

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「極小マーキングのためのレーザー加工技術の開発と装置化」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 1.高精細・極小・浅いレーザーマーキングの高速化への対応
- 2.金属・樹脂への微細3次元レーザーマーキングへの対応
- 3.微細・高精度レーザーマーキングへの対応

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

既存の一般的なガルバノ式レーザーマーカを図1に示す。これは、高低差にも対応するハイレベルのマーキング装置である。この装置は、高出力のレーザーを用いて平面に高速に印字するものであり、立体物にも適応できるように改善が重ねられてきた結果、一般的な市場の要望にはこれで十分対応可能であった。



図1.ガルバノ式レーザーマーカ

しかし、浅くて高精細なマーキング、正確な位置でのマーキング、極小マーキング、立体物へのマーキングなどの新たな要望には、十分応えられていないのが現状である。印字結果を確認するためには検査光学系が必要となるが、ガルバノ式レーザーマーカはその構造上一体化が難しいため、別途設けるか検査しないのが一般的である。その理由は、広いエリアを印字するためガルバノ光学系は焦点距離を長くしなければならず、レーザービーム径を絞るのに限界があるからである。また、鏡の微小入射角を拡大した構造であるため、高精度な位置決めも難しい。加えて場所によりワークへの印字が垂直方向から

できず斜め上方から印字するため、印字が歪んでしまう傾向があり、平面を前提とした光学系のため、立体物への斜面部への印字も難しい。印字結果もその場で検査する光学系を組み込むには複雑化するので、最近1社が可能にしたがコストアップは免れない。

これらの課題を解決するため、(株)ソフトサービスではこの3年間大阪大学と共同で、下記1)、2)の課題に対して要素技術①～⑧の研究開発に取り組んできた。

1) 浅い印字、微細な印字を実現するために、焦点距離を短くしビーム径を絞り、印字場所で、真上から直接印字する必要がある。

①浅い印字、微細な印字には短い波長がよく、青紫色405nmの半導体レーザーを光源にすると相性が良好である。この波長は、いろいろな材料でエネルギーの吸収係数が高く、加工しやすい波長でもある。そこで、この青紫色405nmの半導体レーザーを用いて、スポット径を最小に絞るため Shack-Hartman 式波面測定機で波面を計測しながら最小の収差になるようにレーザーを調整し、10 μ m以下に絞る。この時、焦点距離を35mm(ワーキングディスタンス25mm)とし、その間に障害物があっても、印字できる距離とする。

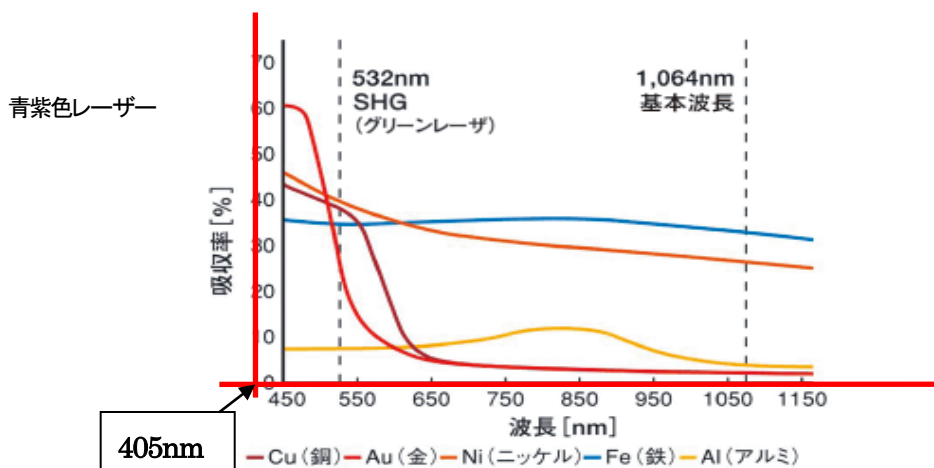
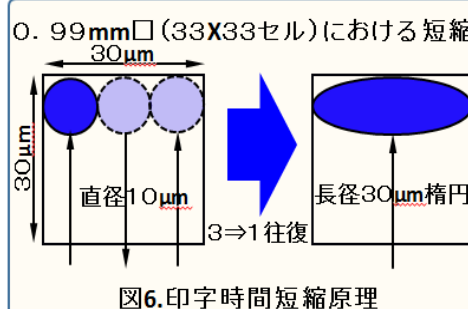
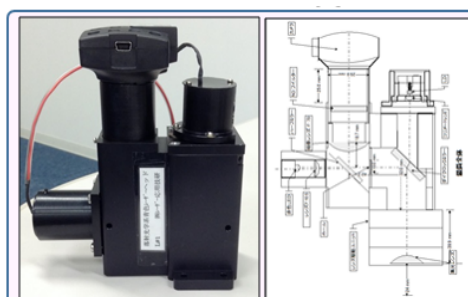
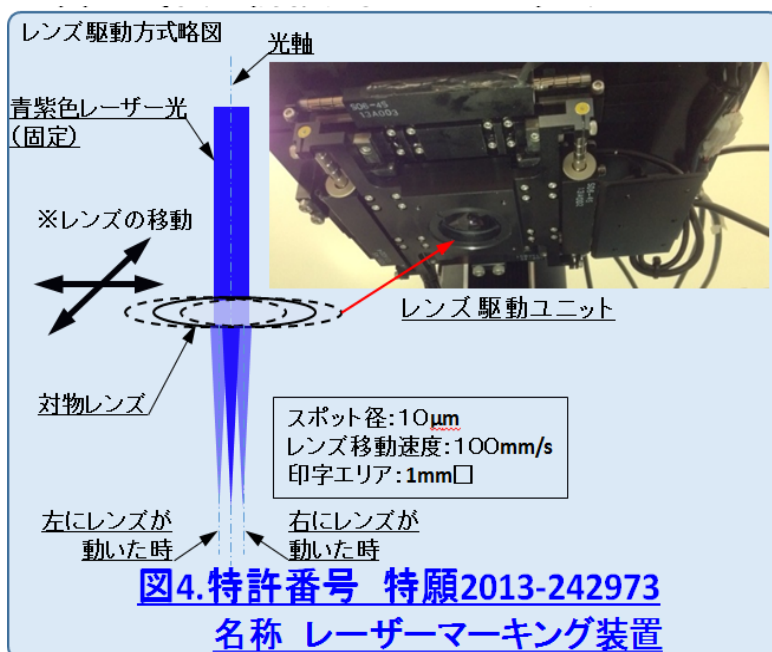


