304の2D 深穴加工 Deep hole tapping (2D) in stainless steel

ステンレスの水溶性加工でも抜群の性能。High performance achieved in stainless steel with water soluble oil.

使用工具 Tool	A-SFT M8×1.25
被削材質 Work Material	SUS304
下穴 Hole Size	φ6.8×22mm (止り穴) (Blind)
ねじ立て長さ Tapping Length	16mm (2D)
切削速度 Tapping Speed	10m/min (398min <sup>-1</sup> )
切削油剤 Coolant	水溶性切削油剤 塩素フリー10倍 Water Soluble Chlorine-Free (10%)
使用機械 Machine	立形マシニングセンタ(同期送り機構付き) Vertical Synchronized Machining Center

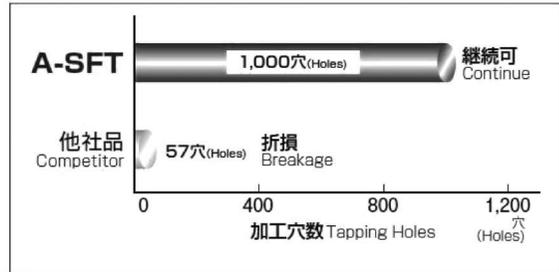
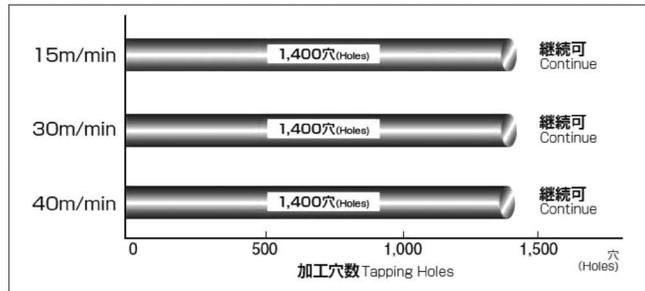


図 7 A-SFT加工事例 1

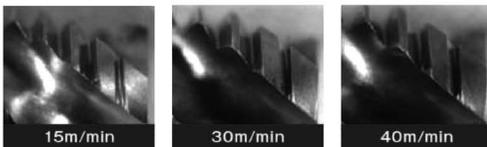
## マシニングセンタにおける高速加工 High speed tapping by machining center

15、30、40m/minそれぞれの速度で結果にばらつきはなく、安定加工が可能。Tapping operations in 15, 30, 40m/min are all stable.

使用工具 Tool	A-SFT M6×1
被削材質 Work Material	S45C
下穴 Hole Size	φ5×16mm (止り穴) (Blind)
ねじ立て長さ Tapping Length	12mm (2D)
切削油剤 Coolant	水溶性切削油剤 塩素フリー10倍 Water Soluble Chlorine-Free (10%)
使用機械 Machine	立形マシニングセンタ(同期送り機構付き) Vertical Synchronized Machining Center



### 1,400穴加工後 Cutting edge after 1,400 hole tapping



### 40m/min 切削時の切りくず Chip generated in 40m/min

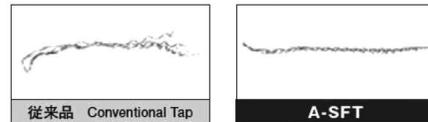


図 8 A-SFT加工事例 2

なタップを紹介させていただいた。本稿が皆さまの加工改善に貢献できれば幸いである。また、今

後も市場のニーズに応えるべく工具開発を行っていく所存である。

## 2. 加工機

### (1) マシニングセンタ

（株）牧野フライス製作所 加工技術本部 加工技術部 **かす や けん じ**  
**粕 谷 建 司**

#### まえがき

弊社はその名が示すとおり、フライス盤の専門メーカーとして1937年に創業し、1958年に数値制御フライス盤、1966年にマシニングセンタを国内で初めて開発した歴史をもつ。

マシニングセンタとは、日本工業規格JIS B0105によれば、「主として回転工具を使用し、フライス削り、中ぐり、穴あけ及びねじ立てを含む複数の切削加工ができ、かつ、加工プログラムに従って工具を自動交換できる数値制御工作機械」とある。

マシニングセンタが開発される以前においては、フライス加工はフライス盤、穴あけやタップ（ねじ立て）加工はボール盤といった具合に、一つの部品に違う加工内容があれば違う加工機に橋渡しされる必要があり、その度に段取り工数や次工程までの待ち時間が発生するため、ロスタイムが発生し加工完了までに多くの時間を費やしていた。これらの加工を、1台のマシニングセンタが工具交換を自動でおこなうことで集約し、非切削時間の短縮、生産性の向上と工程の集約が可能となった。

こうして、マシニングセンタは他の工作機械とは違い工作物や工具に制約が少ないことから、多種多様な加工を取り入れることにより大きな発展を遂げた。近年では生産現場からの要求は更に難易度が高まり、他の専用機でしか成し得なかった高精度かつ高品位な加工、高硬度材や高靱材料などの難削材の加工、更なる工程集約が求められている。このような様々な要求に対応するために、ひとことでマシニングセンタと言っても、対応する業種によって数多くの機械を開発する必要性がある。

本稿では、特殊鋼という観点から金型加工の生

産性向上に話題を絞り、最新的话题を提供していく。

#### ◇ 大型高精度／微細精密加工機

マシニングセンタ開発当初は、機械を動作させるのに0.01ミリメートル（mm）単位の指令しかできなかったが、制御技術の進歩や軸送り機構部品の高精度化により、現在ではその百分の1である0.0001mm（=0.1 $\mu$ m=マイクロメートル=マイクロン）の指令が弊社の機械では標準化されている。1ミクロンは1ミリの千分の1の単位で、身近な物で例えると、日本人の毛髪が約70ミクロン、赤血球が8ミクロン、PM2.5と呼ばれる微小粒子状物質が2.5ミクロン以下の粒子を指している。

国際競争が激しくなるなか、生き残りをかけ他社ではできない加工を追及すべく、より高精度な機械をユーザーから要求されてきた。その期待に応えるため、弊社で開発した2台の機械を紹介する。

1台目は大型高精度加工機EG3010である。この機械はワークサイズ3,000×1,000×400mm、質量10トンの大物ワークを小型高精度加工機と同等の精度で加工できるように設計された。機械構成を三次元測定機と同じように主軸が3軸移動する門移動型とし、高剛性なテーブルとベッドを固定することで、ワーク重量が変化しても精度に影響しない構成とした。さらに、機体温度制御機能、主軸軸心冷却を採用することで長時間運転時の精度安定化を図っている。製造工程でも入念なキサゲ作業を実施することにより、静的精度2ミクロン以内を達成している。また、弊社独自の空間誤差補正を適用することで、三次元測定機と変わらない加工および測定精度が実現できた。

2台目は小型の微細精密加工機iQ300である。

機械の外観を写真1に示す。本機は高剛性な本体構造と全軸リニアモータの最適配置によるダイレクト駆動、新規開発した低振動超精密転がり案内、および弊社独自開発の制御技術スーパーGI4にて、サブミクロンレベルの精度と高速加工を実現した。従来、超精密加工機と呼ばれるナノ（ミクロンの千分の1、nm）レベルの精度を達成できる機械は、精度を達成する代わりに送り軸剛性が犠牲になって、頻繁な加減速動作をおこなう三次元形状の高速加工には不向きであった。また、無人運転に必要な刃先位置の管理や工具交換などの自動化機能が付与されていない場合が多い。iQ300はこれら全てを網羅し、光学機器に代表される鏡面が必要とされるような金型を、長時間にわたり自動工具交換しながら精度よく加工することを実現している。

#### ◇ 超硬加工

リードタイム短縮のため、金型による成形条件が高速高圧化されている。また、商品の多機能化に対応し、成形材料が特殊な樹脂や金属、複合化された材料など、金型にかかる負荷が大きくなってきている。特殊鋼を扱っている皆様におかれましては、金型用鋼材の耐久性向上に日々努力されていることと思いますが、我々金型を加工する立場にとって頭が痛いのは、焼き入れ硬度が増したり被削性が落ちたりと削り難くなることである。金型の高硬度化は日々感じるところであり、弊社がユーザーに接する場においても、60HRCを超え

るような鋼材の直彫り加工が一般化した。加えて、更なる金型の強化のために超硬合金が注目される昨今、研削加工や放電加工が従来の超硬合金の加工方法であったのに対して、加工時間短縮、磨きレスを実現する超硬合金の直彫り加工も実用化してきている。

理論的に切削加工に使用する工具は、被削材の4倍の硬度を必要とするため、超硬合金の直彫り加工には工具素材として最高の硬度を有するダイヤモンドが使用される。従来から使用されている電着砥石に加え、新しく開発されたコーティング技術を用いたエンドミル、製作技術の進歩で使用できるようになったPCD（Poly Crystalline Diamond＝多結晶ダイヤモンド）という素材を刃先に用いた工具を使用する。これらの工具は発熱や衝撃に弱いため、切込み量をミクロン台で正確に管理する必要がある。また、Ra50nmを下回る鏡面加工では、0.1 $\mu$ mレベルの機械の挙動が加工面に模様として現れてしまう。前述したiQ300は、主軸や軸送りの振動を最小限に抑えることにより、写真1に示す粉末冶金金型でRa20nm、他の加工事例ではRa10nmの面粗さで加工することに成功している。

#### ◇ 5軸加工機

筆者の知る限り、少なくとも15年前まで5軸加工機は金型業界において特殊な存在であった。円筒形状に加工を施すための旋回テーブルは一般的であったが、5軸加工機は特別な用途、例えば航



写真1 微細精密加工機iQ300と粉末冶金金型

空機に使われるプロペラのような部品を加工する機械、もしくは金型では特殊な製品や放電加工用の電極を加工する機械、という認識だった。欧米では早くから5軸加工機を金型加工に用いてきたようだが、日本では手先の器用さが災いしたのか、機械の剛性や精度に劣る5軸加工機を敬遠し、3軸加工機で段取りを多数回変更しながら加工することが普通におこなわれていた。然しながら、日本の復興を支えてきた団塊の世代に代表される技能者の退職や、安い労働力を活かしたアジア諸国との競争激化から、工程集約や複雑形状の高効率加工を目指し、5軸加工機を導入するケースが増え、今日では一般化している。

5軸加工には、最適な工具で生産効率を上げ、最適な角度で加工することで面品位を向上し、段取り回数を減らすことで工数を削減できるメリットがある。しかし欠点として、軸数が増えることによる累積誤差や、プログラムの煩雑さが指摘されていた。弊社では独自の空間誤差補正や回転軸中心を自動で測定する機能を開発、機械の構造を最適化することで高精度化を実現した。さらに簡単な操作でプログラムが作成できる同時5軸加工対応のCAMソフトウェア、手動操作でも衝突を防止できる機能や楽に段取りができる機能を開発し、精度と使いやすさを両立した5軸加工機を市場に提供している。

写真2に示す機械は昨年発表したD800Zで、直径1mの大物ワークに対応、省スペースとワークへの接近性を兼ね備えた5軸制御立形マシニングセンタである。

写真3に示す加工事例は、自動車ヘッドライトに使用される金型部品で、従来3軸加工機で13工程を要していたものを、5軸加工機を使用することにより2工程へ集約することができた事例である。5軸加工機を使用して、面粗さはRa0.3 $\mu$ m、加工精度は $\pm$ 0.01mmを達成し、金型部品として十分な加工面と精度が得られた。

また弊社では、5軸加工では加工点を自在に制御できることに着目し、多刃工具との組合せで加工能率を従来の3倍、特殊工具を用いず標準的な市販工具を使用することで工具費を半減できる加工方法も開発している。

## むすび

製造技術の基盤である工作機械は、戦前戦後は欧米に学び、数値制御の開発とともに日本では独自の進歩を遂げ、国内ユーザーからの厳しい要求に応えながら、世界をリードするまでに至った。マザーマシンとも呼ばれる工作機械の進歩は、今後も各産業の要になることは間違いなく、機械や加工技術の開発を通して日本の豊かな未来のために貢献していきたい。

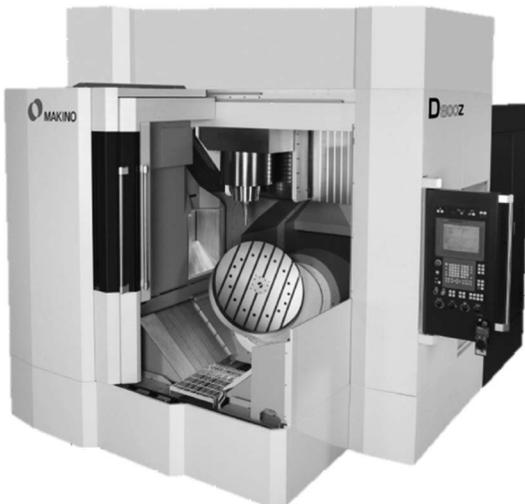


写真2 5軸制御立形マシニングセンタD800Z



写真3 自動車ヘッドライト金型部品

## (2) 超精密立形加工機

東芝機械(株) ナノ加工システム事業部 あまの あきら  
ナノ加工開発センター **天野 啓**

### まえがき

1990年代半ば以降、小径のエンドミルを用いて高速回転かつ高速送りで加工する高速ミーリング技術は、従来、放電加工が主体の金型製作工程を切削加工に置き換えることによって金型製作コストの低減を目指すというスタンスで進歩してきた。切削工具においては、超合金製エンドミルの耐摩耗性を向上させるためのコーティング膜技術開発によって、ロックウェル硬度(HRC)50程度の金型用鋼材に対するミーリング加工が一般的なものとなった。さらに近年では、コーティング膜技術開発の更なる進歩に加えて、ダイヤモンドに次ぐ硬度を持ち、熱的特性にも優れるcBN(cubic Boron Nitride:立方晶窒化ホウ素)焼結体を切削材種に用いた切削工具の開発も盛んに行われるようになり、HRC60を超える高硬度の金型用鋼材に対しても実用的な切削加工が可能となってきた。

