



穴あけ加工における省電力化の取り組み

Initiatives for Power-Saving Hole Making

牧内 佑介*
Yusuke Makiuchi

高橋 洋一
Yoichi Takahashi

栗塚 和昌
Kazumasa Kurizuka

近年、自動車産業をはじめ各産業分野でGX（グリーントランスフォーメーション）の実現に向けた取り組みが進んでおり、切削加工工程でもCO₂排出量の削減が要求されている。CO₂排出量削減には工作機械の消費電力量低減が効果的であるため、工作機械の稼働時間を低減できる高能率加工に特化した工具への需要が高まっている。この要望に応えるため、当社ではアルミ加工用の「マルチドリルMDA型」、および鋼・鋳鉄加工用の「マルチドリルMDH型」を開発した。「マルチドリルMDA型」は高い加工精度を維持しながらアルミの高能率加工を可能とし、「マルチドリルMDH型」は鋼・鋳鉄加工時の負荷および消費電力を低減しつつ高能率加工を実現する。これらの工具により穴あけ加工での省電力化に貢献する。

In recent years, various industries, including the automotive sector, have been advancing their initiatives toward achieving green transformation (GX) by reducing CO₂ emissions in cutting processes. Decreasing CO₂ emissions involves cutting machine power consumption, leading to a rising demand for high-efficiency machining tools that reduce machine cycle time. To meet these requirements, we have developed MULTIDRILL MDA Series for aluminum drilling and MULTIDRILL MDH Series for steel and cast iron drilling. The MDA series enables high-precision, high-efficiency aluminum machining, while the MDH series delivers high-efficiency machining with reduced cutting force and power consumption for steel and cast iron processing. These tools contribute to power-saving in hole making processes.

キーワード：GX、高能率加工、穴あけ加工、PVDコート、安定長寿命

1. 緒 言

工具全体が超硬合金^{*1}で構成された超硬ソリッドドリルは剛性が高く高精度な穴あけ加工が可能な切削工具であり、耐摩耗性にも優れることから自動車をはじめ各産業分野の加工現場において広く用いられている。いずれの産業分野でもGX（グリーントランスフォーメーション）の実現に向けた取り組みが進められており、切削加工工程においてもCO₂排出量の削減が要求されている。切削工具は工作機械に取り付けられ使用されるため、工作機械を動かす際に多くの電力を消費しており、その電力を発電する際にはCO₂が排出されている。そのため工作機械の消費電力量を低減することはCO₂排出量を削減することに繋がる。工作機械の消費電力量は消費電力と運転時間の積で算出される。このうち工作機械の消費電力の内訳は切削油ポンプが多くを占めており⁽¹⁾、切削工具の与える影響は小さいが、加工能率を上げることによる運転時間短縮への影響は大きい。そのため高能率加工に特化した工具への需要が高まっている。一方で、加工部品は軽量化の折から小型化、薄肉化が進んでいるため変形やひずみが生じやすく、加工時の負荷が大きい高能率加工が困難な加工環境に変化している。さらに穴加工は部品を締結するためのボルト穴やねじ下穴の加工が多く、組み立て精度に直結することから穴径や穴位置も高い精度が求められる。このように日々難化する切削環境下においても高能率・高精度な加工で省電力化を実現することが超硬ソリッドドリルには求められている。

これらの要望に応えるため、当社ではアルミ加工用の「マルチドリルMDA型」、および鋼・鋳鉄加工用の「マルチドリルMDH型」を開発した。本稿ではその特長と切削性能および省電力効果について報告する。

2. マルチドリルMDA型の特長

2-1 穴位置精度の向上と高能率加工の両立

アルミニウム合金は比強度の高さから自動車部品等で鉄からの置き換えが加速している。被削性が良い材料であるが、細かな切りくずが生じるため切りくずが詰まりやすいという課題がある。このため、アルミニウム合金加工用ドリルでは、切りくず排出性向上を目的に先端切れ刃付近のスペースを広げたオーバーラップシンニング^{*2}形状が多く適用されてきた。一方で、この形状はドリル最先端のチゼルと呼ばれる平面部が広く残ってしまうため加工開始時に被削材と線接触する。これにより水平方向に力が加わり工具または被削材が動いてしまい、穴精度が低下してしまうという課題があった。しかし、最先端部の角度を鋭くすると求心性^{*3}は向上するが、先端切れ刃付近のスペースが狭くなり今度は切りくず排出性が悪化してしまう。そのため、切りくず排出性と求心性を両立する必要があった。

