

令和2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

「1.5GPa級の超ハイテン材に対応した高耐久刻印と、
刻印の性能を観察・評価して刻印寿命を向上させる打刻技術の開発」

研究開発成果等報告書

令和3年5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人さいたま市産業創造財団

目次

第1章 研究開発の概要	- 3 -
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	- 3 -
1-2 研究体制	- 7 -
1-3 成果概要	- 8 -
1-4 当該研究開発の連絡窓口	- 9 -
第2章 本論（開発サブテーマごとに記載）	- 10 -
【1】 1.5GPa 級超ハイテン材用高耐久刻印の開発	- 10 -
【1-1】 刻印文字山の表面性状を向上させる加工技術の開発	- 10 -
【1-2】 稜線エッジ部の面取りまたはR形状化を可能にするエッジ除去加工技術の開発	- 12 -
【1-3】 打刻された文字の品質、刻印文字の真贋性を保証する計測技術の研究開発	- 14 -
【2】 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を活用したSTP 応用打刻技術と高耐久刻印の 寿命に直結する加圧力を低減させるSVS 打刻技術を搭載したサーボ打刻機の開発	- 16 -
【2-1】 1.5GPa 級超ハイテン材に打刻可能な構造解析を用いた10tf 能力サーボ打刻機の開発	- 16 -
【2-2】 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を応用したSTP 打刻技術の開発	- 17 -
【2-3】 打刻時の加圧力を低減させるSVS 打刻技術の開発	- 19 -
最終章 全体総括	- 21 -
3-1 本技術開発全体の研究開発成果	- 21 -
3-2 事業化展開	- 22 -

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) 研究開発の背景

年の自動車は、燃費向上と環境保全を目指してさらなる軽量化が要求されている。ボディ鋼板やトラックフレーム鋼材を薄くすることが最も有効な手段であるが、軽量化と衝突安全性を両立させる必要がある。そのため、自動車用鋼板は 0.5GPa 以上の引張強度を持つ高張力鋼板（ハイテン材）が用いられるようになった。鉄鋼板以外の素材としてアルミニウムやマグネシウムの他、チタンや CFRP などが話題となっているが、生産コストの観点から超高級車などの部分的使用に限定されている。したがって、ハイテン材は今後も使用範囲の拡大が確実視されており、また、ハイテン素材の高強度化に向けた材料開発が進められている。

一方、自動車の車台番号は法規要件から交換不可能な骨格部品に刻印を用いて打刻しなければならない。が、この骨格部品は衝突安全性を確保するためにハイテン材を使用され、年々高度化が進んでいる。（現在はアンダーフロアの側面衝突時に衝撃を受け止める「フロントフロアクロス」という部品に打刻されてる）

ところが、ハイテン材の高強度化は、刻印にとっては耐久性や打刻技術の難易度が上がるため、刻印の耐久性不足による摩耗・破損などの精度不良が発生し、打刻設備の能力不足など多くの課題が生じている。ハイテン材の高強度化は、刻印技術にとって従来の設備や技術では対応できない（図 1-1）。

さらに、自動車業界のトレンドに合わせて、電気自動車(EV)や燃料電池車(FCV)の割合が増加してきても、ボディの軽量化と衝突安全性確保の背反両立の課題に変わりはない。ハイテン材から超ハイテン材へのシフトは鋼板全体の使用率が 2015 年の 27%から、2025 年には 60%と予想されている。ますますハイテン

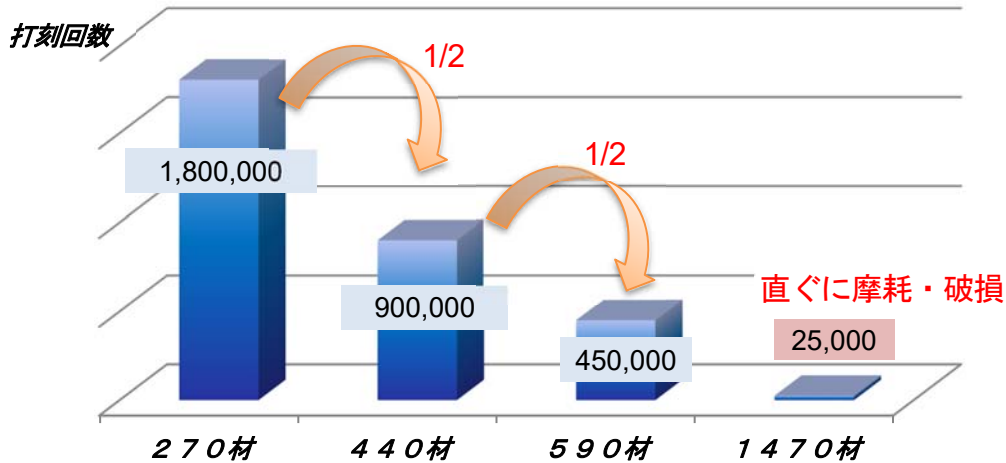


図 1-1 ハイテン材に対する従来刻印の摩耗寿命の関係
(開発前の刻印による試験結果)

材の使用率が増加すること、並びにハイテン材が高強度化していくことは確実であり、**高耐久刻印の開発と打刻技術の確立**が望まれている。適正な価格で提供できる高耐久刻印と、打刻機の開発が急務である。

2) 研究目的及び目標

(1) 当該特定ものづくり基盤技術において達成しようとする高度化の目標

(三) 精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(4) 川下分野特有の事項

4) 自動車分野に関する事項

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 衝突時の安全性向上 および イ.軽量化

(2) 本研究開発の技術的目標

本研究開発では、2つの技術開発目標【1】と【2】に分けて取り組んだ。【1】は、将来実用化が予定されている 1.5GPa 級の超ハイテン材にも対応する刻印の開発である。通常、自動車の車台番号用の刻印は、36文字の1セットで提供される。これらの刻印を「適正な価格」で、かつ「高耐久」に製造する技術開発を実現する。刻印材質の検討、文字彫刻の一刀彫りおよび表面仕上げや表面改質処理などについて新技術を活用した刻印製造技術の確立を目指す。【2】は、超ハイテンに対応した打刻機と打刻技術の開発を目指す。打刻機には、打刻状態をモニタリングする機能、打刻結果をスムーズに評価する機能も付加する。資材の搬送やセンシング、打刻情報データの整理などを一元化し、ヒューマンエラーを撲滅したシステムとする。開発した「IoT 打刻機」を用いて、超ハイテン材に対する打刻の加圧力を低減する打刻技術を検討する。

【1】1.5GPa 級超ハイテン材用高耐久刻印の開発

先行研究において、素材の選定や表面処理との組み合わせについて検討し、一定の成果は得られたが、超ハイテン材に対しては刻印の寿命改善の効果は小さく、すぐに破損することが分かった。破損した刻印は、打刻の繰り返し荷重に伴って一刀彫りのツールマークを起点とした剥離が一要因になっていることを突き止めた。そこで、刻印文字の側壁面【1-1】およびコーナ部【1-2】を効率よく面粗度向上できる技術開発を優先した。また刻印の文字と、打刻された文字の転写性を評価する手法【1-3】について検討する。

高耐久刻印の開発のために分類した3つの研究開発について、それぞれに個別の目標を設定した。さらに、開発した刻印の総合評価として、製作された刻印文字山表面の面粗度を Rz(最大粗さ)で4 μ m以下とした。

【1-1】刻印文字山の表面性状を向上させる加工技術の開発

刻印文字山の表面性状を容易に向上させる加工技術として、小径軸付き砥石による超音波振動援用ヘリカルスキャン研削 (US+HS 研削) を提案した (図1-2)。US+HS研削とは、超音波振動(US)を軸付砥石の軸方向に付与し、さらにヘリカルスキャン(HS)研削と組み合わせる

ことで砥粒軌跡が緻密になり、粗粒の砥石でも加工面精度を向上させることが出来る研削方法である。下記の技術開発目標を設定した。

- ①彫刻カッタ成形時の切れ刃の面粗度向上…US 工具研削技術開発：刃面粗度 $Rz \leq 4 \mu m$
- ②刻印表面の面粗度向上…US/HS 加工技術開発：文字山面粗度 $Rz \leq 4 \mu m$

【1-2】稜線エッジ部の面取り又はR形状化を可能にするエッジ除去加工技術の開発

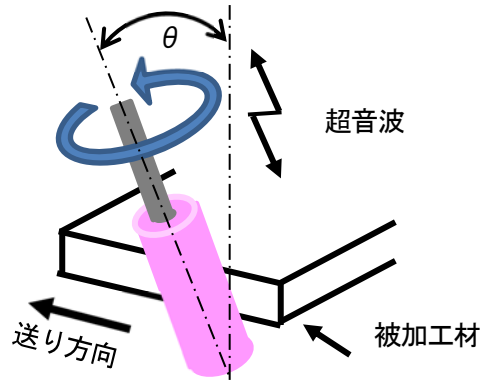


図1-2 文字壁面へのUS+HS研削加工の模式図

文字破損の起因となる刻印先端の稜線角部の加工技術として、2方式を考え実験・比較する。目標値は $R = 10 \mu m \sim 30 \mu m$ の範囲内であり、同時に加工時間も計測する。

