

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元微細形状をもった μ TAS チップの
高精度金型加工と高精度成形の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 22 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 財団法人滋賀県産業支援プラザ

目 次

第1章 研究開発の概要.....	1
1-1 研究開発の背景・研究目的および目標.....	1
1-2 研究体制.....	3
1-3 成果概要.....	9
1-4 当該プロジェクト連絡窓口.....	9
第2章 高精度金型加工技術開発のための切削工具と切削技術の開発.....	10
2-1 切削工具の研究開発.....	10
2-2 型材料と加工方法・加工条件の研究開発.....	12
第3章 机上計測システムの研究開発.....	13
3-1 机上計測システムの開発.....	13
3-2 修正加工パス(寸法自込み用NCプログラム)の作成方法の確立.....	16
第4章 微細転写成形技術の研究開発.....	17
4-1 微細転写成形技術の確立.....	17
4-2 微細転写成形品の観察方法の研究.....	19
第5章 全体総括.....	21

第1章 研究開発の概要

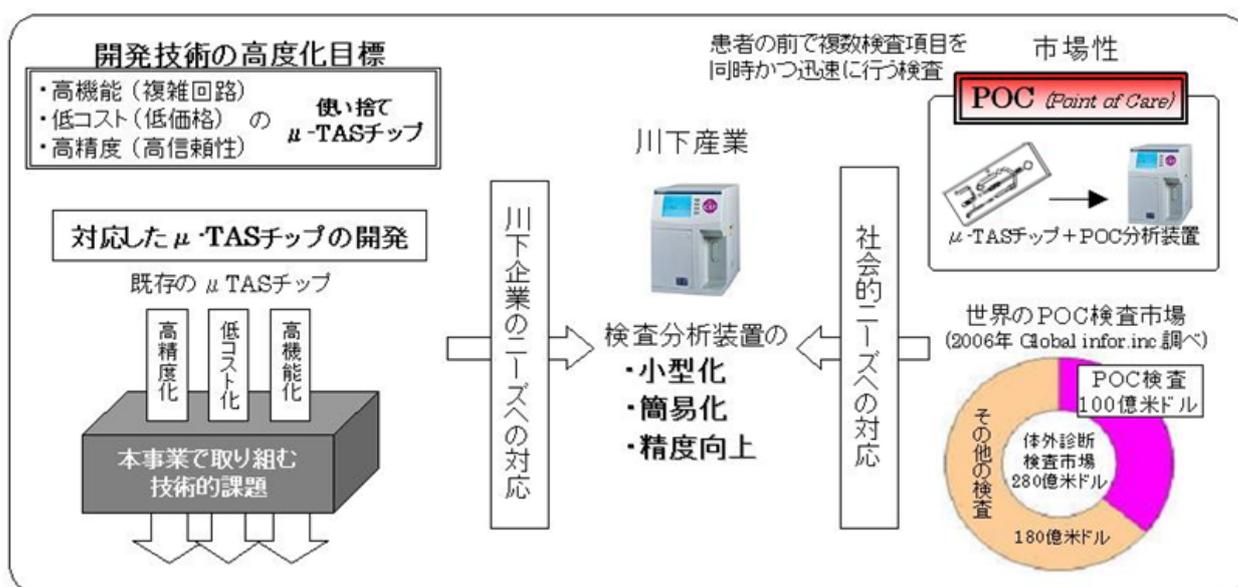
1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

開発の背景（社会的、技術的背景）

わが国の重要課題でもある医療費増大問題に対して、POC（ポイントオブケア）検査の拡大が解決手段の一つとして考えられている。POCとは、診療現場において患者の前で複数の検査項目を同時かつ迅速に行う臨床検査のことであり、医療費削減につながることから、米国では既に巨大市場が形成されている。

国内の現状は、集中大量検査システムに比べて検査項目数や分析精度が低いこと、さらに、検査デバイスである μ TASチップが高価であることなどから、海外に比べて普及率は低い。

μ TASチップとは、POC検査などに使用するデバイスの一種で、数cm角の基板上に刻まれた微細な流路と分析部の溝に血液などの検体を流し、複数分析を同時に行うチップである。「マイクロチップ上の実験室」と呼ばれるように、精密かつ多機能なデバイスである。