図3.波長と各金属のエネルギー吸収率

②ワークには高さのバラツキがあるため印字場所で高速にフォーカスし、その絞ったビームで高速に印字する必要がある。その駆動にシャフトモーターを使いレンズをXYに高速移動しながら印字する方式を採用した。これらの基本技術は既に特許出願し、現在審査請求中である。



2) 今までの研究成果により、高精度で高精細、微小マーキング、低パワー(0.2W以下で一般の1/10以下)を実現できているが、この要素技術の欠点はガルバノ式と違い拡大系になっていないために印字に時間を要することである。

③この問題を解決するために、マルチモードの青紫色半導体レーザーを用いて横長のビームを形成する技術を確立できれば、これを使って印字操作回数を減らすことで印字時間を1/3に短縮することがで

きる。高速化の目的は、インライン生産に追従できる印字時間の短縮である。横長ビームの形成には出力を大きくする必要があるため、現状の0.175Wのパワーのものからマルチモードの0.6Wの青紫色半導体レーザーに変更しなければならない。

④次に立体物に自由に印字できるようにするため、当社の保有する3次元実装機の技術を用いて、レーザーヘッドが印字する物に対して常に垂直方向から照射出来るようにする。それには印字する物を5自由度で動く構造と、自由曲線を描く制御技術が必要になる。他社は、ガルバノ式を採用している結果、斜め方向からの印字となる為、光学系が複雑となっている。

⑤3次元印字を金属へ展開するためには、レーザーのパワーをあげ、ビームをさらに集光する必要がある。青紫色半導体レーザーには高出力タイプが無いため、ビーム品質が良いファイバーレーザーを使うことにする。単一モードファイバーレーザーを使って、ビームの波面を計測しながら最小の収差になるように調整し絞る。さらにCW方式かパルス方式かによってレーザーの金属への印字が変わるので、最適な方式を選ぶ。

⑥高精細マーキング技術を見えない隠しマーキングとして使う方法として、ワークの材質に合わせて印字サイズを極小化するか、肉眼で見えないマーキングにするかの方法がある。金属製ワークの場合は極小化であり、これは半導体より高出力のファイバーレーザーで行う。

⑦樹脂製ワークの場合は、極小化の他に蛍光分散染料を樹脂の上に塗布し、その上からレーザーで印字するとこの染料が樹脂に浸透し定着する。これに紫外線を当てると印字内容が現れる仕組みを実現する。この場合、蛍光分散染料の吸収係数が高い波長のレーザーを選択し、上記と同様な方法で集光する事で実現する。今までの基礎研究（阪大）から赤色レーザーが有望である。

⑧次に検査光学系を、上記光学系に組み込む事が出来る。印字後その場で見える照明光学系を追加する。これは先の特許に含まれる。

以上の要素技術を開発する事で、川下ニーズに応える装置が実現できる。具体的な高度化目標を設定するために、川下ニーズに沿ってそれぞれに開発した要素技術を組み込んだものにする。

研究開発する要素技術を整理すると

- ①青紫色405nmの半導体レーザーを光源にした印字技術
- ②従来のガルバノ方式とは異なるレンズ駆動方式によるレーザー印字技術
- ③横長ビームの活用による印字時間の短縮化技術
- ④自由曲線を描く制御ができる3次元制御技術
- ⑤レーザー光の集光技術

⑥ファイバーレーザーを用いた極小印字技術

⑦蛍光分散塗料を用いた見えない印字技術（紫外線を当てることにより読取可能）

⑧印字光学系と検査光学系の一体構造化技術

これらの技術開発の成果として、具体的には下記3装置の試作機を開発した。

サブテーマ1. インライン用レーザーマーキング装置試作機

トレーサビリティが必須となる自動車用などの信頼性を求める電子基板では、基板を保護するレジストの破壊をきらう。このため、要素技術の①、②を使い、更にインライン生産に対応するために、③の要素技術を使う。また高密度基板は、印字場所が限定され印字サイズも小さくなくてはならないから①②③の要素技術で対応する。そしてヘッドが移動することなく⑧で印字結果を確認できるため、信頼性の高いトレーサビリティを実現できる装置に仕上げることができる。

サブテーマ2. 3次元用レーザーマーキング装置試作機

高級腕時計など貴金属などの模造品に対し、その対策に決め手を欠いているのが現状である。要素技術の④⑤⑥を使って金属・樹脂への3次元マーキングが可能となり、⑧で印字結果を印字と同時に確認することで、信頼性の高い偽造防止となるマーキングを可能とする装置に仕上げることができる。

サブテーマ3. 金型・ダイヤモンド工具微細加工装置

本事業着手時には微細マーキング技術の確立により「IC用レーザーマーキング装置試作機」を完成させる予定であったが、限られた期間の中で、ICへのマーキングに対する潜在的な需要を見極めるのが困難であったため、サポイン事業での「ICへの偽造品対策レーザーマーキング対応」の開発は、H28年度で終了とし、弊社独自の開発テーマとして継続することとした。

2年間で蓄積した微細マーキングの技術を生かして事業化を実現するために、ターゲットを変更して需要のある分野へ方向転換を図ることが得策と考えた。金型・ダイヤモンドツールの微細加工の用途が新規テーマとして顧客より要望があり、サブテーマ3を『金型・ダイヤモンドツールの微細加工装置』へ変更して、H29年度より着手した。