加工機においては、工作機械メーカ各社が主軸回転やテーブル送りの高速化で高速ミーリング技術の進歩を支えてきた。工具の回転数増大に相応してテーブル送り速度も増大するため、寸法精度確保が必要な金型加工用途の高速加工機では、主軸のころがり軸受や駆動モータの発熱によって発生する熱変位を抑制するための主軸冷却システムや熱変位補償技術、テーブル駆動用ボールねじやリニアモータといった駆動系に対する冷却システムなど、高速化に付随した熱的課題への対策を中心とした高精度化技術の開発が進められてきた。これに対し弊社では、レンズ金型加工機などの超精密加工機特有の要素とされていた空気静圧軸受を高速ミーリング加工機に適用することによって主軸の熱的課題を回避し、かつ主軸をより高速化して加工能率を向上させる手法を中心に据えた開発に取り組んできた<sup>1)</sup>。

本誌面では、金型磨き仕上げのミニマム化など、

日々ますます高くなる市場要求に応えるべく開発した高速・高精度ミーリング加工機「超精密立形加工機UVM-450C(V2)」について解説する。本機は、最新のリニアモータ駆動制御技術など、加工精度面で切削加工機の頂点に立つレンズ金型加工用超精密加工機<sup>2)</sup>の要素技術を盛り込んで、従来の高速ミーリング加工を1ランク上に高精度化する一方、設備コスト面においては、従来のマシンニングセンターの範疇に留めることを主眼に、コストパフォーマンスを追及して開発されたものである。

### ◇ 超精密立形加工機UVM-450C(V2)の特長

本加工機の概観を図1に示す。基本構成は中型の門形加工機であるが、以下に述べる要素技術や付加機能によって、加工の高精度化を実現している。

#### 1. 空気軸受主軸

本機には、モータ駆動方式の空気静圧軸受主軸(最高回転数60,000min<sup>-1</sup>)を標準搭載している。静圧軸受は非接触構造であるため摩擦係数がきわめて小さく、高速回転時においても振動を発生させない要素技術である。一般的に負荷容量が小さいという短所はあるが、長年培ってきた空気軸受



図1 超精密立形加工機UVM-450C(V2)の概観

の設計・製造技術によって必要レベルの軸受剛性を十分確保していることや、小径工具によるミーリングでは工具自体の剛性や切刃の強度が支配的であることから、実用上、ころがり軸受方式の高速主軸との軸受剛性に起因する差異はない。また、独自の技術によって、自動工具交換（ATC）への対応も可能としている。空気軸受主軸の特長を以下に述べる。

### （１）高速かつ高精度な回転

転がり軸受では到達不可能な高い回転精度を実現している。本機に搭載されている主軸は、 $60,000\text{min}^{-1}$ の高速回転時での回転精度 $0.1\mu\text{m}$ 以下（回転非同期誤差成分）である。この高い回転精度が、高品位加工実現の最大要因であるとともに、回転毎の切削現象の安定を保つこととなり、工具の長寿命化が図られる。

### （２）低発熱、低騒音

発熱による熱変位が極少であり、一般的なころがり軸受方式の主軸において必須の強力な冷却システムや熱変位補償技術を必要としない。また、高速運転時も極めて静粛であり、騒音による作業環境影響は極めて小さい。

### （３）ランニングコスト低減

非接触軸受のため寿命は半永久的で、最高回転数での長時間加工を繰り返しても主軸精度劣化の心配は全く無用であり、ベアリング交換等のメンテナンスコストを意識する必要がない。また、駆動モータの出力も小さくすることができ、エネルギー消費も低く抑えられ、ランニングコストを大幅に低減できる。

## ２．高精度な送り機構

高分解能（ $2\text{nm}$ ）のリニアスケールを搭載し、最小設定単位 $0.01\mu\text{m}$ の指令を可能とするとともに、高精度形リニアガイドとコア付リニアモータ駆動制御技術によって、駆動時の速度変動誤差が極めて小さく、高い位置決め精度が実現されている。一般的な加工機に見られるような象限切替時の突起状の運動誤差は最小限に抑えられており、軸移動が滑らかに行われる。

## ◇ 加工事例

### １．フライアイレンズ金型加工事例

本加工機によって、精密部品成形用金型製作に

おける手磨き工程を不要、あるいは最小限化することが可能となった。実際に鏡面磨き工程が不要とすることができている事例を紹介する。LED照明光源に用いられているフライアイレンズ（蠅目レンズ）成形用金型を図2に示す。材質はSUS420J2相当のプラスチック金型用ステンレス鋼（硬度HRC52）である。本例のような微小な凹凸形状で構成される金型は、エンドミルによって微小な形状を切削加工で形成した後に、手磨きによって表面粗さ $0.01\mu\text{mRa}$ 相当の鏡面に仕上げる方法で製作される。このため、手磨きによる形状崩れが大きく発生し、微小な形状を正確に残した状態で金型を鏡面に仕上げることは困難であった。

本金型を超精密立形加工機UVM-450C（V2）で加工することにより、切削加工のみで表面粗さ $0.01\mu\text{mRa}$ に直接仕上げるのが可能となった。すなわち、微小な形状を有する成形用金型でも、切削加工のみでより高い精度に製作できるようになり、金型性能向上と製作工数低減の双方を同時に実現できるようになった。

このような高精度な切削加工が可能になった理由は、加工機側において、高性能な空気軸受主軸によって高速回転時の工具の振動発生を抑制したこと、高分解能のリニアモータ駆動制御技術によって工具先端の動きの乱れを極小化したこと、の2つの要因が挙げられる。また、工具側の要因として、cBN工具の切れ刃精度および耐摩耗性の向上が挙げられる。これら、加工機と切削工具双方の進歩によって、切削加工の高精度化が実現できたといえる。

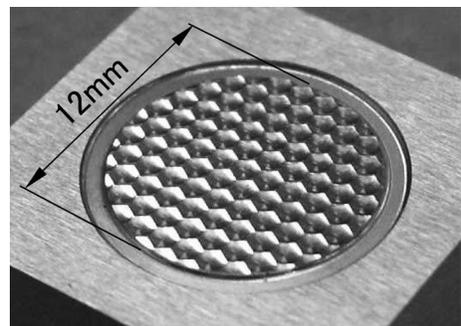


図 2 フライアイレンズ成形用金型

## 2. せん断刃加工事例

高硬度な素材に対して、より正確な形状形成を求められる事例を紹介する。図3は、LEDリードフレームのプレス加工用せん断刃の加工事例を示したもので、材質は高速度工具鋼（硬度HRC64）である。稜線幅が6 $\mu\text{m}$ の台形断面で構成されたせん断刃であり、稜線幅を一定に形成する必要がある。このような刃物は、材質が高硬度であるために、軸付砥石を用いての研削加工に依る場合が多い。研削加工では、砥石形状を整える作業を頻繁に行う必要があるため、作業者の熟練が必要とされる。これに対し、切削加工では様々な切れ刃形状の工具が入手可能で、工具形状諸元の絶対値も工具メーカー側で管理されていることから、作業者が工具形状を整えて寸法管理する必要が全くない。今日では、HRC64の高硬度材であっても、切削工具の進歩によって切削速度（加工点の周速度）を高く設定すれば、安定した切削加工が可能である。図3の事例では、粗加工には、超硬コーティング

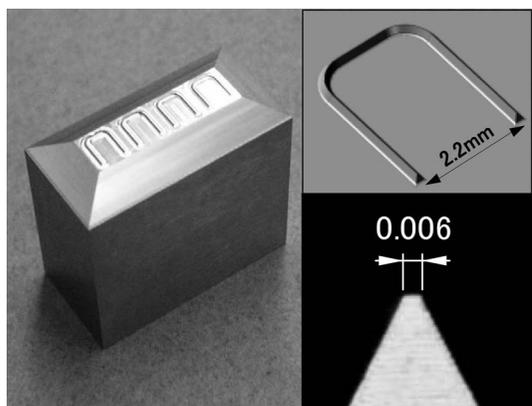


図 3 プレス加工用せん断刃

エンドミルを、仕上げ加工には、cBN工具を適用した。工具形状はいずれも $\phi 0.5\text{mm}$ の小径ラジアスエンドミルであるため、加工点周速度を確保する必要から、工具回転数を $60,000\text{min}^{-1}$ とした。ころがり軸受方式の主軸を具備する一般的な加工機では、 $50,000\text{min}^{-1}$ を超えるような条件下では、軸受からの発熱量の大きさから加工寸法精度を確保するためには加工時間よりも長い暖気運転時間を必要とすることも少なくない。空気軸受主軸を搭載する本加工機では、軸受発熱が非常に少ないため上記のような長大な暖気運転を必要とせず、安定した加工が可能である。

## むすび

超精密立形加工機UVM-450C (V2) の特長と加工事例について紹介した。金型製作現場の研磨職人の減少や納期、コスト競争という背景からも、磨き工程を省く鏡面切削仕上げの実現や、研削加工から切削加工への工程置き換え等の改善要求はますます高くなっていくであろう。

本機を開発したことによって、これらの市場要求に応えられる具体策がようやく得られはじめたところである。今後、広く実用化していくためには、工具や加工機の技術をより発展させることが必要と考える。切削加工の基盤である加工機の開発において、更なる発展を心掛ける所存である。

## 参考文献

- 1) 百地武：超精密空気静圧軸受主軸を用いた微小径工具による高速加工事例、日本機械学会 生産加工・工作機械部門講演会、3 (2001) 173
- 2) 天野啓：金型加工におけるナノレベル鏡面切削技術、成形加工21、4 (2009) 172-177

# Ⅲ. 最新の切削加工技術

## 1. 環境にやさしく、生産性も高い セミドライ加工

フジ BC 技研 (株) いの 井 うえ 上 つとむ 勤  
セミドライチーム

### まえがき

近年の猛暑や歴史的降雪など、急激な気候変動が人々の生活に与える影響と被害は甚大である。諸説あるものの、利便性の高い生活や、それらを支える生産活動から排出される人為的な温室効果ガスや、大気汚染物質に起因しているという説が主流である。

本稿では、生産活動における環境保全と生産性の向上を目標に、当社が25年以上取り組みを続けているセミドライ加工について紹介する。

### ◇ セミドライ加工が求められる背景

京都議定書に代表される地球温暖化対策は、人々の強い関心を得て加速した。しかし、長期にわたる好況感の無さに付け加え、金融危機が人々の環境に対する関心と持続性を削いでしまった。

日本においては、東日本大震災での原子力発電所の事故による、発電コストを含む電力供給の課題や、新興国を中心に明確化してきたPM2.5など微粒子状物質により予測される健康被害が、あらためて人々の環境保全に対する意識を高めている。

例えば輸送機器では、その燃費に大きく寄与する事から、軽量化が重要な課題と位置づけられ、排出される物質やその燃費の厳しい規制に対応するべく、メーカーは技術の向上に取り組んでいる。

また、電力の値上や導入が検討されている環境税などが、国際的競争力に大きく影響する事から、生産活動におけるコスト低減と、地球や工場環境対策を同時に行う必要があり、これらの解決法としてセミドライ加工が取り組まれている。

### ◇ セミドライ加工とは？

生分解性に優れ、安全な植物をベースとして精製された脂肪酸、合成エステルを主成分とした油剤を加工点に極少量、適確に供給して行なう加工法で、MQL加工 (Minimum Quantity Lubrication) NDM (Near Dry Machining) また、一般的にミスト加工とも呼ばれている。近年では、多様化する除去加工法に合わせて、地球規模環境と工場の作業環境改善、生産性の向上を目的とした切削油使用量削減の取り組みの総称になっている。

### ◇ セミドライ加工の歴史

もとは米国における宇宙・航空機産業の発展に伴い、難削性素材の高エネルギー加工を目指し、ボーイングのエンジニアが試行の上、確立された微量の切削油供給技術であり、現在でも航空機業界ではBoelubeとして存在している。そのボーイングから独立し展開されたものが、私共のセミドライ加工のルーツである。

