

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「金型3次元テクスチャリングレーザー加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年1月

委託者 関東経済産業局
委託先 一般財団法人金属系材料研究開発センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的および目標
 - 1-1-1 川下製造業者のニーズ
 - 1-1-2 これまでの研究開発の取り組みと課題
 - 1-1-3 本研究の背景
 - 1-1-4 本研究開発の目標
 - 1-1-5 日本の金型製造業、プラスチック射出成形産業の高度化への貢献
- 1-2 研究体制
 - 1-2-1 研究組織及び管理体制
 - 1-2-2 管理員及び研究員
 - 1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
- 1-3 成果概要
 - 1-3-1 金型3次元レーザー加工機の開発
 - 1-3-2 加工試験結果とその評価
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 金型3次元レーザー加工機の開発
 - 2-1-1 3次元加工機（メカニカル系）の開発
 - 2-1-2 3次元制御システムの開発
- 2-2 CAD/CAMシステムの3次元加工への対応
- 2-3 加工試験結果とその評価
 - 2-3-1 2次元大判加工試験
 - 2-3-2 凸面金型加工試験

第3章 全体総括

- 3-1 研究開発成果
- 3-2 今後の研究開発の展開
- 3-3 今後の事業化への展開

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

1-1-1 川下製造業者のニーズ

(1) 高度化のためのニーズ（金型に係る技術に関する事項）

自動車内装部品は形状が複雑化してきており、同時にその部品作製用の金型も複雑化してきている。ダッシュボード用金型はじめ大型金型も多く、その金型にしぼ加工（模様付け）する際、3次曲面でしぼ柄の繋ぎが発生することがある。大型で3次曲面を有する金型のしぼ加工は多くの日数を要し、コストも高いものとなる。これは金型作製費用の上昇につながる。

情報家電製品であるテレビのフロントベゼル等のしぼ加工に関しても、自動車内装部品金型のしぼ加工と同じことが言える。

多くの自動車および情報家電メーカーから、大型で3次曲面を有する部品（金型）でもしぼ柄の繋ぎ模様のない高品位なしぼ加工技術の確立を、強く求められている。また、グローバルなコスト競争の中、しぼ加工コストの削減も強く求められている。そこで自動車および情報家電分野のしぼ加工に対するニーズをまとめると次のようになる。

自動車分野

- 1) 低コスト化
- 2) 複雑形状化、一体成形化
- 3) 短納期化
- 4) 環境配慮

情報家電分野

- 1) 製品面の高品位化
- 2) 複雑形状化
- 3) 短納期化
- 4) 低コスト化
- 5) 環境配慮

(2) 具体的なニーズ

(1) に示した内容を具体化すれば、次のようになる。

1) 環境配慮

従来のしぼ加工（エッチング加工）に使用された廃液には金型（金属中）の有害物質が含まれている。廃液処理は適正に行われているが、有害物質がプロセスの中で発生していること自体が環境に悪影響を及ぼしており、エッチング加工前提ではこの問題は解決されない。有害物質を発生させない環境に対応した新しいしぼ加工技術が求められている。

2) 高品位化、複雑形状化

・自動車内装、家電部品用の金型はその形状が複雑3次元化してきており、フィルムを使用してしぼ柄を金型へ転写し、エッチングする方法ではしぼ柄の連続性を保つことに限界がある。連続性がなくなるとしぼ柄の繋ぎ模様が発生し、しぼ柄の品位を低下させることになる。この問題を解決した高品位なしぼ柄が求められている。

・フィルムベースのエッチング法では、見本柄の断面のプロファイリングに近づけることに限界がある。その断面形状の再現がどれだけ出来るかで見本柄に対するしぼ柄の見栄えが決定される。見本柄の断面形状をより良く再現する高品位なしぼ柄が求められている。

・エッチング法は手作業の工程が多く、これが部品毎のばらつきを引き起こす要因となっている。このばらつきを発生させる要因を持った手作業を減少させることが求められている。

・エッチング加工の場合、金型材料がしぼ柄の見栄えに与える影響が大きい。この問題を解決し金属材料に関係しない統一感のある高品位なしぼ柄が求められている。

3) 短納期化

多くの工程が手作業であるエッチング加工では短納期の限界がある。自動車および情報家電の部品開発期間は更に短くなってきており今後更なるしぼ加工の短納期化が求められる。

4) 低コスト化

多くの工程が手作業であるエッチング加工では低コスト化に限界がある。自動車および情報家電はグローバルな価格競争が更に加速することが予想され、今後更なるしぼ加工費用の低コスト化が求められる。

1-1-2 これまでの研究開発の取り組みと課題

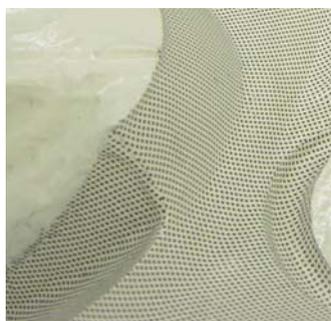
(1) 川下製造業者のニーズ (2) 1) 環境配慮に対して

しぼ加工 (エッチング加工) に使用された廃液には金型 (金属中) の有害物質が含まれている。廃液処理は適正に行われているが、有害物質がプロセスの中で発生していること自体が環境に悪影響を及ぼしており、エッチング加工前提ではこの問題は解決されない。有害物質を発生させない環境配慮に対応した新しいしぼ加工技術が求められているが、これまでエッチング加工に代わる加工法の開発の具体的な取り組みはなされていなかった。

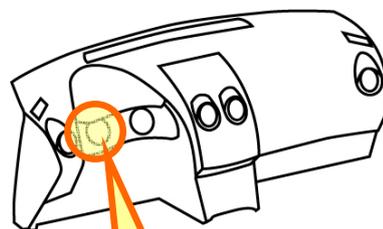
(2) 川下製造業者のニーズ (2) 2) 高品位化、複雑形状化に対して

・複雑3次元形状の金型にしぼ柄の繋ぎを発生させない技術の開発に関しては、これまで図1-1に示すような対策を行いほぼ90%以上の金型へしぼ柄の繋ぎのないものを加工してきている。

★伸縮性に優れるしぼ転写フィルムの使用
3次元形状が顕著であるとその形状に追従できないケースがある。



★大判フィルムの使用
現在、大判は600mm×400mm。更なる大判フィルムは開発中。これも、3次元形状が顕著であるとその形状に追従できないケースがある。



★展開図法を利用したフィルムの使用
微細柄の場合、手作業での模様合わせとなるため、柄が合わせきれず、しぼ柄の繋ぎが発生するケースがある

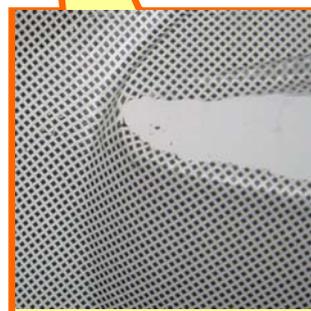
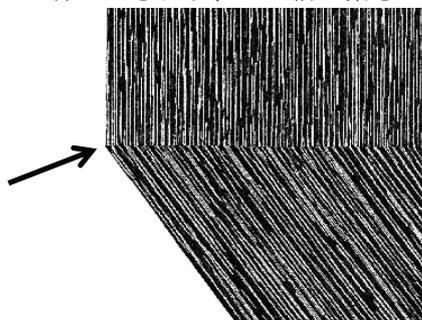


図1-1 しぼ転写フィルム技術開発と課題

これらの理由により全ての金型へしぼ柄の繋ぎのないしぼ加工を行うことは現在のエッチング技術ではできない。

・見本柄に忠実なしぼの断面形状の再現のために、エッチング法で、階調の数を増やせ

ば見本柄の断面形状に近づけることは可能である。しかしながら柄の線幅は非常に細いため、手作業での柄合わせには限度があり、通常は3階調が一般的である(図1-2参照)。



図1-2 エッチングによるしぼ柄断面

・手作業による工程でのばらつき防止のため、各工程後の検査の為に各工程毎の見本を作製(工程が8工程あれば、各々8工程後の見本を作製)し、各工程での柄の深さ、形状を確認、検査してばらつきを抑制しているが、フィルム柄(しぼ柄)の転写の程度、フィルム柄(しぼ柄)の繋ぎの修正の程度は数値化できないためばらつきを完全に排除することはできない。