以下3つの高度化目標を掲げ、要素技術の目標値を個々に設定して開発に取り組んだ。

【高度化目標】

■ 1. 高精細・極小・浅いレーザーマーキングの高速化への対応

(三) 精密加工にかかわる技術に関する事項

②高度化目標

オ. 生産性・効率化の向上、低コスト化

従来技術では、高出力レーザーとガルバノスキャンを使った構成で高速印字を行っているが高精度・高精細・極小マーキングは苦手としている。

現在我々が開発している高精細・極小・浅いマーキング技術では、印字場所に高精度に位置決めされた場所で垂直にレーザー光を当てて描画しているため、印字の品質は非常に高いが、印字の速度に課題があり、基板実装ラインの中に組込むには高速化に対応しなくてはならない。この高度化目標を達成するために、下記サブテーマを設けて開発を行い、市場要望に対応できるインライン用レーザーマーキング装置試作機を完成させた。

表. サブテーマ1の実施結果

開発項目	サブテーマ	目標値	実施年度	実施結果
【1-1】	レーザーの高出力化対応	0.3W 及び 0.6W 対応	H27年度 ～ H28年度	目標達成
【1-2】	0.6W レーザービーム径の長方形性形化	10×50μm	H27年度 ～ H28年度	目標達成
【1-3】	0.6W 用半導体レーザーの電源開発、冷却方式開発	15-20℃での制御	H27年度 ～ H28年度	目標達成
【1-4】	レンズ駆動の高速化	駆動速度2倍	H27年度 ～ H28年度	目標達成
【1-5】	印字・検査・オートフォーカス時間の短縮アルゴリズムの開発	フォーカス時間 0.5秒	H27年度 ～ H28年度	目標達成
【1-6】	装置化	印字速度 1mm□1秒	H27年度 ～ H29年度	目標達成

■2. 金属・樹脂への微細3次元レーザーマーキングへの対応

(三) 精密加工にかかわる技術に関する事項

②高度化目標

ア. 当該技術が持つ物理的な諸特性の向上

従来のレーザーマーキング装置では実現できなかった各種金属や新機能樹脂への印字が可能となる微細 3次元用レーザーマーキング装置試作機を開発し、高付加価値商品への隠し印字やト

レーザビリティを可能にする。レーザーにはファイバーレーザーを採用した。

高付加価値商品は、ステンレス・チタン・アルミ等の金属材料や新機能樹脂材料を多く使用しており形状も複雑な場合が多い。他社と技術的なアプローチの違いは、光学系を複雑化するのではなく、装置側でシンプルに3次元制御し、レーザー光による印字は常に印字する物の真上から行うようにすることで高精細、高品質の印字を実現可能とする点にある。下記サブテーマ2を設けて開発を行った。

表. サブテーマ2の実施結果

開発項目	サブテーマ	目標値	実施年度	実施結果
【2-1】	光集光技術（波面調整）	集光径 20 μ m 以下	H27年度～ H28年度	目標達成
【2-2】	ファイバーレーザーの高速ON/OFF制御応答性	応答性能 10 μ s 以下	H27年度～ H29年度	目標達成
【2-3】	印字応答性をベースに印字パターン生成方法の開発	平面 1秒/1mm \square 印字幅 20 μ m	H27年度～ H28年度	目標達成
【2-4】	3D 駆動技術の開発	5自由度同期制御	H27年度～ H29年度	目標達成
【2-5】	5自由度印字機構の開発	位置決め精度 \pm 20 μ m	H27年度～ H28年度	目標達成
【2-6】	装置化	5自由度印字機構 20 μ m追加、 3D印字	H27年度～ H29年度	目標達成

■3. 微細・高精度レーザーマーキングへの対応

(三) 精密加工にかかわる技術に関する事項

②高度化目標

ア. 当該技術が持つ物理的な諸特性の向上

自動車業界を始め、各産業界ではトレーサビリティの導入が重要課題となっており、生産者情報の管理を目的にした手法の一つとして各部品へのダイレクトマーキングが盛んになってきた。自動車業界以外でも拡大傾向にあり、あらゆる部品にも導入が始まっているが、通常のマーキングでは面積が確保できないくらいに小さい部品でも、我々が開発中のレーザーマーキング装置であれば、印字やマーキングが可能となる。

更に微細・高精度な加工ができるレーザーマーカ－の特徴を活かし、超精密ツール（人造ダイヤモンド製）の先端加工やレンズ成形用の超精密金型のマーキングなどへの活用と言った需要も広がりつつある。これに応えるため、下記サブテーマを設けて開発を行い、金型・ダイヤモンド工具微細加工装置を完成させた。

表. サブテーマ3の実施結果

開発項目	サブテーマ	目標値	実施年度	実施結果
【3-1】	集光技術	集光径を 10 μ m Φ から5 μ m Φ へ	H27年度 ～ H28年度	目標達成
【3-2】	印字サイズの超極小化	1mm \square から0.1mm \square へ 1秒/0.1mm \square	H27年度 ～ H29年度	目標達成
【3-3】	見えないマーキング	1.5秒/1mm \square	H27年度 ～ H29年度	80%完了 大阪大学独自テーマとして継続
【3-4】	装置化	1秒/0.1mm \square 、 1.5秒/1mm \square	H27年度 ～ H29年度	目標達成
【3-5】	ICダイレクト印字	1秒/1mm \square	H27年度 ～ H29年度	60%完了 大阪大学独自テーマとして継続