セミドライ加工は、課題を伴う加工現場の要求を満たすために、工作機械や切削工具、被加工素材と共に、研究と開発は主に日本と欧州ドイツで進行した。

現在では、隣国である中国をはじめとする新興国において、環境負荷低減と生産性向上を目的とした導入が加速している。

### ◇ セミドライ給油装置

装置は通常の切削油供給方法同様に、外部給油と内部給油の二種に大別される。圧縮空気により

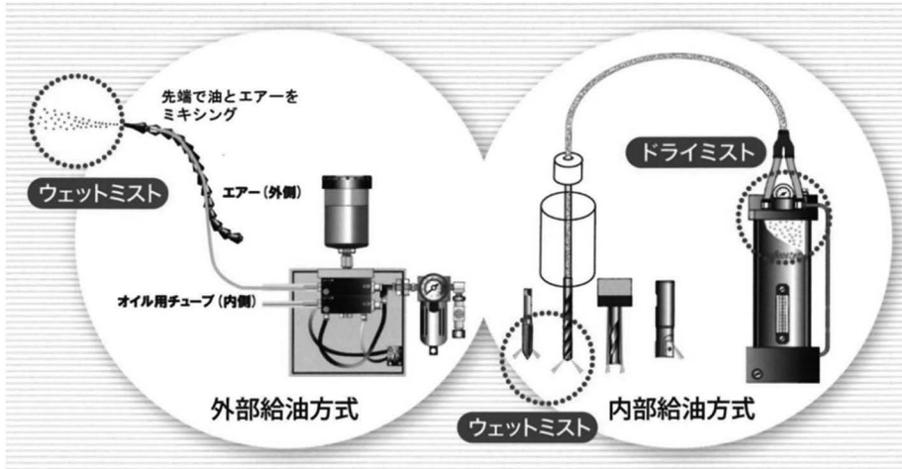


図 1 セミドライ装置と給油方法の違い

ミスト状にしたオイルを加工点へ塗布する事は同じであるが、図1に示す様にミストの生成方法が異なる。

最も一般的な外部給油装置は塗布ノズルを有しており、ノズル近傍でオイルミスト発生させて加工点へ塗布する。

一方、我が社が開発した内部給油装置の最大の特徴は、機内で搬送性の極めて高い1~2 $\mu$ mのドライミストを装置内部で発生させている事である。

このドライミストは張力によりモノには付着し

ないので、回転主軸やターレット構造を通り抜ける事ができる。しかし、このドライミストのままでは加工点に潤滑を与える事が出来ないのでノズルに見立てた切削工具の油穴の前後の圧力差による流速と、出口で生じる乱流をエネルギー源として、オイルミストの増径化を図り切削に対して有効化する必要がある。私共では、この時の粒径を10 $\mu$ m以上と解説している。

我社では、写真1の様な微細ミストを活用し専用ノズルと組み合わせて、極少量を連続的に安定して供給する外部給油装置を展開している。超精密・微細加工や、マイクロマシニング、更には超硬直彫り、研削などの分野での応用と研究活用が進んでいて、従来の装置との結果の差別化を確実にしている。

#### ◇ セミドライ加工事例

セミドライ加工として独立し歩み始めた技術は、「アルミサッシの切断工程」で同産業の標準的な工法とし認知され広まった。

生産工場におけるセミドライ化の主たる目的は、工具寿命延長、作業環境改善、洗浄工数削減、機外への油剤ボタ落ち防止（通路での作業員転倒防止）、及び総合的なコスト低減である。

また、自社の溶解炉を持つアルミ鋳造工場では、上記に加え、切屑が乾燥している事から、乾燥工程を無くし、工場内での素材の循環回転率向上と、



写真1 微細ミストを活用したBK外部給油装置

熱エネルギー、及び乾燥時間と保管場所が不要となり、大きなコスト削減効果を得ている。

「金型加工」に代表される、調質高硬度鋼材の直彫り加工でのセミドライ化は、超硬工具、及び耐熱コーティング技術と、機械の主軸内部給油化技術と共に発展した。

高硬度素材の高速加工における断続切削では、脆性材である超硬工具の熱衝撃破壊に対して、セミドライ油剤の高い潤滑性と、ミストの搬送媒体である圧縮空気の冷却程度が安定した工具摩耗に寄与し、高精度で高品位を可能にしていると考えられている。

写真2に示すクランクシャフトの斜油穴に代表される小径深穴高能率加工事例では、従来の加工方法は、ガンドリルマシンなど専用機が必要であり、加工が困難な事からステップ加工を行なう等の理由で、サイクルタイムの短縮が困難とされていた。超微粒超硬ソリッドドリルとセミドライ化の相乗効果により、従来比5倍以上の高能率な小径深穴高速加工が可能となった。

加工能率の向上により、機械台数を削減する事が可能となり、導入の設備費の低減と工場敷地の有効活用が可能となった<sup>1)</sup>。

高圧クーラントの廃止に伴い、初期設備、電力



写真2 クランクシャフトの斜油穴に代表される小径深穴高能率加工事例

ランニング共にコスト削減を可能としたこの加工方法は、日本で始まり世界で採用され広まっている。

以上に代表されるセミドライ化の有効性は、我々の主張のみでなく、自動車産業に代表されるモノづくり立県を礎として、特に2005年の愛・地球博以降環境問題の継続性を唱えた愛知県から、2010年に愛知環境賞銅賞を受賞している。

#### ◇ 油剤視点のセミドライ有意のメカニズム<sup>2)</sup>

切削油剤には基本的な切削性能である一次性能と、安全性や作業性、保管性などの二次性能の両側面共に優れている事が求められる。一般的な切削油剤は、基となる鉱物油に最適な機能が得られるように添加剤を付加した構成になっている。

セミドライ専用油剤の一次的最大の特徴は、加工金属活性新生面へ酸素とエステルが同時に供給される事による化学吸着（酸化薄膜+金属石ケン）である。これらが切削の極圧下における高い潤滑を維持している。この潤滑作用は切屑の塑性変形にも有効であり、切削熱による鋼の軟化特性の効果も加わり切削抵抗が減少する。

また、常時バージンオイルを使う事により、循環型切削油中の微細スラッジによる刃具寿命低下防止する事が可能であり、維持管理に関わる工数の削減にもなる。

セミドライ加工専用油剤は、植物由来であるため高い生分解性と対人安全性を有している。しかし、使用量が非常に少なく、洗い流す事が出来ないで長期保存性と酸化安定性能が求められる。この事は、年末大掃除における換気扇やコンロを思い浮かべて頂ければ容易に想像できると思う。いくら少量とは言え、あの状態が機械内部で生じればトラブルは必至である。

#### ◇ 今後の課題

3Dプリンターに代表される様々な積層加工が目されているが、切削による除去加工は、モノづくりの基本要件である。

様々な加工方法が模索される中、日本のモノづくりが世界で高い競争力を維持するため、環境負荷を低減しながら切削加工でしかできない高付加

価値化、高機能化に寄与する事を目指して継続した取り組みを行なう所存である。

セミドライ加工は、他の給油方法同様に、切削油剤の塗布方法であり、基本的な加工技術あつての要素技術であり、主課題を解決する事はできても、何でもできる魔法の加工方法ではない。

多くのユーザーから、「変化点がセミドライ化である。」と、問い合わせを頂き現場を訪問するが、実際には多くの変化点が同時進行している。

また、同じセミドライ装置や油剤に分類されるものであつても、選択を誤ると結果は異なる。

製品を生み出すユーザーの目標を達成するには、ユーザーは勿論、機械・工具、そして被削素材などの総ての協業者の英知を集結して課題対応しなければならないと考えている。

## 謝 意

今回、特殊鋼誌のテーマ「切削加工と特殊鋼」で執筆させて頂く機会を頂き、「セミドライ加工」について極めて基礎的な概要を述べた。

切削加工のセミドライ化が、環境負荷を低減しつつ、高能率で高品位な生産工場の実現の一助となれば幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) 不二越 清都俊之 NACHI-BUSINESS Machining NEWS Vol. 5 B2 2004
- 2) 油剤視点のセミドライ有意のメカニズム項 例えば、香川大学 若林利明 精密工学会誌 Vol. 76 No5. 2010 須田聡 環境に優しく高性能なセミドライ加工用切削油の開発 潤滑経済 482. 2006



## 2. ハードターニング加工

高松機械工業(株) さわ やま かず や  
営業技術部 澤 山 一 也

### ◇ ハードターニング加工とは…

高硬度材料を切削する事を表わしており、高硬度材料とは一般的に熱処理（高周波及び浸炭焼入れ）を施して硬度を高めた焼入れ鋼の事を言います。

…高硬度材料の切削加工である。

### ◇ 焼入れ鋼の切削性…

焼入れ鋼は、単純に言えば硬いから削りにくい材料となります。

木材を手で削ろうと思えば彫刻刀やノコギリで簡単に削る事が出来ますが、鉄を手で削ろうとするとヤスリや金属用ノコギリで時間をかけて汗をかいて削り取るしか有りません。

材料が硬くなるとその加工負荷力が非常に高くなり、加工を困難にしてしまいます。

また焼入れ鋼をヤスリや金属ノコギリを用いて加工してみてください。

ヤスリや金属ノコギリの刃先が一瞬で摩耗し、キズをつける程度で終わります。

これは焼入れ鋼と工具の硬度が同等であり、削り取る役目を担う鋭い刃先が逆に削り取られた事によるもので、工具は被削材よりも硬い材質のもので加工を行なう必要があります。

もう一つは焼入れ鋼の高温強度となります。

鉄の切削では加工点で熱が発生しており、その数百度の切削熱により被削材を柔らかくして安定加工させる作用も含まれております。

ところが焼入れ鋼は高温になっても強度を維持する特性をもっており、汎用的な工具で高速加工を行なうと工具の強度が低下して摩耗が進行してしまいます。

これらの要因がハードターニング加工を困難なものにしていました。

…焼入れ鋼は硬いから削りにくい

### ◇ ハードターニング加工の歴史…

ハードターニングに使用される工具はCBNと呼ばれ、約45年前にアメリカGE社で開発されました。

実際に広く普及し始めたのは、約25年前と歴史が浅い工具となります。

それではそれ以前の焼入れ鋼はどの様に加工していたのでしょうか。

一部では超硬工具を用いて切削を行なっていましたが、高温強度が少なく切削熱の発生を抑える必要が有りました。

したがって低い切削速度（≒低回転）での加工を強いられ、けして効率の良い加工とは言えませんでした。

もう一つは高温強度に優れたセラミック工具で加工を行なっていました。

切削速度を下げる事なく切削が行えましたが、以前のセラミック工具では靱性（≒粘り強さ）が少なく衝撃による突然の欠損が発生して信頼性に乏しい工具でした。

また焼入れ鋼部品はその殆どが仕上げ加工であり、かつ摺動面などの重要部である為、寸法公差、面粗さ、円筒度などが求められる部品加工となります。

したがってハードターニング加工はあまり普及せず、過去にはその殆どが研削機を使用した研削、研磨加工となっていました。

…効率が悪く、信頼性も乏しい切削加工は敬遠されていた。

### ◇ 研削と切削の加工形態…

何故、研削加工が主流となっていたのでしょうか？

それは研削と切削の加工形態（工具）の違いが要因となっています。

研削は焼入れ鋼を砥石で削りながら細かな砥粒が脱落して新たな砥粒が再生されて加工を行なっ

ていきます。

また砥石は円形状をしており且つ砥石幅（厚み）も有しており、その大きな工具面に微少な刃先が多数配置され、削り落とす加工を行ないます。

研削は多数の刃先で被削材を削り落とし、かつ脱落再生作用により新たな刃先が生まれるメリットがあります。

例えて言うと自動車のタイヤがアスファルトと接触して、摩耗しながら新たなタイヤ面で走り続ける状態と類似しており、長時間の安定加工が可能となります。

これに対して切削はシングルポイント加工と呼ばれ、工具は約1mm程度の刃先が被削材面に無理矢理侵入して破壊除去を行ない、摩耗すると工具交換を行なう方法となり一つの刃先で焼入れ鋼と戦う過酷な環境での加工法となります。

別の例えでは鉛筆で文字を書き、芯が減ると鉛筆削りで新たな芯先を作るのと類しています。

材料硬度が高く摩耗の激しい焼入れ鋼加工では、小さな刃先で頑張っって削る切削加工よりも、工具面積が大きく多数の刃先で加工して新たな刃先が再生される研削の方が安定した加工が行えるものとなります。

もう一つは工具材質となります。

研削砥石は高硬度材料（セラミック砥粒等）を結合材で固めた材料で、高温強度に優れています。

切削工具は超硬工具と呼ばれ高硬度材料（タングステン）を結合材で固めた材料で、こちらも高温強度に優れていますがセラミックよりは劣ります。

これらの違いが切削加工を困難にしている要因となり、過去には研削加工が主流となっていました。

…研削砥石は微少な刃先の集団で加工してかつ刃先が再生する、切削工具は一つの刃先で切削を行なうシングルポイント加工となる。

#### ◇ CBN工具…

この切削工具に革命を起こしたのが先に述べたCBNチップ（C=キュービック構造、B=ホウ素、N=窒素）の登場となります。

開発された当初は耐熱合金の切削を目的に使用されましたが、その後住友電工（株）がCBNと耐

熱性セラミックバインダーを混合させて焼結した焼入れ鋼加工用のCBN工具を開発してハードターニング加工が開始されました。

CBNはダイヤモンドに次ぐ硬度を保持し、切削熱に対しても強い特性を持っているため、焼入れ鋼加工に適した材料として期待されました。

切削工具では被削材硬度に対して3倍以上の硬度を持った工具材料であれば安定加工が行える目安があります。

焼入れ鋼はピッカース硬さに換算すると720Hv前後となります。

対する超硬工具は1,500Hv、CBN工具は2,800Hvとなり、超硬工具は約2倍の硬度と適さず、CBN工具は約4倍と安定加工が可能となる硬度を保持しています。

しかし45年前のCBN工具の価格は非常に高価でかつ突然の欠損など信頼性も少ないため、量産での使用は敬遠されていました。

この工具コストと信頼性を改善して行き、日本では約25年前から量産加工への普及が進んで来ました。

現在ではコストは当初の約1/10、信頼性は刃先形状の改善、材料配合の改善で靱性（ねばり強さ）や耐摩耗性を高め、高温強度に優れたCBNチップの特徴を活かして更なる高速加工追求による効率改善で、量産加工への導入は飛躍的に伸びてきております。

…焼入れ鋼の4倍の硬度を持つCBN材種の登場で、量産切削加工が可能となった。

#### ◇ ハードターニング加工のメリット…

研削では円筒などの直線的な部品加工は比較的に行えますが、Rやテーパー、ぬすみ、直角部などがついた複合形状では総型砥石を使用して押しつけて加工を行わなければならない、おのずと制約が発生します。