・金型材料違いでのばらつき防止のため、金型材料違いでしぼ柄の丸みやエッチング後の線の太さに違いが生じる(図1-3参照)。各工程毎に、しぼ形状を確認して正規の模様柄形状になるように修正しながらしぼ加工を行っている。乖離の程度が大きいと修正では対応できない場合もある。

★正規のしぼ柄断面 ★線(谷)が太い ★線(谷)が細い ★丸みが不足 ★丸みが付き過ぎ
(下記形状は金型上の断面)



図1-3 材料によるしぼ断面の違い

(3) 川下製造業者のニーズ(2)3)短納期化に対して

エッチングによるしぼ加工では手作業による工程が多い。作業者のスキルアップ、マスキング方法の改善などで納期短縮を行ってきたがここ10年で約1割程度の改善であり、大幅な短納期化は出来ていない。

(4) 川下製造業者のニーズ(2)4)低コスト化に対して

エッチングによるしぼ加工は手作業による工程が多いため、短納期化が低コスト化に直結する。その意味では上記(3)と同じ理由で十分な低コスト化は出来ていない。

1-1-3 本研究の背景

自動車内装(ダッシュボードなど)、家電(テレビのフロントベゼル、バックカバーなど)、パソコン(モニターのフレーム、バックカバー、本体ケース、キーボードなど)、ゲーム機(本体ケース、コントローラーなど)等のプラスチック部品には外観品質を高めることを目的として様々な模様が施されている。

これらプラスチック部品は熱を加えて溶かされた樹脂を所定の金型に注入し、冷却、固化させる方法(インジェクション成形)で作られ、先のプラスチック部品の模様は金型に模様付けすることで作られる。この金型への模様付けはしぼ加工と呼ばれており、しぼ加工の種類には皮模様、幾何学模様、なし地模様のものなどがあり、各々皮しぼ、幾何学しぼ、なし地しぼと呼ばれている。これらのしぼ加工は所定の柄を耐酸性のインクにより金型上へ印刷し、インクの乗らない個所を化学腐食(エッチング)することで

なされる。しぼ加工された部品の例を図1-4に示す。これらは従来のエッチング法でしぼ加工されたものであり、左が皮模様、右が幾何学模様である。



図1-4 しぼ加工の例

近年、環境に配慮したものづくりに関する技術開発が急速に進んでいる。しぼ加工は前述のように殆どがエッチング法によるものであり、この方法を変えないと環境への負荷低減は達成されない。

また、自動車、情報家電はじめ多くの業界からは今後更なるグローバルな競争によるしぼ加工のコスト低下、納期短縮の要請が予想されるが、従来のエッチング法によるしぼ加工ではコスト低下、納期短縮に限界がある。しぼ品質もグローバルな競争の中、当然良いものが求められる。更には、自動車内装の場合、塩化ビニール表皮、ウレタンRIM品とのしぼ柄合わせにも及ぶことも予想される。塩化ビニール表皮、ウレタンRIM共にエッチングしぼ加工によるインジェクション成形部品よりも見本柄を忠実に再現しており、インジェクション成形部品へのしぼ加工も従来のエッチング法によるしぼ加工よりもその品質を大幅に向上したものが求められている。

本研究開発はこれら川下製造業者のニーズに応えるべく、しぼ加工へのエッチング法では達成できない点を可能にするレーザー加工技術の適用を研究開発するものである。

1-1-4 本研究開発の目標

(1) 高度化目標

1) 自動車に関する事項

- ・ 金型の低コスト化や短期間製造等を可能とする新素材、新製造技術の構築
- ・ 複雑3次元形状等を創成する金型および成形技術の構築
- ・ 工程短縮等を可能とする金型技術の開発
- ・ 環境配慮に対応した技術の開発

2) 情報家電に関する事項

- ・ 複雑3次元形状等を創成する金型および成形技術の開発
- ・ 工程短縮等を可能とする金型技術の開発

- ・金型の低コスト化や短期間製造等を可能とする新素材、新製造技術の構築
- ・環境配慮に対応した技術の開発

本研究開発では、プロセスは全く異なるが、レーザー加工法をしぼ加工に適用し、川下製造業者のニーズに応える。

(2) 研究開発項目と具体的目標値

前述の目標を達成するための研究開発テーマとその具体的な目標値を、以下に整理する。

1) 3次元レーザー加工機の開発と完成度の向上

3次元曲面に追従可能な特殊3次元加工機（直行3軸、回転2軸）の開発を行う。加工の対象とする3次元曲面で構成する金型表面上の適切な位置に、適切な姿勢を保ち移動させる装置を目標とする。

また、3次元加工機を基礎に2)の3次元制御システムと3)のCAD/CAMシステムを組み入れアブレーション機能を有する3次元レーザー加工機を開発し、しぼ柄に適した条件設定が可能なシステム設計を目指す。

- ・3次元加工機設計
- ・3次元加工機製造・組付
- ・3次元加工機稼働調整
- ・3次元加工試験
- ・3次元レーザー加工機のアセンブル調整

(目標値)

- ・位置決め精度； ± 0.005 mm以下
 - ・位置決め精度（回転軸）； ± 0.005 deg以下
 - ・加工領域； 1.0 m \times 1.0 m \times 0.1 m以上
 - ・可搬重量； 20 kg以上
- (レーザー発振器、光学系関係)
- ・出力安定性； $\pm 2\%$ 以内
 - ・パルス； 100 nsec以下
 - ・メンテナンス；フリー
 - ・光学系スポット径； 50 μ m

2) 3次元制御システムの開発

3次元加工機とスキヤニングヘッドの3次元制御システムを開発する。制御ソフトは、3)の制御ソフトウェアを活用する。3次元加工試験結果を分析し、システムの完成度を高める。

- ・3次元加工機能の開発（加工領域； 1.0 m \times 1.0 m \times 0.1 mでの制御確保）
- ・画像処理機能の開発（加工領域； 1.0 m \times 1.0 m \times 0.1 mでの制御確保）
- ・3次元加工試験での調整
- ・実用化に向けた調整（加工領域； 1.0 m \times 1.0 m \times 0.1 mでの制御確保）

(目標値)

- ・3次元加工機；5軸制御
- ・位置決め精度； ± 0.005 mm以下
- ・位置決め精度（回転軸）； ± 0.005 deg以下

3) CAD/CAMシステムの3次元加工への対応

3次元CAD、3次元CAMの選定及び開発を行う。加工対象の3次元曲面を有する金型表面に対して、3次元スキヤナにより得られた模様データを3次元曲面上の目標データ（グレースケール含む）に変換するソフトを開発する。膨大な3次元データの処理方法の対応などを、加工工程管理機能の整備の中で進める。

また、このデータから加工指示を出すソフトウェアを開発する。

- ・ 3次元機能への対応
- ・ 必要とする領域をカバーする効率と容量の確保
- ・ 加工工程管理機能の整備
- ・ 3次元加工試験での機能確認・調整

(目標値)

- ・ CAD部；金型3次元CADデータを受け、3次元平面へのしぼ柄の貼付けを可能とする。
- ・ CAM部；3次元加工機、スキャニングヘッドへの3次元平面への各指令プログラムを作成可能なものとする。

4) 加工面性状品質の分析

開発したレーザー加工機で加工する被加工材料の加工面性状品質（加工断面形状）を定量的に分析する。このようなしぼ加工表面の分析方法の検討から、定量的な評価法を導出する。

- ・ データ解析方法の検討
- ・ (加工断面形状) データ取得
- ・ 結果の評価、課題抽出

(目標値)

- ・ エッチング加工とレーザー加工の断面形状の差異の評価
- ・ レーザー加工条件と断面形状の関係に関する知見取得

5) 3次元レーザー加工機の開発と加工試験（実施：株式会社モールドテック、一般財団法人金属系材料研究開発センター）

アブレーション機能を有する3次元レーザー加工機を開発する。しぼ柄に配慮した条件を設定するものを開発する。本3次元レーザー加工機は、1)の3次元加工機に、2)の3次元制御システムと3)のCAD/CAMシステムを組み入れて機能する。3次元レーザー加工機を用いて、種々の3次元加工試験を実施する。加工試験結果の評価を通じて、システムとしての完成度を高める。

- ・ 3次元レーザー加工機のアセンブル調整
- ・ 試験計画の策定
- ・ 品質向上条件の選定試験
- ・ 3次元レーザー加工試験準備
- ・ 試験金型を用いた加工試験
- ・ 実体金型を用いた加工試験

