

## ロロマティック製高能率レーザー加工機 -切削工具の新たなステージを切り開くレーザースマートシリーズ-

### 1. はじめに

被削材が高硬度化し、難削材の採用が増える中、切削工具はハイス、超硬、サーメット、セラミックス、CBN、そしてダイヤモンドの材質で応えてきた。そして、耐摩耗コーティングは TiN から TiCN、AlTiN、TiSiN、ダイヤモンドと皮膜を高硬度化してきた。ダイヤモンド工具は専門用途化が進み、PCD チップだけでなく、PCD ソリッド、CVD ダイヤモンドコートされた工具も増えている。欧州市場では、2003 年頃から単結晶、CVD ダイヤモンドチップのろう付け工具を中心にレーザー加工機が利用され始めた。次第に、チッピングなく直接ダイヤモンドを切断できるレーザー加工の有効性が認知され、レーザー加工機がダイヤモンド工具業界に普及した。放電は、熱による変質層を発生させ、研削は物理的な衝撃をダイヤモンドに与えてしまう。これらの加工方法では対応が難しいダイヤモンド工具の需要が増えており、レーザー加工への期待度が高まっている。

### 2. ロロマティック製レーザー加工機

時計産業が盛んなスイス北西部にロロマティック社が本社を構える町ル・ランデロンがある。周辺には時計産業の都市として知られたラ・ショードフォン、ヌーシャテル、ビールが連なる。ロロマティック社のルーツは、時計部品の受託加工にある。当時、時計部品加工のための市販工具には良質のものがなく、自社製の機械で小径工具を製作したところ、同業者の評判になった。その後、小径工具用の工具研削盤の外販を始め、工具研削盤を代表するメーカーの一つにまで成長した。同社は顧客からの

要望に応え、2012 年に LaserSmart(レーザースマート)をリリースし、ダイヤモンド工具向けレーザー加工の市場に参入した。

### 3. LaserSmart シリーズ

現在の LaserSmart シリーズは 2 機種ある。2019 年 9 月の EMO 見本市で初公開された LaserSmart510(以下 LS510)と 2022 年 5 月の研削専門見本市 GrindingHub で実機が初披露された LaserSmart510 femto(以下 LS510 femto)である。本シリーズは、シャンク・インサート仕様と、HSK ホルダ仕様があり、加工対象となる工具は多岐に及ぶ。総形工具の輪郭加工、シャープ及び丸ホーニングの刃先加工、ドリルやリーマの丸ランドのマージン加工、3 次元形状のチップブレーカの加工にも対応し、ロウ付けチップだけでなく、PCD ソリッド、ダイヤモンド皮膜の微細除去加工の要望にも応える(図 1)。本稿では、①レーザーパラメータの最適化、②高能率化、③多機能化、④フェムト秒レーザー加工機の用途の 4 つの観点から、LaserSmart シリーズの特長を紹介する。



図 1. LaserSmart シリーズの加工サンプル

### 3. 1 PCD チップの高速加工向け LS510(図 2 左)

φ0.5mm 以上の工具サイズを対象とし、PCD チップの高品質、標準品質、高速品質の面粗さに応じ、加工速度が異なる3つのプロセスが選べる。PCD チップの高速加工能力に優れ、特に PCD ろう付けシャンク、PCD インサートの加工に適している。

### 3. 2 極小径、PCD ソリッド、セラミックス工具向け LS510 femto(図 2 右)

LS510 の機体ベースにフェムト秒レーザを搭載したのが LS510 femto である。フェムト秒レーザはこれまで、マーキング、微細加工等の用途で利用されてきたが、本機は業界で初めて本格的にダイヤモンド工具を加工する機械として注目を集めている。φ0.1 mmの極小径に対応し、被加工材の選択肢も増え、セラミックス素材も加工対象となる。LS510 と比較し、優れた面品位で、且つ加工時間を短縮することが可能である。



図 2. LS510 (左)/femto(右)

### 3. 3 シャンク、インサートと HSK 仕様の選択

ダイヤモンド工具は主にシャンク、インサート、ホルダ付きがあり、LaserSmart シリーズはこれらの工具の連続自動加工に対応している。シャンク(図 3 左上)とインサート仕様(図 3 左下)は互換性を持たせることで、ワンタッチ交換が可能である。ロボットフィンガの交換は僅