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

【実施体制】

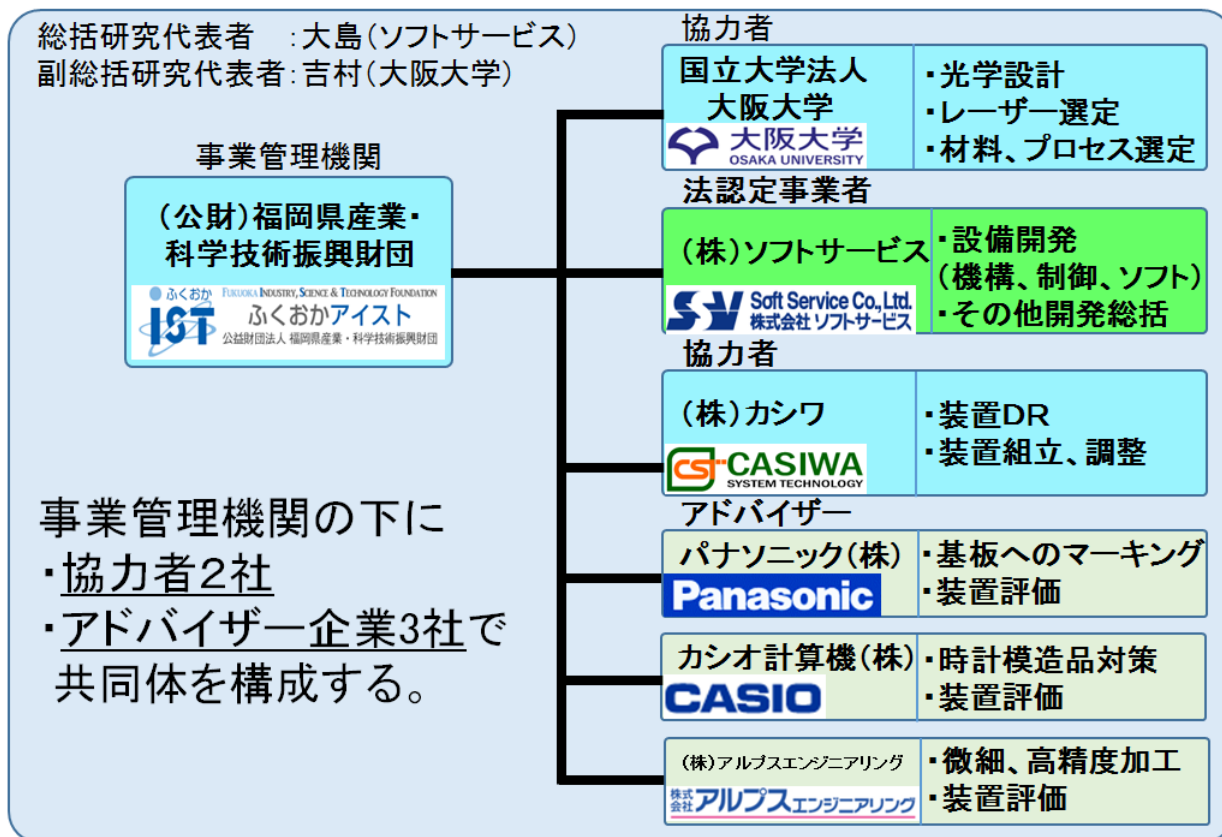


図7.研究開発体制図

上記体制にて、装置開発を行う。

<研究実施機関 PL>

株式会社ソフトサービス（総括研究代表者：大島 弘二郎） 研究開発の主体

<研究実施機関 SL>

大阪大学レーザー科学研究所（副総括研究代表者：吉村 政志、研究代表者：實野 孝久）

光学設計全般を担当

<研究実施機関>

株式会社カシワ（研究代表者：天野 知久） 装置の組立・調整 装置DR

<アドバイザー>

パナソニック株式会社：基板へのインライン式レーザーマーキングの助言

カシオ計算機株式会社：高級腕時計の模倣品対策に求められる仕様の助言

株式会社アルプスエンジニアリング：微細・高精度レーザー加工対応仕様に対する助言

1-3 成果概要

1 高精細・極小・浅いレーザーマーキングの高速化への対応（インライン式レーザーマーキング装置）

【1-1】 レーザーの高出力化対応

目標値：0.3W 及び 0.6W 対応

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：レーザー出力値で 0.3W と 0.6W のレーザーを採用し、光学系もこれに合わせた仕様に変更してスポット径を拡大して高出力化を達成した。

【1-2】 0.6W レーザービーム径の長方形形成形化

目標値：10×50 μ m

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：レーザーヘッドの改造により、当初の目標値 10×30 μ m に対し 10×50 μ m のビーム径に変更して達成した。変更した理由は、川下ユーザーの要望に応えるには最大 3mm 口の 2 次元バーコードを高速にマーキングする必要性が生じた為である。ビーム径を少し大きくすることで品質を低下させることなくマーキングできた。

【1-3】 0.6W 用半導体レーザーの電源と冷却方式開発

目標値：15-20 $^{\circ}$ Cでの制御

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：計画通りに目標値を達成し、インライン用レーザーマーキング装置試作機に搭載する 0.6W レーザーモジュール専用の電源・冷却ユニットの開発を完了した。

【1-4】 レンズ駆動の高速化

目標値：駆動速度2倍

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：開発する中で推力を単純に 3 倍としたのではマーキングの安定性に影響が生じることが分かり、レンズの駆動は 2 倍にして、他の項目で高速化を図ることが全体として最適なことと判断した為、レンズ駆動用のシャフトモータの推力を従来の 3 倍から 2 倍に計画変更して、レンズ駆動速度の高速化を図った。2 倍以上の駆動速度 180mm/s を達成し、試

作機に搭載するレンズ駆動ユニットを開発した。

【1-5】 印字・検査・オートフォーカス時間の短縮アルゴリズムの開発

目標値：フォーカス時間 0.5 秒

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：計画通りに、オートフォーカスの時間の短縮（目標値 0.5 秒）と正解率（99%以上）を高めたインライン用レーザーマーキング装置試作機を開発し目標値を達成した。

【1-6】 装置化

目標値：印字速度 1 秒/1mm \square

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：計画通りに、【1-1～5】で開発したユニットと技術を融合させてインライン用レーザーマーキング装置試作機の機能改善を図り、1mm \square マーキングのタクトは3.5秒から1.9秒（印字1秒、オートフォーカス0.5秒、検査0.4秒）に短縮した。

2 金属・樹脂への微細3次元レーザーマーキングへの対応（3次元レーザーマーキング装置）

【2-1】 光集光技術（波面調整）

目標値：集光径 20 μ m 以下

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：レーザーのシングルモードからマルチモードへ変更し、目標値の集光径 20 μ m 以下を達成した。川下ユーザーからの要求に応じて対象ワークの拡大と高速化の為に光学系の改造を行い、焦点距離を 50mm から 100mm に拡大した。この結果、品質を低下させることなくタクトを約 1/2 に短縮することができた。

【2-2】 ファイバーレーザーの高速 ON/OFF 制御応答性

目標値：応答性能 10 μ s 以下

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：目標値である応答性能 10 μ s 以下である、0.642 μ s を達成した。