(目標値)

- ・ 条件設定数；30

ここで、図 1-5 に開発した金型 3 次元レーザー加工機の基本構成を示す。

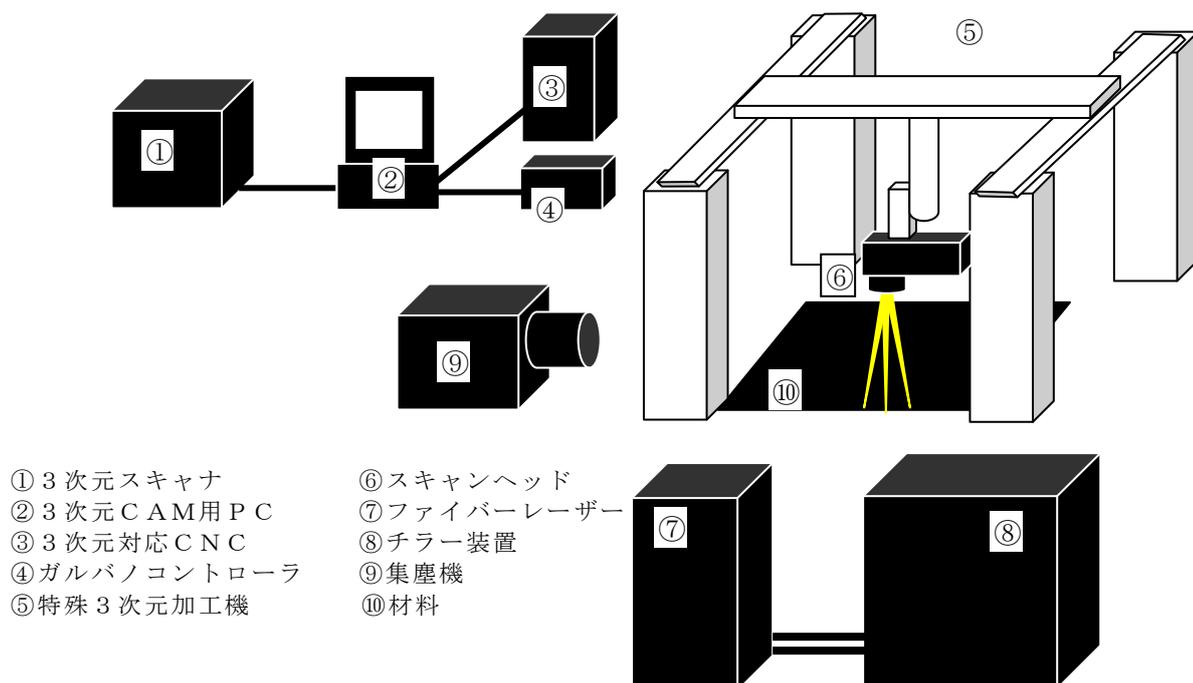


図 1-5 金型 3 次元レーザー加工機基本構成

1-1-5 日本の金型製造業、プラスチック射出成形産業の高度化への貢献

(1) 日本国内環境への配慮、作業環境の改善

本研究開発によりしぼ加工における化学薬品の使用量、使用頻度は著しく低下する。それに伴い金型材料中の有害物質を含む廃液量も激減する。これは大きな環境改善に寄与する。

また、エッチング加工に使用する化学薬品からなるエッチング液が発生するガス量も大幅に減少するため、大幅な作業環境の改善になる。

(2) 日本の金型製造業、プラスチック射出成形産業の高度化への貢献

中国その他アジア諸国からの追い上げに苦しんでいる我が国の金型製造産業において製品の高精度化、高付加価値化、高技術化による国際競争力に大きく貢献する。

現在多くの金型製作がその製造コストの安価な国に流出している。本技術開発によりしぼ性能が飛躍的に向上すれば海外への金型流出を抑制できると考える。自動車業界においては環境対応車（エコカー）でグローバルな自動車製作が始まっている。日本に本技術が確立すれば多くの金型製作が日本で行われると考える。

家電外装品製造分野においても高級イメージ品を低コストで製造することが可能となり、海外への金型及び、部品作成の流出を抑制できると考える。

(3) 日本の自動車製造産業、情報家電製造産業への貢献

本技術開発はこれまでとは異なる方法で高品位、低コストのしぼ加工技術を研究開発するものであり、自動車内装用プラスチック製品や情報家電製品の外装品のものづくりの分野において高級イメージ品を低コストで実現できるものである。今後更に激化するであろうグローバルな価格競争においても自動車産業や情報家電産業の国際競争力向上に大きく貢献できると考える。

(4) 中小企業対策

本研究開発は中小企業であるモールドテックが独自のノウハウ、技術を基礎とし、自ら中心となって努力して実施するものであり研究開発成果は当該企業の成長、発展に大きく寄与するものである。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

(1) 研究組織（全体）

本研究開発組織を図1-6に示す。

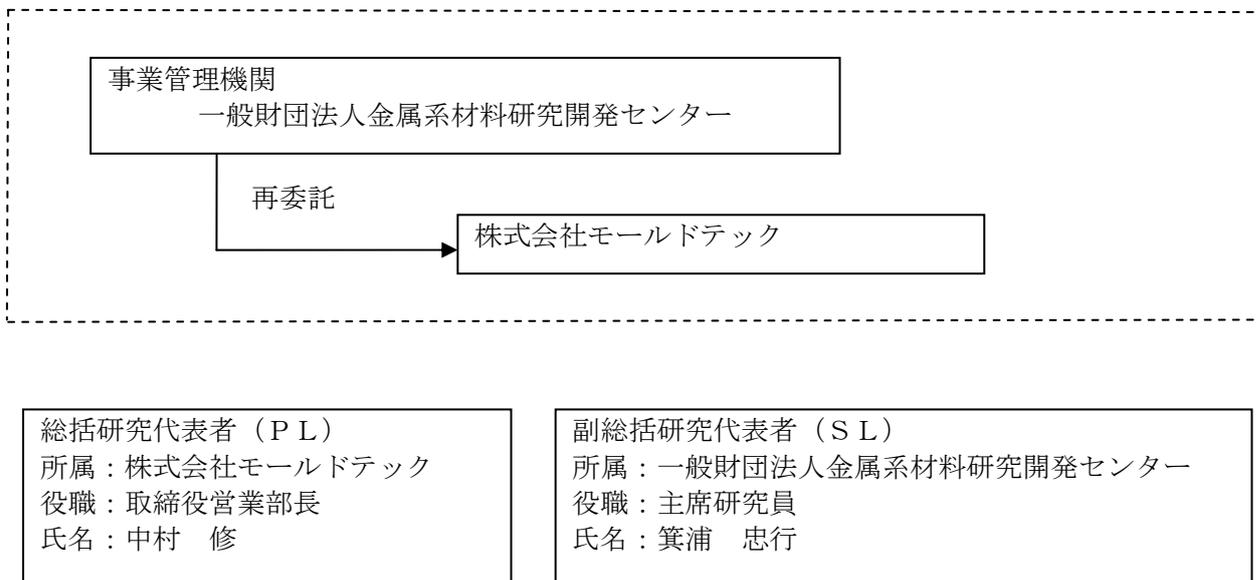


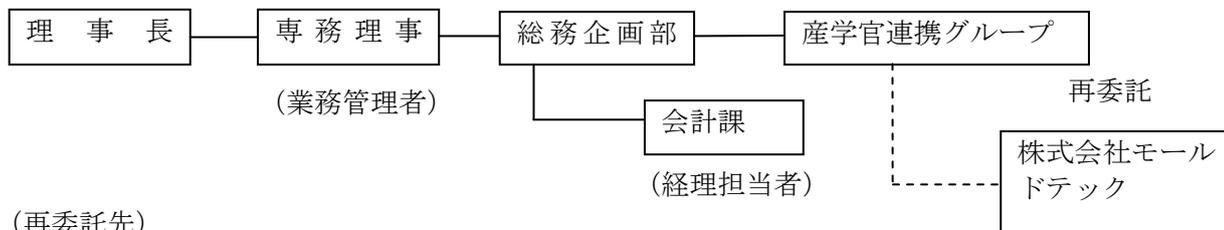
図1-6 研究開発組織

(2) 管理体制

関係各組織の管理体制を図1-7に示す。

①事業管理機関

[一般財団法人金属系材料研究開発センター]