当社は大小の異なるRサイズの組み合わせと切れ刃位置を工夫したRDシンニングを開発した。このRDシンニングによって切りくず排出ポケットを広く取りながらも、**図1**のようにドリルの最先端部の角度を鋭くすることに成功し

た。さらに、ボディ設計についても幅の広いダブルマージンを採用した (図2)。マージンは穴壁面と接触し加工中の挙動を安定させる効果を持つが、幅の広いサブマージンを設けることでガイド性が向上し穴精度向上を実現した。以上2点の形状開発により、マルチドリルMDA型は穴精度の向上とともに、従来製品に対し約二倍の高送り加工を実現することが可能となった。

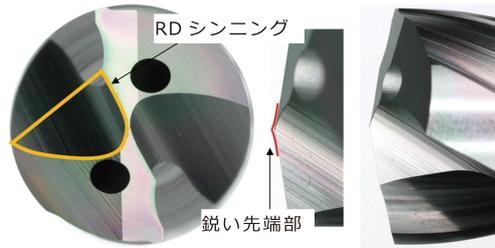


図1 RDシンニング



図2 幅の広いダブルマージン

2-2 鑄抜き穴加工への対応

アルミニウム合金部品の穴あけ加工には、平面食付き加工のみならず、鑄造アルミによく見られる「鑄抜き穴」部への穴あけ加工も多数存在する (図3)。鑄抜き穴は工程短縮や材料削減のため被削材の鑄造工程で設けられる穴であり、ドリルなどで必要な穴径と穴深さまで穴を広げたの

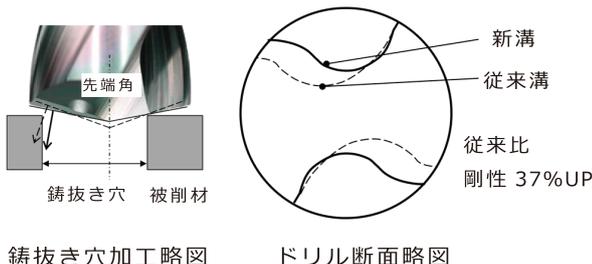


図3 鑄抜き穴加工とMDA型の溝形状

ち、取り付けボルト用のねじ切加工やリーマ工具による高精度穴仕上げが行われる。しかし、鑄抜き穴部を広げる穴あけ加工においては、鑄抜き穴の中心と穴加工の中心がずれてしまうという課題がある。当然ながら鑄抜き穴がずれていると、いくら所定位置で穴あけしようとしても、鑄抜き穴に沿って加工されるため穴が曲がってしまい、穴位置がずれてしまう。高能率条件であるほど切削時の抵抗 (水平方向の分力) は高くなり位置ずれも大きくなるため、加工条件を抑えて加工しているのが現状である。

MDA型ではこの鑄抜き穴加工を改善すべく、2つの設計要素を適用した。1つ目はドリル剛性の向上である。ドリルでは切りくず排出するための溝を設けているが、ドリルボディのほとんどを占める溝部の形状が剛性に最も影響を与えている。単純に溝部を小さくすれば剛性は向上できる一方で、切りくず排出性は低下してしまう。このことから、溝設計を一新、切りくず排出性能は維持したまま超硬母材の体積を多くすることでドリル全体の剛性向上を実現した。2つ目は、ドリル先端角を150°と従来よりも鈍角に設定した。開発過程において、鑄抜き穴加工ではドリルの先端角が小さいほど鑄抜き穴に案内されやすく曲げられやすいことを見出し、先端角を鈍角化することで鑄抜き穴に対する性能向上を実現した。これら剛性向上と先端角150°の組み合わせによって、鑄抜き穴に対する穴位置精度を大きく向上した。しかし、鑄抜き穴には先端角が鈍角であることが有効な一方で、平面加工に悪影響を及ぼすことが想定される。これに対しては2-1で述べた「RDシンニング」との併用によって、先端角鈍角化による食い付き性能低下を補い、鑄抜き穴と平面部への穴あけ加工を両立した。以上の取り組みにより、平面部への穴あけと鑄抜き穴への穴あけが混在する部品に対しても鑄抜き穴の有無を考慮する必要なく1本のドリルで加工対応でき、さらには従来にない高能率穴あけ加工を実現した (図4)。