【2-3】 印字応答性をベースに印字パターン生成方法の開発

目標値：平面 1 秒/1mm \square 印字幅 20 μ m

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：平面 0.97 秒/1mm²、印字幅 20 μ m で、目標値である平面 1 秒/1mm²印字幅 20 μ mを達成できた。

【2-4】 3D 駆動技術の開発

目標値：5 自由度同期制御

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：5 自由度印字機構を考案し、3D CAD との連動で印字位置を決定しワークとレーザーの焦点距離を一定に管理しながら移動できる機構を開発した。

【2-5】 5 自由度印字機構の開発

目標値：位置決め精度 $\pm 20\mu$ m

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：制御ソフトの開発により、5 自由度印字機構を搭載する 3 次元レーザーマーキング試作装置を完成させた。3次元計測が可能なデジタルマイクロスコープで位置決め精度の目標値 $\pm 20\mu$ mを達成できていることを確認した。

【2-6】 装置化

目標値：5 自由度印字機構、20 μ m フォーカス、3D 印字

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：【2-1～5】で開発したユニットと技術を融合させて、目標値とした 5 自由度印字機構と 20 μ m フォーカス、3D 印字の実現を達成した。

3 微細・高精度レーザーマーキングへの対応（金型・ダイヤモンド工具微細加工装置）

【3-1】 集光技術

目標値：集光径を 10 μ m Φ から 5 μ m Φ へ

実施年度：H27年度～H28年度

実施結果：ビーム径 6.8 \times 3.8 μ m達成し加工幅は 5 μ mとなった

【3-2】 印字サイズの超極小化

目標値：1mm²から 0.1mm²へ、1 秒/0.1mm²

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：0.5秒/0.1mm□達成

【3-3】 見えないマーキング

目標値：1.5秒/1mm□

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：技術的な検証は確認できたが、実用段階にはまだ至らず。

大阪大学の独自テーマとして継続する。

【3-4】 装置化

目標値：1秒/0.1mm□、1.5秒/1mm□

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：装置は完成し6軸制御での印字・マーキングに成功。

【3-5】 ICダイレクト印字

目標値：1秒/1mm□

実施年度：H27年度～H29年度

実施結果：X線を通して撮像できるかまでの基礎実験は終了。

大阪大学の独自テーマとして継続する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

<事業管理機関>

公益財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団

社会システム実証部 管理グループ テクニカルマネージャー 野見山 加寿子

Tel : 092-331-8510 Fax : 092-331-8515

E-mail : k-nomiyama@ist.or.jp

<総括研究代表者 (PL) >

株式会社ソフトサービス エキスパートエンジニア

大島 弘二郎

Tel : 092-477-2708 Fax : 092-471-5927

E-mail : kojiro.oshima@soft-service.co.jp

<副総括研究代表者 (SL) >

大阪大学 レーザー科学研究所 教授

吉村 政志

Tel : 06-6879-4693 Fax : 06-6877-4799

E-mail : yoshimura-m@le.osaka-u.ac.jp

第2章 本論

1. 高精細・極小・浅いレーザーマーキングの高速化への対応

従来技術では、高出力レーザーとガルバノスキャンを使った構成で高速印字を行っているが高精度・高精細・極小マーキングは苦手としている。

現在我々が開発している高精細・極小・浅いマーキング技術は、印字場所に高精度に位置決めされた場所で垂直にレーザー光を当てて印字しているため、品質は非常に高いが印字の速度がガルバノスキャナ方式と比較して遅いと言う課題があり、これを克服して基板実装ラインの中に組み込むには高速化に対応しなくてはならない。この高度化目標を達成するために、下記研究開発項目を設けて開発を行い、市場要望に対応できるインライン用レーザーマーキング装置試作機を完成させた。

【1-1】レーザーの高出力化 0.3W 対応

(平成 27 年度)

大阪大学が、印字時間の短縮化に向けて、現在 0.175W の青紫色レーザーを高出力化 (0.3W) するためにビームプロファイラーを用いて事前評価 (集光性能評価) を行った。事前評価の結果を基に 0.3W LDヘッド評価機を設計・開発し、加工試験を実施した。加工試験結果を基にインライン用レーザーマーキング装置試作機に搭載する 0.3W レーザーモジュールの仕様を決定した。(株)ソフトサービスが仕様に基づき、レーザー出力値で 250mW を達成するレーザーモジュールと試作機を製作し、インターネフコンに出展、性能評価し課題を抽出した。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスがインライン用レーザーマーキング装置試作機の性能評価を実施して課題を抽出し、大阪大学が 0.3W LDヘッド評価機を用いて課題解決を図った。その結果を受けて、(株)ソフトサービスがインライン用レーザーマーキング装置試作機の性能改善を図った。

【1-2】レーザービーム径の長方形形成化 $10\mu\text{m}\Phi\Rightarrow 10\mu\text{m}\times 30\mu\text{m}$ (0.6W 対応)

(平成 27 年度)

大阪大学が、印字時間の短縮化に向けて、マルチモードレーザー (0.6W) による印字回数低減のためにビームプロファイラーを用いて事前評価 (横長ビーム形成評価) を行った。事前評価の結果を基に 0.6W LDヘッド評価機を設計・開発し、加工試験を実施した。加工試験結果を基にインライン用レーザーマーキング装置試作機に搭載する 0.6W レーザーモジュールの仕様を決定した。(株)ソフトサービスが仕様に基づき、印字幅 40-50 μm (ビーム径 32.5 $\mu\text{m}\times$

44 μm にて)を達成する 0.6WLDヘッドを製作インライン用レーザーマーキング試作機に搭載し評価した。(印字幅 40 μm ,50 μm で印字できた。)

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスがインライン用レーザーマーキング装置試作機の印字幅 40-50 μm の性能評価を実施して課題を抽出し、大阪大学が 0.6WLDヘッド評価機を用いて課題解決を図った。その結果を受けて、(株)ソフトサービスがインライン用レーザーマーキング装置試作機において印字幅 30-40 μm の装置を完成させた。

【1-3】0.6W用半導体レーザーの電源開発、冷却方式開発

(平成 27 年度)