研究の目的

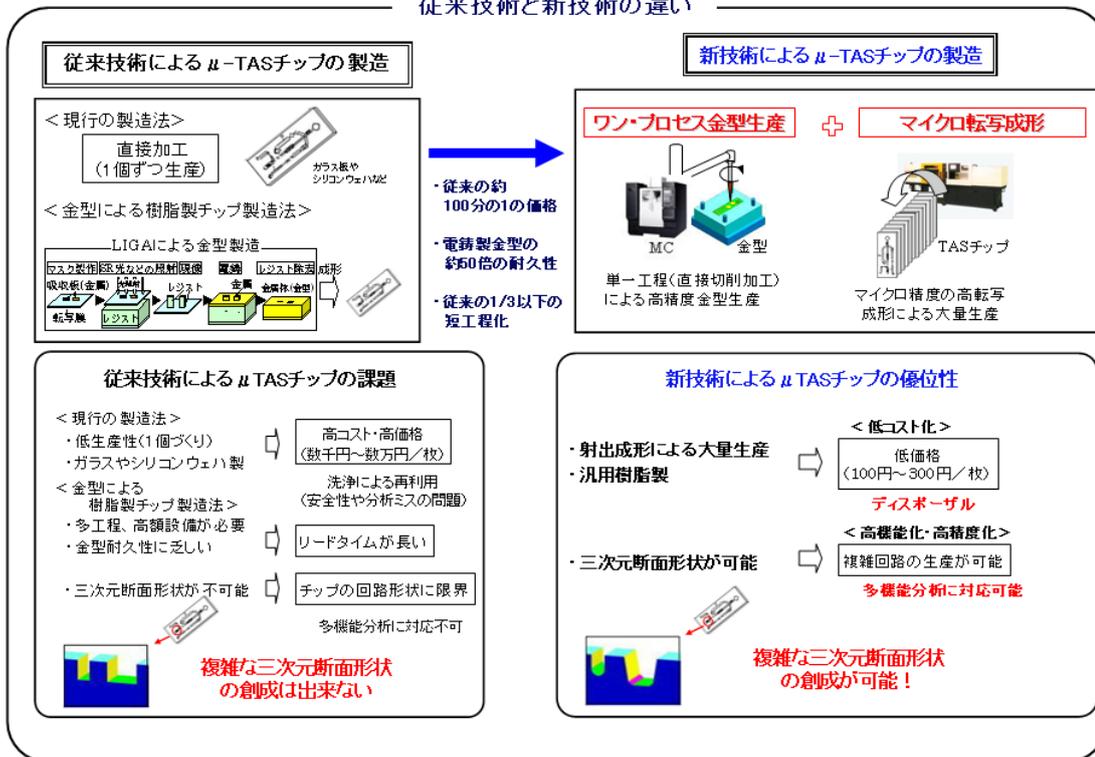
わが国の重要課題でもある医療費増大問題に対して、POC（ポイントオブケア）検査の拡大が解決手段の一つとして考えられている。米国では既に巨大市場が形成されているが、国内の現状は、集中大量検査システムに比べて検査項目数や分析精度が低いことや、検査デバイスである μ TASチップが高価であることなどから、海外に比べて普及率は低い。

そこで、国内の医療機器製造業者はPOCの普及に向けた検査装置の開発を急務としており、同時に、この装置の中核的な部品となる μ TASチップの小型化、高機能化、高信頼性化のための技術開発のニーズおよび必要性が高まっている。

医療分野のみならず環境バイオ分野で使用される分析用 μ TASチップは、現行技術では製造装置が大規模であり、また加工プロセスが長いことから非常に高価である。また、3次元形状加工が困難なため高機能化が課題になっている。そこで、本研究開発では、安価で高機能な使い捨て μ TASチップの開発を目的に、

金型の高精度加工に関する主要課題を複合的に研究開発すると同時に、微細な転写精度を有する成形技術の確立を行うものである。これにより、将来的には医療分野のみならず半導体や自動車、情報家電等分野に対して、小型・高性能・高信頼性の高集積製品の製造技術への波及を目指す。