- ① 彫刻カッタによる面取り加工技術開発 (図1-3)
- ② SP加工によるR形状化加工技術開発

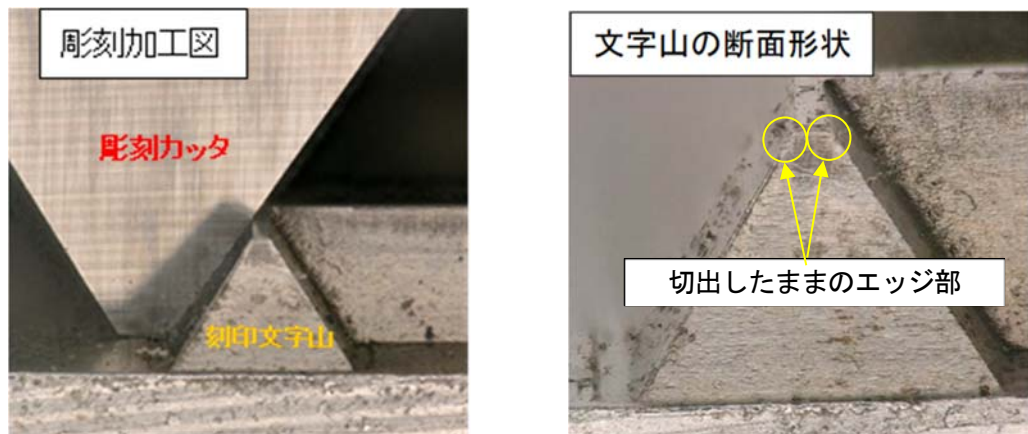


図1-3 総形彫刻カッタによる刻印文字山エッジのトリミング加工

【1-3】打刻された文字の品質、刻印文字の真贋性を保証する計測技術の研究開発

打刻された文字の品質、文字形状の真贋性を保証する計測技術の開発のため、刻印真贋性の評価項目の整理として下記項目の検証・精査を行った。

- ① 打刻文字の線長と深さ・加圧力の関係の検証
- ② 打刻深さと打刻溝幅の関係の検証
- ③ 同一文字内で意匠による深さの差の検証

【2】 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を活用した STP 応用打刻技術と高耐久刻印の寿命に直結する加圧力を低減させる SVS 打刻技術を搭載したサーボ打刻機の開発

2項は 1.5GPa 級超ハイテン材への打刻が可能な能力を有するサーボ打刻、および刻印の寿命に直結する加圧力を低減することが出来る打刻技術の開発として、以下の3つを上げた。

さらに本開発の最終評価として、1.5GPa 級超ハイテン材への耐久試験を行い 10 万回以上の著しい摩耗および文字欠けが発生しないことを目標とした。

【2-1】 1.5GPa 級超ハイテン材に打刻可能な構造解析を用いた 10tf 能力サーボ打刻機の開発

構造解析を用いて高剛性かつ最大打刻推力が 10tf 能力の打刻機の開発を行った (図 1-4)。

最大打刻推力 10tf ,文字「W」で 1470 材に打刻深さ 0.37 mm打刻可能なことを目標とした。

【2-2】 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を応用した STP 打刻技術の開発

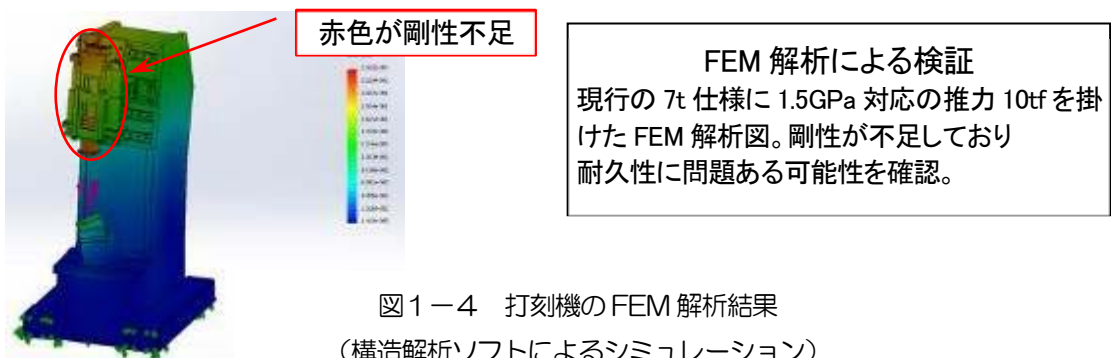
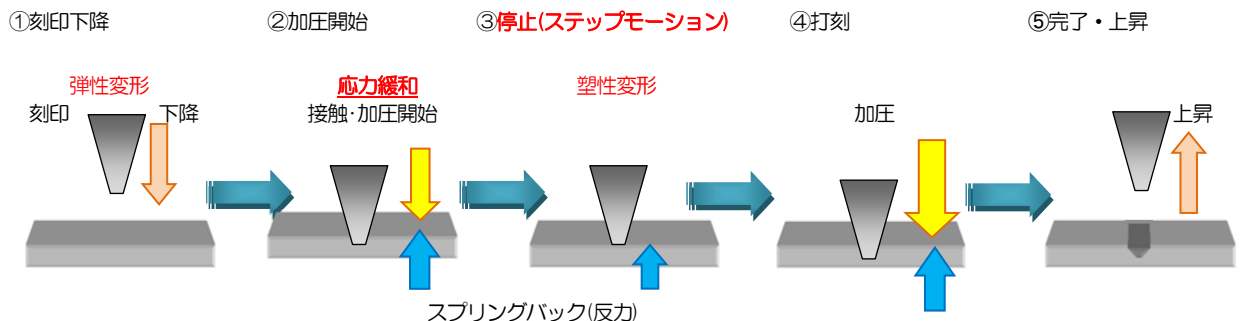


図 1-4 打刻機の FEM 解析結果
(構造解析ソフトによるシミュレーション)

本項目での開発内容は以下の2つである。

- ① 10tf サーボ打刻機の打刻状態がモニタリングできるセンシング機能の搭載…機能検証
- ② ステップモーション(STP)打刻技術の開発(図 1-5)…目標値は加圧力の低減率：20%以上



※弾性変形後に加圧を停止すると応力緩和が生じ、塑性変形時の加圧力が減少。刻印上昇時の食付きも低減。

図 1-5 STP 打刻の模式図

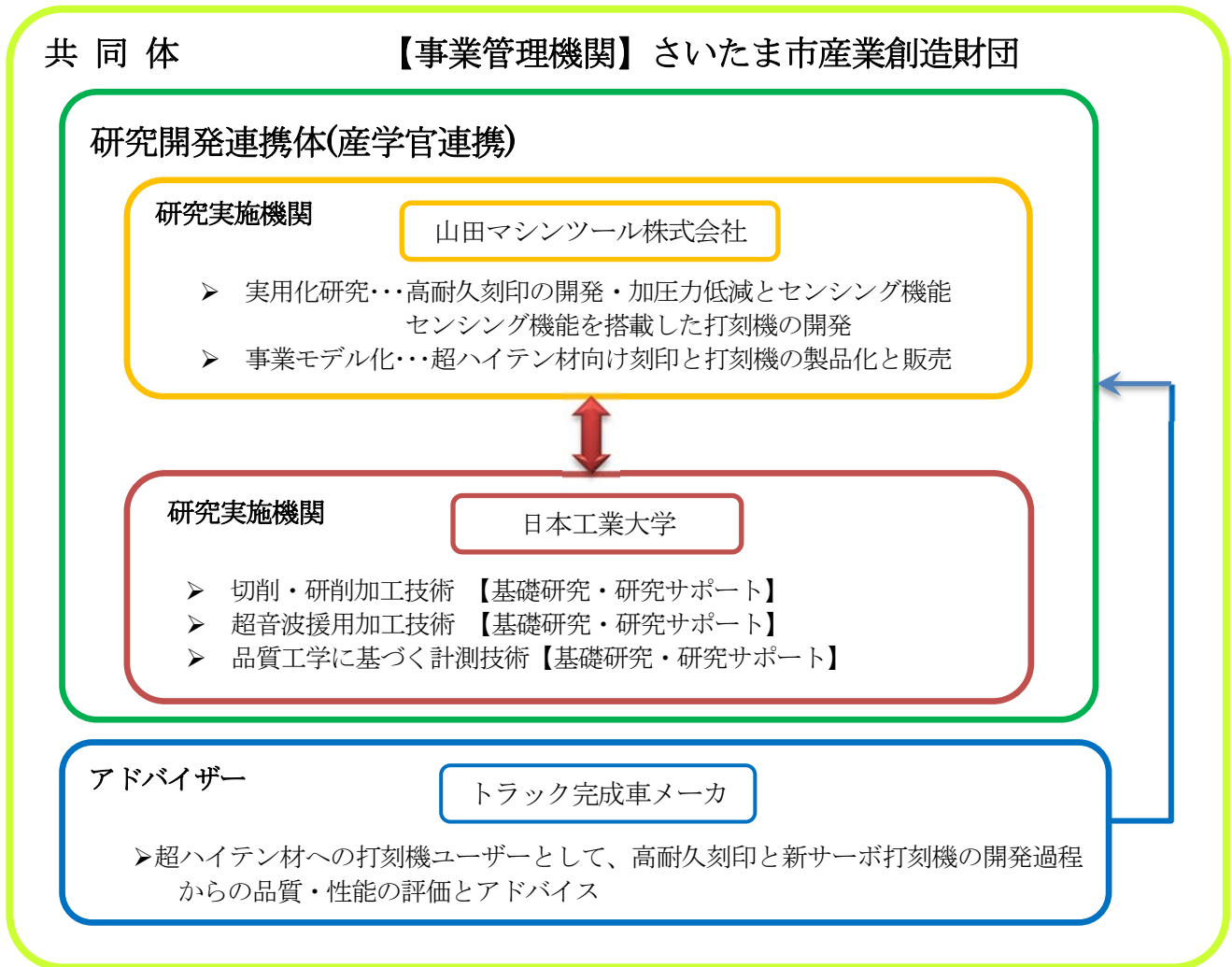
【2-3】 打刻時の加圧力を低減させる SVS 打刻技術の開発

本項目の開発内容は2つの方法を考えた。目標値は加圧力の低減率：20%以上

- ① R 台を使用し引張応力場を付与した SVS 打刻技術の開発
- ② 凸型刻印に対応する受け刻印を用いた SVS 打刻技術の開発

1-2 研究体制

1-2-1 実施体制



1-2-2 研究者等氏名

(1) 研究開発実施機関

山田マシンツール株式会社

氏名	所属・役職	備考
山田 雅英	代表取締役	総括研究代表者 (PL)
山田 庸二	専務取締役	開発全般を担当

学校法人日本工業大学

氏名	所属・役職	備考
二ノ宮 進一	学校法人日本工業大学 基幹工学部 機械工学科 教授	総括研究副代表者 (SL)