② (再委託先)

株式会社モールドテック

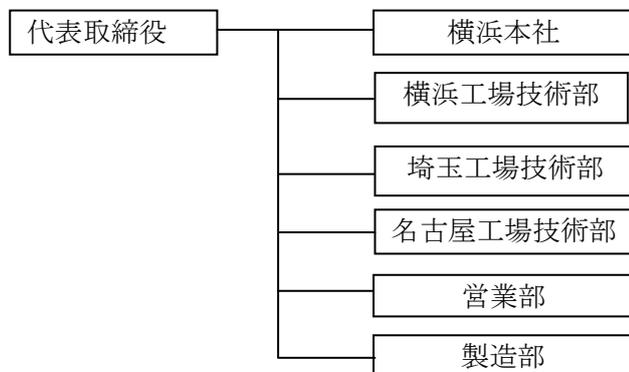


図1-7 各組織の管理体制

1-2-2 管理員及び研究員

本研究開発に従事した管理員、研究員を以下に示す。

【事業管理機関】 一般財団法人金属系材料研究開発センター

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
箕浦 忠行	総務企画部産学官連携グループ 主席研究員	⑥

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
箕浦 忠行(再)	総務企画部産学官連携グループ 主席研究員	①、②、③、④、⑤

【再委託先】

株式会社モールドテック

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中村 修	取締役営業部長	①、②、③、⑤
波多江 正美	横浜工場技術部次長	④
城 祐光	名古屋工場技術部員	①、②、③、⑤
越田 彩	横浜工場技術部員	④
万年 和史	埼玉工場技術部員	①、②、③、⑤

1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

各関係組織の経理担当者及び業務管理者を以下に示す。

(事業管理機関)

一般財団法人金属系材料研究開発センター

(経理担当者) 会計課長 小紫 正樹

(業務管理者) 専務理事 小紫 正樹

(再委託先)

株式会社モールドテック

(経理担当者) 製造部 金子 保江

(業務管理者) 製造部 時津 博行

(業務管理者) 製造部 天明 茂樹

1-3 成果概要

1-3-1 金型3次元レーザー加工機の開発

(1) 3次元加工機（メカニカル系）の開発

2次元加工機（メカニカル系）へ機能を付加する形で3次元加工機（メカニカル系）を開発した。

2次元加工機に直行Y軸、Z軸、回転B軸、C軸を付加し3次元加工機（メカニカル系）とした。この3次元加工機にスキャンヘッド、レーザー発振器、光学系、集塵機を組み込んだ。その結果、金型3次元レーザー加工機（メカニカル系とレーザー系の融合体）として、加工領域寸法、その寸法内での位置決め精度（直行軸、回転軸）、出力安定性、可搬量、パルス時間、光学系スポット径、メンテナンスフリーの目標値は達成した。

(2) 3次元制御システムの開発

CAD/CAMシステムで作成、出力される3次元加工機用のNCファイルより3次元形状レーザー加工可能な3次元制御システムを開発した。

NCファイルには3次元加工機を制御する加工機制御データとスキャンヘッドおよびレーザー発振器を制御するレーザー加工データが存在する。2次元制御システムの加工機制御データ作成のシステムを3次元制御可能なシステムへ発展する形で3次元制御システムを開発した。

(3) CAD/CAMシステムの3次元加工への対応

2次元形状にしぼ柄を貼り付けるためFreeFormというCADソフトを活用した。当初3次元形状にしぼ柄を貼り付けるためにFreeFormを活用したが、このシステムは3次元形状もしぼ柄も全てポリゴン（作成）→STLデータの手順で処理されるため10mm×10mmのサイズ、しぼ柄120μm（深さ）でデータ量が6.8MBとなった。この方法で1m×1mを処理すると単純計算でデータ量は65.5GBとなり、大領域加工では、データ量に問題が残り、その対応が課題となった。

そこで3次元形状にしぼ柄のグレースケールデータをマッピングし、指定するしぼ柄深さのグレースケールデータ（平面データ）から直接NCデータを作成、出力できるシステムを開発して運用した。200mm×200mmの範囲にφ100mmの球の組み合わせで80kB、画像ファイル100MBである。このシステムを用いて加工範囲（0.1m×0.1m×0.03m以上）を達成した。

3次元加工試験はこのシステムで実施した。

1-3-2 加工試験結果とその評価

(1) 2次元加工基礎試験とその結果

2次元加工により、スキャンヘッドのキャリブレーションを実施した。スキャンヘッドの精度は、直接加工精度となるため、キャリブレーションは、精度が得られるまで実施した。具体的にはスキャンヘッド内で、縦、横各9軸、マトリックス81点でスキャンヘッドのズレを確認し、ズレの補正を繰り返した。2次元での複数のスキャンエリアの加工試験の結果、しぼ柄のスキャンエリアの繋ぎ部の柄繋ぎは、許容レベルに達した。スキャン方向、各層のスキャン合わせ位置、繋ぎ部ずらし寸法の最適化を追求することにより、さらなるレベルアップが期待できる。

(2) 3次元加工試験とその結果

3次元形状の加工試験として①傾斜金型、②凹凸面形状を有する金型を用いて加工試験を実施した。

3次元形状の加工面を割り出しに必要な加工焦点深度を、傾斜金型を用いて検討した。出力15Wでは-0.6mmから+0.6mmが有効焦点深度、出力18Wでは-0.7mm～+0.7mmが有効焦点深度であった。これらの有効焦点深度は鉛直加工試験で検証を行い適正なものだと確認した。更に傾斜面直テストの結果も柄精度は良く良好な結果であった。

凹凸形状を有する金型を用いて加工機の5軸を連続的に変化させて加工する試験を行った。課題は、実加工面とCADデータの差異による影響であり、今後の解決課題として取り上げた。

(3) 加工面性状品質の分析

加工解像度として、スポット径 $40\ \mu\text{m}$ の条件で様々な加工条件を変化させ試験した。品質を向上させる加工条件の方向性が把握できた。今後引き続き探索を進めていく。

(4) 今後の展開

2次元レーザー加工技術は、実用レベルに達した。

3次元レーザー加工技術は、基盤技術は完成した。ただし技術の汎用化という面では、種々の実体金型の加工を通じて、技術の完成度を高める必要がある。また金型全体では無く部分的にレーザー加工する技術の開発のニーズもあり、この分野の技術開発も進める必要がある。

今後、実金型への加工を継続実施し、種々の課題の解決のためのデータと経験を蓄積していく。また2次元加工に近いルール表面の加工も、ニーズとしてあり、ロール加工技術開発も進めていく。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

以下に連絡窓口を示す。

所属：一般財団法人金属系材料研究開発センター

役職：非鉄材料研究部長

氏名：箕浦 忠行

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-5-11 第11 東洋海事ビル 6F

Tel 03-3592-1284 FAX 03-3592-1285

E-mail tminoura@jrcm.jp

第2章 本論

2-1 金型3次元レーザー加工機の開発

2-1-1 3次元加工機（メカニカル系）の開発

開発された金型3次元レーザー加工機は図2-1、2-2に示すような3次元加工機（メカニカル系）とスキャンヘッド（レーザー加工系）との組み合わせで構成される。3次元加工機は3次元動作を可能にするために5軸（直行X軸、Y軸、Z軸、回転B軸、C軸）の直線及び回転駆動系を有している。