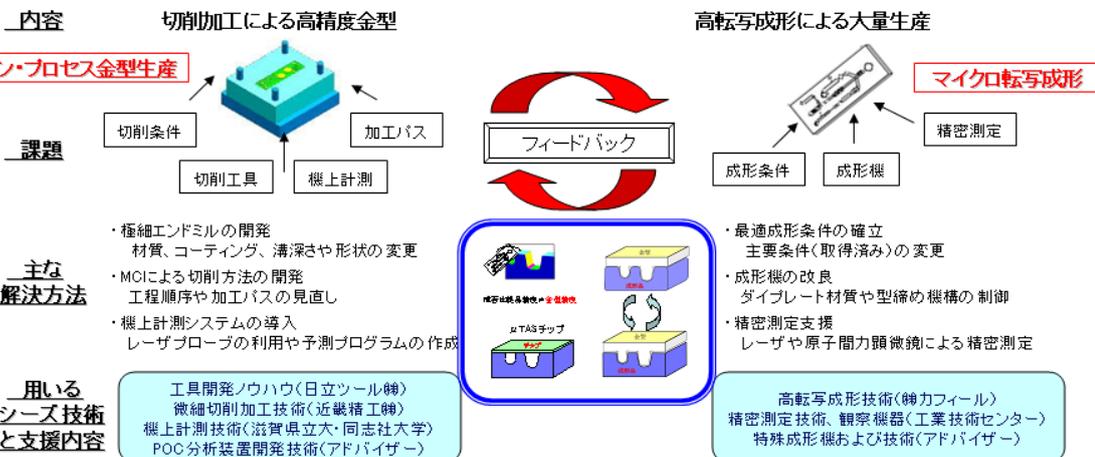
従来技術と新技術の違い



研究の概要

目標値や課題、解決方法など

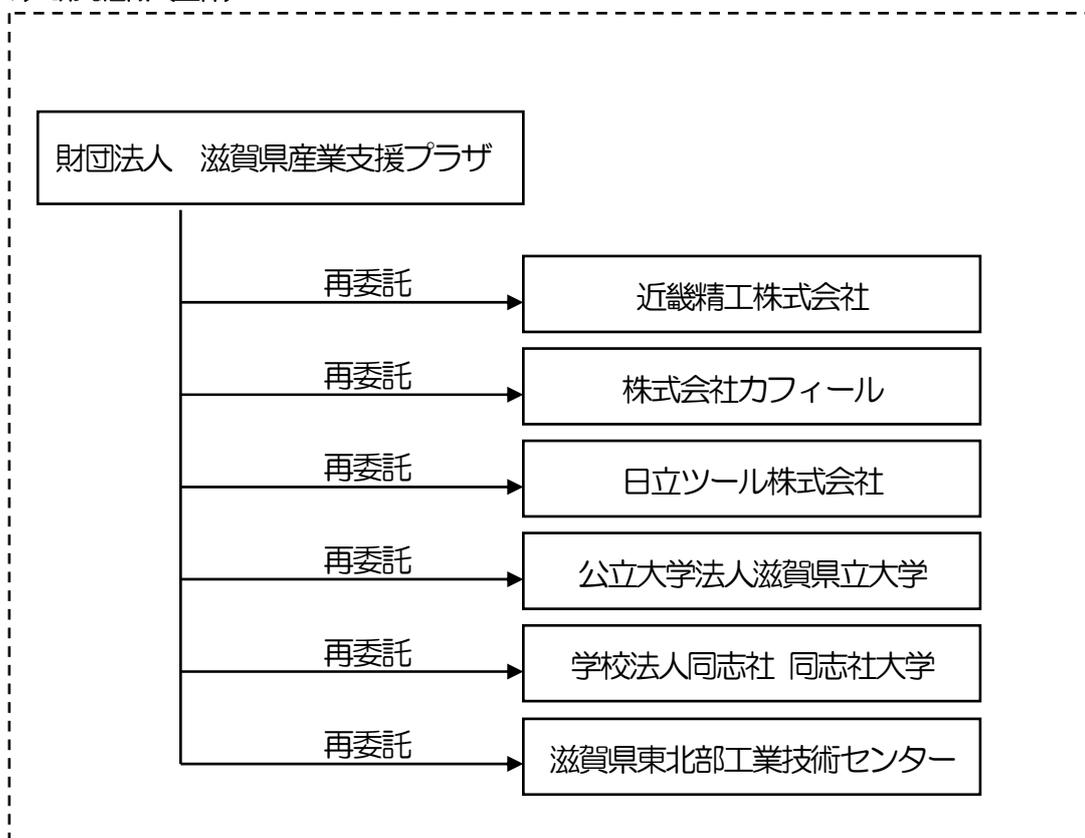
項目	目標値	現状の市場レベル	項目	目標値	現状の市場レベル
金型加工精度	±1μm	±5μm	成形品転写精度	±2μm	±5μm
溝の角R	5μm以内	±10μm以上	溝の角R	5μm以内	±10μm以上
金型耐久性	1000万ショット	100万ショット	成形サイクル	60sec~180sec	一枚づつ
リードタイム	7日~10日	20日~30日	最終販売価格	150円~300円/枚	数千円~数万円/枚



1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)



総括事業代表者 (PL)