(2) 事業管理機関

公益財団法人さいたま市産業創造財団

氏名	所属・役職	備考
佐々木 哲也	事務局次長 兼 イノベーション推進課長	事業管理者
細田 昭彦	総務課長	経理担当者
坪井 俊洋	イノベーション推進課・産学連携コーディネーター	
赤坂 一志	イノベーション推進課・産学連携コーディネーター	
小沼 正幸	イノベーション推進課・課長補佐	
伊藤 隆司	イノベーション推進課・産学連携担当	
渡辺 朋子	イノベーション推進課・産学連携補助員	

(3) アドバイザー

トラック完成車メーカー シャシ担当生産技術部署

1-3 成果概要

各テーマの達成状況を以下に記す。

【1】 1.5GPa 級超ハイテン材用高耐久刻印の開発

【1-1】 刻印文字山の表面性状を向上させる加工技術の開発 → **令和2年度達成**

- ① 彫刻カッタ成形時の切れ刃の面粗度向上…目標値：刃面粗度 $Rz \leq 4 \mu\text{m}$ に対し $3.29 \mu\text{m}$
- ② 刻印表面の面粗度向上…開発技術で加工後の最終目標値：面粗度 $Rz \leq 4 \mu\text{m}$ に対し $2.29 \mu\text{m}$

【1-2】 稜線エッジ部の面取りまたは R 形状化を可能にするエッジ除去加工技術の開発 → **令和1年度達成**

精度目標値： $R = 10 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ の範囲内 と 加工時間の比較で方法を決定

- ① 彫刻カッタによる面取り加工技術開発… 全体が R 形状で計測不能 加工時間：2h 5min/1 文字
- ② SP 加工による R 形状化加工技術開発… 精度： $R=22.2 \sim 25.5$ 加工時間：13min/1 文字

※ 精度・加工時間共に②SP 加工が優れており採用を決定した。

【1-3】 打刻された文字の品質、刻印文字の真贋性を保証する計測技術の研究開発 → **令和2年度達成**

打刻された文字の品質、文字形状の真贋性を保証する計測技術の開発のため、刻印真贋性の評価項目の整理として下記項目の検証を行った。

(1) 打刻文字の線長と深さ・加圧力の関係の検証

同じ深さを得ようとした場合、張力違いにより加圧力が変わることを明らかにした。

(2) 打刻深さと打刻溝幅の関係の検証

深さと文字の線長、打刻溝幅の関係性の解析をした。

(3) 同一文字内で意匠による深さの差の検証

文字形状による打刻推力分布の調査し、同一文字内でも深さが変化することを明らかにした。

【2】打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を活用した STP 応用打刻技術と高耐久刻印の寿命に直結する加圧力を低減させる SVS 打刻技術を搭載したサーボ打刻機の開発

【2-1】 1.5GPa 級超ハイテン材に打刻可能な構造解析を用いた 10tf サーボ打刻機の開発

→ 令和 1 年度達成

構造解析を用いて高剛性かつ最大打刻推力が 10tf 能力サーボ打刻機の開発を行った。

目標値である最大打刻推力 10tf、文字「W」をサーボトルク 80%の設定値で 1470 材に打刻深さ 0.37 mm打刻可能なことを確認した。

【2-2】 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を応用した STP 打刻技術の開発

→ 令和 2 年度達成

① 10tf サーボ打刻機の打刻状態がモニタリングできるセンシング機能の搭載を完了した。

② ステップモーション(STP)打刻技術の開発 … 目標値は加圧力の低減率：20%以上

1470 材では繰り返し回数が3～4回で4～20%低減し、4～5回目以降は微増で効果が極端に少なくなることを明らかにした。

【2-3】 打刻時の加圧力を低減させる SVS 打刻技術の開発

→ 令和 2 年度達成

目標値は加圧力の低減率：20%以上

① R 台を使用し引張応力場を付与した SVS 打刻技術の開発

加圧力 10kN と 20kN で実験を行い、10kN で 6～9%、20kN で 4～5%深くなったが目標をクリアするまでの効果が無いことを明らかにした。

② 凸型刻印に対応する受け刻印を用いた SVS 打刻技術の開発

加圧力 30kN で実験を行い、20～30%の加圧力が減少することを確認し目標を達成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

研究実施期間：山田マシンツール株式会社 専務取締役 山田 庸二

e-mail：yoji@yamada-mt.co.jp

TEL:048-851-1122 FAX:048-851-1125

第2章 本論（開発サブテーマごとに記載）

【1】 1.5GPa 級超ハイテン材用高耐久刻印の開発

【1-1】 刻印文字山の表面性状を向上させる加工技術の開発

- ① US/HS 加工条件を検討するための、3D-CAD モデルによる研削痕のシミュレーションを行い、理論上の加工痕と複合加工機による US/HS 研削実加工痕の結果を比較した。

・複合加工機による US+HS 研削の環境整備

刻印文字山の微小壁面を効率良く仕上げ加工するために、小径軸付砥石による研削仕上げを行うことにした。しかし小径軸付砥石では砥粒数（有効切れ刃数）が少なく、良好な仕上げ面粗さを得ることが難しい。そこで、5軸複合加工機のミル軸側に 40KHz の超音波スピンドルを搭載し、小径軸付砥石を用いた US/HS 加工を提案した。小径軸付砥石は焼き嵌めチャックで取り付けられた（図2-1）。複合加工機の B 軸で砥石を傾斜させることでヘリカルスキャン研削を容易に行うことができる。図2-2に、5軸複合加工機に超音波スピンドルを搭載した状況を示す。この複合加工機は、超音波スピンドルを搭載できるように特別仕様としてカスタマイズしている。

超音波振動と砥石軸の傾斜により、適切な研削条件を選定することで、小径軸付砥石の砥粒軌跡を制御することが可能となり、比較的粗粒の砥石を用いても、砥粒軌跡同士が干渉し合い、緻密な研削痕を創成することができる。



図2-1 US+HS 研削に使用する工作機械と超音波スピンドル

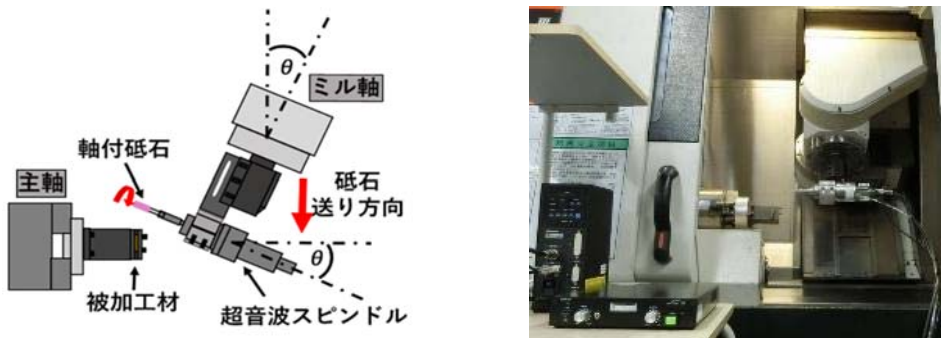


図2-2 複合加工機による US+HS 研削の模式図とセットアップ風景

• US+HS 研削面の 3D CAD シミュレーションと複合加工機での実加工面との比較

小径軸付砥石による US+HS 研削は、複雑な砥粒軌跡が干渉し合うため、加工面粗さを計算で推定することは容易ではない。そこで、単粒の砥粒軌跡を 3D CAD でモデリングし、パターンコピーによる CAD のブーリアン演算機能を用いてワークモデルを除去することによって、仮想砥粒痕の推定を行った。粒度 120 番の砥石の砥粒配置を想定して、実際に用いる研削加工条件で慣用研削と US+HS 研削の砥粒軌跡痕のシミュレーションを行った（図 2-3）。研削幅方向に 11 個の砥粒を配置して、砥石回転と送りを付与した時の砥粒軌跡は、3D モデルの断面を見ると、慣用研削では砥粒数が少なく砥粒の干渉がないために一定間隔の溝が直線的に形成されるが、US/HS 研削では、同じ砥石モデルであっても砥粒軌跡が重なり合い、研削面が緻密になっている。

実際の刻印材料に対して、5軸複合加工機による US+HS 研削を実施した結果、3D レーザ顕微鏡での観察した実際の研削面は、3D CAD の砥粒痕シミュレーションと結果と近似しており、US+HS 研削によって面粗度が向上していることを確認した（図 2-4）。