また総型形状の砥石成形の難しさ、一部分の偏摩耗が問題となります。

ハードターニング加工ではNC旋盤のプログラミングにより、複合形状の加工が可能となり、かつ多品種の部品加工をプログラム変更のみで簡単に加工が行えます。

研削では段取り、ドレッシングなどで以外と熟

練者が必要となりますが、CBNチップを用いたハードターニング加工では誰が段取りをしても求める精度を得やすいのが特徴となります。

CBN工具を用いた切削加工面粗さも25年前は $R_{max}6.3\mu m$ の維持、15年前は $R_{max}3.2\mu m$ 、近年では $R_{max}1.6\mu m$ の安定維持が可能となり、高精度加工にも取り入れられてきております。

またハードターニング加工ではNC旋盤を用いて加工を行いますが、研削設備と比較して機械設備コストを大幅に低減出来るのもメリットの一つとなります。

しかし $R_{max}1.6\mu m$ 以下の面粗さ精度の部品ではやはり研削、研磨加工が主流となり、断続加工でも断続潤みの発生や工具寿命の低下とやはり研削が安定しており、またハードターニング加工では螺旋模様（ネジの細かな模様）の発生が（図1）シール部からの油漏れを起こし、油圧、潤滑関連部の部品加工が出来ない制約がありました。

…工具コスト、信頼性や加工精度の向上で、あらゆるものに採用されているが更に克服するものがある。

#### ◇ ハードスカイピング加工に注目…

ハードスカイピング加工は焼入れ鋼の円筒加工面を、工具が上下に移動してひげ剃りの様にそぎ落とす加工法となります。（図2、図3、【住友電工(株)殿加工法特許】）

この加工のメリットは螺旋模様が判別出来ないため（図1）油圧、潤滑関連部品の加工にも対応出来る事があげられます（理論上は発生）。

また送り速度はシングルポイント工具の数倍の

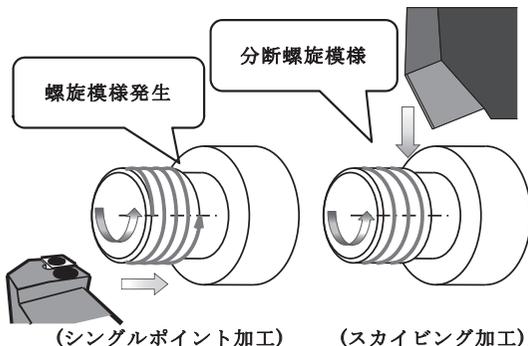


図 1 仕上がり面模様

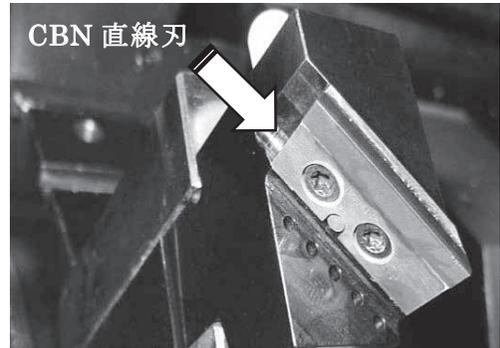


図 2 ハードスカイピング工具

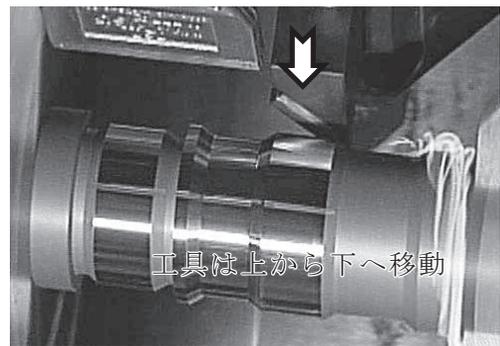


図 3 スカイピング加工状態

速度でも面粗さ $R_{max}1.0\mu m$ 程度の維持が可能であり、大幅な加工時間短縮と面粗さの向上が可能となります。

工具寿命はシングルポイント刃先から、ひげ剃り刃のように線上の刃先（一般的に20mm幅）となる為、約4倍の寿命延長が可能となります。

研削模様と変わらない加工面が得られシーリング部の部品加工が可能であり、かつ飛躍的な加工時間の短縮など、今までのハードターニング加工の課題を克服して大きな効果が期待出来る加工法となります。

グローバル化に伴う部品加工の多品種少量化が進む国内事情において、旋盤加工に置き換える事による段取り性改善や、ドライ加工による廃油処理削減が行える環境メリットなども追い風となり、この加工法の注目度は一気に上がっております。

…ハードスカイピング加工はシール面の加工が可能となり、かつサイクルタイムの大幅な短縮が可能となる。

### 3. 表層ナノ結晶粒化プロセスによる 鉄鋼材料の力学的高機能化

豊橋技術科学大学 豊橋機械工学系 准教授 戸高 義一

塑性ひずみを加えることによる組織変化（転位密度の増加、結晶粒の微細化など）を利用した表層改質技術として、ショットピーニング（SP: Shot Peening）やディープローリング（DP: Deep Rolling）などが知られている。これらは、表層を局部的に塑性変形することで加工硬化できると共に、その塑性変形を無加工部で拘束することによって圧縮残留応力も付与できる。2000年頃から、表面層を均一にnmオーダーの結晶粒組織にまで微細化できるようになったことから、表層ナノ結晶粒化プロセス（SNP: Surface-Nanocrystallized Process）を材質制御に適用する試みがなされてきた。SNPは、ナノ結晶粒組織が形成する加工中の被加工部の温度が、共析変態温度（ $Ac_1$ ）を超えず室温付近と考えられる冷間SNPと、 $Ac_1$ 以上と考えられる熱間SNPに大別できる。

冷間SNPとして、SP<sup>1)~13)</sup>、冷間摩擦加工<sup>14)~16)</sup>などが挙げられる。冷間SNPでは、加工組織の回復・再結晶が抑えられることから、ナノ結晶粒化と共に、大きな圧縮残留応力が付与できる。これらの効果により、疲労特性<sup>5), 6), 11)~13)</sup>、耐摩耗性<sup>7)~9)</sup>、耐食性<sup>9), 10)</sup>などが向上する。

熱間SNPとして、切削や研削などが考えられる。切削・研削の分野では、古くから白層と呼ばれる組織の形成が問題視されてきた。切削・研削における白層の形成については、Fieldら<sup>17)</sup>やGriffiths<sup>18)</sup>の解説が詳しい。白層は、①強ひずみ加工によるナノ結晶粒組織、②加工発熱によるオーステナイト化とその後の急冷によるマルテンサイト組織、③雰囲気ガスなどとの反応生成物の何れかであると考えられている。

近年、工具の高性能化に伴って、ハードターニングなどのように、高硬度な鉄鋼材料を切削することが増加している。このような加工では、被加工

工部が加工発熱により局部的に軟化し、結果として高ひずみ速度で大きなひずみ量が付与されることで組織が微細化（白層化）する<sup>19)~22)</sup>。

切削や研削などの熱間SNPでは、切削・研削抵抗による加工発熱を利用して局部的に軟化させて塑性変形を容易にし、工具／被加工材界面で生じる摩擦により強ひずみ加工している。塑性変形領域を制限することで、被加工材の表層に大きなひずみ量・ひずみ勾配を高ひずみ速度で付与できる。加工発熱を利用して被加工部を軟化させるため、高硬度な鉄鋼材料へも適用できる点が、冷間SNPと異なる。

この現象を積極的に取り入れた熱間SNPの一つが、表層ナノ結晶粒化摩擦加工（SNW: Surface-Nanocrystallized Wearing）である。SNWは、高速回転する鉄鋼材料に超硬チップを押し当てることで、加工発熱によって工具／被加工材界面で生じる塑性変形を促進させ、表層を効率良くナノ結晶粒化することができる。図1 (a) に、炭素鋼

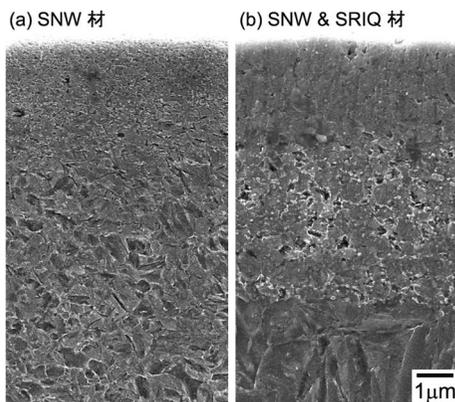


図 1 (a) SNW（表層ナノ結晶粒化摩擦加工）および (b) その後にSRIQ（超急速短時間高周波加熱焼入れ）を施した炭素鋼S45Cの表層SEM組織

S45C調質材（焼戻しマルテンサイト組織、ビッカース硬さHV 4GPa、直径φ26mm）にSNW（回転数1,600rpm、送り0.03mm/rev、荷重1,500N）を施して形成した組織を示す。最表層に約5μm厚さのナノ結晶粒層と、その下部に約25μm厚さのサブミクロン結晶粒層が形成した。最表層はHV 9GPaを超える高硬度を示した（図2）。しかしながら、本条件におけるSNWではAc<sub>1</sub>以上の加工発熱が生じるため、形成するナノ・サブミクロン結晶粒層の直下に高温で焼戻された軟化部が生じる（図2）。このような軟化部は破壊起点となるため改質が必要である。SNWにより形成するナノ・サブミクロン結晶組織は高い熱的安定性を示すことから、超急速短時間高周波加熱焼入れ（SRIQ: Super Rapid Induction heating and Quenching、加熱温度950℃、加熱時間0.3s<sup>23</sup>）をSNW後に施した。SNW & SRIQ材の組織およびビッカース硬さ分布を、図1（b）、図2に示す。表層にナノ・サブミクロン結晶粒層が残存することで高い硬さ（HV 8.8GPa）を保ちながら、十分な厚さの焼入れ硬化層（800μm）を得ることができた。また、SNW & SRIQ材は、SRIQ材と同程度の圧縮残留応力が形成した。図3に、SNW & SRIQ材およびSRIQ材をローラーピッチング（RP）試験（回転数1,500 rpm、最大ヘルツ応力2,500、3,000MPa、すべり率40%、オートマチックフルード（油温353K）、大ローラSCM420H浸炭材（表面から50μm位置の硬さHV 7.5GPa）した結果を示す。SNW & SRIQ材は、SRIQ材に比べて転動疲労寿命が10倍弱向上した。RP試験（試験応力3,000MPa）後の両試料

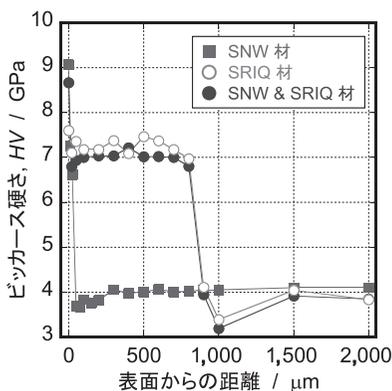


図2 SNW、SRIQ、SNW & SRIQ を施した炭素鋼 S45Cの表層におけるビッカース硬さ分布

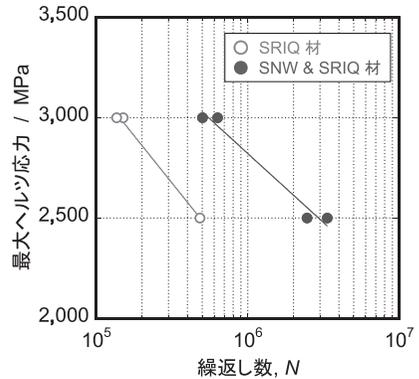


図3 SRIQ、SNW & SRIQを施した炭素鋼S45Cにおけるローラーピッチング転動疲労試験の結果

の断面を観察した結果、SRIQ材でのみ、表層から200μm、1,000μm程度の深さに大きな亀裂の伝播が見られた。SRIQ材で亀裂が観察された深さでは、RP試験前の両試料において同等な圧縮残留応力、硬さ、組織であった。しかしながら、RP試験後では、SRIQ材において大きな亀裂の伝播が発生した深さ200μmで、SNW & SRIQ材の硬さがSRIQ材よりもHV 0.5GPa高かった。このことから、SNW & SRIQ材においてRP試験中の加工発熱が抑制されたことが、転動疲労寿命が向上した一つの原因と考えられる。

以上のように、表層ナノ結晶粒化プロセス（およびその他の表層改質技術との組み合わせ）により、鉄鋼材料の力学的高機能化が可能である。本稿が、益々強くなる機械部品の小型軽量化や高性能化の要望に対する解決の糸口となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 戸高義一、梅本実、渡辺幸則、土谷浩一：日本金属学会誌、67 (2003)、690
- 2) Y. Todaka, M. Umamoto, Y. Watanabe, and K. Tsuchiya: Mater. Sci. Forum, 503-504 (2006), 669
- 3) 戸高義一、梅本実、渡辺幸則、山崎歩見、土谷浩一：ふえらむ、14 (2009)、24
- 4) G. Liu, S.C. Wang, X.F. Lou, J. Lu, and K. Lu: Scr. Mater., 44 (2001), 1791
- 5) T. Roland, D. Reintant, K. Lu, and J. Lu: Scr. Mater., 54 (2006), 1949
- 6) 間野日出男、近藤覚、井村徹、松室昭仁：日本金属学会誌、69 (2005)、213
- 7) Z.B. Wang, N.R. Tao, S. Li, W. Wang, G. Liu, J. Lu, and K. Lu: Mater. Sci. Eng. A, 352 (2003), 144
- 8) L. Zhou, G. Liu, Z. Han, and K. Lu: Scr. Mater., 58 (2008),