所属：近畿精工株式会社

役職：代表取締役

氏名：畑澤 康弘

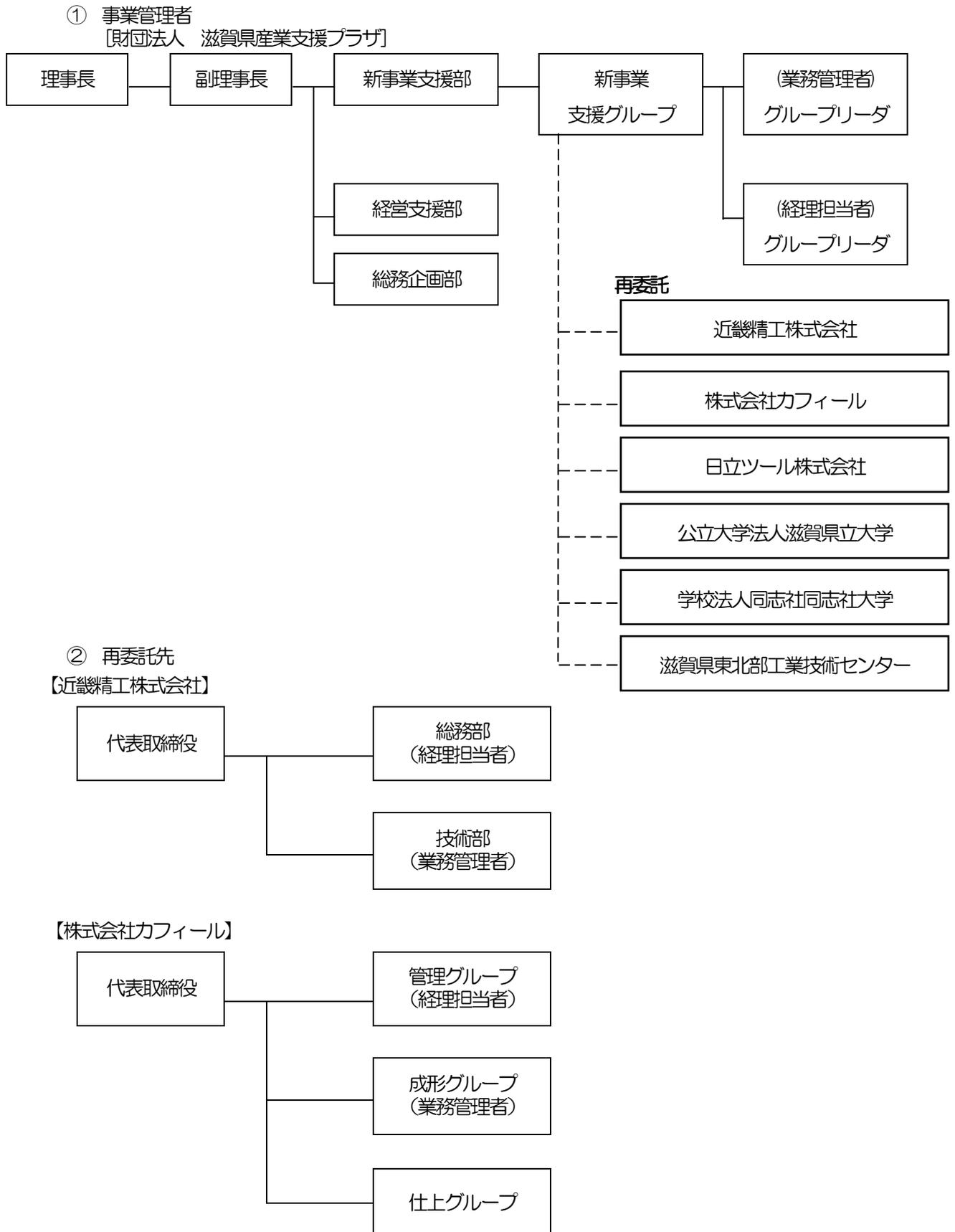
副総括事業代表者 (SL)