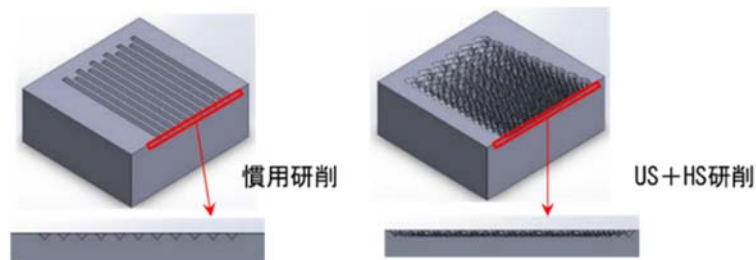


図 2-3 3D CAD による慣用研削と US+HS 研削の研削痕シミュレーション

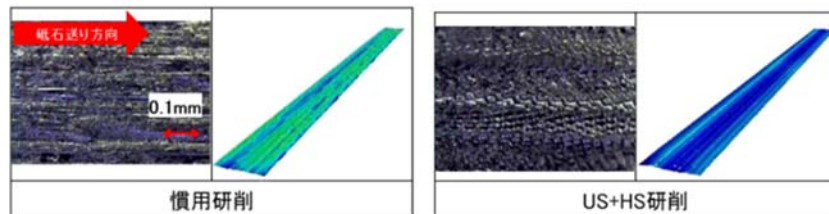


図 2-4 5軸複合加工機を用いた小径軸付砥石での実研削面の比較

② US 工具研削技術の開発

R01 年度に購入した US 発振器を 5 軸複合加工機に取り付けて、超硬カッタの刃面に対して US 研削による機内成形の検証を行った。刻印の文字を彫刻するカッタの表面品位を向上させることで、刻印の文字壁面のツールマークを抑制することを目指している。

日本工業大学において小径ダイヤモンド砥石による超硬工具材の機内成形の基礎実験を行い、超音波条件や研削条件を変更した研削結果から、最適な US 研削加工条件の割り出しを行った（図 2-5）。

基礎実験データを元に、山田マシンツールにおいて複合加工機の検証用データを作成して、US 研削のカッタ面粗度が慣用研削に比べて向上することを確認した。

超硬カッタへの US 研削は目標値をクリアし、その有効性を確認した（図 2-6）。

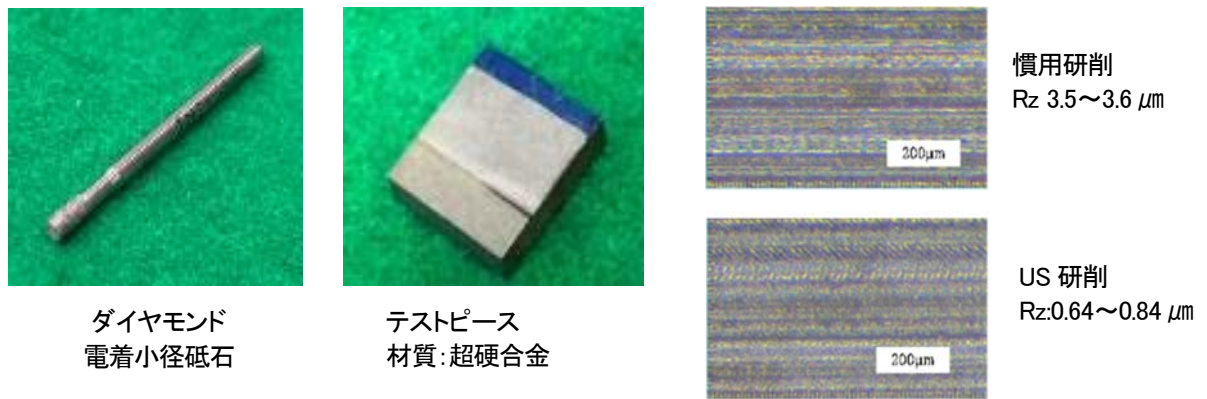


図2-5 ダイヤモンド砥石と超硬テストピースおよび研削結果

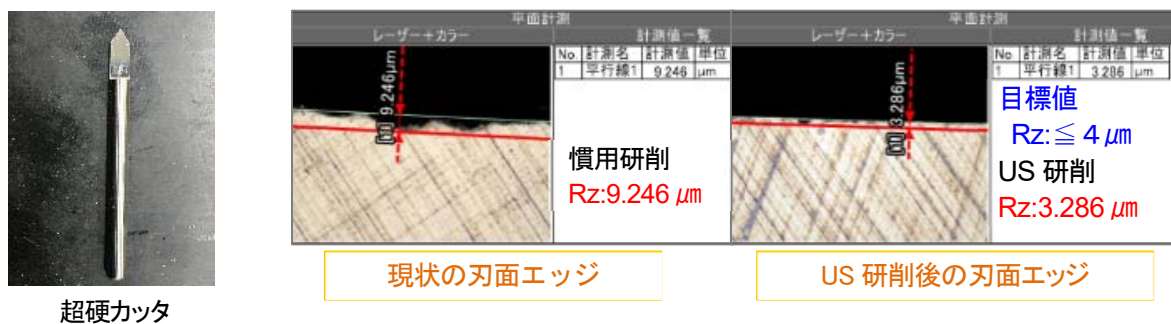


図2-6 彫刻カッタに対する慣用研削とUS研削の刃面エッジの比較

【1-2】 稜線エッジ部の面取りまたはR形状化を可能にするエッジ除去加工技術の開発

① 彫刻カッタによる面取り加工技術開発

彫刻カッタの稜線部の摩耗や破損を低減させるために、微細な面取りまたはR丸めを付与することを試みた。まずは、文字面に沿った面取り加工を施すため、彫刻カッタの刃面を後退させた工具を作成した(図2-7)。しかし、彫刻カッタの面取りする加工部(黄色○部)は20 μm と微小範囲で、成形の難易度が非常に高く工具成形の精度は安定しなかった(図2-8)。また、面取り加工の刻印文字精度も文字山全体が大きなR形状となってしまう、目標値には至らなかった。基準文字に対する加工時間はカッタ加工時間も含めて2時間5分/1文字であった。

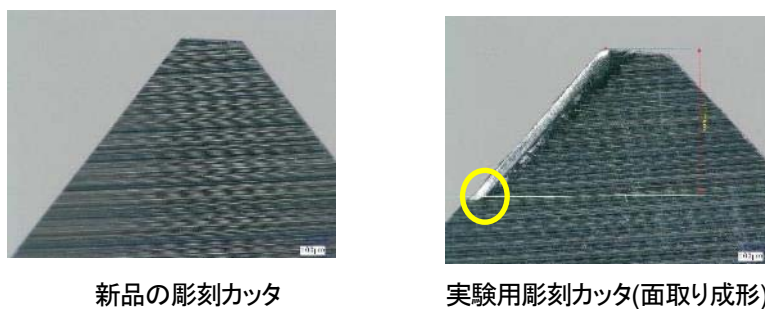


図2-7 刻印文字の面取り加工用彫刻カッタ

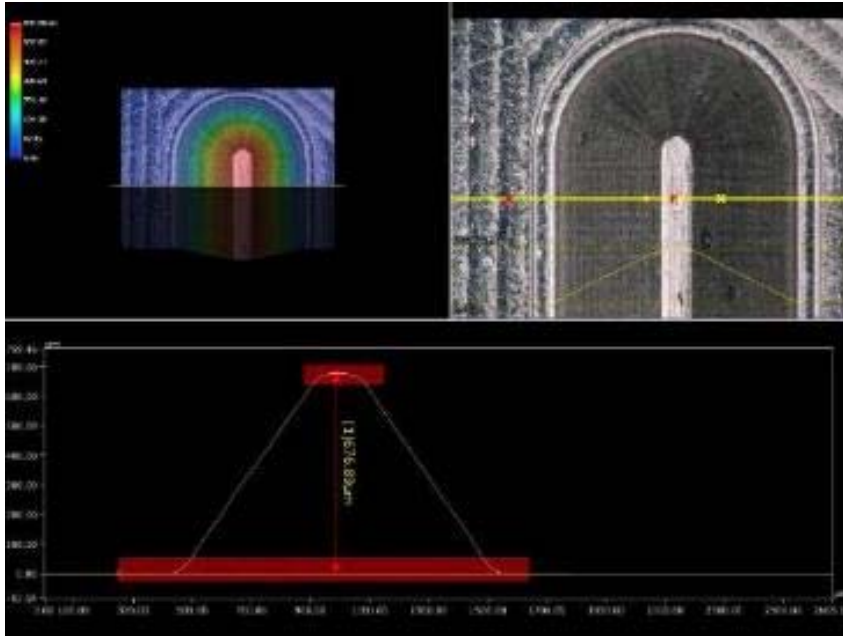
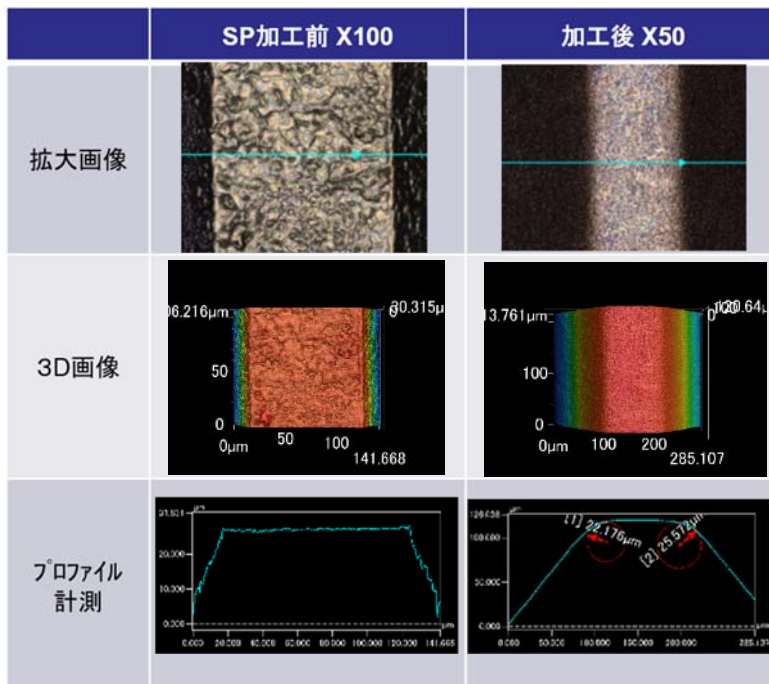