- 9) X.Y. Wang, and D.Y. Li: *Wear*, 255 (2003), 836
- 10) T. Wang, J. Yu, and B. Dong: *Surf. Coat. Technol.*, 200 (2006), 4777
- 11) I. Altenberger, B. Scholtes, U. Martin, and H. Oettel: *Mater. Sci. Eng. A*, 264 (1999), 1
- 12) I. Altenberger, E.A. Stach, G. Liu, R.K. Nalla, and R.O. Ritchie: *Scr. Mater.*, 48 (2003), 1593
- 13) I. Nikitin, B. Scholtes, H.J. Maier, and I. Altenberger: *Scr. Mater.*, 50 (2004), 1345
- 14) P. Heilmann, W.A.T. Clark, and D.A. Rigney: *Acta Mater.*, 31 (1983), 1293
- 15) W.M. Rainforth, R. Stevens, and J. Nutting: *Phil. Mag.*, 66 (1992), 621
- 16) W.L. Li, N.R. Tao, and K. Lu: *Scr. Mater.*, 59 (2008), 546
- 17) M. Field, and J.F. Kahles: *Ann. CIRP*, 20 (1971), 153
- 18) B.J. Griffiths: *J. Tribol.*, 109 (1987), 525
- 19) Y. Todaka, M. Umemoto, S. Tanaka, and K. Tsuchiya: *Mater. Trans.*, 45 (2004), 2209
- 20) S. Akcan, S. Shah, S.P. Moylan, P.N. Chhabra, S. Chandrasekar, and H.T.Y. Yang: *Met. Mater. Trans. A*, 33 (2002), 1245
- 21) X. Sauvage, J.M. Le Breton, A. Guillet, A. Meyerb, and J. Teillet: *Mater. Sci. Eng. A*, 362 (2003), 181
- 22) A. Barbacki, M. Kawalec, and A. Hamrol: *J. Mater. Proc. Technol.*, 133 (2003), 21
- 23) 三阪佳孝、清澤裕、川崙一博、工業加熱、39 (2002)、54



## IV. 会員メーカーの商品紹介

三菱製鋼室蘭特殊鋼株

「みつびし Non-Pb 快削鋼  
シリーズ」  
Non-Pb SC快削鋼

### まえがき

地球環境の保全から、鉛 (Pb) 快削鋼に代わる快削鋼が望まれています。当社は、環境に優しい、Pb を含まない快削鋼「みつびし Non-Pb 快削鋼シリーズ」の開発を行いました。本快削鋼は、従来の硫黄添加鉛 (S1L2) 快削鋼の代替を目的に開発した快削鋼であります。

環境に影響を与えない快削性元素である硫黄 (S) の含有量を高めると共に、これも環境に有害でない特殊元素 (Nb) を微量添加し、硫化物系介在物 (MnS) の微細分散を図ることを特徴としています。なお、SC快削鋼となっていますが、ベースの化学成分は、炭素鋼ばかりでなく、低合金鋼とすることも可能であります。さらに、焼入れ焼戻し (調質) 鋼はもとより非調質鋼の提供も可能であります。

### ◇ 特徴

1. 切屑破碎性は、S1L2快削鋼と同等  
MnSの微細分散を図ったことから切屑の破碎性は、旋削、ドリル穿孔共に良好であります。

2. 工具摩耗量は、S1L2快削鋼と同等  
超硬工具による旋削、ハイスによるドリル穿孔時の工具の摩耗は (写真1) は、S1L2快削鋼より優れています。

3. 機械的性質は、S1L2快削鋼と同等  
MnSの微細分散を図ったことにより、衝撃特性を含め機械的性質は、S1L2快削鋼と比較しても遜色ありません。

4. 曲げ疲労特性は、S1L2快削鋼よりも優れる  
構造用鋼は、曲げ疲労強度を必要とする場合がありますが、回転曲げ疲労特性は、S1L2快削鋼よりも優れています。

### ◇ 用途

Non-Pb SC快削鋼は、これらの特徴から従来S1L2快削鋼が使用されている自動車のクランクシャフト、コンロッドのエンジン部品や足廻り部品をはじめ、機械シャフトなどの部品での鉛フリー化に貢献します。

〔三菱製鋼室蘭特殊鋼株 技術部 材料開発グループ 渡辺 幹〕

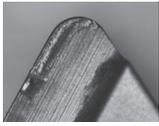
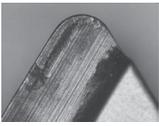
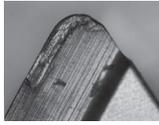
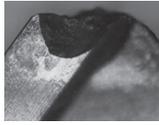
	ドリル (湿式)	チップ (ドライ)	
		2,600m	3,200m
Non-Pb SC 快削鋼			
硫黄添加鉛 (S1L2) 快削鋼			

写真1 工具摩耗試験結果

## “特集” 編集後記

特殊鋼が商品に姿を変える過程において、中間加工や仕上げ加工の多くの場合において「切削加工」が施されます。一方、特殊鋼を塑性加工するための工具や金型類もその成形過程で「切削加工」される場合があります。そして、切削工具そのものに特殊鋼が使われる場合があることなど、特殊鋼と切削加工技術には従来から密接な関わりがあり、これまでに様々な技術が生み出されてきました。

切削される側の特殊鋼として、より削りやすくまた環境へ配慮したPbフリー快削鋼が開発されています。一方、切削する側の技術としては、より効率的な加工が可能な切削工具や環境改善につながる新たな切削方法が開発・実用化されています。

最近では2008年5月号「特殊鋼切削加工の今」

において切削加工特集を組んでおります。以降5年が経過し、当時の新商品が幅広く展開されたり、あるいは新しい技術が活用されています。

本誌ではこのような切削工具、加工機および切削技術の最新情報を紹介するとともに、あらためて「特殊鋼の切削加工とは何か」、「削りやすい特殊鋼」についてやさしく解説いただいております。今回の特集によって、より切削加工を身近に感じていただき、読者の皆様のご参考にしていただければ幸いです。

最後になりましたが、本特集号にご寄稿頂きました執筆者の皆様、また編集委員の皆様および事務局各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

〔山陽特殊製鋼(株) にしもり ひろし〕  
〔軸受営業部 西森 博〕

# 業界のうごき

## 愛鋼、衣浦の加工能力増強 孔明・切断4ライン更新

愛鋼は、同社最大の加工拠点である衣浦工場の能力を増強する。老朽化していた孔明け、切断の合計4ラインを更新して生産性の向上を図るほか、従業員の技術力アップを狙う。

今回リプレースするのは孔明けライン2基と超硬丸鋸切断ライン2基。それぞれ1基はすでに本稼働、試運転を開始しており、残る2ラインも4月から稼働する予定だ。更新完了後の生産能力は入替え前と比べて約2割アップし月間約205万個となり、協力会社への加工委託分を含めると同250万個体制を確立する。

同社は、「リプレースは足元の繁忙感緩和だけでなく将来の需要伸長も見据えたもの。生産能力を高め、自動車関連製品を中心としたニーズ対応力を高めたい」意向だ。

なお、衣浦工場では不用品の廃却やレイアウト変更などといった改善策も同時並行で進めている。

(1月31日、鉄鋼新聞)

## 井上特殊鋼、営業業務を効率化 全店にiPad導入、情報共有迅速

井上特殊鋼は、今期より全取引において粗利益額の設定、新たな情報機器の導入など、営業業務の効率化を図っている。

同社では新規受注案件に対しては伝票1枚ごとに粗利益額が設定され、それを下回る案件は受注できないシステムとなっている。これを全取引に適用し、採算の合う案件に業務を集中させる。粗利益額の設定は各支店、営業所で行う。

また全店所でiPadを導入。ユーザーから提示された図面をiPadで写真に撮り、クラウドサーバーにアップロード。営業マンが事務所に戻らなくても図面を共有できるので見積

業務がスムーズに行える。ユーザーへのレスポンスの迅速化を図るとともに、営業業務の時間効率化が期待できる。

井上社長は「女性の総合職が増えてきたこともあり、営業業務の生産性をより向上させることにした」としている。

(3月4日、鉄鋼新聞)

## 佐久間特殊鋼、20億円で、 愛知に物流センター

佐久間特殊鋼は、愛知県西尾市に物流センター（西尾支店）を開設する。最新鋭の大型自動ラックを設置して倉庫機能を強化、サプライチェーン機能の強化と品質向上を図って、国内競争力に一段と磨きをかけ業容の拡大をめざす。一連の投資予定金額は約20億円。

佐久間特殊鋼は本社のほか国内4支店、海外に3拠点を構え、構造用鋼や工具鋼などの特殊鋼鋼材および加工部品の販売を手掛ける。

本社工場建屋は老朽化が進行していたが、周辺の宅地化進展により拡張も難しかった。そのため西尾市土地開発公社から09年に用地を取得、需要動向に合わせて今夏からの新拠点の稼働開始を決めたもの。

主要設備は、流通としては最大規模となる保管能力5千トンの立体倉庫やシステムバンドソー6台、天井クレーン5基のほか、発電容量720.8キロワットの太陽光発電システムを据付ける。

(3月11日、鉄鋼新聞)

## 三和特殊鋼、機械加工の設備増強 今期、工場移転・拡張も視野

三和特殊鋼（本社・大阪府門真市）は、今期（2014年12月期）の設備投資計画として、機械加工部門の設備増強など計約5,000万円を予定している。

同社では、差別化戦略の一環としてここ数年、機械加工部門の強化を推進。11年に従来の本社倉庫内から

近隣の現所在地（大阪府大東市）の専用工場に移転し、昨年には一部工程を、本社前の工場に移転させ、NC旋盤などの設備を増設している。

主力扱い鋼材である工具鋼の熟処理の前段階までの加工ニーズ増加に合わせて、順次加工体制の増強を進めていくことで、鋼材販売との相乗効果を図るとともに、全社的な粗利益の改善につなげるのが狙いで、今期は、工場の移転・拡張なども視野に入れながら、機能拡充を図る。

(3月20日、産業新聞)

## 大同DMソリューション、 業務管理を大幅効率化

大同DMソリューション（DDMS）は、4月より新業務管理システム「DMSグローバルシステム」をスタートさせる。

同社は、12年7月の三社合併以来、1年9か月をかけ新システムを構築した。今回新たなシステムに統一する事により経理、営業、在庫管理などの業務工数が大幅に削減できる。また営業マンは携帯端末により在庫や自社工場の負荷状況を確認できるため、外出先でも見積もりが迅速に行えるようになる。

今秋には海外拠点のシステムとも連動させる。現在同社は大同特殊鋼などとの協業で、シンガポール、ベトナム、タイ、マレーシア、台湾、中国・広州、インドネシアの7拠点を海外で展開。今までは拠点ごとに大同特殊鋼に対しロット単位で主に素材を発注していたが、今回の「在庫の見える化」によって豊富な在庫を持つDDMSに対して小ロットの発注を増やすことが容易になる。

(3月11日、鉄鋼新聞)

## 名古屋特殊鋼、インドネシア子会社 14年度、売上高3億円超へ

名古屋特殊鋼と冷間圧造金型メー

# 業界のうごき

カーの和田山精機（本社・兵庫県朝来市）のインドネシア合弁「PT. Meitoku-Wadayama Indonesia」は、本格稼働後業容を順調に拡大している。現地需要の拡大に合わせて設備投資を進め、14年12月期売上高3億2千万円、年度後半には月次の償却前黒字化達成を目指す。

同合弁会社は12年設立、日本材をベース材料に各種金型や金型部品、治具、治工具の製造販売を行う。製造業のグローバル化進展を受けて、日系ユーザーの高精度金型現地調達ニーズは加速度的に拡大、中でも「2番型作成などを目的としたリバースエンジニアリング需要が旺盛」という。

同合弁会社は13年、需要増に対応してNC旋盤、デジタイザー、フライス盤各1台を増設。10月には一連の能力増強が完了、13年末月間売上高は1,500万円に伸長した。

（3月20日、鉄鋼新聞）

## 野村鋼機、関東テクノセンター開設 熱間工具鋼の機械加工充実

野村鋼機は、群馬県前橋市の五代南部工業団地に関東テクノセンター（所長・中沢京子執行役員）を開設した。前橋支店（支店長・不破茂雄氏）が業容の拡大から手狭となったため、熱間工具鋼の在庫・切断や機械加工を全面移管するとともに加工体制を拡充した。一部の加工設備の移設・新設は進行中で、3月末までにすべて完了する。

太陽光発電設備も導入して売電事業も始めている。土地取得を含む総投資額は約11億円。

前橋支店は熱間工具鋼の中核加工拠点として全国の顧客に対応している。関東テクノセンターの開設は、前橋支店の構造用鋼の在庫・切断体制を拡充するの狙い。茨城支店・関東スチールセンターからの一部移

管を含めて、前橋支店で構造用鋼やステンレス棒鋼を1,500～2千トン在庫し、新潟・北陸・長野方面にも前橋から対応する体制を整える。

（2月26日、鉄鋼新聞）

## 白鷺特殊鋼、高松営業所を開設 四国で2拠点、販売強化

白鷺特殊鋼（本社・兵庫県姫路市、社長・徳平裕司氏）は、高松営業所（所長・筆塚清貴氏）を開設した。これに伴い四国営業所（愛媛県西条市、所長・加藤正幸氏）を愛媛営業所に改称した。

同社は、13年4月に四国営業所を開設。四国全体をカバーしてきたが、地域が広範囲なため新たに営業所を設け2拠点で既存取引先のフォローと新規顧客開拓による販売強化を図っていく。高松営業所は早期に3人体制にする。