所属：株式会社カフィール

役職：代表取締役

氏名：川上 忠嗣

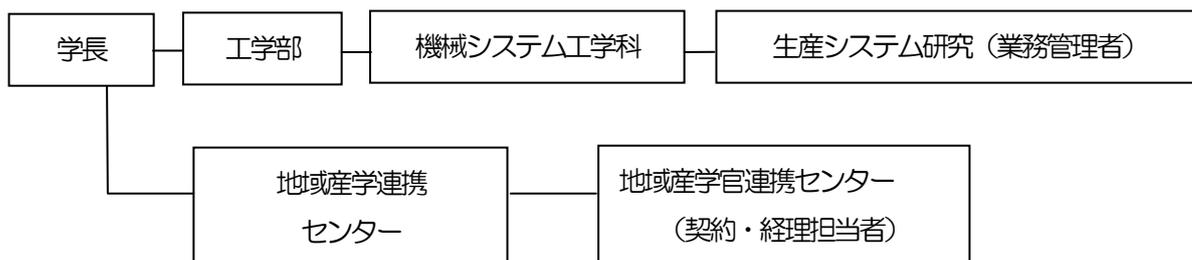
2) 管理体制



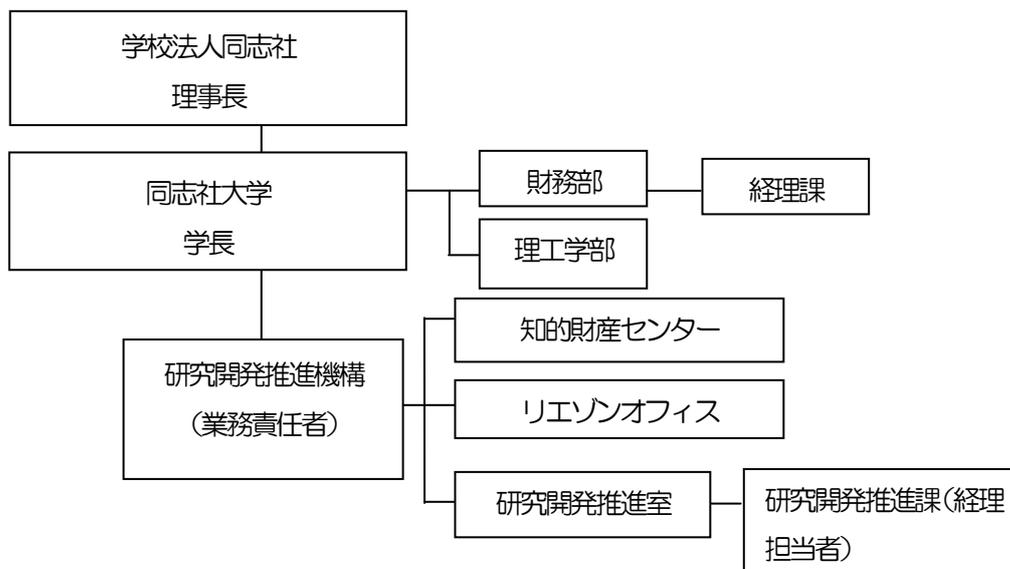
【日立ツール株式会社(野洲工場)】



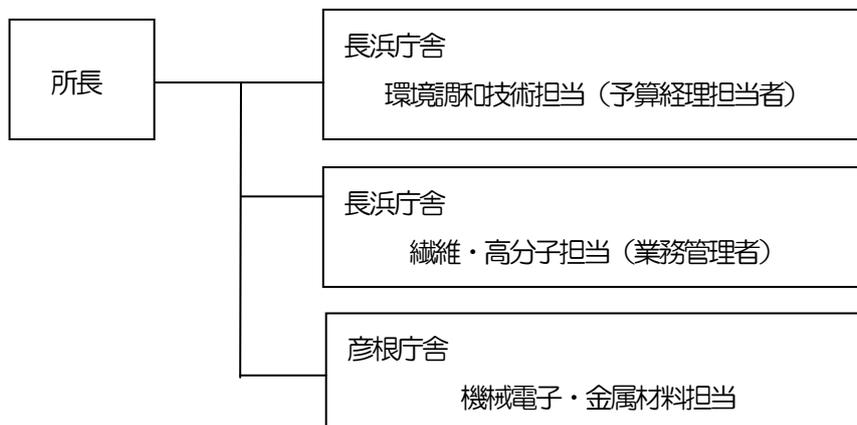
【公立大学法人滋賀県立大学】



【学校法人同志社同志社大学】



【滋賀県東北部工業技術センター】



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人滋賀県産業支援プラザ

氏名	所属・役職
西尾 隆臣	新事業支援部新事業支援グループ 主幹
巽 哲夫	新事業支援部新事業支援グループ 参与 専門相談員

【再委託先】近畿精工株式会社

氏名	所属・役職
畑澤 康弘	代表取締役
科田 恭孝	技術部・主任
大谷 実	技術部・課長
寺下 智巳	技術部
宮村 郁	技術部
橋本 崇	技術部
田中 義晃	技術部

株式会社カフィール

氏名	所属・役職
川上 忠嗣	代表取締役
辻井 善明	工場長（成形G長兼）
平尾 勝	仕上グループ長

日立ツール株式会社野洲工場

氏名	所属・役職
坂本 靖	本社 開発営業部 副部長
木野 晴喜	商品開発センター 技師

公立大学法人滋賀県立大学

氏名	所属・役職
中川 平三郎	工学部 教授
小川 圭二	工学部 助教

学校法人同志社同志社大学

氏名	所属・役職
青山 栄一	理工学部 教授

滋賀県東北部工業技術センター

氏名	所属・役職
松本 正	繊維・高分子担当 主任専門員
三宅 肇	繊維・高分子担当 主任主査

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人滋賀県産業支援プラザ

(経理担当者) 新事業支援グループ 主幹 西尾 隆臣
(業務管理者) 新事業支援部 部長 神本 正

(再委託先)