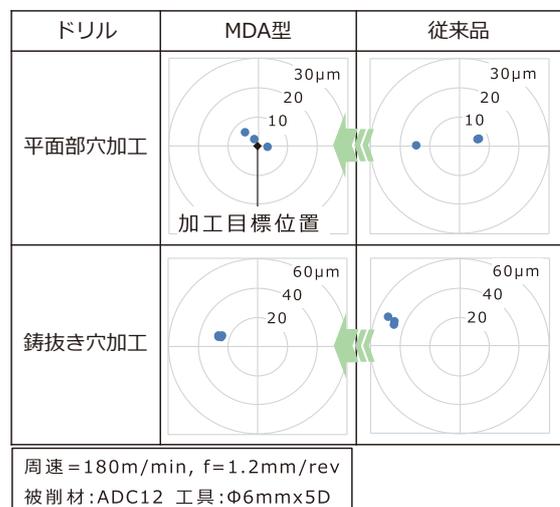


図4 MDA型穴位置精度比較

2-3 耐溶着性の向上

アルミニウム切削のもう一つの代表的な課題として被削材の溶着による工具劣化損傷が挙げられる。超硬合金はアルミニウム合金との親和性が高いことから溶着が発生しやすい。このため、当社では既存製品のアルミ用ドリルにおいても溶着抑制を目的としてDLC^{※4}コーティングを表面被覆している。さらなる性能向上のため、マルチドリルMDA型には新たに開発したDLCコーティング「オーロラコートX」を搭載した。オーロラコートXは、従来の膜特性はそのまま維持しながらも表面の平滑性を飛躍的に向上させたコーティングである(図5)。平滑性の向上により、耐溶着性能を大幅に向上するとともに、工具損傷を軽減することで工具の長寿命化も期待できる(図6)。また、切りくず排出性の向上や穴あけ加工時に受ける反力、特に進行方向の反力となるスラスト抵抗が大幅に低減した(図7)。スラス

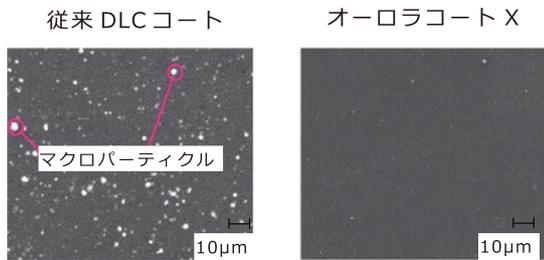


図5 コーティング表面比較

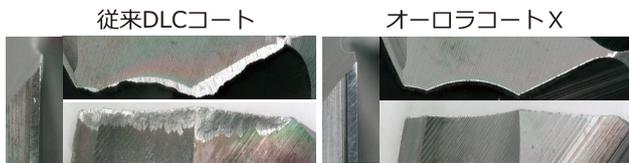


図6 MDA型刃先溶着比較

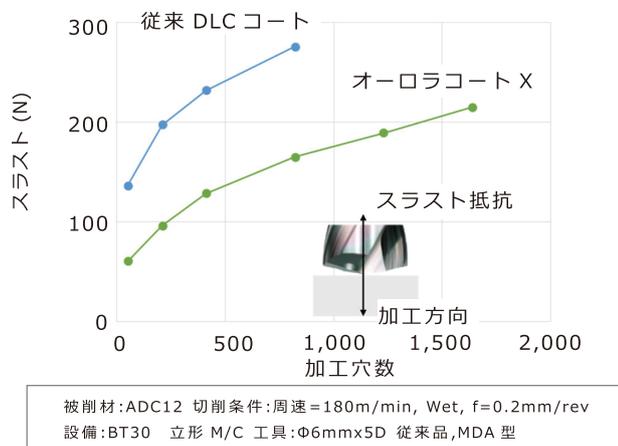


図7 MDA型抵抗比較

ト抵抗低減によって工作機械や加工部品への負荷も軽減されるため、従来にない高能率加工を実現し生産性向上要求に対応できると考える。

3. マルチドリルMDH型の特長

3-1 加工負荷低減による高能率加工の実現

鋼・鋳鉄はギヤやシャフト等の強度や剛性が求められる部品で数多く使用されている被削材である。しかし、非鉄金属に比べ硬度・強度が高く変形しにくいいため加工時のスラスト抵抗が高く、高能率加工において工作機械の主軸にかかる負荷が大きくなり加工中に停止する問題がしばしば生じる。このスラスト抵抗は工具中心部に集中しておりシンニングの形状設計が大きな影響を及ぼすことが広く知られている。これはドリルが回転して切削する工具のため、中心部分は加工速度がゼロであり被削材を単に押しつぶして加工しているからである。