住所連絡先は、次のとおり。

住所＝〒760-0023 香川県高松市寿町1-1-12パシフィックシティ高松5階、電話＝087-822-8201、FAX＝087-822-8203（3月10日、鉄鋼新聞）

## 堀田ハガネ、本社ヤード 新鋭切断機を導入

堀田ハガネは、鋼材の切断効率向上を目的に、本社ヤード内にアマダ製のシステムバンドソー「ASPC430」を導入し、今月から稼働を開始した。保有する切断機のうち耐用年数を超過した2基を廃棄し、新鋭機に集約。生産性向上によりユーザー対応強化につなげる。

導入したシステムバンドソーは、切断対応サイズ径30～330ミリメートル、長さ10～1,500ミリまで。切断する鋼材は100ミリ径サイズで1回当たり17本が積載でき、夜間も無人操業が可能。通常はハイスブレードを使用するが、鋼種や用途に応じて超鋼ブレードにも対応できる。

主力の高ニッケル含有鋼については、国内流通として随一の在庫ラインアップを持つことに加え、切断加工のユーザーニーズが年々増加傾向となっており、切断量もこの10年間で約3倍増の月間250～300トンにまで増大。作業体制の効率向上のため、今回の設備導入に伴い、本社ヤード内のレイアウトの大幅見直しを実施した。（2月24日、産業新聞）

## 愛知、電磁品事業 黒字化定着にめど

愛知製鋼は、磁気センサー、高性能磁石などを製造・販売する電磁品事業の黒字化定着にめどをつけた。磁石分野での磁粉販売拡大や電子コンパスでのビジネスモデル見直しなどで収益体制を強化し、13年度10～12月期が営業黒字化した。同社の生産技術が生かせる業態へと転換を図って1月以降も黒字を継続し、来年度の通期黒字化を目指す。

同社は、電磁品事業を育成分野として力を入れている。携帯電話向けなどで拡大している磁気センサー（電子コンパス）と自動車などで使用する各種モーターの磁石製造・販売事業がメイン。最近では、ハイブリッド車のユニットに使用するコールドプレートも実績が拡大しており、知多工場敷地内に新工場を増設した。

各分野ともに需要は増加しており、同事業の売上高も伸長。12年度には100億円を超え、今期も125億円程度を見込む。（3月7日、鉄鋼新聞）

## JFE、高強度厚肉電縫鋼管を開発 油井管外殻向け初受注

JFEスチールは、世界初となるAPIX80グレードで肉厚1インチ（25.4ミリ）の高強度厚肉電縫鋼管（ERW）を開発し、石油・天然ガス掘削機器製造で世界最大手のドリル・クイップ社（Dril Quip）とGE

# 業界のうごき

オイル&ガス社 (GE Oil & Gas) からメキシコ湾の深海油井向けコンダクターケーシング用として初受注したと発表した。

知多製造所で生産を開始しており、今春中に出荷する予定。今後、UOE鋼管や継目無 (シームレス) 鋼管用途分野の代替需要なども補足していく。

JFEスチールは、高強度・厚肉材の豊富な製造実績を基にした独自の成型技術を駆使し、よりコストパフォーマンスに優れた電縫鋼管の分野で「X80グレードで肉厚1インチ」を開発。上工程からの一貫製造体制を構築した。母材は東日本製鉄所京浜地区から納入しており、最大口径26インチまでの製造が可能。

(2月28日、鉄鋼新聞)

## 神鋼、水素ステーション向け 小型パッケージ機器開発

神戸製鋼所は、水素ステーション向けのパッケージ機器「ハイアック・ミニ」を開発したと発表した。同機は神鋼製の高圧水素圧縮機やマイクロチャンネル熱交換器、冷凍機などを組み合わせ、各機器を個別に設置した場合に比べて50%の省スペース化ができるもの。4月から機械事業部門・回転機営業部で受注を開始する予定。

水素ステーションの建設費用は5～6億円とされるが、ハイアック・ミニではこれを2割ほど減らすことができる。ハイアック・ミニは神鋼製の機器や特殊ステンレス、神鋼エンジニアリング&メンテナンスのシミュレート技術といったグループ力を結集しており、販売価格は2億5千万円以下を想定しているという。

神鋼は、「ハイアック・ミニ」もラインアップに加えることで、次世代自動車の燃料供給基地として注目される同ステーションでの提案力を高める。

(2月25日、鉄鋼新聞)

## 大同、専用補修材を開発 ダイカスト金型の寿命5倍に

大同特殊鋼は、ダイカスト金型の寿命を約5倍 (従来の溶接補修材比) に延長できる専用溶接補修材「DHW」を開発、商品化したと発表した。子会社の大同DMソリューションが、今月から販売を開始する。長寿命化により金型の補修コストを大幅に削減でき、補修期間の延長による生産性向上につながる。2012年10月に改正された特定化学物質障害予防規則等に対応したコバルトフリーの溶接材。

通常、溶接補修にはマルエージング鋼が使われるが、溶接部位でダイカスト金型に必要な硬さが得られず、早期にヒートチェックが発生するため改善が求められてきた。

今回、成分調整により溶接した状態でダイカスト金型とほぼ同等の硬さ (43～48HRC) が得られる溶接補修材を開発した。同材料を使えば、ヒートチェックの発生や進行を遅らせ、金型寿命を約5倍に延長できる (大同特殊鋼調べ)。

(2月5日、鉄鋼新聞)

## 日新が管理システムを全社共通化 業務効率化、コスト削減

日新製鋼は全社共通の設備保全管理システム「ニコムス」と購買・外注契約システム「e-POS」を開発し、1月から運用を開始したと発表した。事業所ごとに異なっていた当該業務の手順を共通化し、システムの全社一本化を実現しペーパーレスによる電子決済も導入した。システム管理コスト削減、業務効率化・迅速化とともに、ガバナンスやコンプライアンス対応も強化する。

設備保全管理は日鉄住金テックスエンジ、購買・外注契約は日本ユニシスのパッケージを活用。保全部門では、ベテランから若手に経験・技

能を引き継ぐためのナレッジツールとしての活用を進め設備のトラブル減少や寿命延長を図る。事業所間で予備部品を共有して棚卸資産も圧縮する。

調達部門では、過去からの調達情報を全社で共有することで、より安価な調達を可能にし、コスト削減効果の最大化を目指す。

(2月26日、鉄鋼新聞)

## 日立、インドで鋳物メーカー買収 16年度、売上50億円超

日立金属は、技術・販売提携関係にあるインドの自動車用鋳物メーカー2社を子会社化し、自動車用高靱性ダクタイル鋳鉄「HNM」の生産・供給体制構築を加速すると発表した。4月に両社に51%ずつ資本参加して子会社化し、14年度中に1社に統合する。インド国内の将来にわたる需要増に対応するのが狙いで、インドにおける自動車用鋳物売上高で16年度に50億円 (サスペンション部品が半分) を目指す。

インドでは、自動車生産台数が13年の390万台から20年には700万台超に拡大する見通し。13年2月にインド自動車部品大手、VIKASグループの2社と技術・販売提携を締結して技術指導を行ってきたが、この2社を買収することで合意し、13日に合弁契約を締結した。

2社はPPSピカス・キャストインクスとガリマ・ピカス・メタルス。排気・駆動系自動車鋳物でシェア2割を持ち、日立金属との提携でサスペンション部品にも進出した。

(3月18日、鉄鋼新聞)

おこわり：この欄の記事は、最近月における業界のおよその動向を読者に知らせる目的をもって、本誌編集部において鉄鋼新聞ほか主要業界紙の記事を抜粋して収録したものです。

# 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	構造用合金鋼	計		ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'12 暦年	226,595	4,583,118	3,934,190	8,517,308	425,252	976,986	2,822,820	701,970	5,607,620	617,671	11,152,319	19,896,222	
'13 暦年	246,149	4,572,676	3,871,149	8,443,825	430,297	936,673	2,857,369	692,010	5,705,091	648,243	11,269,683	19,959,657	
'11 年度	242,207	4,668,645	4,110,473	8,779,118	434,274	1,127,858	2,863,668	727,115	5,354,573	772,025	11,279,513	20,300,838	
'12 年度	227,588	4,388,544	3,747,493	8,136,037	417,525	883,781	2,807,953	691,323	5,636,639	597,540	11,034,761	19,398,386	
'13. 1-3月	57,163	1,041,978	890,714	1,932,692	104,152	190,767	688,637	177,241	1,415,063	138,824	2,714,684	4,704,539	
4-6月	59,894	1,145,358	1,001,270	2,146,628	108,989	247,525	712,123	175,689	1,436,443	164,835	2,845,604	5,052,126	
7-9月	63,802	1,186,043	997,471	2,183,514	108,808	243,088	723,930	164,198	1,462,651	173,962	2,876,637	5,123,953	
10-12月	65,290	1,199,297	981,694	2,180,991	108,348	255,293	732,679	174,882	1,390,934	170,622	2,832,758	5,079,039	
'13年 1月	18,139	316,343	267,859	584,202	31,323	54,044	226,709	50,527	497,890	39,523	900,016	1,502,357	
2月	18,576	347,411	294,351	641,762	30,607	61,490	222,942	58,694	403,673	40,744	818,150	1,478,488	
3月	20,448	378,224	328,504	706,728	42,222	75,233	238,986	68,020	513,500	58,557	996,518	1,723,694	
4月	16,847	374,318	334,482	708,800	36,254	79,075	230,342	55,759	449,770	47,966	899,166	1,624,813	
5月	21,135	389,736	334,899	724,635	33,338	84,561	231,995	61,951	498,804	63,067	973,716	1,719,486	
6月	21,912	381,304	331,889	713,193	39,397	83,889	249,786	57,979	487,869	53,802	972,722	1,707,827	
7月	22,455	404,139	328,704	732,843	40,520	85,406	239,450	55,251	500,100	59,458	980,185	1,735,483	
8月	19,333	371,614	330,500	702,114	31,220	73,450	232,161	49,336	488,078	53,652	927,897	1,649,344	
9月	22,014	410,290	338,267	748,557	37,068	84,232	252,319	59,611	474,473	60,852	968,555	1,739,126	
10月	24,346	398,524	332,049	730,573	37,348	89,189	249,753	58,895	449,757	63,257	948,199	1,703,118	
11月	20,032	399,367	329,440	728,807	35,506	87,086	230,097	59,836	503,607	52,261	968,393	1,717,232	
12月	20,912	401,406	320,205	721,611	35,494	79,018	252,829	56,151	437,570	55,104	916,166	1,658,689	
'14年 1月	21,885	408,332	335,530	743,862	37,612	77,780	254,372	54,972	484,915	55,282	964,933	1,730,680	
2月	19,960	374,301	315,210	689,511	35,642	83,376	231,552	55,609	439,496	52,600	898,275	1,607,746	
前月比	91.2	91.7	93.9	92.7	94.8	107.2	91.0	101.2	90.6	95.1	93.1	92.9	
前年同月比	107.5	107.7	107.1	107.4	116.5	135.6	103.9	94.7	108.9	129.1	109.8	108.7	

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

また、鋼種別合計と形状別合計は、出所が異なることから一致しない。

### 形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'12 暦年	429,279	5,940,690	1,454,172	4,013,992	1,893,111	6,164,978	19,896,222
'13 暦年	420,716	5,782,384	1,413,921	4,143,965	2,122,894	6,075,777	19,959,657
'11 年度	482,765	6,309,819	1,538,799	4,146,216	2,063,941	5,759,298	20,300,838
'12 年度	430,247	5,607,651	1,378,459	3,913,109	1,928,292	6,140,628	19,398,386
'13. 1-3月	112,709	1,322,208	318,672	947,448	516,205	1,487,297	4,704,539
4-6月	147,600	1,494,813	358,172	1,036,068	515,858	1,499,615	5,052,126
7-9月	88,792	1,474,357	366,584	1,081,776	558,232	1,554,212	5,123,953
10-12月	71,615	1,491,006	370,493	1,078,673	532,599	1,534,653	5,079,039
'13年 1月	39,464	390,340	99,054	280,933	163,512	529,054	1,502,357
2月	41,721	435,875	105,777	310,281	129,620	455,214	1,478,488
3月	31,524	495,993	113,841	356,234	223,073	503,029	1,723,694
4月	45,532	469,795	132,642	341,968	166,244	468,632	1,624,813
5月	54,225	510,481	112,257	359,647	169,679	513,197	1,719,486
6月	47,843	514,537	113,273	334,453	179,935	517,786	1,707,827
7月	40,466	501,650	120,895	373,514	188,383	510,575	1,735,483
8月	24,918	455,735	135,429	334,425	181,719	517,118	1,649,344
9月	23,408	516,972	110,260	373,837	188,130	526,519	1,739,126
10月	21,175	505,082	132,313	369,363	169,753	505,432	1,703,118
11月	24,844	498,522	123,997	349,928	190,672	529,869	1,717,232
12月	25,596	487,402	114,183	359,982	172,174	499,352	1,658,689
'14年 1月	19,728	481,603	133,351	360,361	180,168	556,535	1,731,746
2月	32,626	487,382	119,051	328,043	154,840	486,745	1,608,687
前月比	165.4	101.2	89.3	91.0	85.9	87.5	92.9
前年同月比	78.2	111.8	112.5	105.7	119.5	106.9	108.8