近畿精工株式会社

(経理担当者) 総務経理課 辻井里美
(業務管理者) 技術部主任 科田恭孝

株式会社カフィール

(経理担当者) 管理グループ 大野木知子
(業務管理者) 工場長 辻井善明

日立ツール株式会社

(経理担当者) 工場長室 谷本陽二
(業務管理者) 開発営業部臨陪部長 坂本 靖

公立大学法人滋賀県立大学

(経理担当者) 地域産学連携センター 副主幹 秦 憲志
(業務管理者) 工学部機械システム工学科教授 中川 平三郎

学校法人同志社 同志社大学

(経理担当者) 同志社大学研究開発推進機構 研究開発推進課長 藤井 邦宏
(業務管理者) 同志社大学研究開発推進機構 研究開発推進機構長 和田 元

滋賀県東北部工業技術センター

(経理担当者) 環境研究技術担当 中村清美
(業務管理者) グループリーダー 浦島 開

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

①研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
畑澤 康弘	近畿精工株式会社代表取締役	PL
川上 忠嗣	株式会社カフィール代表取締役	SL
坂本 靖	日立ツール株式会社 本社 開発営業部 副部長	
木野 晴喜	日立ツール株式会社野洲工場商品開発センター技師	
中川 平三郎	公立大学法人滋賀県立大学工学部教授	
小川 圭二	公立大学法人滋賀県立大学工学部助教	
青山 栄一	学校法人同志社 同志社大学理工学部教授	
三宅 肇	滋賀県東北部工業技術センター主任主査	
浦島 開	滋賀県東北部工業技術センター グループリーダー	
松本 正	滋賀県東北部工業技術センター主任専門員	

1-3 成果概要

本事業は安価で高機能な使い捨て μ TASチップの開発を目的に、金型の高精度加工に関する取り組みと微細転写成形技術の確立について取り組みを行うものである。平成21年度における成果の概要は以下である。

① 高精度金型加工技術開発のための切削工具と切削技術の開発

切削工具の研究開発については、形状精度・振れ精度共に目標値を達成することができた。また、切削寿命距離については、工具材質をcBNにすることにより平面加工において目標値を達成することができた。切削技術の開発では、前年度までの課題であった小径工具の工具長の測定方法を確立できた。また測定器の測定誤差の傾向も把握することができたので、今後の事業化にむけたノウハウを取得することができた。試作型の製作については、川下ユーザーの要求する精度と機能をすべて満足する金型を製作することができた。また40 μ mのアパーチャー部については実測する方法と、その後の補正加工のノウハウを取得できた。

② 機上計測システムの研究開発

機上計測システムを構築して最終目標値を達成することができた。プローブとしてダブルスキャン高精度レーザ変位計を用い、これによって得られる形状データとマシニングセンタの機械座標値との同期を図るためのキャリブレーションツールとして高精度タッチトリガプローブを用いたシステムである。外部PCはマシニングセンタCNCおよびレーザ変位計とデータ通信ができるシステムであり、両者から取得したデータをもとにCADデータとの差分により形状誤差を把握する。工具たわみ量は切削抵抗を工具剛性で除算することで得られる。切削抵抗は応答曲面法による簡易推定式により得られ、これに基づいて修正加工パスを生成するものである。

③ 微細転写成形技術の研究開発

事業化を念頭に置き、川下ユーザーの要求精度を満足する μ TASチップの成形加工技術の確立に取り組んだ。川下ユーザーの要求する実際の製品に近い形状の金型を製作して、成形試作を繰り返した結果、最終目標値を達成することができた。さらにクリーンブースを設置して成形環境を整えたことにより、川下ユーザーの要求するクリーン度の確保もできた。また、当テーマである三次元微細形状をもつ製品を短時間で簡易にかつ高精度で寸法計測や観察を行う方法について取り組みを行い、目標を達成した。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人滋賀県産業支援プラザ
新事業支援部 新技術活用支援グループ
〒520-0806 滋賀県大津市打出浜2番1号 コラボしが21 2階
電話(077)511-1414 FAX (077) 511-1418