当社はスラスト抵抗を大幅に低減することができるRPシンニングを開発した(図8)。このRPシンニングは、押しつぶされた切りくずが速やかに排出されるよう回転中心付近に設けたポケットを大きく広げつつ、鋼・鋳鉄の高能率加工に耐えうるよう回転中心部分の超硬幅を厚くすることで、大幅なスラスト抵抗の低減に成功した(図9)。特に工具が一回転する間に削る量に相当する送り量を二倍にした時のスラスト抵抗は従来品に対し約35%低減されており、多くの切りくず排出が必要な高能率加工において本設計の効果が如実に表れていることが確認できる。これによりマルチドリルMDH型は従来比二倍以上の高送り加工を実現することが可能となった。

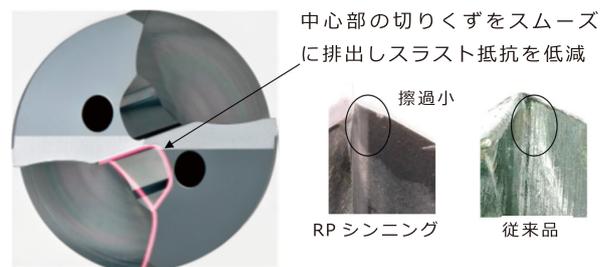


図8 RPシンニング



図9 MDH型スラスト抵抗比較

3-2 高負荷に耐えるコーティングと切れ刃

鋼の高効率加工のもう一つの課題として刃先の欠けが挙げられる。一般に切削工具は被削材に含まれる硬質成分との摩耗により擦り減っていき、使用限界に至り工具寿命と判断される。しかし、高効率加工時は早期に欠けが発生し工具寿命を迎えていた。欠け直前の工具の損傷状態を確認すると、刃先処理^{*5}部の表面に被覆されたコーティングが欠けて剥がれており、この部分に被削材が溶着していた。通常、切削工具のコーティングはセラミックの硬い膜で出来ており摩耗によって損傷するが、高効率加工では刃先に加わる負荷や衝撃が大きいため早期に欠けが発生することが分かった。MDH型ではFEM解析^{*6}を活用し切れ刃にかかる応力を抑える切れ刃形状、刃先処理設計を施した。切れ刃全体を滑らかな曲線で構成することによって応力集中を抑制し、工具損傷を大幅に抑えることに成功した(図10)。

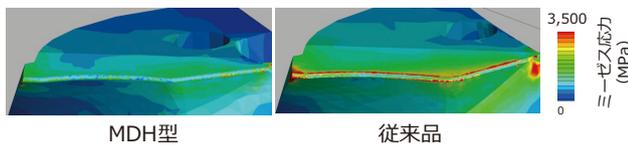


図10 切削中の切れ刃応力シミュレーション

また、コーティングそのものの耐欠損性を向上させた新PVD^{*7}コーティング「HFコート」を新たに開発した。一般にコーティング膜の耐欠損性の向上には膜の高強度化とともに基材との密着強度向上が重要となる。これには膜の硬度を下げ、厚みを薄くすることが効果的であるが耐摩耗性が低下するという欠点がある。HFコートは硬度の高いTiAlCrSi系超多層の厚膜を表層側に、靱性の高いTiAlB系層の膜を深層側に設け、大別して二層の膜から構成されている(図11)。前者は摩耗に強く、後者は亀裂の進展を抑