か数秒で済み、ワークヘッドの交換は約 10 分で完了する。自動車業界で採用されるホルダ付き工具には、HSK ホルダ仕様の選択が可能だ(図 3 右)。



図 3. シャンク(左上)、インサート(左下)  
HSK ホルダ仕様(右)

### 4. 最適化されたレーザパラメータを内蔵

通常、レーザの細かいパラメータの設定はユーザに委ねられている。ユーザの限られた知識と経験だけで、各種ダイヤモンド工具に適したレーザパラメータを最適化することは容易ではない。PCD チップ加工用ソフトウェアの SmartCutting(スマートカッティング)には、ロコマティック社が培った最適化されたレーザパラメータが搭載されている。超硬付きの PCD の加工、鋭角・鈍角な刃先 R 加工(図 4)、厳しい面粗さが求められる 3 次元形状のチップブレカのレーザパラメータも組み込まれており、ユーザが調整に苦慮することはない。又、本ソフトウェアは、一度作成した形状の加工プログラムであれば、違う材質へ容易にコンバートができる。仮に作成済みの PCD 用の加工データで単結晶の材質を選択すると、加工プログラムは自動的に変換され、再び最初から作成する必要はない。

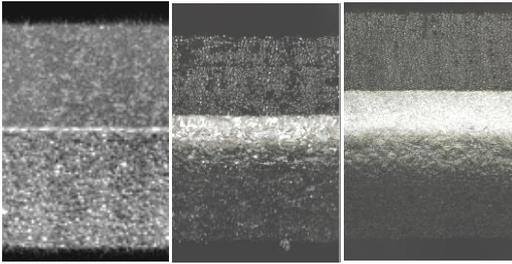


図 4. 刃先 R0.001mm(左)、R0.02mm(中央)、R0.05mm(右)

## 5. 高効率レーザー加工

ワイヤ放電は線当たり、ディスク放電と研削は面当たりの加工である。点当たりのレーザーは、加工効率が低いとされる中、LaserSmart シリーズは、レーザーの最適化と加工パスを工夫することで、高い生産性を実現している。

### 5.1 放電加工より 4 倍速い高速加工能力

PCD プレート 1mm 厚の加工で、一般的なワイヤ放電加工機の平均送り速度が 1mm/min であるのに対し、LS510 では最大 4~5mm/min を実現する。PCD チップの高速加工の用途においては、フェムト秒レーザーより LS510 が適している。本機の高速加工能力は、ワイヤ放電加工が主流の木工用ダイヤモンド工具製造において、レーザー加工という新たな選択肢を生み出した。

### 5.2 PCD チップの逃げ面加工で選べる速度

LS510 では、PCD チップの刃先の品質が同一でありながら、逃げ面の品質が異なる 3 つのパラメータ(「高品質」、「普通品質」、「高速品質」)を内蔵している。「高品質」は、逃げ面の面粗さ  $Ra0.1 \mu m$  が可能であるが、発生する溶解物のデブリをレーザーで除去しながら加工をするため、加工に時間を要す。品質に応じ

加工速度を上げることができ、加工時間の係数は「高品質」の 3 に対し、「普通品質」1.5、「高速品質」では 1 となっている(図 5)。

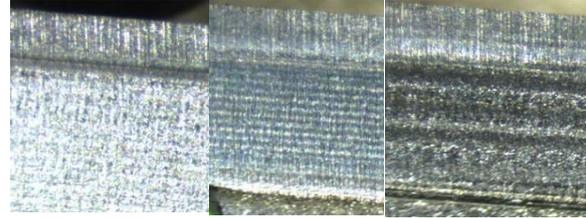


図 5. 高品質(左)、普通品質(中央)、高速品質(右)

LS510 femto では加工速度を選択することはできないが、LS510 の高品質  $Ra0.1 \mu m$  より優れた面粗さ  $Ra0.06 \mu m$  で処理時間を 20% 短縮することが可能だ。

### 5.3 オフセット加工による効率的な切り離し加工

一般的なレーザー加工機は、PCD チップの端から粗加工をするため、ろう付けされた PCD チップの取り代を少なくする前処理が求められる。他方、本シリーズではワイヤ放電のように、効率的なオフセット加工による切り離しが可能である。厳密なブランクの取り代管理が不要となり、取り代の大きい PCD チップの粗加工に効果を発揮する(図 6)。