第2章 高精度金型加工技術開発のための切削工具と切削技術の開発

2-1 切削工具の研究開発

コーナ部仕上げ加工を行うための課題と検証

μ TAS の高精度な金型加工を行うためにはコーナエッジ部の加工が重要となる。しかしながらコーナエッジ部分の加工はエンドミル切削加工で形成する場合、摩耗やチップングによってエッジ部分の加工は極めて困難である。そこで、特殊形状に設計したスクエアエンドミルを用いて評価を行った。使用した工具を図 2-1-1 及び図 2-1-2 に示す。工具の母材には、W(タングステン)を用い、工具表面には、硬度：3800Hv、耐酸化温度：1200°に改良したコーティングを施したものを製作し切削検証を行った。平成 20 年度の本研究で既に確認済みの、微細面取り形状による摩耗抑制効果を明確にするため、微細面取り形状の有無にて 2 種類の工具を作製し評価を行った。テスト加工形状を図 2-1-3 に示す。深さ 0.1mm、ピッチが 0.6mm の山残し加工を行った。コーナラジアスタイプのエンドミル EPDR を用いて荒・中仕上げ等高線加工を行い、その後、図 2-1-2、及び図 2-1-3 に示す特殊形状のスクエアタイプのエンドミルを用いて等高線仕上げ加工を行った。形成した加工ワークの加工面粗さは $Rz=0.15\mu\text{m}$ であり、本研究の目標値である $Rz=0.5\mu\text{m}$ 以下を達成した。

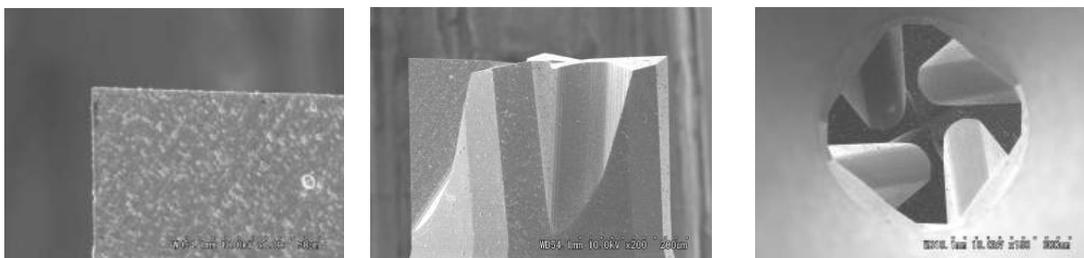


図 2-1-1 工具形状：微細面取り形状無し

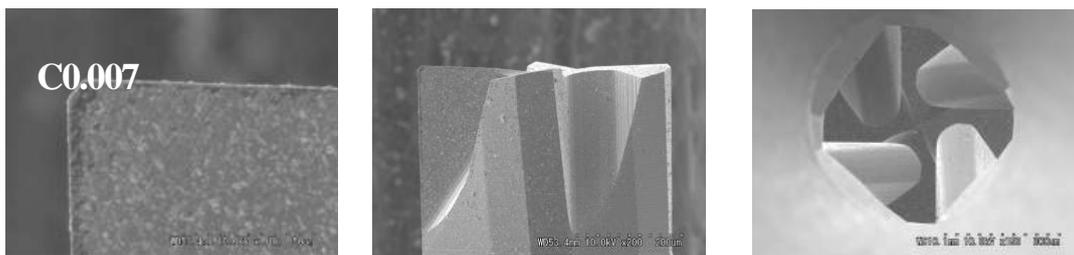


図 2-1-2 工具形状：微細面取り形状有り

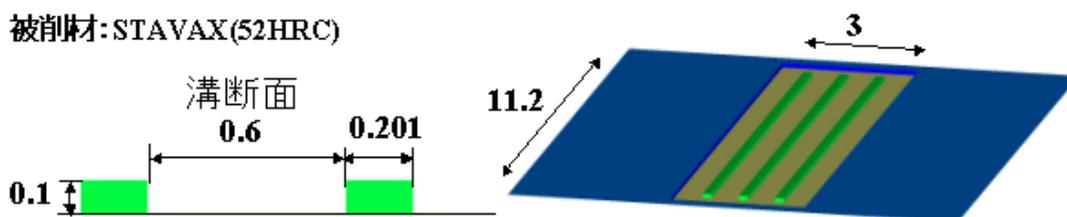


図 2-1-3 テスト加工形状

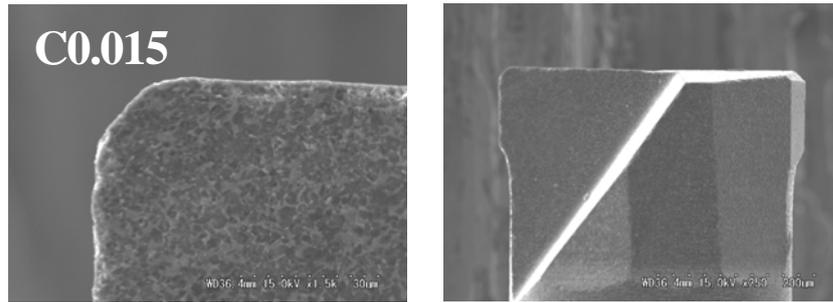


図2-1-4 工具形状 (刃径φ0.4)