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

(注) 2014年1月以降の形状別合計と鋼種別合計は、出所が異なることから一致しない。

### 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	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			
'12 暦年	360,170	3,947,624	4,068,239	8,015,863	247,191	543,614	2,976,768	176,204	91,149	25,210	4,060,136	12,436,169	
'13 暦年	r321,646	r3,825,120	r4,018,791	r7,843,911	249,017	r500,921	r2,984,291	195,198	109,018	39,134	r4,077,579	r12,243,136	
'11 年度	436,022	3,961,080	4,615,541	8,576,621	278,975	557,870	3,259,900	196,709	87,121	54,934	4,435,509	13,448,152	
'12 年度	323,248	3,808,430	3,982,157	7,790,587	229,346	510,796	2,970,787	175,402	95,939	25,102	4,007,372	12,121,207	
13年 6月	26,326	316,899	331,428	648,327	22,211	44,094	241,234	17,307	8,190	2,565	335,601	1,010,254	
7月	29,631	340,263	347,248	687,511	22,209	46,885	252,561	17,579	10,670	2,403	352,307	1,069,449	
8月	25,559	307,238	327,744	634,982	18,869	40,366	237,677	13,114	8,804	2,540	321,370	981,911	
9月	27,499	319,304	339,123	658,427	17,949	40,565	250,285	16,049	9,416	5,148	339,412	1,025,338	
10月	29,587	331,718	341,740	673,458	22,964	46,172	248,409	16,384	9,518	8,614	352,061	1,055,106	
11月	26,619	326,237	338,868	665,105	22,838	41,495	245,600	18,622	8,749	2,297	339,601	1,031,325	
12月	r25,003	r316,561	r334,002	r650,563	20,489	r40,605	r246,675	17,033	10,058	2,292	r337,152	r1,012,718	
14年 1月	25,778	317,319	334,421	651,740	24,005	41,700	249,491	15,668	9,620	8,617	349,101	1,026,619	
2月	26,093	321,348	339,084	660,432	21,239	42,839	253,386	17,244	9,145	6,137	349,990	1,036,515	
前月比	101.2	101.3	101.4	101.3	88.5	102.7	101.6	110.1	95.1	71.2	100.3	101.0	
前年同月比	105.7	107.0	104.1	105.5	115.9	114.6	102.5	112.1	127.6	235.9	106.7	105.9	

出所：経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

### 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	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			
'12 暦年	7,673	182,574	131,328	313,902	23,953	43,245	130,709	27,139	134,929	34,091	394,066	715,641	
'13 暦年	7,642	219,565	133,431	352,996	28,659	47,340	119,544	30,274	178,768	34,745	439,330	799,968	
'11 年度	8,295	179,079	120,934	300,013	25,426	40,127	114,550	25,787	167,698	42,520	416,108	724,416	
'12 年度	7,695	180,446	124,271	304,717	23,748	37,634	112,706	26,790	150,073	30,459	381,410	693,822	
13年 6月	8,459	198,394	134,223	332,617	24,755	49,152	123,865	31,360	194,159	28,309	451,600	792,676	
7月	7,856	196,329	123,609	319,938	23,507	44,079	121,265	28,268	175,969	35,283	428,371	756,165	
8月	6,925	196,097	129,360	325,457	21,315	40,239	127,832	28,882	183,273	32,421	433,962	766,344	
9月	7,381	214,488	133,637	348,125	24,452	41,905	123,336	26,451	154,022	35,169	405,335	760,841	
10月	8,929	224,541	141,877	366,418	26,537	42,933	130,973	34,676	182,943	41,060	459,122	834,469	
11月	7,556	216,035	132,475	348,510	22,217	45,945	113,602	36,383	198,497	29,068	445,712	801,778	
12月	7,642	219,565	133,431	352,996	28,659	47,340	119,544	30,274	178,768	34,745	439,330	799,968	
14年 1月	8,790	224,041	130,104	354,145	27,009	43,417	124,845	32,268	170,839	30,547	428,925	791,860	
2月	7,404	210,980	129,525	340,505	27,480	43,982	124,390	32,390	161,546	33,924	423,712	771,621	
前月比	84.2	94.2	99.6	96.1	101.7	101.3	99.6	100.4	94.6	111.1	98.8	97.4	
前年同月比	102.9	111.4	95.8	104.9	136.0	114.4	98.7	92.6	83.5	122.7	96.1	99.9	

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

### 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	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			
'12 暦年	60,030	269,229	185,407	454,636	24,462	74,066	149,302	18,236	8,556	2,435	277,057	791,723	
'13 暦年	r51,532	r192,784	r137,555	r330,339	14,228	r50,702	r128,745	14,252	9,314	1,464	r218,705	r600,576	
'11 年度	63,141	273,132	187,035	460,167	26,229	73,087	162,898	18,396	7,303	2,296	290,209	813,517	
'12 年度	58,473	255,755	170,930	426,685	22,021	64,747	146,230	21,457	8,269	2,393	265,117	750,275	
13年 6月	56,868	239,940	165,654	405,594	22,873	59,450	141,084	17,165	8,661	1,959	251,192	713,654	
7月	55,323	232,915	160,031	392,946	22,582	57,420	138,396	15,740	8,568	1,919	244,625	692,894	
8月	51,939	197,703	139,225	336,928	15,315	50,466	162,952	15,795	8,920	1,955	255,403	644,270	
9月	50,079	194,971	140,214	335,185	15,439	51,704	136,684	16,193	9,253	1,878	231,151	616,415	
10月	48,010	187,477	136,187	323,664	15,039	50,914	125,709	15,612	8,760	1,644	217,678	589,352	
11月	48,376	187,481	134,882	322,363	13,356	48,586	123,065	14,808	9,079	1,721	210,615	581,354	
12月	r51,532	r192,784	r137,555	r330,339	14,228	r50,702	r128,745	14,252	9,314	1,464	r218,705	r600,576	
14年 1月	52,987	187,985	138,697	326,682	9,209	51,416	128,378	15,080	9,175	1,292	214,550	594,219	
2月	51,619	191,494	139,168	330,662	13,535	52,080	131,570	14,509	9,344	1,457	222,495	604,776	
前月比	97.4	101.9	100.3	101.2	147.0	101.3	102.5	96.2	101.8	112.8	103.7	101.8	
前年同月比	88.7	75.1	83.0	78.2	58.9	78.8	90.1	76.5	109.8	60.8	84.0	81.1	

出所：経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

### 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	ピアノ線 材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'12 暦年	32,468	464,300	511,422	975,722	182,974	1,176,513	117,801	1,477,289	13,140	5,353,390	5,366,529	7,852,008
'13 暦年	46,815	467,612	559,899	1,027,511	187,205	1,118,556	120,628	1,426,388	13,176	5,138,466	5,151,642	7,652,357
'11 年度	31,409	412,032	515,762	927,794	180,097	1,212,348	179,423	1,571,868	14,676	4,893,245	4,907,922	7,438,993
'12 年度	33,787	463,315	528,913	992,228	181,940	1,135,909	117,144	1,434,993	13,212	5,323,693	5,336,905	7,797,913
'13年 5月	2,911	41,379	57,374	98,753	16,978	86,285	14,080	117,343	925	429,848	430,773	649,780
6月	2,889	39,439	49,062	88,501	14,746	92,062	9,798	116,606	1,035	408,790	409,825	617,821
7月	3,338	42,010	46,349	88,359	15,937	96,552	11,426	123,915	977	407,772	408,749	624,361
8月	3,168	43,962	45,494	89,456	15,300	91,448	16,326	123,075	674	447,545	448,219	663,918
9月	10,496	36,103	47,969	84,072	12,527	97,252	12,720	122,499	954	428,547	429,501	646,569
10月	3,766	36,591	39,205	75,797	15,637	97,273	7,134	120,044	998	453,677	454,675	654,282
11月	3,443	39,748	42,298	82,045	16,006	95,722	11,120	122,848	1,693	448,133	449,826	658,162
12月	6,432	42,742	46,092	88,834	13,980	102,180	5,604	121,764	1,218	476,641	477,859	694,888
'14年 1月	3,046	36,436	48,163	84,599	18,467	82,915	12,859	114,241	899	426,006	426,906	628,792
2月	3,256	42,062	49,166	91,227	14,145	94,050	9,115	117,310	905	525,908	526,813	738,605
前 月 比	106.9	115.4	102.1	107.8	76.6	113.4	70.9	102.7	100.7	123.5	123.4	117.5
前年同月比	130.1	120.2	111.4	115.3	89.6	108.5	157.2	108.3	78.5	116.5	116.4	114.9

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	
'12 暦年	6,876	972	988	15,546	9,898	135,655	11,368	173,454	274	26,242	333,226	359,467	541,043
'13 暦年	5,376	1,497	493	12,079	12,970	170,751	13,387	209,680	310	19,977	396,069	416,045	632,910
'11 年度	6,495	736	817	13,714	9,745	159,034	11,299	194,609	120	27,334	209,174	236,509	438,469
'12 年度	5,679	1,077	781	14,359	11,151	139,237	11,910	177,438	452	26,907	342,040	368,947	553,592
'13年 5月	716	73	44	1,178	1,284	18,308	1,191	22,006	17	4,181	27,958	32,138	54,951
6月	412	63	45	812	655	13,008	1,138	15,658	-	871	40,970	41,841	57,974
7月	482	26	43	1,024	1,034	13,537	1,161	16,800	11	1,309	30,135	31,445	48,763
8月	356	87	29	1,063	1,351	15,820	1,027	19,290	5	1,589	38,064	39,652	59,390
9月	365	17	43	1,237	956	10,503	898	13,637	1	2,366	30,018	32,383	46,403
10月	450	57	45	761	994	14,734	1,518	18,052	38	947	48,830	49,778	68,374
11月	429	373	43	817	903	12,546	1,237	15,545	-	1,800	31,303	33,103	49,451
12月	588	516	44	818	822	17,866	1,026	20,576	8	2,210	56,989	59,198	80,886
'14年 1月	499	365	49	1,314	1,836	14,804	1,302	19,304	17	3,050	101,575	104,624	124,811
p2月	453	1,158	39	931	1,017	16,951	1,014	19,951	2	231	65,542	65,773	87,338
前 月 比	90.7	317.1	79.1	70.8	55.4	114.5	77.9	103.3	11.6	7.6	64.5	62.9	70.0
前年同月比	137.7	1,621.6	66.9	97.8	83.3	143.0	124.2	133.9	2.5	35.4	265.0	259.0	214.2

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

### 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		ブルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック			
'12 暦年	9,943,077	1,266,354	4,803,591	476,919	5,369,720	785,450	6,877	147,987	114,051	12,044	88,134	52,392	12,124
'13 暦年	9,630,181	1,308,177	4,674,667	472,179	5,375,513	801,975	6,236	148,160	107,805	13,458	93,232	47,742	11,170
'11 年度	9,267,047	1,244,733	4,622,005	448,275	4,753,273	732,158	7,435	145,100	118,126	12,476	89,742	59,270	13,111
'12 年度	9,550,883	1,237,262	4,658,649	475,364	5,210,290	759,973	6,215	140,130	111,401	11,930	87,026	45,932	11,398
'13年 5月	782,155	99,867	388,256	36,389	394,947	56,235	646	11,734	9,106	841	7,120	2,366	1,048
6月	894,135	113,575	431,920	45,035	505,341	71,693	705	12,899	10,021	921	7,219	4,492	1,087
7月	923,519	113,357	419,098	40,007	513,125	67,099	666	12,914	10,137	1,000	7,345	2,828	1,057
8月	736,419	92,230	344,499	33,769	370,776	54,155	577	11,474	9,052	927	7,273	2,685	963
9月	772,900	101,084	384,758	42,729	446,686	67,961	465	11,798	9,826	1,127	7,098	4,304	1,074
10月	791,386	100,601	382,734	35,783	359,333	59,271	378	12,851	10,228	1,316	7,038	3,275	943
11月	768,051	104,455	383,408	40,686	393,941	68,788	413	11,986	9,520	1,231	7,303	3,602	882
12月	700,941	96,431	399,649	43,352	338,503	53,649	451	10,354	8,271	935	7,205	4,206	841
'14年 1月	860,854	110,326	326,696	30,000	496,105	61,908	559	13,346	9,101	1,152	8,435	3,450	1,005
2月	863,397	109,997	366,779	39,963	565,170	73,583	561	13,518	8,906	1,139	7,696	4,264	1,020
前 月 比	100.3	99.7	112.3	133.2	113.9	118.9	100.4	101.3	97.9	98.9	91.2	123.6	101.4
前年同月比	107.1	104.8	94.0	105.1	118.4	115.7	122.0	131.3	106.0	123.3	110.8	121.1	126.1