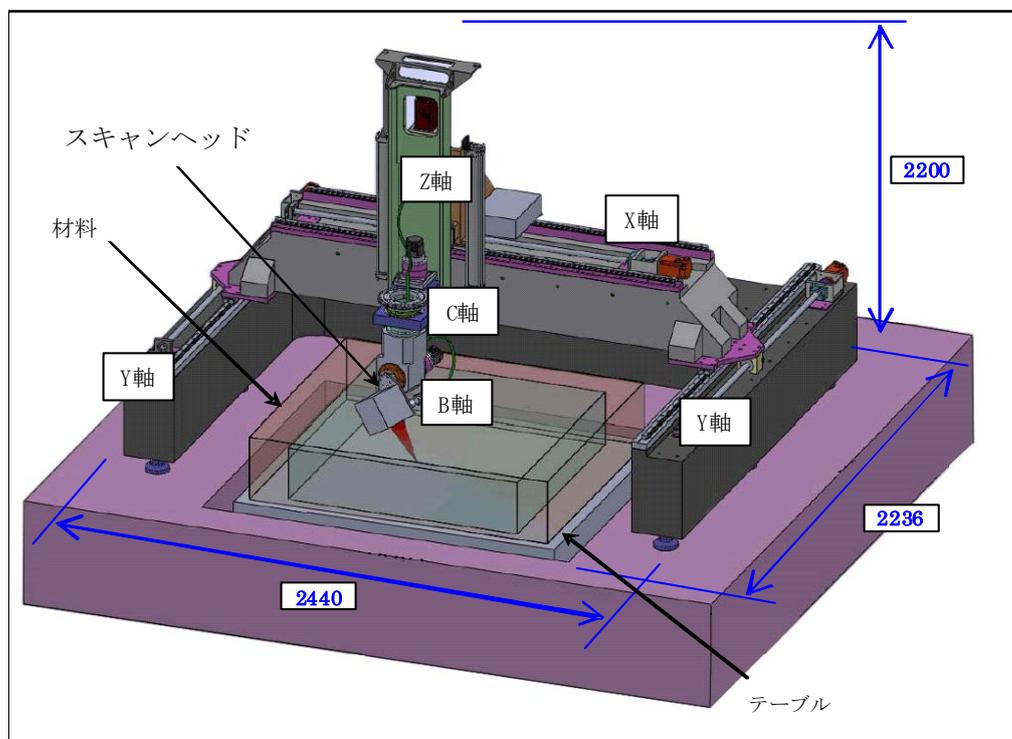


図2-1 金型3次元レーザー加工機

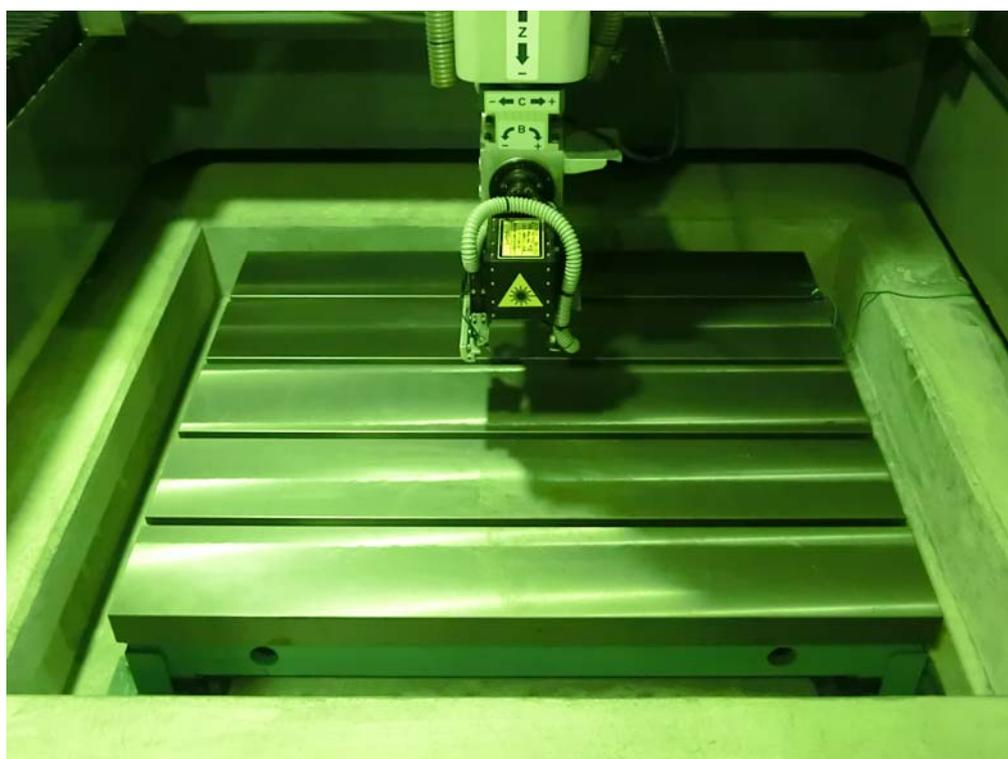


図2-2 金型3次元レーザー加工機加工部外観

2-1-2 3次元制御システムの開発

3次元加工機（メカニカル系）の開発に示す通り、加工機の制御軸を5軸（直行X軸、Y軸、Z軸、回転B軸、C軸）とすることで、3次元動作が可能となった。

制御用システムパソコンでは、CAD/CAMシステムから出力されたNCファイルを読み・解釈し、3次元加工機の制御とスキャンヘッドの制御を連動させる事が可能となった。

これにより、図2-3に示すように、3次元形状に対するレーザー加工が実現可能となった。

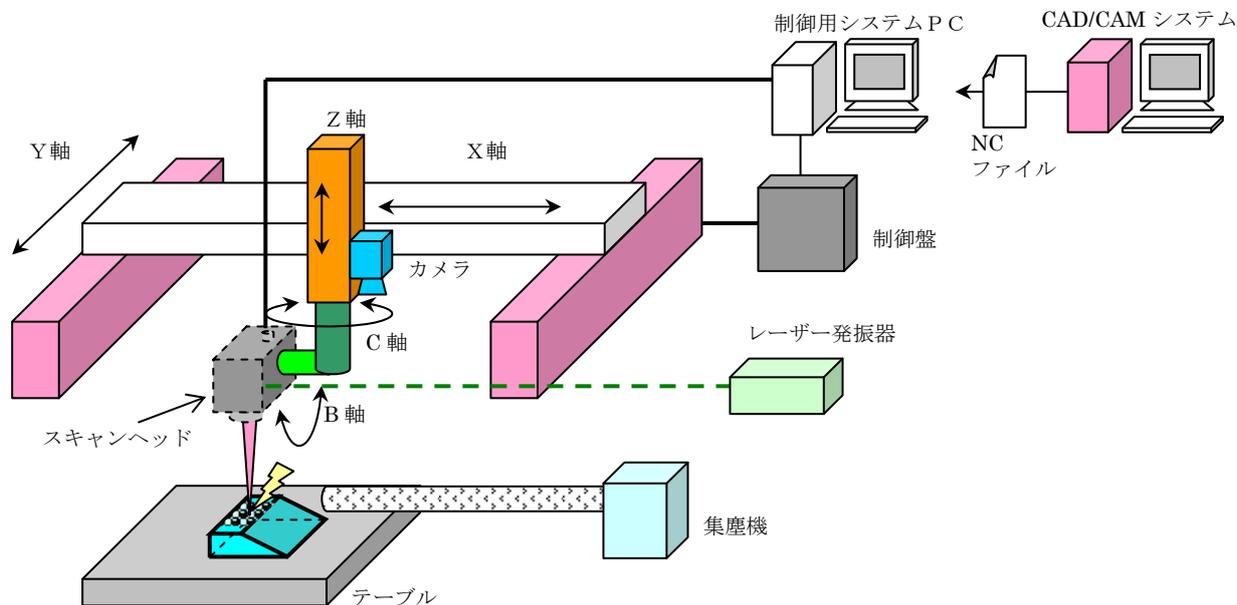


図2-3 3次元加工制御システム構成

CAD/CAMシステムから出力されるNCファイルには、図2-4に示されるように、3次元加工機（メカニカル系）の制御を行う「加工機制御データ」部分と、スキャンヘッドおよびレーザー発振器（レーザー加工系）の制御を行なう「レーザー加工データ」部が存在する。

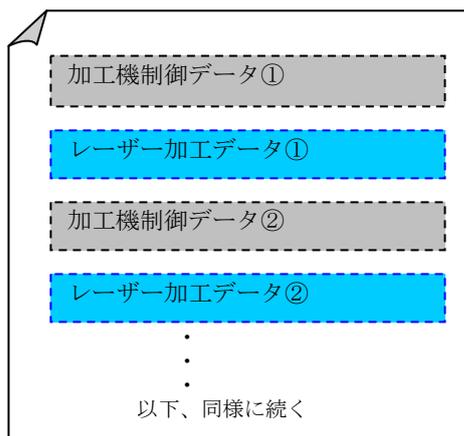


図2-4 加工データの構成

NCファイルは図2-5に示すように、制御用システムパソコンで読み込まれ、ファイルの内容は一定の仕様に従い解釈され、内部で分割される。その後、分割解釈した「加工機制御データ」と「レーザー加工データ」を順次実行する事で3次元加工が実現される。