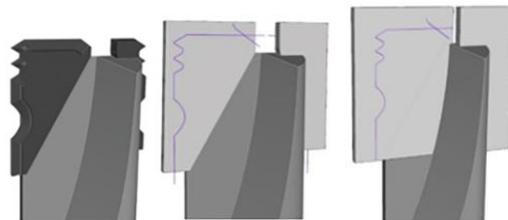


図 6. 製品形状(左)、オフセット量小(中央)、オフセット量大(右)

## 6. 多機能化による工程集約

レーザー加工機は、チップブレード、仕上げ加工

のみに利用されていることが多い。多工程を1工程のワンクランプ全加工に置き換えることによって、1度のセットアップで、連続無人運転が可能となる。さらに複数工程が1工程になることで、仕掛在庫や工程ごとの精度管理が不要となり、それを管理する手間や人、場所も省くことができ、工場の生産性が向上する。

### 6.1 ワンチャックで多工程を担う加工能力

従来、ダイヤモンド工具のドリルやリーマは、刃先を加工した後に、マージンを円筒研削盤で加工してきた。また、ブランク用の円筒加工と刃付けの工程で機械を分けることが一般的だ。LaserSmart シリーズは総形工具の輪郭形状加工、シャープ及び丸ホーニングの刃先加工、チップブレーカ加工、円筒加工、ドリルやリーマの丸ランドのマージン加工に対応する(図7)。LS510 femto の CBN 工具の事例では  $\phi 3\text{mm}$  の CBN ソリッドをロウ付けした材料から、CBN の円筒加工と超硬のネック加工に30分、スクエアエンドミル  $\phi 1 \times L3\text{mm}$  の刃付けを22分で加工する(図8)。



図7. チップブレーカとマージン付き工具

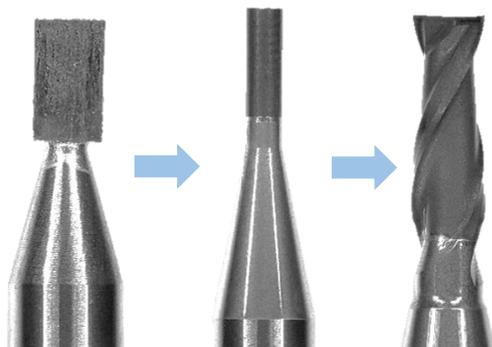


図8. CBN ソリッド  $\phi 3\text{mm}$  ロウ付けブランク→円筒加工+超硬ネック加工→エンドミル  $\phi 1 \times L3\text{mm}$  刃付け加工

### 6.2 PCD ソリッドに対応するソフトウェア

PCD がチップからソリッドになることで、刃形状の自由度が生まれ、工具の高機能化も可能となる。一方で、PCD の除去量が増すことになり、加工時間が長くなるだけでなく、特に小径の場合、電極や砥石の摩耗管理が厳密になり、精密な加工がより難しくなる。PCD ソリッド加工用ソフトウェア SmartFluting(スマートフルーティング)は、各種エンドミル・ドリルの全加工に対応する。標準的なドリルであれば、諸元を入力すると加工用プログラムが自動作成される機能が内蔵されている(図9)。バックテーパ付きドリル、逃げ面、溝、シンニング、面取り、マージン、2番取りの加工が可能となっており、PCD と超硬の滑らかな接合部の加工が可能だ。LS510 では  $\phi 0.5$  以上の工具径に対応し、面粗さ  $Ra0.1 \mu\text{m}$  (図10上)、フェムト秒レーザーの LS510 femto では  $\phi 0.1 \text{mm}$ 、面粗さ  $Ra0.06 \mu\text{m}$  の加工が可能である(図10下)。