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』

特殊鋼需給統計総括表

2014年2月分

鋼種別	項目	月別					
		実数 (t)	前月比 (%)	前年同月比 (%)	1995年基準指数 (%)		
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産	19,960	91.2	107.5	89.8		
	鋼材輸入実績	453	90.7	137.7	308.2		
	販売業者	受入計	24,725	90.8	111.2	120.2	
		販売計	26,093	101.2	105.7	128.1	
		うち消費者向	19,591	100.6	101.4	208.7	
	在庫計	51,619	97.4	88.7	143.2		
	鋼材輸出船積実績	3,256	106.9	130.1	90.9		
	生産者工場在庫	7,404	84.2	102.9	66.0		
	総在庫	59,023	95.5	90.2	125.2		
	熱間圧延鋼材生産	689,511	92.7	107.4	127.0		
鋼材輸入実績	38,183	61.8	174.3	2505.6			
構 造 用 鋼	販売業者	受入計	664,412	102.5	109.8	201.1	
		販売計	660,432	101.3	105.5	201.4	
		うち消費者向	432,488	100.2	106.0	202.4	
	在庫計	330,662	101.2	78.2	137.6		
	鋼材輸出船積実績	91,227	107.8	115.3	538.9		
	生産者工場在庫	340,505	96.1	104.9	113.7		
	総在庫	671,167	98.6	89.8	124.4		
	熱間圧延鋼材生産	35,642	94.8	116.5	83.7		
	鋼材輸入実績	1,158	317.1	1621.6	-		
	ば ね 鋼	販売業者	受入計	25,565	134.7	143.1	171.3
販売計			21,239	88.5	115.9	142.6	
うち消費者向			6,125	102.7	91.9	49.4	
在庫計		13,535	147.0	58.9	425.9		
鋼材輸出船積実績		14,145	76.6	89.6	111.8		
生産者工場在庫		27,480	101.7	136.0	85.5		
総在庫		41,015	113.2	95.0	116.2		
熱間圧延鋼材生産		231,552	91.0	103.9	85.7		
鋼材輸入実績		19,951	103.3	133.9	511.8		
ス テ ン レ ス 鋼		販売業者	受入計	256,578	103.0	105.3	170.8
	販売計		253,386	101.6	102.5	169.6	
	うち消費者向		57,068	99.3	106.1	100.1	
	在庫計	131,570	102.5	90.1	119.0		
	鋼材輸出船積実績	94,050	113.4	108.5	92.5		
	生産者工場在庫	124,390	99.6	98.7	84.5		
	総在庫	255,960	101.1	94.1	99.3		
	熱間圧延鋼材生産	55,609	101.2	94.7	62.8		
	快 削 鋼	販売業者	受入計	16,673	101.1	113.9	99.1
			販売計	17,244	110.1	112.1	104.2
うち消費者向			16,812	110.3	112.1	118.2	
在庫計		14,509	96.2	76.5	63.4		
生産者工場在庫		32,390	100.4	92.6	144.1		
総在庫		46,899	99.1	86.9	103.4		
熱間圧延鋼材生産	439,496	90.6	108.9	187.7			
高 抗 張 力 鋼	販売業者	受入計	9,314	98.2	135.8	75.2	
		販売計	9,145	95.1	127.6	74.1	
		うち消費者向	5,886	94.8	117.1	109.3	
	在庫計	9,344	101.8	109.8	70.5		
	生産者工場在庫	161,546	94.6	83.5	96.4		
	総在庫	170,890	94.9	84.6	94.5		
そ の 他	熱間圧延鋼材生産	135,976	102.2	133.0	58.1		
	販売業者	受入計	49,805	97.9	140.0	402.1	
		販売計	48,976	97.3	122.5	396.7	
		うち消費者向	34,903	96.4	111.2	648.4	
	在庫計	53,537	101.6	78.1	404.0		
	生産者工場在庫	77,906	105.3	117.9	46.5		
総在庫	131,443	103.8	97.7	72.7			
特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	1,607,746	92.9	108.7	119.3		
	鋼材輸入実績計	87,338	70.0	214.2	1104.3		
	販売業者	受入計	1,047,072	102.6	110.7	183.2	
		販売計	1,036,515	101.0	105.9	182.2	
		うち消費者向	572,873	100.1	106.3	170.1	
	在庫計	604,776	101.8	81.1	136.7		
鋼材輸出船積実績計	738,605	117.5	114.9	220.1			
生産者工場在庫	771,621	97.4	99.9	101.2			
総在庫	1,376,397	99.3	90.6	114.3			

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) 1. 熱間圧延鋼材生産、生産者工場在庫及び総在庫は、2014年1月より『経済産業省生産動態統計』から『鉄鋼生産内訳月報』に変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。  
2. 鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。  
3. 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

(平成26年2月11日～平成26年4月10日)

## 理事会 (3月25日)

- ①平成25年度事業報告(案)・決算報告(案)
- ②平成26年度事業計画(案)・収支予算(案)
- ③平成26年度入会金及び会費・賦課金徴収方法(案)
- ④平成26年度貿易一般保険包括保険特約の締結
- ⑤包括保険の取扱に関する規約(案)
- ⑥競争法コンプライアンス規程(案)
- ⑦事務局事務分掌規程の改正
- ⑧各種委員会委員長及び委員の変更
- ⑨平成26年4月～10月の会議開催日程
- ⑩報告事項

## 運営委員会

- ・本委員会(3月18日)
  - ①平成25年度事業報告(案)・決算報告(案)
  - ②平成26年度事業計画(案)・収支予算(案)
  - ③平成26年度入会金及び会費・賦課金徴収方法(案)
  - ④競争法コンプライアンス規程(案)
  - ⑤事務局事務分掌規程の改正
- ・総務分科会・財務分科会(3月17日)
  - ①平成25年度事業報告(案)・決算報告(案)
  - ②平成26年度事業計画(案)・収支予算(案)
  - ③平成26年度入会金及び会費・賦課金徴収方法(案)
  - ④競争法コンプライアンス規程(案)

## 海外委員会

- ・専門部会(2月20日)

「ロシア・東欧の特殊鋼需給動向」調査の最終報告書(案)の検討
- ・専門部会(3月10日)
  - ①平成25年度事業報告・決算報告
  - ②平成26年度事業計画(案)・収支予算(案)
  - ③平成26年度賦課金徴収方法(案)
- ・本委員会(3月18日)
  - ①平成25年度事業報告(案)・決算報告(案)
  - ②平成26年度事業計画(案)・収支予算(案)
  - ③平成26年度賦課金徴収方法(案)

- ④平成26年度貿易一般保険包括保険特約の締結
- ⑤包括保険に関する規約(案)

## ・商社分科会(3月11日)

- ①最近の貿易保険を巡る情勢について
- ②平成26年度貿易一般保険包括保険特約の締結
- ③包括保険に関する規則(案)

## 編集委員会

- ・小委員会(2月20日)

7月号特集「新エネルギーと特殊鋼」(仮題)の編集内容の検討
- ・本委員会(3月6日)

7月号特集「新エネルギーと特殊鋼」(仮題)の編集方針、内容の確認

## 人材確保育成委員会

- 「平成25年度ビジネスマン研修講座」(2月25日、26日)  
講師：日鉄住金総研(株) 小川 祐一氏  
参加者：49名

## 流通委員会

- ・説明会(4月2日)

「平成26年度第1・四半期の特殊鋼需要見通し」  
講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課  
課長補佐 但馬 敏郎氏  
参加者：35名

## 工場見学会(2月18日)

- 見学先：本田技研工業(株)埼玉製作所  
参加者：44名

## [大阪支部]

- 運営委員会(2月18日)
  - ①平成25年度事業・収支決算実績
  - ②平成26年度事業計画・収支予算、他

2団体共催工場見学会(3月12日)

見学先：大同特殊鋼(株)知多工場  
参加者：75名

2 団体共催説明会（4月7日）  
テーマ：「平成26年度第1・四半期の特殊鋼需  
要見通し」  
講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課  
課長補佐 但馬 敏郎氏  
参加者：38名

**[名古屋支部]**

2 団体共催中堅社員研修（フォローアップ研修）  
（2月19日）

テーマ：「組織の中できらりと光る“人財”に  
なるための自己改革」

講師：(株)名南コンサルティング  
村野 文洋氏

参加者：23名

2 団体共催若手及び女性社員研修（2月21日）  
テーマ：「旅のプロが提案する大人の旅の楽し  
み方」

講師：(株)ツーリストエキスパート  
（近畿日本ツーリスト添乗員）  
有馬 純子氏

参加者：45名



あなたの回答が、日本経済の力になる！

**平成26年経済センサス-基礎調査  
平成26年商業統計調査を一体的に実施します**

- 経済センサス-基礎調査は、事業所及び企業の活動の状態を調査し、全ての産業分野における事業所及び企業の従業者規模等の基本的構造を全国及び地域別に明らかにすること、各種統計調査の基礎となる母集団情報の整備を図ることを目的として実施します。
- 商業統計調査は、商業を営む事業所について、産業分類別、従業者規模別、地域別等に従業者数、商品販売額等を把握し、我が国商業の実態を明らかにし、商業に関する施策の基礎資料を得ることを目的として実施します。
- 調査票は平成26年6月末日までにお届けします。7月1日以降に提出をお願いします。

◆ 調査の意義・重要性をご理解いただき、ご回答をよろしくお願いいたします。

平成26年  
7月1日  
(火)

平成26年  
**経済センサス-基礎調査  
商業統計調査**

経済センサス 検索

商業統計調査 検索

<http://e-census-syougyo.stat.go.jp/>

総務省・経済産業省・都道府県・市区町村

# 特殊鋼倶楽部の動き

## 「平成25年度ビジネスマン研修講座」開催

一般社団法人特殊鋼倶楽部は、一般社団法人全日本特殊鋼流通協会と共催で「平成25年度ビジネスマン研修講座」を東京・鉄鋼会館701号室にて2月25日午後1時より、26日午後5時まで開催しました。

講師は、日鉄住金総研㈱・小川 祐一氏、参加者数は男性31名、女性18名、計49名でした。

今回の研修テーマは、「営業力を支えるアシスタント業務の効率改善セミナー ～アシスタント業務のタイムマネジメントと支援力～」と題し、従来の時間計画管理の仕方の改善と、仕事の進め方の効率化促進を目指す内容でした。

受講者の皆さんは、小川講師の説明に熱心に聞き入り、演習、ディスカッション等では活き活きと取り組んでいる様子でした。また第1日目の研修終了後には、簡単な懇親会が催され有意義なひと時を過ごしておりました。

受講後、回収したアンケート結果では、わかり易い有益な講習で、満足度が高いとの評価が多くみられました。

最後に受講された皆さんにおかれましては、1.5日大変お疲れ様でした。

以下に、研修講座の写真を掲載します。



# 一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<b>[会 員 数]</b> <b>(正 会 員)</b> 製造業者 24社 販売業者 101社 合 計 125社	<b>【販売業者会員】</b>		
<b>【製造業者会員】</b>	愛 鋼 (株) 青 山 特 殊 鋼 (株) 浅 井 産 業 (株) 東 金 属 (株) 新 井 ハ ガ ネ (株) 粟 井 鋼 商 事 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株) 井 上 特 殊 鋼 (株) (株) U E X 確 井 鋼 材 (株) ウ メ ト ク (株) 扇 鋼 材 (株) 岡 谷 鋼 機 (株) カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株) 兼 松 (株) 兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株) (株) カ ム ス (株) カ ワ イ ス チ ー ル 川 本 鋼 材 (株) 北 島 鋼 材 (株) ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株) ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株) 小 山 鋼 材 (株) 佐 久 間 特 殊 鋼 (株) 櫻 井 鋼 鉄 (株) 佐 藤 商 事 (株) サ ハ シ 特 殊 鋼 (株) (株) 三 悦 三 協 鋼 鉄 (株) 三 京 物 産 (株) 三 興 鋼 材 (株) 三 和 特 殊 鋼 (株) J F E 商 事 (株) 芝 本 産 業 (株) 清 水 金 属 (株) 清 水 鋼 鉄 (株) 神 鋼 商 事 (株) 住 友 商 事 (株)	大 同 興 業 (株) 大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株) 大 洋 商 事 (株) 大 和 興 業 (株) 大 和 特 殊 鋼 (株) (株) 竹 内 ハ ガ ネ 商 行 孟 鋼 鉄 (株) 田 島 ス チ ー ル (株) 辰 巳 屋 興 業 (株) 中 部 ス テ ン レ ス (株) 千 曲 鋼 材 (株) (株) テ ク ノ タ ジ マ (株) 鐵 鋼 社 デ ル タ ス テ ー ル (株) 東 京 貿 易 金 属 (株) (株) 東 信 鋼 鉄 特 殊 鋼 機 (株) 豊 田 通 商 (株) 中 川 特 殊 鋼 (株) 中 野 ハ ガ ネ (株) 永 田 鋼 材 (株) 名 古 屋 特 殊 鋼 (株) ナ ス 物 産 (株) 南 海 鋼 材 (株) 日 輪 鋼 業 (株) 日 金 ス チ ー ル (株) 日 鉄 住 金 物 産 (株) 日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株) 日 本 金 型 材 (株) ノ ボ ル 鋼 鉄 (株) 野 村 鋼 機 (株) 白 鷺 特 殊 鋼 (株) 橋 本 鋼 (株) (株) 長 谷 川 ハ ガ ネ 店 (株) ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー 林 田 特 殊 鋼 材 (株) 阪 神 特 殊 鋼 (株) 阪 和 興 業 (株) 日 立 金 属 ア ド メ ッ ト (株)	日 立 金 属 工 具 鋼 (株) (株) 日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ズ (株) 平 井 (株) フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株) 古 池 鋼 業 (株) (株) プ ル ー タ ス (株) 堀 田 ハ ガ ネ (株) マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 三 沢 興 産 (株) 三 井 物 産 (株) 三 井 物 産 ス チ ー ル (株) (株) メ タ ル ワ ン (株) メ タ ル ワ ン チ ュ ー ブ ラ ー (株) メ タ ル ワ ン 特 殊 鋼 森 寅 鋼 業 (株) (株) 山 一 ハ ガ ネ 山 進 産 業 (株) ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株) 山 野 鋼 材 (株) 陽 鋼 物 産 (株) 菱 光 特 殊 鋼 (株) 渡 辺 ハ ガ ネ (株)

## 特 集 / 新エネルギーと特殊鋼 ～風力発電に注目～

- I. 総論
- II. 風力発電と特殊鋼
- III. 会員メーカーのエネルギー関連製品・技術

9月号特集予定…磁性材料

## 特 殊 鋼

第 63 卷 第 3 号  
© 2 0 1 4 年 5 月  
平成26年4月25日 印刷  
平成26年5月1日 発行

定 価 1,230円 送 料 100円  
1年 国内7,300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>  
振替口座 00110-1-22086

編集発行人 小 島 彰  
印刷人 増 田 達 夫  
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。