図 2-8 特殊彫刻カッタによる面取り加工成形結果

② SP 加工による R 形状化加工技術開発

特殊メディアを用いた SP 加工を試みた。この場合の加工精度は、文字の稜線角部のみで 22~25 μm と目標範囲内の R 形状に加工できることを確認した。また、R 形状に要する加工時間は基準文字で 13.5 分/1 文字であった（図 2-9）。

この結果から、稜線角部の面取り加工又は R 形状化の開発は、加工精度および加工時間の優れている SP 加工による R 形状化の加工技術の採用を決定した。



H30 年度調達設備形状解析
レーザ顕微鏡 VK-X1050

No.	計測名	計測値	単位
1	円弧R1	22.176	μm
2	円弧R2	25.572	μm

図 2-9 SP 加工の結果と測定機

〔刻印文字山の最終面性状〕

刻印文字の切削加工後と US+HS 研削後に SP 処理をした完成品の面粗度の比較を行った。慣用の切削加工後の面粗度 $Rz=11.4 \mu\text{m}$ に対し、開発した【1-1】と【1-2】の加工方法を組合せた時の完成品状態の面粗度は $Rz=2.3 \mu\text{m}$ 以内となり、大幅に向上することを確認した（図2-10）。

➤ 1-1 項 および 1-2 項の完了により、高耐久刻印の製造技術が確立した。

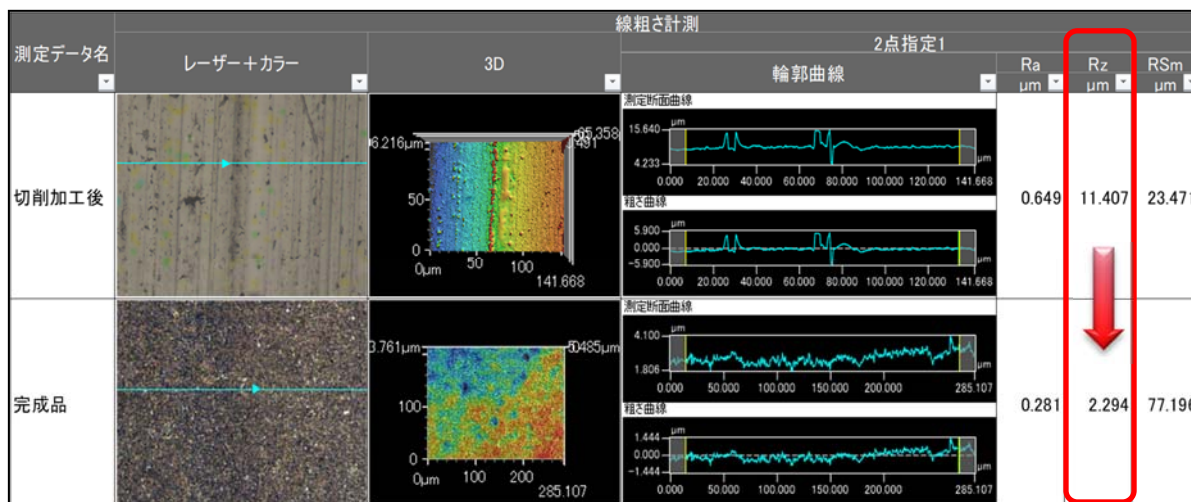


図2-10 完成品状態の最終面性状測定結果

【1-3】 打刻された文字の品質、刻印文字の真贋性を保証する計測技術の研究開発

(1) 超ハイテン材の種類を変更して打刻加圧力と打刻深さの関係の解析

超ハイテン材は、張力を示す数字が高くなるほど刻印文字の打刻が難しくなる。図2-11の左上段は刻印文字山の断面形状で、下段は3種類の張力の違う超ハイテン材に同じ10kNの加圧力で打刻した時の溝断面形状である。張力が高くなるにつれて溝の深さが浅くなり、溝角度が大きく拡がることが判る。

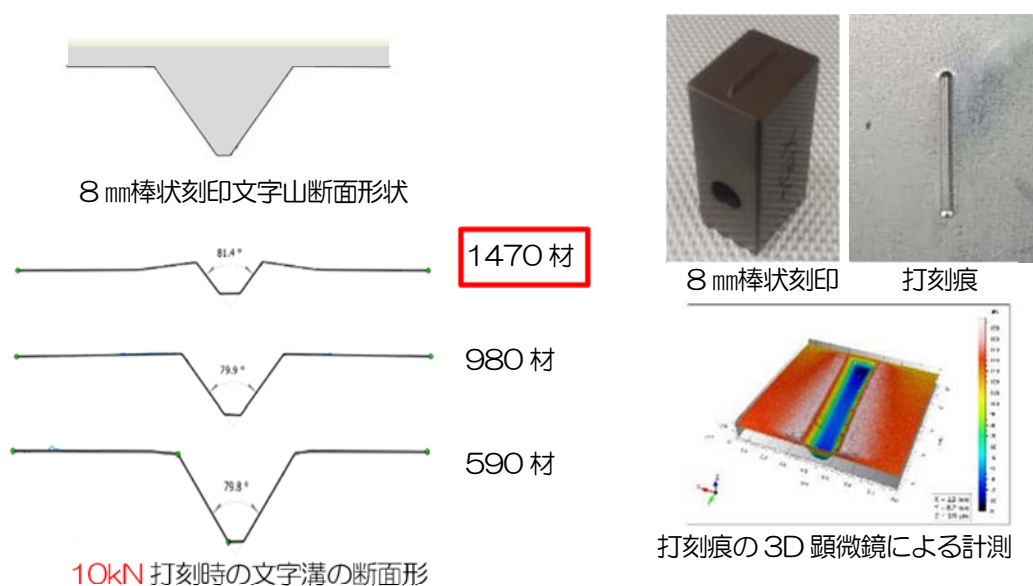


図2-11 刻印文字山の断面形状と同一荷重で打刻した3種類のハイテン材の溝断面形状

張力のランクが上がるほど、同じ深さを得るには加圧力を増加させる必要がある。さらに1470材では、打刻による塑性変形時に生じるブラウイングのような現象が顕著に発生することを示した。

(2) 文字線長と加圧力の関係、および打刻された文字溝の特徴量を抽出して有効な評価項目の検討

① 文字線長と溝深さ・加圧力の関係

実験を行う書体(フォント)の代表的な文字種毎の線長を(表2-1)にまとめた。

表2-1 実験で使用する代表的な字体の文字種毎の線長

文字	線長
0	20.00
1	12.50
2	26.00
3	27.00
4	21.20
5	27.10
6	23.30
7	16.00
8	27.00
9	23.30
A	20.15
B	29.80
L	14.30
W	31.00

打刻機にロードセルやひずみゲージを搭載して、溝深さと加圧力の関係を文字種毎に調査した。打刻溝の計測は3Dレーザ顕微鏡を用いた。溝深さと加圧力は、それぞれの文字種において直線的に増加することを確認した(図2-12)。

加圧力別の文字の線長と深さの关系到整理したものが図2-13である。両者は、加圧力別に曲線の関係で表され、文字線長が長いと必要な加圧力が増加することがわかる。

つまり、同じ深さを得る場合、線長が長いほど加圧力が必要になり、また、線長によって規定深さに達する加圧力も変化するため、これらのデータベースから、被打刻材の材質と線長が判ればサーボモータで設定するトルク値の正確な推測が可能となった。

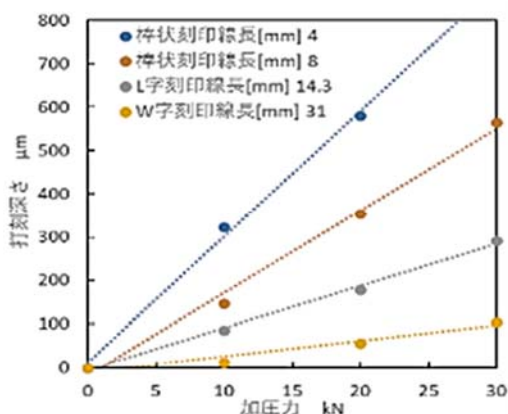


図2-12 線長別の加圧力と深さの関係

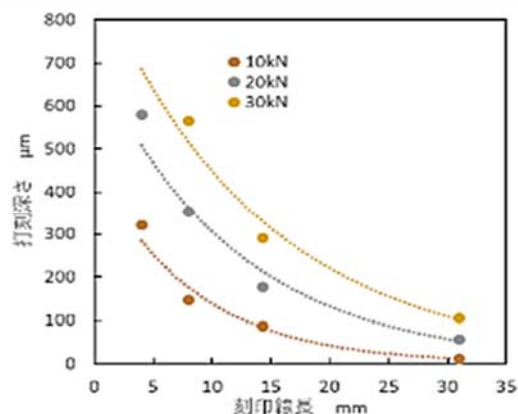


図2-13 加圧力別の線長と深さの関係

② 打刻深さと打刻溝幅の関係

ヒューマンエラー撲滅の検討として、簡易的に画像解析による打刻状態の監視を行うために、打刻深さと溝幅の相関関係を調査した(図2-14)。打刻溝を上方から観察すると、深さの測定よりも幅の測定の方が精度も確保しやすく効率的である。打刻時の超ハイテン材のスプリングバック量を把握することもできる。実験結果の一例を図2-15に示す。打刻深さと溝幅も比例関係で推移している。このことによりヒューマンエラー対策として、打刻後の品質確認に通常のCCDカメラ等を用いる場合に深さの代用として線幅が利用できることを明らかにした。