0.6WLD は高出力マルチモードレーザーであり、0.6WLDヘッドは、高出力・高速応答を実現するための専用電源が必要であり、さらに、安定した性能を得るために、半導体レーザーの温度を 25°C以下に管理する必要がある。そこで、(株)ソフトサービスがインライン用レーザーマーキング装置試作機に搭載する 0.6WLDヘッド専用の電源・冷却ユニットの開発を行い、レーザー応答性 4 μs 、冷却性能 25°C以下を単体評価で確認した。冷却ユニットの性能評価には温度測定用データロガーを使用し 25°C以下になることを確認した。

(平成 28 年度) 実機応答性 5 μs 以下、冷却 25°C以下

(株)ソフトサービスがインライン用レーザーマーキング装置試作機に 0.6WLDヘッドと 0.6W 電源を搭載し、その応答性・冷却性能評価を実施して課題を抽出。冷却フィン、FAN の最適化を図り、冷却性能を向上させた。

【1-4】レンズ駆動の高速化 (アクチュエーターの推力アップ)

100mm/s (従来) \Rightarrow 150mm/s (27 年度) \Rightarrow 180mm/s (28 年度)

(平成 27 年度)

(株)ソフトサービスが、印字時間の高速化に向けてレンズ駆動用のシャフトモータの推力を従来の 3 倍 (詳細検討の結果 2 倍) とすることにより、レンズ駆動速度の高速化を図った。高速化にはガイドの摩擦対策と小型化が必須条件となるが、メカとハードの一体開発により駆動速度 180 mm/s(H28 年度目標)を達成して、インライン用レーザーマーキング装置試作機に搭載するレンズ駆動ユニットを完成させた。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスが改良設計により、駆動速度 180 mm/s を達成したレンズ駆動ユニットをインライン用レーザーマーキング装置試作機に搭載し、レーザーパワーとの連動で試作機の印字スピードの高速化を図った。

(目標 0.3WLDヘッド : 2 秒以下、0.6WLDヘッド : 1 秒以下 1mm□)

高速化による印字サイズ 2mm□-3mm□の実用可能性を探った。

【1-5】印字・検査・オートフォーカス時間の短縮アルゴリズムの開発

(平成 27 年度)

大阪大学が 0.3Wヘッドを用いて光学的な調整を行い、(株)ソフトサービスがオートフォーカスの制御とソフトウェア開発を行った。他社に無い特徴である印字光学系に検査機能を内蔵しその場で印字結果を確認できる技術を生かすため、オートフォーカスの時間 (1 秒) と正解率 (99%以上) を高めたインライン用レーザーマーキング装置試作機を開発した。

H27 年度結果 0.3Wで印字 2.2 秒、オートフォーカス 0.8 秒、検査 0.4 秒【合計 3.4 秒】を実現。このオートフォーカスアルゴリズムは特許出願した。(特願 2016-013977)

(平成 28 年度)

大阪大学が 0.3,0.6WLDヘッド評価機を用いて更に光学的な調整を行い、(株)ソフトサービスがオートフォーカスの制御とソフトウェアの改善を図り、フォーカス時間を 0.5 秒に短縮したユニットをインライン用レーザーマーキング装置試作機に搭載し、試作機の性能改善を図った。

(目標 0.3WLDヘッド印字 2 秒、オートフォーカス 0.5 秒、検査 0.4 秒【合計 2.9 秒】)

0.6WLDヘッド印字 1 秒、オートフォーカス 0.5 秒、検査 0.4 秒【合計 1.9 秒】)

【1-6】装置化 1mm□印字 現在 3 秒⇒1 秒

(平成 27 年度)

【1-1】～【1-5】の(株)ソフトサービスと大阪大学で開発したユニットと技術を融合させて、インライン用レーザーマーキング装置試作機を開発した。(株)カシワが(株)ソフトサービスより支給された部品を使って機械精度±10μmの性能と平行度 0.01 を確保した装置に仕上げ、0.3WLDヘッド搭載インライン用レーザーマーキング装置試作機で 1 mm□の印字速度 2.2 秒を達成した。印字の評価には表面粗さ測定器とレーザー変位計を使用した。

(平成 28 年度)

【1-1】～【1-5】の(株)ソフトサービスと大阪大学で改良したユニットを、(株)カシワがインラ

イン用レーザーマーキング装置試作機に組み込み、0.6Wレーザーヘッドで1mm口の印字速度1秒を達成した。(0.3Wレーザーヘッドは印字速度1mm口2.2秒)

これらの性能を達成するため、剛性UP等の対応を(株)ソフトサービスと(株)カシワで行った。

0.6WLDヘッド印字1秒、オートフォーカス0.5秒、検査0.4秒【合計1.9秒】

高速化に伴い印字サイズ2mm口、3mm口の可能性を探った。

また、マーキング品質の確認には3次元計測が可能なデジタルマイクロスコープを使用して仕上がり状態を微細に観察し川下企業へのPRに活用した。

(平成29年度)

(株)ソフトサービスがインライン用レーザーマーキング装置試作機をアドバイザー企業や他の企業にモニタリングし、(株)カシワがその内容に応じて試作機へのフィードバックを行った。

装置の事業化を前提に、量産仕様には供給の安定化と性能向上を目指して、LD光源を従来のルネサス製から日亜化学工業製に変更し、大阪大学は新規採用したLDの評価と光学系の再製作を保有する波面センサーや各種測定機を使用して行った。

2. 金属・樹脂への微細3次元レーザーマーキングへの対応

従来のレーザーマーキング装置では実現できなかった各種金属や新機能樹脂への印字が可能となる微細3次元用レーザーマーキング装置試作機を開発し、高付加価値商品への隠し印字やトレサビリティを可能にする。レーザーにはファイバーレーザーを採用した。

高付加価値商品は、ステンレス・チタン・アルミ等の金属材料や新機能樹脂材料を多く使用しており形状も複雑な場合が多い。他社と技術的なアプローチの違いは、光学系を複雑化するのではなく、装置側でシンプルに3次元制御し、レーザー光による印字は常に印字する物の真上から行うようにすることで高精細、高品質の印字を実現可能とする点にある。下記研究開発項目を設けて開発を行った。

【2-1】光集光技術(波面調整) 目標値変更(集光径10 μ m(半値幅)以下)

28年度目標値 印字幅 20 μ m以下とする。

(平成27年度)