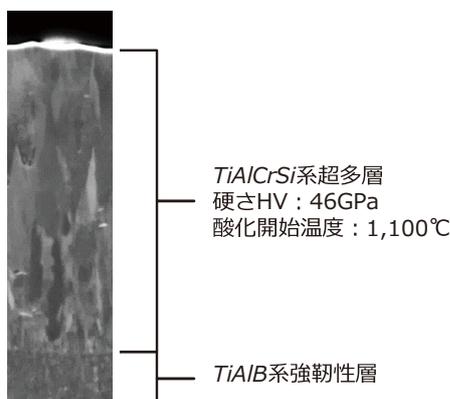


図11 HFコート膜断面組織

え欠けに強い。このHFコートにより高効率加工時でも安定した工具寿命を実現することができた。

図12はMDH型と従来品のドリルにおける高効率加工時の工具寿命を比較したものである。工具寿命は切れ刃稜線部の欠けが拡大し、継続使用が不能な状態に至るまでに切削した加工深さとした。従来品は早期に切れ刃部に欠けが生じ44m程度で折損した。これに対しMDH型は2.5倍以上の111m加工した後でも、摩耗は見られるものの軽微であり、継続して使用することが可能であった。

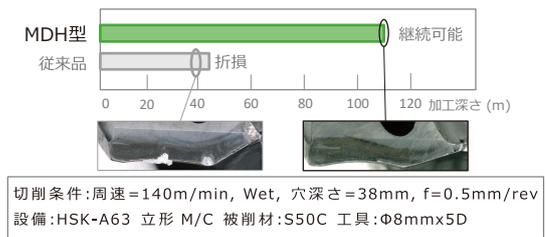


図12 MDH型工具寿命比較

4. 消費電力量削減効果と使用実例

MDA型とMDH型を使用し高効率加工を行った時の消費電力の測定結果を図13と図14に示す。

図13は従来品によるアルミニウム合金の10穴加工時の消費電力とMDA型による従来比4倍の高効率加工時の消費電力を比較したものであり、消費電力量は「待機電力」および「主軸回転+切削時電力」として示された面積に相当する。切削により発生する消費電力は図内に黒丸で囲った部分であり、待機電力とスピンドル稼働に伴う消費電力に対し非常に小さい。一方で加工に要した時間は従来品による加工では30秒かかっていたのに対しMDA型では24秒と20%削減している。実加工では穴を空けたドリルを加工前の位置に戻す時間等が発生するため加工効率4倍に対しサイクルタイム全体での短縮効果は小さくなるが、短縮した稼働時間にはほぼ比例して消費電力を削減できていること

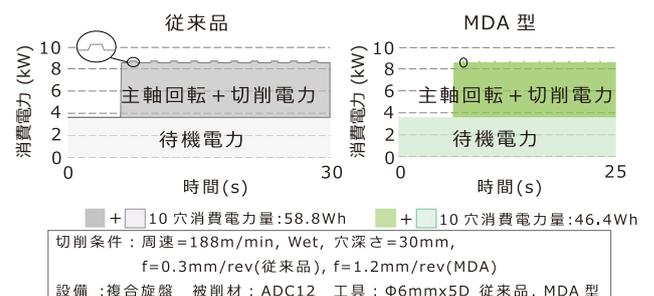


図13 MDA型加工中における消費電力比較

が確認できる。同様の手順で3,000穴加工したと仮定すると、約1.6kgのCO₂排出量削減に貢献したことになる。この値は消費電力量に経済産業省が公表する全国平均係数を乗算することで算出した。

図14はMDH型と従来品による従来条件での加工時の消費電力と、MDH型による従来比2倍の高能率加工時の消費電力を比較したものである。加工条件が同じでもMDH型は従来品に対し消費電力が低減していることが分かる。これはMDH型のスラスト抵抗が従来品に対し小さいため、工作機械を動かすのに必要な動力が削減できたことを示している。さらに、MDH型による高能率加工条件では瞬間的な消費電力は増加するも加工時間が39秒から22秒に短縮したことで消費電力量を約36%削減することに成功した。3,000穴加工した際のCO₂排出量は約1.26kgになり、顧客のGX達成に貢献することができるものと確信している。