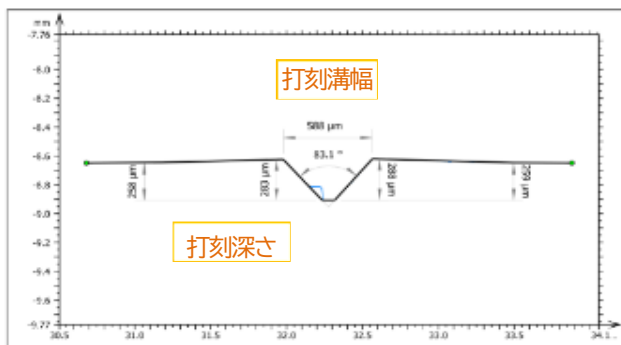


図2-14 打刻深さと溝幅の断面計測

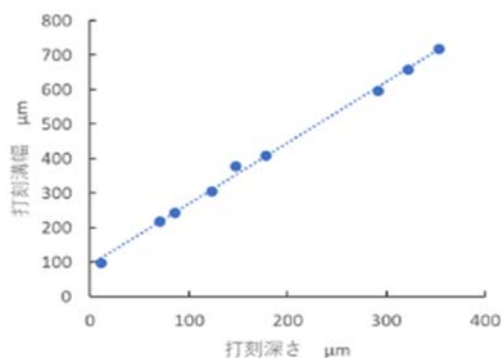


図2-15 打刻深さと溝幅の関係

また、CCDカメラやレーザー計測等の利用は、打刻した文字を光学文字認識（OCR）によりデジタル認識することで、製造上の管理も容易になる。刻印の破損だけでなく、取り付け間違いや抜けなども自動管理することが可能である。

(3) 同一文字内で意匠による深さの差の検証

文字形状による同一文字内での打刻推力分布の調査を行った。同じ文字の中でも文字形状により計測ポイントで深さが変わることを確認した(最大で約 0.1 mm)。また、同一字体の他社製刻印と当社製刻印では、打刻機の構造、彫刻加工の違い等から加圧力分散のベクトルに差が生じることを明らかにしたことから、文字の真贋性のデータベースとして応用可能と判断した。

- 上記 (1)から(3)の3項目を品質・真贋性を保証する計測のデータベースとすることを決定した。

【2】 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を活用した STP 応用打刻技術と高耐久刻印の寿命に直結する加圧力を低減させる SVS 打刻技術を搭載したサーボ打刻機の開発

【2-1】 1.5GPa 級超ハイテン材に打刻可能な構造解析を用いた 10tf 能力サーボ打刻機の開発

1.5GPa 級超ハイテン材に打刻することが可能な 10tf 能力のサーボ打刻機を開発した (図 2-16)。



図2-16 10tf 能力サーボ打刻機

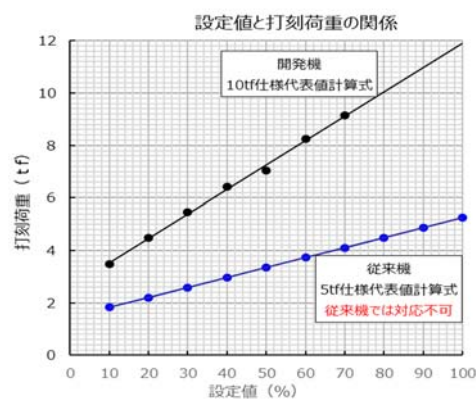


図2-17 設定値と打刻荷重の関係

高荷重に対する剛性計算は構造解析（FEM 解析）を使用した。また性能評価として、サーボモータトルク設定値と打刻荷重を計測し、設定値と荷重の関係はリニアに比例することを明らかにした（図2-17）。

開発目標は、①最大打刻推力 10tf、②文字「W」で 1470 材に打刻深さ 0.37mm 以上が可能なことに対し、開発機の検証では、文字「W」でサーボモータトルク設定値：58%、荷重：8tf、打刻深さ：0.371mm となり目標をクリアした。

【2-2】 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を応用した STP 打刻技術の開発

(1) 打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を搭載した 10tf サーボ打刻機の開発

H31 年度で開発した 1.5GPa 級超ハイテン材に打刻可能な 10tf 能力のサーボ打刻機に、各種センサを取り付け、センシング機能を搭載した IoT 打刻システムを試作した（図2-18）。6軸制御ロボットを両脇に配置して、自動搬送および自動計測も可能とした。文字認識、深さ計測および刻印欠損の判定が可能で、被打刻材の搬入から計測・搬出まで自動で行え、かつ打刻した文字をオンマシンで評価できる。この打刻システムのみで打刻品質の合否判定までの一連の流れを完結する。将来に向けたオンマシン計測での打刻工程のトレスビリティと IoT 打刻システムの基礎を構築した。

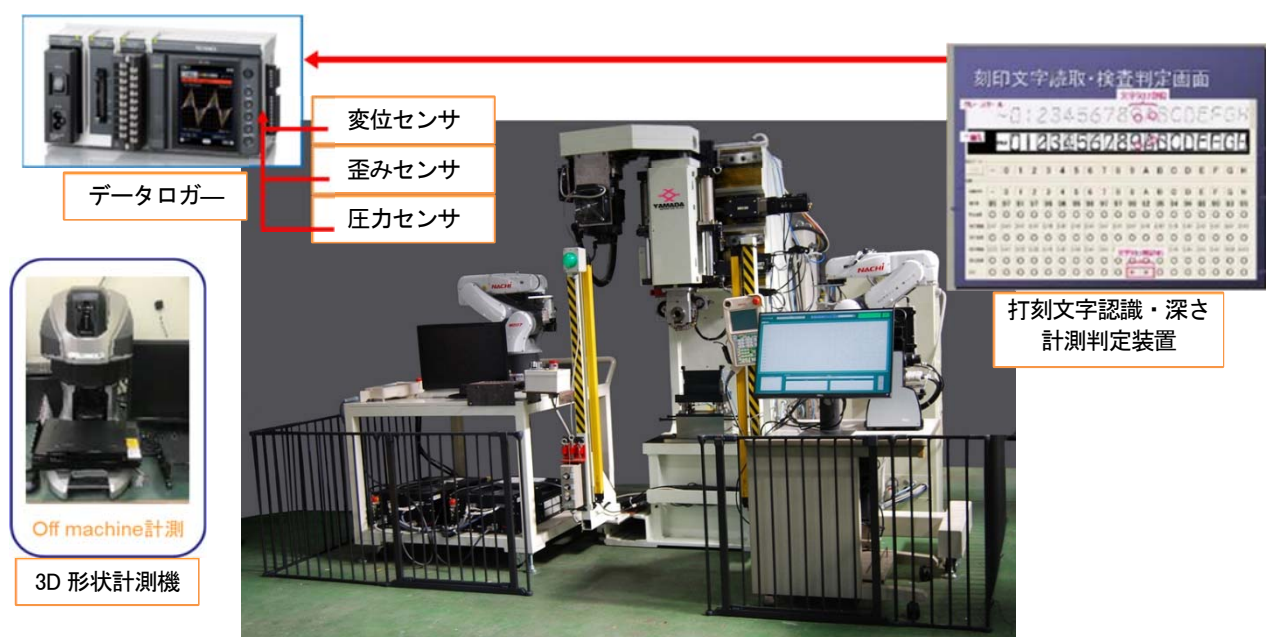


図2-18 センシング機能搭載 10tf サーボ打刻機

日本工業大学では圧縮型高精度荷重計（図2-19）を用いて、超ハイテン材に対して実際の打刻時に生じる正確な荷重および加圧時間の関係を調査した。また打刻時の加圧速度の影響も調べ、打刻条件の適正化が打刻状態の安定化に寄与することを明らかにした。さらに、開発した 10tf 能力打刻機と市販の汎用 5tf 打刻機（JAM：図2-20）との打刻の性能比較を行い、新打刻機の有用性を明らかにし、打刻システムのブラッシュアップを実施した。現在は、山田マシンツールオリジナルの IoT 打刻機の製品化に向けた取り組みを実施中である。



図2-19 5tf能力サーボプレス機



図2-20 圧縮型高精度荷重計とひずみゲージによる測定

(2) STP 打刻技術の開発（繰り返し打刻）

サーボプレスを用いた塑性加工（プレス加工）で用いられるステップモーションの動作を、打刻に応用するために実験を行った。刻印のストロークは 0.4mm 以内と僅少でかつテーパ状の刻印文字断面を超高イテン材に圧縮成形する打刻では、応力緩和現象を利用した効果を期待することは難しいと判断し、ここでは、簡易的に繰り返しによる打刻を行った。打刻文字「L」を 10kN・20kN・30kN の 3 種類の加圧力で 1 回から 8 回まで繰り返し打刻を行った。