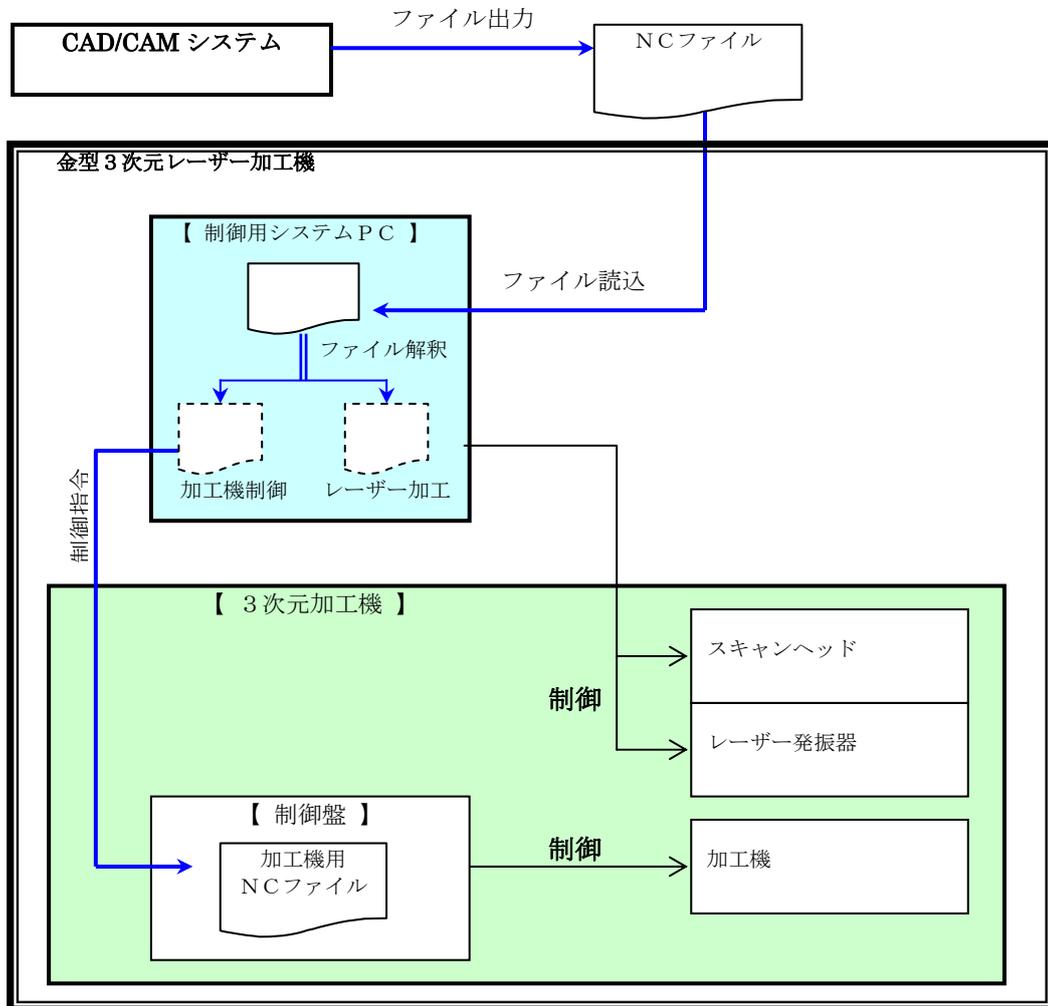


図2-5 制御系内データフロー

2-2 CAD/CAMシステムの3次元加工への対応

初期に開発したCAD/CAMシステムは、しぼ付けされた金型自体をデジタル的に再現するものであった（図2-6参照）。

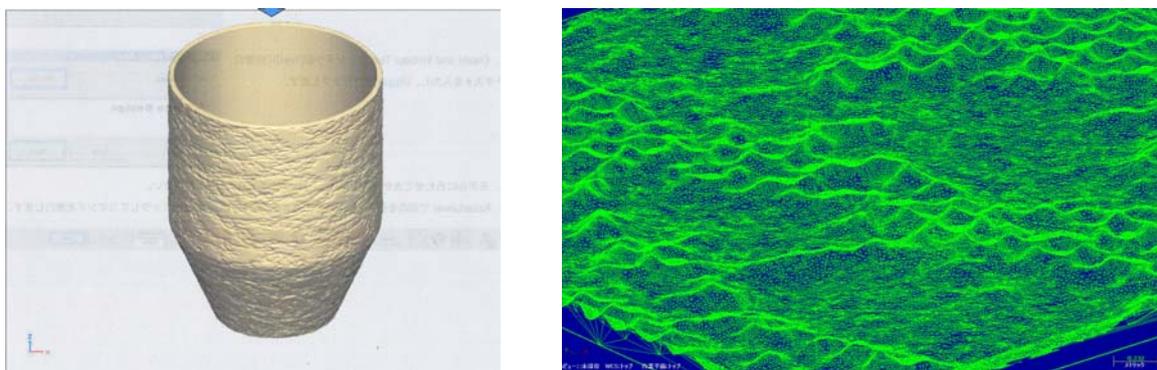


図2-6 初期のCAD/CAMの表示例

このシステムは視認性に大変優れており、当然であるがパソコン上で再現された形状が、そのまま実型に反映されるというメリットがあった。

しかししぼ柄を3次元化することにより、データ容量の増大化というデメリットも共存しており、10mm×10mm、深さ120μmの皮しぼで6.8MB（600dpi相当、STL圧縮率50%）あった。

3次元レーザー加工機の最大加工サイズに合わせるために、単純に1万倍（1m×1mサイズ）すると65.5GBになる。

この容量は、CAD/CAM共に許容を遥かに超える数字である。

ソフト内部の改良、演算用パソコンの再検討、作業手順の変更等、様々な対応を試みたが、結局解決するには至らなかった。

そこで、システムの考え方を根本的に変更することにした。まずはその概要を図2-7に示す。

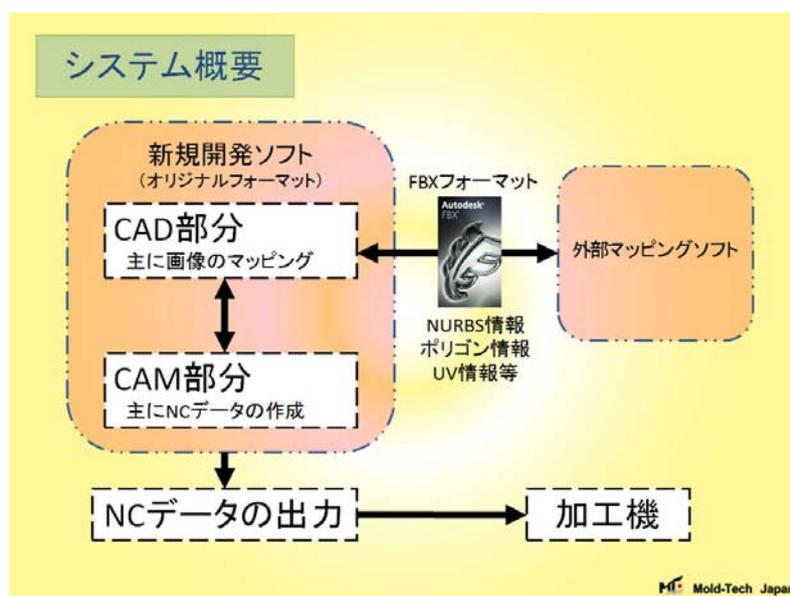


図2-7 効率化を図ったCAD/CAMシステムの概要

2-3 レーザー加工試験とその結果

2-3-1 2次元大判加工試験

3次元加工試験に先立ち、3次元レーザー加工機の最大加工サイズである1000×1000mmの加工を行った。

この加工試験は2次元大判（1000×1000mm）金型に、漏れなく加工出来るかを確認する試験である。

加工試験方法は、青塗料を平板金型に塗布し、1層のみの皮しば全面加工するものである。青塗料は熱に弱いため、レーザーの出力を絞り、送りピッチも4倍の40μmとした。加工試験結果は図2-8の通りである。