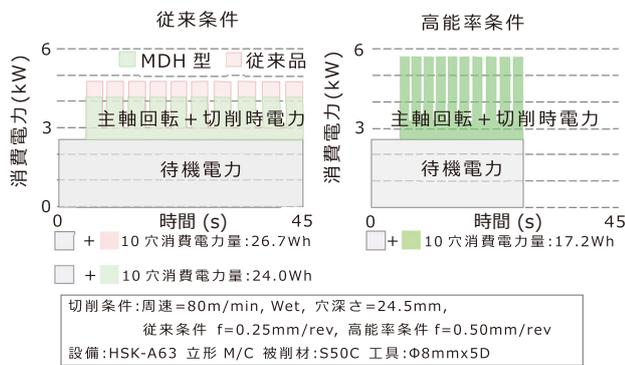


図14 MDH型加工中における消費電力比較

実際の部品加工でMDA型とMDH型を使用した加工実例をそれぞれ図15および図16に示す。

図15はMDA型でアルミケースの加工の能率増加と工具統合を行った事例である。従来は平面部にはねじれ溝付の

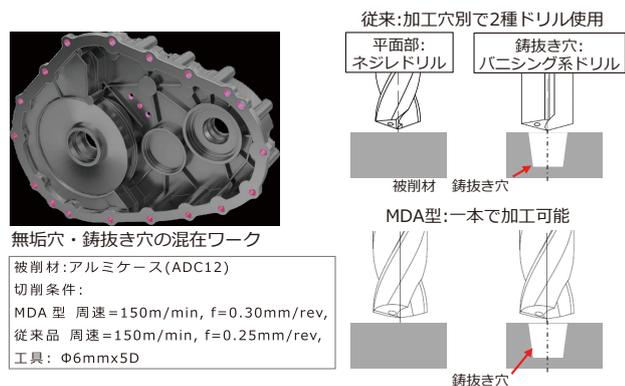


図15 MDA型によるADC12加工事例

ドリルを、鑄抜き穴にはバニシングドリル^{※8}を使用していた。これに対し、MDA型は平面部での求心性と鑄抜き穴での加工安定性により両方の穴あけに使用でき、一本の工具で加工を行うことができた。工具交換にも時間はかかるため、サイクルタイム短縮につながり消費電力の低減にもつながっている。さらに従来品に対し2倍の加工能率で加工することができ、さらなる生産性の向上、省電力化に貢献した。

図16はMDH型でシリンダー部品を従来比約3倍の能率で加工した事例である。従来品は498穴加工時点で外周部に欠損が生じていたが、MDH型は高能率条件で1,488穴加工しても欠損が発生せず良好であった。刃先処理内のコート膜の摩耗が見られるが軽微であり、膜欠損を抑えることで高能率加工でも安定長寿命を実現できる効果を確認することができた。



図16 MDH型によるSCM440H加工事例

5. 結 言

以上のとおり、高能率加工を可能にするための様々な技術開発を行うことで、アルミ加工用「マルチドリルMDA型」、および鋼・鋳鉄加工用「マルチドリルMDH型」の開発に成功した。これらの工具は従来品に対し大幅に加工能率を引き上げることが可能であり、ユーザの生産性向上と工作機械の消費電力量削減に貢献できるものと確信をしている。

用語集

※1 超硬合金

硬質相である炭化タングステン (WC) と結合層であるコバルト (Co) を主成分とする合金。WC、Co 粉末を焼結して得られる。非常に硬く、高い耐摩耗性が要求される切削工具に多く用いられる。

※2 シンニング

溝を持つドリル先端の中心部分に形成された切れ刃のこと。

※3 求心性

ドリルが加工している際に、狙った位置の中心にまっすぐ穴を空けられる性能のこと。

※4 DLC

Diamond-like Carbon の略。非晶質構造のカーボン膜であり、高い硬度と耐摩耗性を持つとともに低摩擦である。

※5 刃先処理

刃物の刃先強度を保持するため、小さな面取りを施したものの。

※6 FEM解析

有限要素法 (英: Finite Element Method) を用いた数値解析。主に構造体の強度解析や固有値解析、振動解析などに利用される。

※7 PVD

Physical Vapor Deposition: 物理蒸着法。物質の表面に物理的手法により目的とする物質の薄膜を堆積する方法である。

※8 バニシングドリル

穴あけとバニシング (加工面の研磨) を同時に行うツール。剛性が高く水平分力に強いが、加工効率を上げにくい。

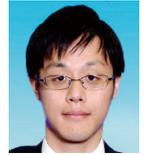
・オーロラコートXは住友電気工業(株)の登録商標です。

参考文献

- (1) 藤嶋誠、小田陽平、森雅彦、「工作機械の省エネルギー」、精密工学会誌、vol.78、No.9、pp. 752-756 (June 2012)

執筆者

牧内 佑介* : 住友電工ハードメタル(株)



高橋 洋一 : 住友電工ハードメタル(株)



栗塚 和昌 : 住友電工ハードメタル(株) グループ長



*主執筆者