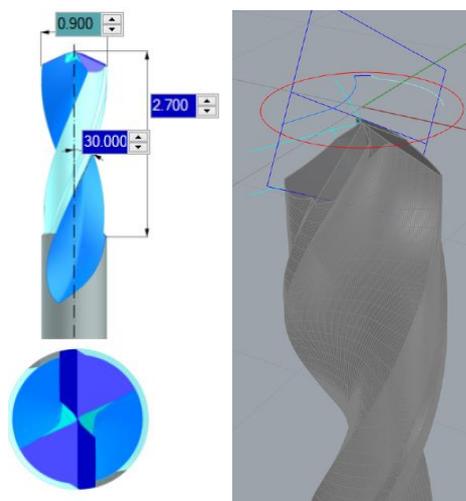


図9. 加工プログラムの自動作成機能

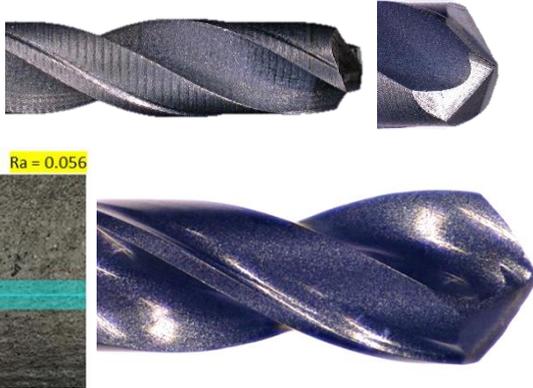


図 10. 上:ドリルφ1.2mm、2枚刃、溝長14mm、面粗さ Ra0.1 μm (LS510)、  
下:面粗さ Ra0.06 μm (LS510 femto)

### 6. 3 フェムト秒レーザーによるPCDソリッドの高効率加工

通常のレーザー加工の場合、長時間にわたるレーザー照射により、その熱は内部まで浸透し、気化するほどの温度に達しにくいいため、熔融物のデブリが発生する。発生したデブリは、レーザーで除去する工程が必要となり、除去量に比例してデブリも増し、加工時間が長くなる。一方、フェムト秒レーザーの極短パルスの場合、加工熱がワーク内部に拡散される前に、レーザー照射が終わる。そのため、熔融物の発生がほぼ皆無いため、デブリ除去が不要の高効率な加工を実現する。特に、取り代が多いPCDソリッドの加工では、LS510と比較し、LS510 femtoは、面粗さRa0.1をRa0.06 μmに向上し、さらに加工時間を30%短縮する(図11)。



図 11. LS510 femto によるPCDソリッドの加工、面粗さ Ra0.06 μm

### 6. 4 ダイヤモンド皮膜の微細除去加工

CVD ダイヤモンド皮膜の魅力は、超硬工具の最適化された工具形状を活かせる点である。切削工具は、不等分割、不等リードや特殊な刃先形状等を開発することで、切削性能を向上してきた。これまで培った工具形状にダイヤモンド皮膜を成膜することで、母材が保護され、切削性能と耐摩耗性に優れる工具となる。しかし、皮膜が厚くなると、刃先が鈍角になってしまうという問題があるため、現状は耐摩耗性を犠牲にし、薄膜にすることで、シャープな刃先を維持していることが多い。ダイヤモンド皮膜加工用のソフトウェア SmartSharpening(スマートシャープニング)を利用すれば、加工前にダイヤモンドコートされた工具を機内測定し、複雑な刃形状に沿って、皮膜を数ミクロン除去することが可能である(図12)。LS510の場合、CVD ダイヤモンド皮膜 20 μm が成膜されたφ3mmの2枚刃のエンドミル、刃長7mm、刃先R20 μmを3 μmの鋭角に6分でレーザー加工し、さらに面粗さをRa0.3 μmからRa0.15 μmに改善する。LS510 femtoであれば、面粗さRa0.1 μmの加工が可能だ。

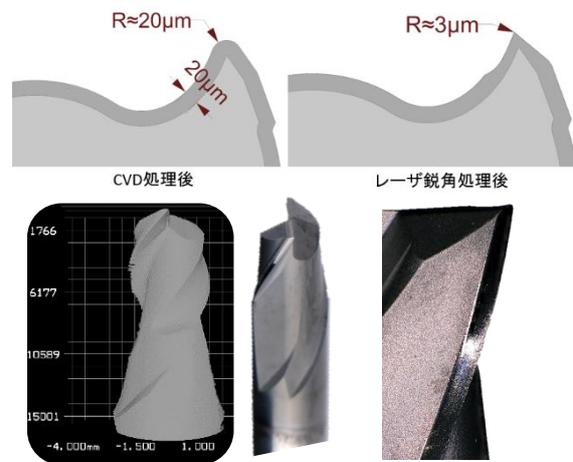


図 12. 機内測定とレーザーによる刃先加工

## 7. LS510 femto の用途

非熱加工のフェムト秒レーザーを搭載した LS510 femto は、極小径、PCD ソリッド、セラミックス工具の加工に適している。さらに超硬では優れた面品位での加工が可能で、超硬工具の試作開発、小ロット生産にも利用されている。