STP 打刻技術の開発の目標値は加圧力の低減 20%以上であったが、1470 材では繰り返し回数が 3～4 回で 4～20%低減し、4～5回目以降は微増で効果が極端に少なくなることに、加圧力が大きくなるほど低減率は減少することを明らかにした（図2-21、表2-2）。

実用域は 30kN 以上であることから、STP 打刻単独での目標達成はできないと判断した。

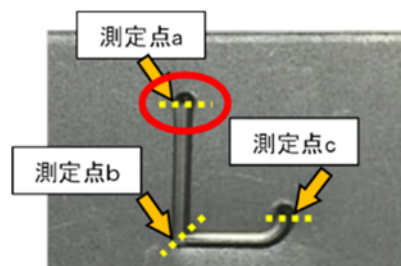
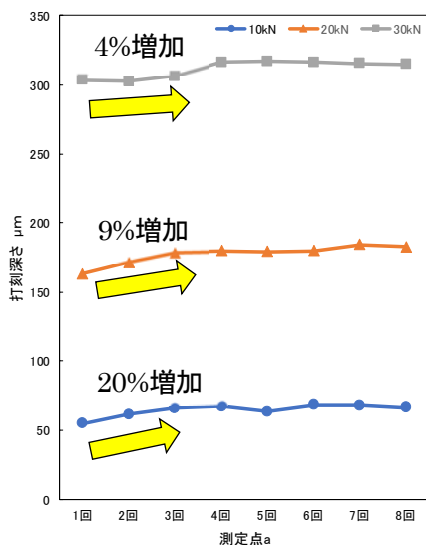


表2-2 測定点Aの加圧力別深さ実測

	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回
10kN	55.1	61.5	66.2	67.4	63.4	68.4	68	66.5
20kN	163.5	171.5	178.5	179.5	178.8	179.5	184	182.5
30kN	303.5	302.5	306.5	316	316.5	316	315	314.5

図2-21 加圧力別打刻深さと繰り返し

【2-3】 打刻時の加圧力を低減させるSVS 打刻技術の開発

サーボ打刻機による 1470 材への SVS (stress variable stamping) 打刻の基礎実験を行った。

実験は(1)R 形状台の表面に被打刻物を做させた状態で打刻する方法と、(2)凹凸型刻印を使用した打刻方法の 2 種類を実験検証した。

(1) R ダイを用いた SVS 打刻技術の検証実験

被打刻材に対して引張応力場を付与し、加圧力を低減させることを目的とした。

・ R 台を使用した SVS 打刻の効果検証

打刻時にハイテン材の下部で加圧力を受ける台は、通常平面である。ハイテン材を弾性変形範囲内で曲げ変形を付与した箇所から上部から打刻することを考案した。ハイテン材の上部は左右に引張り応力状態となるため、打刻時の応力を低減できるのではと考えた。半径 100mm の R 台に対し、10kN と 20kN の加圧力で線長 4 mm の棒状刻印で打刻し、カラーレーザー顕微鏡にて上中下の 3 ポイントを計測し、慣用の平台の結果と比較した (図 2-22)。

平台より R 台の方がどの測定点においても 4~9% 打刻深さが深くなったが、目標をクリアするまでの効果が無いことを明らかにした (図 2-23)。

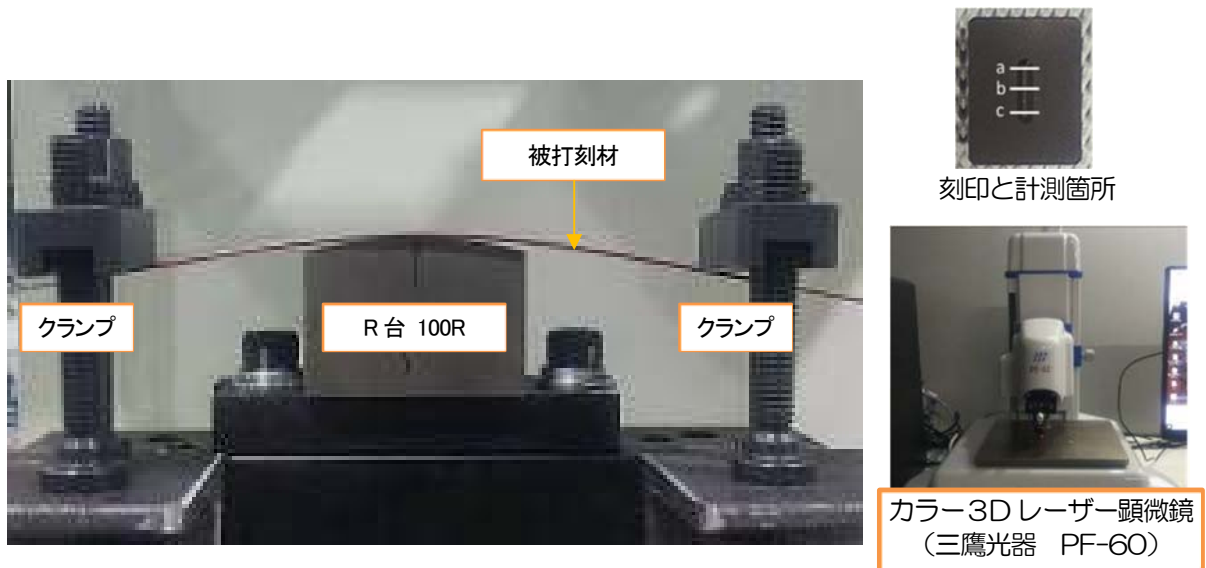


図2-22 R台によるSVS打刻 セットアップ

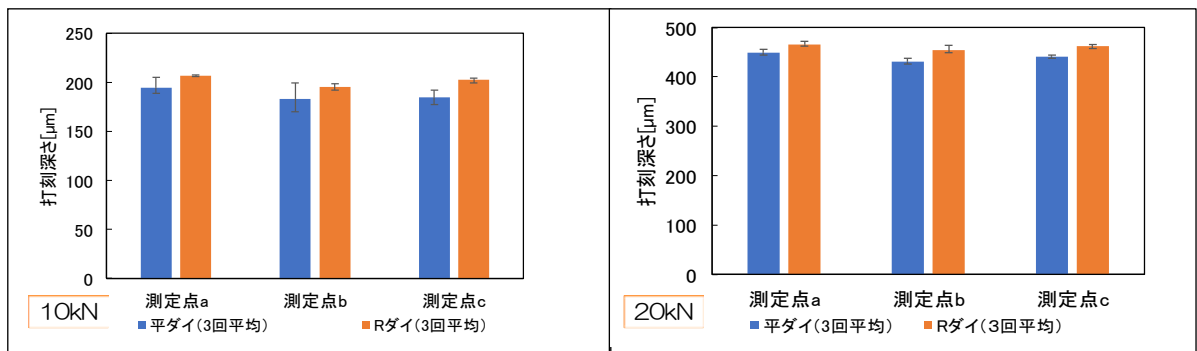


図2-23 10tf と 20tf での平台と R 台の深さの比較

(2) 凹型台を用いた SVS 打刻技術の検証実験

加圧力を低減させる積極的な方策として、刻印の文字形状に対応した凹型台を用いた SVS 打刻技術に取り組んだ(図2-24)。平台による慣用打刻法では、凸型刻印と平面の受け面の間にワークピースを挟み込んで加圧されるため、打刻時の垂直荷重の反力が強い。そこで受け面に刻印と同じ文字形状の凹型の逃げを設けることにより、塑性変形時に生じる荷重の逃げ場として加圧力を低減できると考えた。

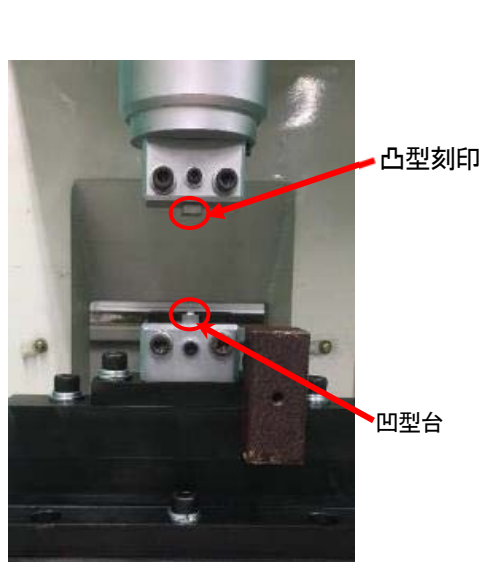


図2-24 凹型台を用いた SVS 打刻
セットアップ

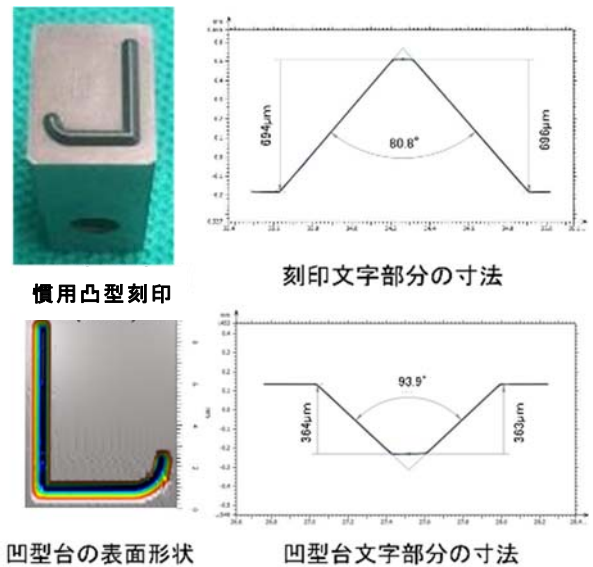


図2-25 凸型刻印と凹型刻印の外観と
断面形状

・凹型台を用いた SVS 打刻の効果検証

加圧力 30kN で慣用の平台打刻と凹型台の SVS 打刻方法の実験を行い検証した。文字「L」で打刻実験を行った結果、凸型刻印対応の受け刻印 SVS 打刻方式は慣用打刻より打刻深さが約 24% 増加することを確認した(図2-26)。加圧力に換算すると先ほどの「線長別加圧力と深さの関係のグラフ」(図2-13)から、加圧力は目標値の 20% 以上低減を達成した。