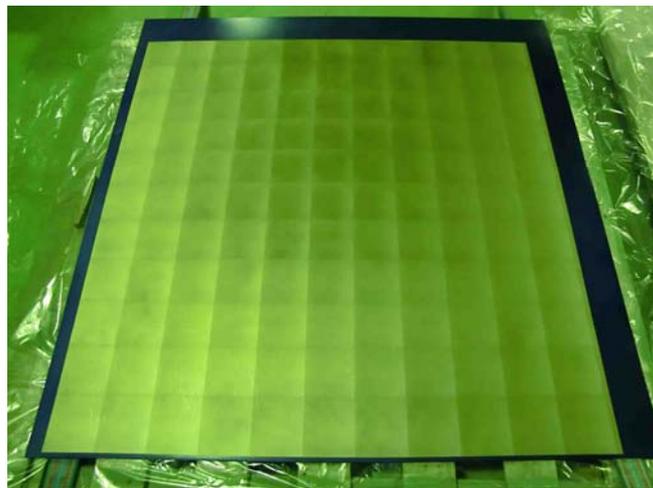


図2-8 大判加工試験結果

同図から見られるように問題なく加工を完了した。今回加工した皮しばは、青塗料への加工ということもあり、送りピッチを通常の4倍にしたにも関わらず、NCデータは730MBもの大容量となった。

このデータ容量が今後どのように加工能力に影響してくるのか、検証が必要である。

2-4-3 凸面金型加工試験

この加工試験は金型3次元レーザー加工機の5軸を連続的に変化させてしば加工を行う試験である。図2-9に加工試験結果を示す。

金型形状は、最大深さ（高さ）3mmの単純な球面の凸型と平面をつなげたものであるが、その加工にはソフト、ハード共に5軸の正確な制御が要求される。



図2-9 凸面金型加工試験結果

写真では濃い青による格子模様、薄い青と地金の色が透けて見えるが、これは加工をわかりやすくするために青色の塗料を塗布した上に加工したためである。加工結果としては加工の漏れもなく良好であるが、別の問題が浮き彫りになった。それは、実金型の寸法とCADデータの違いが、ここまで加工に影響するということである。この凸面金型は、加工機の調整等にも使用したため、数度表面を研磨している。そのために実金型とCADデータでは200 μ m以上の差があると思われる。青塗料は焦点位置から200 μ m程度の距離であれば問題なく蒸発するのだが、それが蒸発せずに残ると言うことは、焦点から相当離れていることを意味している。これでは正確の加工は施せない。やはりリバースエンジニアリングは必要であると思われる。

2-3-3 150mm立方体加工試験

本加工試験は、ある自動車部品から150mm立方体を切り出した金型を加工するものである。よって、最も実加工に近い加工といえる。結果は図2-10の通りである。

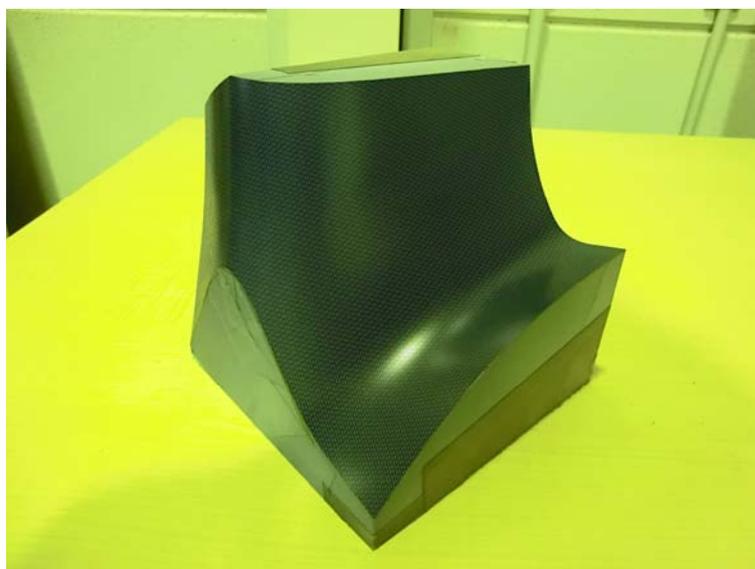


図2-10 150mm立方体の立体加工

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

1-1-4に本研究開発の目標値を示したが、目標値に対する達成度を以下に示す。

(1) 金型3次元レーザー加工機の開発

3次元曲面に追従可能な特殊3次元加工機（直行3軸、回転2軸）の開発を行った。加工の対象とする3次元曲面で構成する金型表面上の適切な位置に、適切な姿勢を保ち移動させる装置を目標とした。

また、3次元加工機を基礎に(2)の3次元制御システムと(3)のCAD/CAMシステムを組み入れアブレーション機能を有する3次元レーザー加工機を開発し、しば柄に適した条件設定が可能なシステム設計を目指した。

- ・3次元加工機設計
- ・3次元加工機製造・組付
- ・3次元加工機稼働調整
- ・3次元加工試験
- ・3次元レーザー加工機のアセンブル調整

(目標値)

- ・位置決め精度； $\pm 0.005\text{ mm}$ 以下
- ・位置決め精度（回転軸）； $\pm 0.005\text{ deg}$ 以下
- ・加工領域； $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ 以上
- ・可搬重量； 20 kg 以上
（レーザー発振器、光学系関係）
- ・出力安定性； $\pm 2\%$ 以内
- ・パルス； 100 nsec 以下
- ・メンテナンス；フリー
- ・光学系スポット径； $50\text{ }\mu\text{ m}$

金型3次元レーザー加工機は完成した。個々のスペックはすべて達成した。加工領域は $0.11\text{ m} \times 0.13\text{ m}$ であり、Z軸方向にも高さ 0.1 m を超える 150 mm 立体金型の加工を実施しており、目標はクリアした。

(2) 3次元制御システムの開発

3次元加工機とスキヤニングヘッドの3次元制御システムを開発する。制御ソフトは、(3)の制御ソフトウェアを活用する。3次元加工試験結果を分析し、システムの完成度を高めた。

- ・3次元加工機能の開発（加工領域； $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ での制御確保）
- ・画像処理機能の開発（加工領域； $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ での制御確保）
- ・3次元加工試験での調整
- ・実用化に向けた調整（加工領域； $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ での制御確保）

(目標値)

- ・3次元加工機；5軸制御
- ・位置決め精度； $\pm 0.005\text{ mm}$ 以下
- ・位置決め精度（回転軸）； $\pm 0.005\text{ deg}$ 以下

機能面はすべて達成した。またシステムとしての基盤が確立した。

(3) CAD/CAMシステムの3次元加工への対応

3次元CAD、3次元CAMの選定及び開発を行った。加工対象の3次元曲面を有する金型表面に対して、3次元スキャナにより得られた模様データを3次元曲面上の目標データ（グレースケール含む）に変換するソフトを開発した。膨大な3次元データの処理方法の対応などを、加工工程管理機能の整備の中で進めた。

また、このデータから加工指示を出すソフトウェアを開発した。

- ・3次元機能への対応
- ・必要とする領域をカバーする効率と容量の確保
- ・加工工程管理機能の整備
- ・3次元加工試験での機能確認・調整

(目標値)

- ・CAD部；金型3次元CADデータを受け、3次元平面へのしぼ柄の貼付けを可能とする。
- ・CAM部；3次元加工機、スキャニングヘッドへの3次元平面への各指令プログラムを作成可能なものとする。

3次元加工試験でシステムの3次元への対応は確認できた。

(4) 加工面性状の分析

開発したレーザー加工機で加工する被加工材料の加工面性状品質（加工断面形状）を定量的に分析した。このようなしぼ加工表面の分析方法の検討から、定量的な評価法を導出した。

- ・データ解析方法の検討
- ・(加工断面形状) データ取得
- ・結果の評価、課題抽出

(目標値)

- ・エッチング加工とレーザー加工の断面形状の差異の評価
- ・レーザー加工条件と断面形状の関係に関する知見取得

エッチング加工との際の評価に関しては、定量的な評価にまでは至らなかった。評価は今後も継続して行う。レーザー加工条件と断面形状の関係に関する定量的知見取得は進められた。品質を向上させる加工条件の方向性は得られた。

(5) 3次元レーザー加工試験

アブレーション機能を有する3次元レーザー加工機を開発した。しぼ柄に配慮した条件を設定するものを開発した。本3次元レーザー加工機は、(1)の3次元加工機に、(2)の3次元制御システムと(3)のCAD/CAMシステムを組み入れて機能する。3次元レーザー加工機を用いて、種々の3次元加工試験を実施した。加工試験結果の評価を通じて、システムとしての完成度を高めた。