### 7.1 セラミックス工具にも応える柔軟性

加工に必要なレーザーのピーク出力は、パルスエネルギー/パルス幅で計算される。極短パルス幅のフェムト秒レーザーであれば、ピーク出力がより高くなり、熱衝撃によるクラックが発生しやすいガラス、サファイヤ、セラミックスの非熱加工も可能になる。窒化ケイ素、酸化ジルコニウムを  $\phi 1.0\text{mm}$  のスクエアエンドミルにクラックなく加工し、平均面粗さ  $0.07\ \mu\text{m}$  を実現している(図 13)。

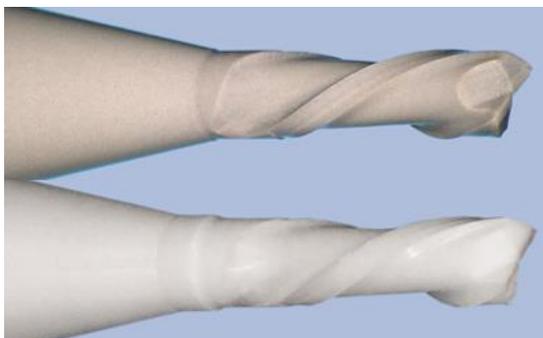


図 13 窒化ケイ素(上)、酸化ジルコニウム(下)、面粗さ  $Ra0.07\ \mu\text{m}$

### 7.2 超硬工具 R&D、小ロット生産への対応

フェムト秒レーザーは、特に超硬の加工面粗さが優れている。LS510 の  $Ra0.2\sim 0.3$  に対し、フェムト秒レーザーは、面粗さ  $Ra0.04$  を達成する(図 14)。この面粗さは、安定した連続加工が難しい高い番手の仕上げ用ダイヤモンド砥石の領域である。超硬工具の試作開発、小ロット

の特殊工具製造に、同機を利用しているユーザーがある。レーザーの魅力は、砥石成形のような事前準備がなく、砥石摩耗のような加工時のツール形状の変化もないことが挙げられる。さらに、非熱加工であることから、精度の安定性が抜群に優れている。完全無人による 24 時間、7 日間の連続運転が可能となり、作業員不足の課題に応えている。また、砥石による研削圧力や加工熱がないため、研削では困難な小径、長尺工具の加工にも適している。ドリル径  $\phi 0.8 \times 30\ \text{Dmm}$  においても、サポート不要の加工を実現する(図 15)。

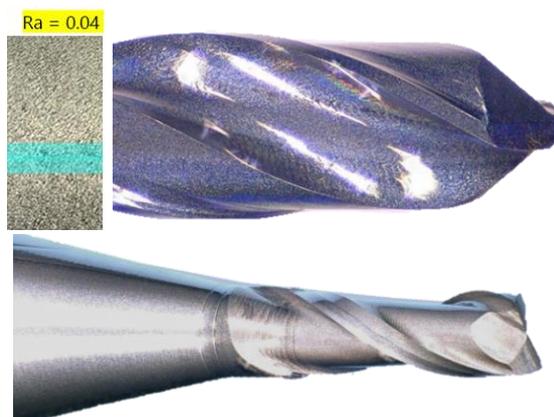


図 14. 超硬加工面粗さ  $Ra0.04\ \mu\text{m}$

上:ドリル、下:スクエアエンドミル



図 15. サポート不要の超硬ロングドリル  $\phi 0.8\text{mm}$ 、 $30 \times \text{Dmm}$  の加工

## 8. おわりに

ロコマテック製 LaserSmart シリーズは、専門用途化する多品種のダイヤモンド工具に 1 台で対応できる優れた柔軟性を誇る。弊社では、国内にテスト加工機を設置し、直に本シリーズの能力を評価できる機会を設けている。ダイ

ヤモンド加工で苦慮する現場のソリューションになるだけでなく、フェムト秒レーザーが切削工具の新たなステージを切り開く革新的な設備になると確信している。

以上