大阪大学が、ファイバーレーザーヘッド評価機の製作と、ビームプロファイラーを用いた性能評価試験を実施して、ファイバーレーザーの集光特性と各種金属への吸収特性を把握し、3次元用レーザーマーキング装置試作機に搭載するファイバーレーザーモジュールの仕様を決定した。その結果、応答性能の問題から、当初計画のシングルモードからマルチモードのレー

ザーへの変更に伴い、集光径が $9.8 \times 8.5 \mu\text{m}$ (半値幅)となったが、印字幅は $21 \mu\text{m}$ ができるため評価はOKとした。

(株)ソフトサービスが仕様に基づき、集光径 $20 \mu\text{m}$ 以下を達成するレーザーモジュールを製作し、このファイバーレーザーヘッドを搭載する装置(試作機)を完成させた。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスが 3 次元用レーザーマーキング装置試作機のソフト開発から始め、下期より、性能評価を実施して集光径に関する課題を抽出し、大阪大学がファイバーレーザーヘッド評価機を用いて集光径に関する課題解決を図った。その結果を受けて、(株)ソフトサービスが 3 次元用レーザーマーキング装置試作機の性能改善を図った。

【2-2】ファイバーレーザーの高速 ON/OFF 制御応答性 $10 \mu\text{s}$ 以下

(平成 27 年度)

(株)ソフトサービスが、印字の高精細化、高品質化に向けて、ファイバーレーザーの応答性について調査、当初採用予定のファイバーレーザーが応答性に難があることが判明、代替のファイバーレーザーを確保するため、電源の特性評価(確認項目 $10 \mu\text{s}$ 以下で応答すること。)を実施し、加工性能については大阪大学で評価試験を実施した【2-1】。その結果 3 次元用レーザーマーキング装置試作機に搭載するファイバーレーザーを決定し、装置側のインターフェースを確認し装置設計に反映した。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスが、3 次元用レーザーマーキング装置試作機の性能評価を実施して高速 ON/OFF 制御方式の性能改善を図り、制御応答性 $10 \mu\text{s}$ 以下を達成することができた。

大阪大学は、さらなる微細加工に必要な高速応答性のファイバーレーザーユニットの基礎研究を行い、パルス、CW両方で高速に ON/OFF できるファイバーレーザーを実現する変調方式を開発した。

(平成 29 年度)

(株)ソフトサービスは、印字の微細化(CW, パルス)、高速化が不可欠な用途に新レーザーユニットを搭載した。

【2-3】印字応答性をベースに印字パターン生成方法の開発 平面 1 秒/1mm \square (目標変更)

(平成 27 年度)

(株)ソフトサービスが、3D 曲面への印字に向けて、高速全面印字方式（QR コード、バーコードなど）の平面印字技術、および一筆書き印字アルゴリズムとの連動（文字など）による印字パターン生成方法を考案し、次年度 3 次元用レーザーマーキング装置試作機に搭載した。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスが 3 次元用レーザーマーキング装置試作機の性能評価を実施して印字パターン生成方法の改善を図り、平面 1mm 口の印字速度 1 秒を達成した。

【2-4】3D 駆動技術の開発

(平成 27 年度)

(株)ソフトサービスが立体物へのマーキングを実現するために、5 自由度+ヘッド 2 軸の機構を考案し、3D CAD との連動で印字位置を決定し、ワークとレーザーの焦点距離を一定に管理しながら移動できる機構を開発した。本機構とその実現方法について特許を出願した。

(特願 2016-014074)

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスが、自由曲線制御ソフトウェアに直線補間やキュービックスプライン関数による補間技術を組み合わせて、5 自由度印字（研究開発項目【2-5】）が可能な 3D 駆動技術と立体物への局所微細マーキング技術を開発した。

(平成 29 年度)

5 自由度印字が可能な 3D 駆動技術と、立体物への局所微細マーキング技術を完成させた。

【2-5】5 自由度印字機構 位置決め精度 $\pm 20\mu\text{m}$

(平成 27 年度)

当初の計画に対し、ファイバーレーザーヘッドが大きく、可動させるには重量が重すぎるため、機構を変更し 5 自由度で、ワークの 3 次元世界座標に変換する方法に変更した。5 自由度印字機構で試作機（機構部・制御部）を完成した。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスが上記機構のソフトウェアを完成させ、3 次元用レーザーマーキング装置試作機の性能評価を実施して、5 自由度印字機構の改善を図り、位置決め精度 $\pm 20\mu\text{m}$ の制御を実現した。

【2-6】装置化 5自由度印字機構 10 μ mフォーカス、20 μ 幅 3D印字

(平成27年度)

【2-1】～【2-5】の(株)ソフトサービスと大阪大学で開発したユニットと技術を融合させて、3次元用レーザーマーキング装置試作機を開発した。(株)カシワが(株)ソフトサービスより支給された部品を使って、機械精度 $\pm 10\mu\text{m}$ の性能と平行度0.01を確保した装置を製作し、機構部・制御部・ヘッド部からなる試作装置が完成した。

(平成28年度)

【2-1】～【2-5】の(株)ソフトサービスと大阪大学で改良したユニットを、(株)カシワが3次元用レーザーマーキング装置試作機に組み込み、10 μ mフォーカスと3D印字を実現させた。試作機の印字評価には、表面粗さ測定器とレーザー変位計及び3次元計測が可能なデジタルマイクロスコープを使用した。

(平成29年度)

(株)ソフトサービスが、3次元用レーザーマーキング装置試作機をアドバイザー企業や他の企業にモニタリングし、(株)カシワがその内容に応じて試作機へのフィードバックを行った。

大阪大学は保有する測定機を使ってレーザー光学系ユニットの改良を引き続き進めて事業化に備える。

3.微細・高精度レーザーマーキングへの対応

半導体業界において「偽装チップ」が問題となっており、偽造品対策には必ずマーキングの需要が高まると想定して、より微細なマーキング技術の確立によりIC用レーザーマーキング装置試作機を完成させる予定であった。しかし我々が調査可能な川下ユーザー範囲では、装置の需要は現状では存在していないことが分かった。開発中の微細マーキングの技術を生かして事業化を実現するには、ターゲットを変更して需要のある分野へ方向転換を図ることが得策と考えた。