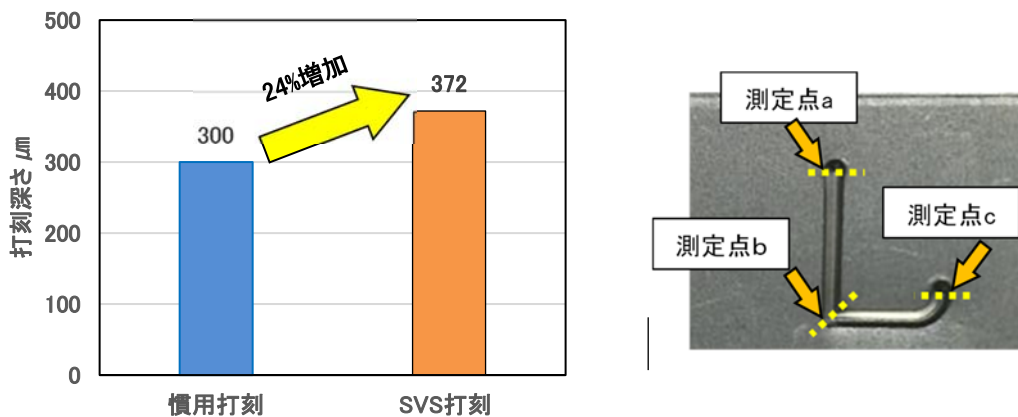


図2-26 慣用打刻と凹型刻印 SVS 打刻の平均溝深さ

最終章 全体総括

3-1 本技術開発全体の研究開発成果

【本事業の最終目標】

「刻印完成製品として 1.5GPa 級超ハイテン材へ、100,000 回以上の打刻が可能なおこと（刻印の著しい摩耗・破損が無いこと）」である。

開発した技術によって最適化した刻印を用いて、1470 材に耐久打刻試験を実施した。

➤ 耐久打刻試験の結果

開発した刻印は、目標 100,000 回に対して 290,000 回の打刻を実現し最終目標を達成した（図3-1）。目標の約3倍、従来刻印の10倍以上の長寿命化を達成した。

なお刻印には、著しい摩耗や破損は見られなかった（図3-2）。

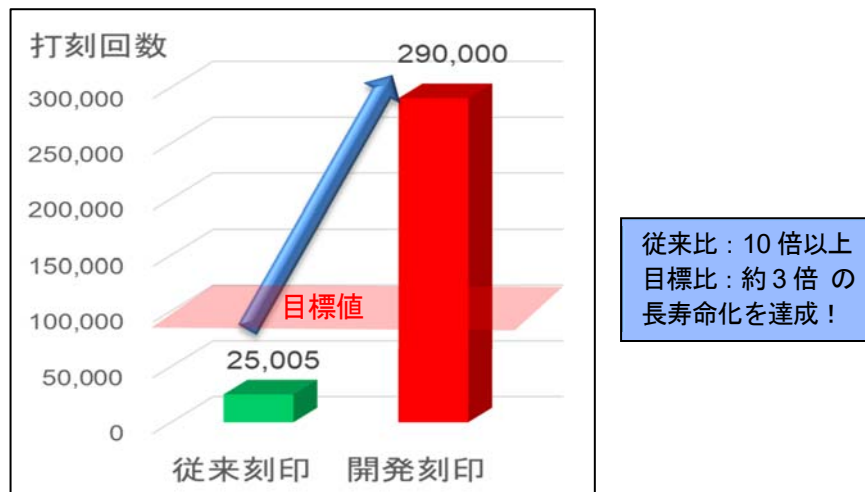


図3-1 従来刻印と開発した高耐久刻印の耐久試験結果

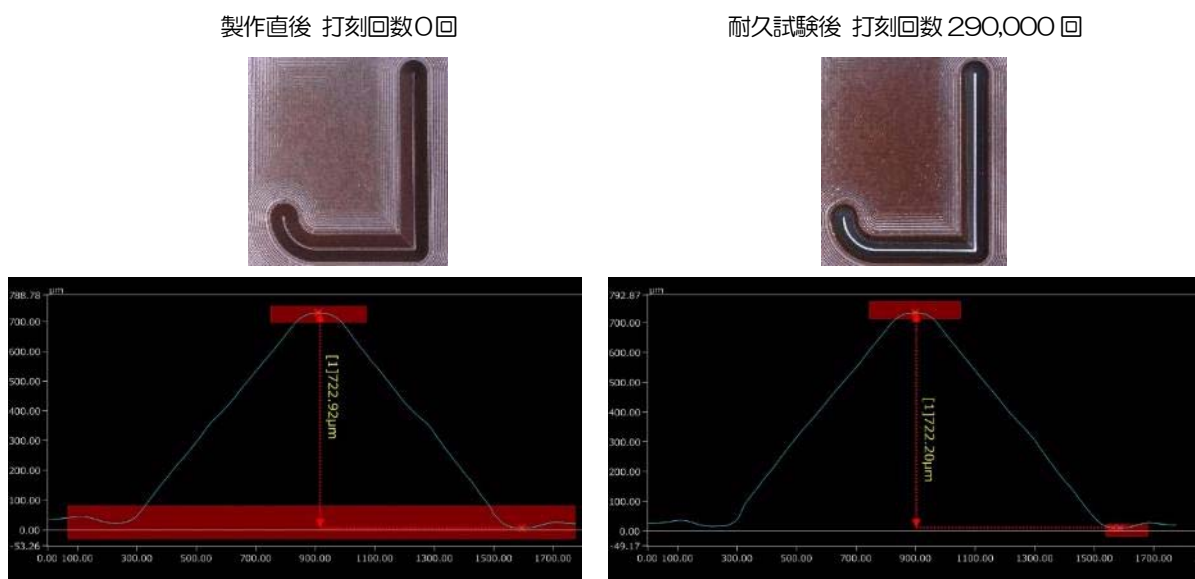


図3-2 耐久試験前と290,000回打刻後の刻印の拡大画像と断面形状

▶ IoT 打刻システム 初号機の完成

1.5GPa 級超ハイテン材に打刻可能な 10tf サーボ打刻機に打刻状態をモニタリングできるセンシング機能を搭載し、**オンマシン計測で打刻工程のトレサビリティのできる IoT 打刻システムの初号機を完成**した。

3-2 事業化展開

1) メインターゲット

自動車用超高張力鋼板は、現時点で 1.2GPa まで実車としての生産を予定されている。ターゲットとしている 1.5GPa 級ハイテン材は、現時点では採用の実例はまだないが次世代自動車用として期待されている材料である。本事業に取り組んだ結果、川下企業から本年度の下半期には高出力タイプの打刻機と高耐久刻印 2 件の内示をいただいている。

令和 3 年・・・自動車完成車ユーザの新車種計画では 1.0GPa 級、1.2GPa 級の使用が決定されており、本事業の耐久試験結果により本採用され販売開始予定である。

令和 4 年・・・販売ターゲット：自動車完成車メーカー・トラック完成車メーカー・建機メーカー

2) メインターゲット以外の業種

開発した高耐久刻印については、ハイテン材使用率の高い自動車系や高硬度材を使用した製品を製造しているユーザに引き続き販路を拡大する。

刻印のみならず開発した US+HS 研削技術と打刻技術は技術転用による事業化を模索する。

技術の転用が可能と想定しているのは下記の取りである。

(1) US+HS 研削技術

微小領域での仕上加工による面性状の向上をローコストで、かつ加工機で自動的、安定的に行いたいユーザ

(2) 打刻技術

① 高硬度材の製品を製作しているユーザ

② 打刻工程のトレサビリティと打刻工程をキーに製造ライン全体のトレサビリティを必要とするユーザ

③ 製品の正規品保証のため、文字の真贋性が必要なユーザ

▶ 製造業全般の打刻工程のトレサビリティおよび打刻機と製造ライン全体の IoT 化について

本事業で開発した打刻システムは、打刻状態や品質をダイレクトに計測・記録をすることができるため、オンマシンで一気通貫にモニタリングしてログに残すことで打刻工程の真のトレサビリティが可能となった。このことにより打刻工程で打刻された文字をキーに、川下工程で必要なデータを紐づけることにより製造ライン全体の製造履歴管理が可能となる。

これは不測の不良発生時でも、いち早く必要最小限に改修対象範囲を特定することができ、損失を必要最小限に食い止めることができるトレサビリティシステムとなる。

このトレサビリティシステムの根幹となるのが、今回開発・完成した「IoT 打刻システム」初号機であり、更なるブラッシュアップを行い製品化に向けて取り組んでいる。

引き続き製造業全体の動向・ニーズを注視し、調査を続ける。

3) 最後に

本事業で構築した共同体は、事業終了後もさいたま市産業創造財団には販路開拓や異業種へのアプローチなどのサポート、日本工業大学には市場ニーズのさらなる高度化への対応などの新技術開発で産学連携を維持継続していく予定である。