- ・3次元レーザー加工機のアセンブル調整
- ・試験計画の策定
- ・品質向上条件の選定試験
- ・3次元レーザー加工試験準備
- ・試験金型を用いた加工試験
- ・実体金型を用いた加工試験

(目標値)

- ・条件設定数；30

目標とする条件設定数の加工試験は実施できた。

3-2 今後の研究開発の展開

本研究開発は、3年計画であり、大きな流れは、図3-1に示す。第3年度は、最終年度として、3次元レーザー加工技術の実用化に向けた基盤を確立した。今後は実用化に向けた完成度の向上を目指す。

研究開発において、以下に示すような課題も明確になってきており、引き続いて課題の解決にも取り組んでいく。

- 1) CAD/CAMの容量不足の改善
- 2) スキャニングヘッドキャリブレーション精度の向上による品質の向上
- 3) 種々の形状の金型に対応した加工条件および加工機の制御条件の蓄積による完成度の向上

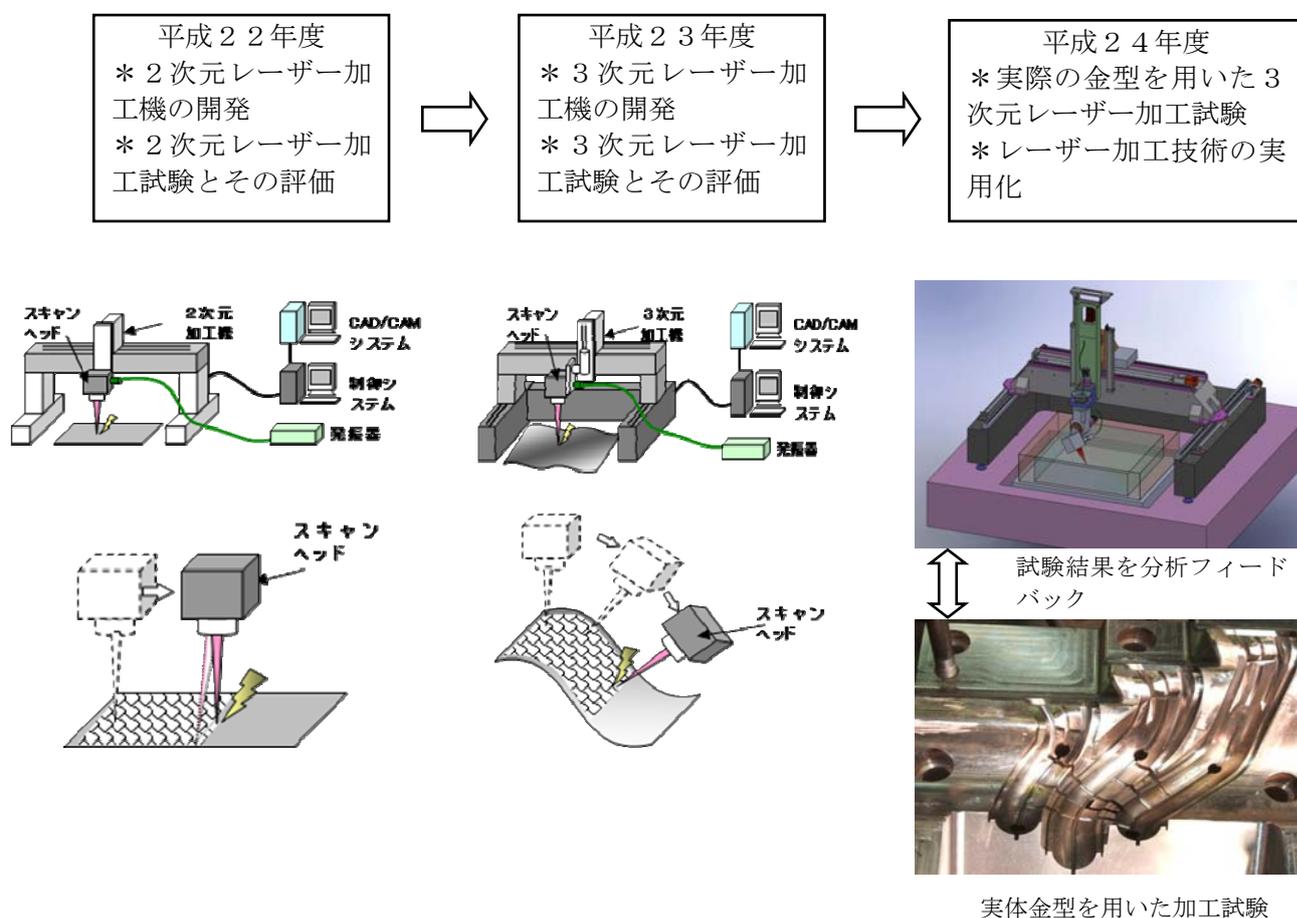


図3-1 研究開発の年度ごとの流れ

3-3 今後の事業化への展開

本研究開発により目標サイズへのレーザー加工が可能となった。また、エッチング工法では加工出来ない微細、精密柄の加工も実現した。今後は自動車部品及び家電メーカー部品、電子メーカー部品へレーザー加工を展開する。既に外観向上、機能付加を目的とした試作を自動車メーカー殿、家電メーカー殿、電子部品メーカー殿からの依頼で実施中である。

現段階ではレーザー加工はエッチング加工に比較して加工期間が長いいため特殊な柄（エッチング加工では出来ない）に特化して先ず事業化を進める。併せてレーザー加工の時間短縮を検討する。自動車部品の特殊な柄は加飾品代替え、布目張り代替え、グリップ部の機能柄の代替えである（図3-2参照）。家電メーカー部品はカメラのグリップ部の機能柄、テレビのフロントパネル（高輝度代替え）、パソコンのフレーム向け（高輝度代替え）等である（図3-3参照）。電子部品メーカー向け部品は導光版のような微細機能柄である（図3-4参照）。これらの柄は従来は実物の表皮、布地を使用したり、加工柄であっても放電加工など高コスト、長納期のものである。これをレーザー加工で代替え出来れば日本国内の川下企業にとって多くのメリットが生まれる。出来る限り早く多くの事業へ展開する。



図3-2 自動車向けレーザー加工品の試作例

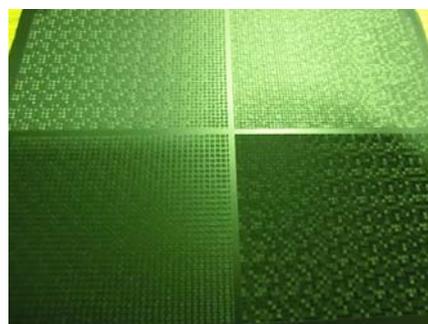
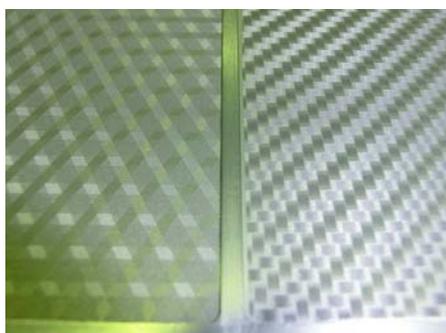


図3-3 家電メーカー向けレーザー加工品の試作例

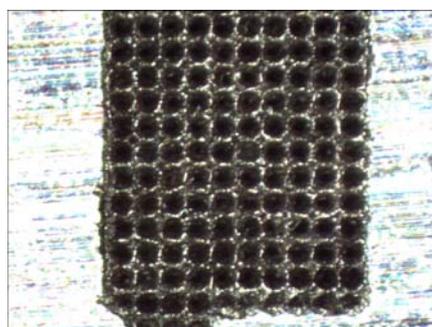
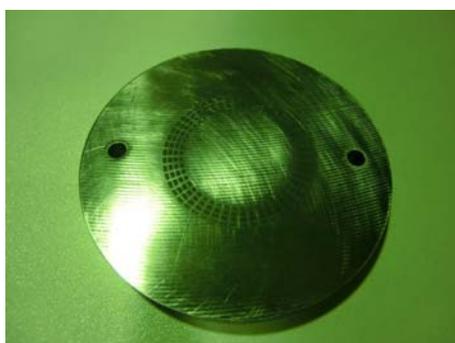


図3-4 電子部品メーカー向けレーザー加工品の試作例