開発中の3-1、3-2の技術を生かせる市場を開拓し、最終年度の平成29年度に装置化を実現した。

【3-1】(方式1)集光技術 集光径を10 $\mu\text{m}\Phi$ から5 $\mu\text{m}\Phi$ へ

(平成27年度)

大阪大学が、0.175Wの青色半導体レーザーヘッドにより集光径を5 μm 以下にする技術を開発し、ICマーキング用レーザーヘッド評価機の製作とビームプロファイラーを用いた性能評価試験を実施して、IC用レーザーマーキング装置試作機に搭載する青レーザーヘッドの仕様を決

定した。(株)ソフトサービスが仕様に基づき青レーザーヘッドを製作し、評価用テストベンチを製作し評価する環境を整えた。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスは、テストベンチにて、評価を行い、その評価結果を大阪大学にフィードバックし、大阪大学が青レーザーヘッドの改良を行い、保護膜への 0.1mm 口の印字ができる最適な集光径を持ったヘッドを開発した。

【3-2】(方式1) 印字サイズ超極小化 1mm 口から 0.1mm 口へ 1 秒/0.1mm 口

(平成 27 年度)

(株)ソフトサービスがシャフトモーターによるレンズ駆動微細往復ユニットを製作して、超微細 2 次元描画技術を開発し、分解能 0.1 μm 以下を実現した。

(平成 28 年度)

(株)ソフトサービスが、レンズ駆動微細往復ユニットに青レーザーヘッドモジュールを組み込み、2 次元描画ユニットを開発し、テストベンチ上で印字サイズ 0.1 mm 口を実現した。

(平成 29 年度)

【3-1】【3-2】について、(株)ソフトサービスが試作した微細レーザーマーキング装置試の性能評価を実施して課題を抽出し、印字サイズ 0.1mm 口、印字速度 1 秒を達成した。

【3-3】 見えないマーキング (紫外線で見えるマーキング) 1.5 秒/1mm 口

(平成 27 年度)

大阪大学が見えないマーキング用レーザーヘッド評価機の製作と性能評価試験を実施して通常は肉眼で見えない新しいタイプのマーキングを開発する (実施中・年度内に評価完了予定)。原理は蛍光分散染料を塗布した IC パッケージの表面に蛍光分散染料を塗布して印字すると染料がパッケージに数 μm 浸透するため、紫外線を当てると印字が浮かび上がって見える。これを実現するために蛍光分散染料の吸収係数が高い赤色レーザーを用いた赤レーザーヘッドの仕様を決定した。

(平成 28 年度)

ソフトサービスは、見えないマーキング用レーザーヘッドをテストベンチにて、評価を行い、その評価結果を大阪大学にフィードバックし、大阪大学が赤レーザーヘッドの改良を行い、樹脂パッケージへ 1mm 口の印字ができる最適な集光径を持ったヘッドを開発した。

このテーマに関しては、事業化には未だ時間がかかるため、今後も大阪大学が独自で継続することとなった。

【3-4】装置化

(平成 27 年度)

試作機の概要構想を行うために、テストベンチを製作・評価できる環境を整えた。テストベンチでの評価結果を踏まえた仕様書作成を行い、目標をテストベンチ製作に変更し完成した。

(平成 28 年度)

【3-1】、【3-2】で確立した技術と、(株)ソフトサービスと大阪大学で開発したレーザーヘッドユニットを組み合わせ、テストベンチで評価した結果を反映させ、最も市場に受け入れられる方式を選択し、金型・ダイヤモンド工具微細加工装置の企画構想を行った。

(平成 29 年度)

H28 年度に企画構想まで終えた機構部・制御部に加えて、ソフト開発を行い、試作装置を製作し完成させた。この装置を使って、各種加工やマーキングを川下企業に提示し、評価をして頂きながら量産可能な装置に仕上げた。

大阪大学は試作装置に搭載するファイバーレーザー用の光学ユニットの開発を担当した。大阪大学が保有する光学系の技術と測定装置を使って、川下ユーザーの要求に応える微細加工を実現させるべく開発を進めた。

試作機の加工・マーキング評価には、表面粗さ測定器とレーザー変位計及び3次元計測が可能なデジタルマイクロスコープを使用した。

最終章 全体総括

極小マーキング用のレーザーマーカを開発にあたり、浅く高精細なマーキング、立体物へのマーキング等の「新しいニーズ」に対応するために、本研究ではレーザーの出力・ビーム系の調整・集光技術開発とともに、レンズ駆動方式という独自の技術を使った微細かつダメージの少ない事の特徴とする、「インライン用レーザーマーキング装置」、「3次元用レーザーマーキング装置」、「金型・ダイヤモンド工具微細加工装置」の3機種を目的に応じて完成させることができた。

これまでに開発した高精細・極小・浅いマーキング技術では、印字の品質は非常に高いが、印字の速度に課題があった。レーザーの高出力化、ビーム系の拡大、レンズ駆動の高速化等により印字速度を改善し、「インライン用レーザーマーキング装置」を開発した。

従来のレーザーマーカでは不可能であった各種金属製あるいは新機能樹脂製ワークへの3次元(立体)マーキングへの展開として、高出力のファイバーレーザーを用い、高速応答、20 μ mフォーカス等の技術開発と同時に、5自由度印字機構を改善し、大阪大学、(株)カシワと技術協力を重ねながら「3次元用レーザーマーキング装置」が完成した。

超微細で高精度なレーザーマーキングに対しては、大阪大学が開発したレーザーヘッドを(株)ソフトサービスにてレンズ駆動微細往復ユニットに組み込み、印字サイズ0.1mm \square 、印字速度1秒を達成した。市場の需要の現状を把握によりサブテーマを変更し、「金型・ダイヤモンド工具微細加工装置」を試作した。隠しマーキング用レーザーヘッドに関しては、事業化に向けた開発を大阪大学にて継続する予定である。

本事業での研究開発の結果、最も市場ニーズがあると予想した電子基板のマーキング分野より、レーザーマーキング装置の受注があり、事業化を達成しつつ、現在その開発、完成に向けて注力しているところである。