コーナ部仕上げ加工における特殊工具の開発 (cBN 母材での検討)

切削寿命が 100m 以上可能な cBN を母材にしたコーナ部加工用工具を製作し、性能評価テストを行った。図 2-1-4 にテストに用いた特殊工具の外観写真を示す。工具コーナエッジには C0.015 の微少面取りを形成した。本研究の目標値である工具形状精度 $\pm 1 \mu$ 以下、振れ精度 $0.5 \mu\text{m}$ 以下を満足する工具を作製した。加工モデルを図 2-1-5 に示す。図 2-1-6 に評価テストにて加工したワークを示す。全体的にバリの発生なども無く良好な加工精度であった。特にコーナ部は工具の微細面取り形状が転写されており、C0.015 が均一に形成されている結果であった。切削前と切削後における工具の刃先の状態を図 2-1-7 に示す。切削前と比較して、工具形状の変化は極めて小さい結果となった (金型形状精度 $1 \mu\text{m}$ 以下)。形状変化は極めて小さく、本研究の目標値である切削抵抗の変動 10% 以下を満足する結果となった。

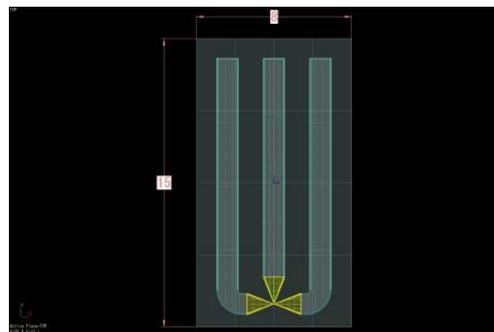


図2-1-5 加工モデル

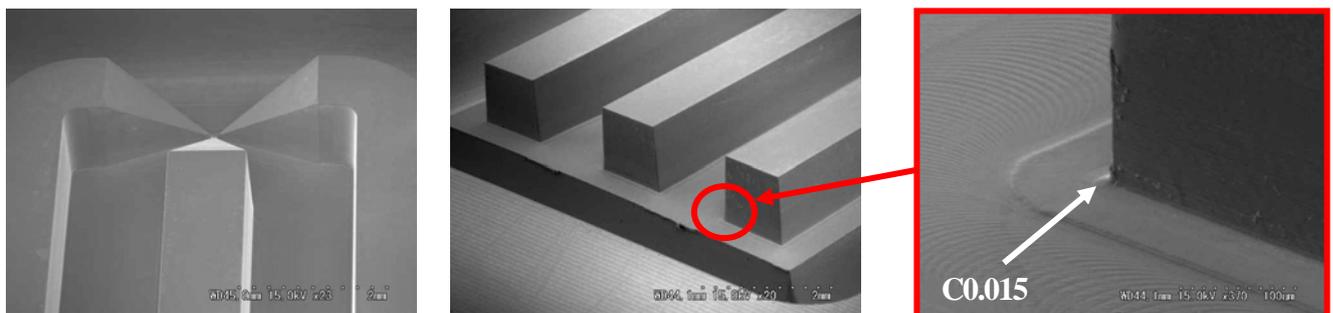


図2-1-6 加工したワーク

2-2 型材料と加工方法・加工条件の研究開発

試作金型の製作

検体のゴミ等を除去するフィルター形状の金型化

検体のゴミ等を除去するフィルター構造をもつ検査チップのイメージを図 2-2-1 に示す。流路入れ子の外観写真を図 2-2-2 に、フィルター部の拡大写真を図 2-2-3 に示す。図 2-2-4 にアパーチャー部の拡大写真を示す。

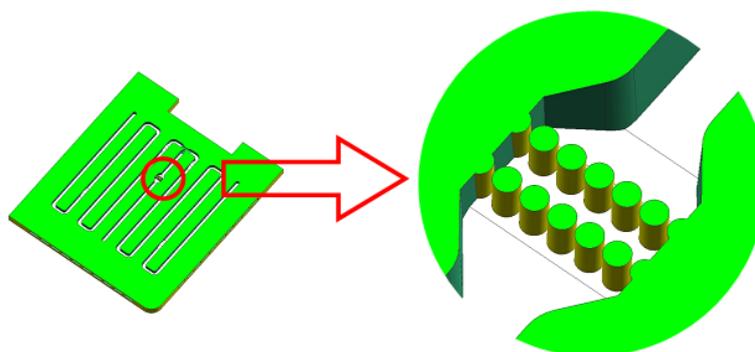


図 2-2-1 フィルター部詳細

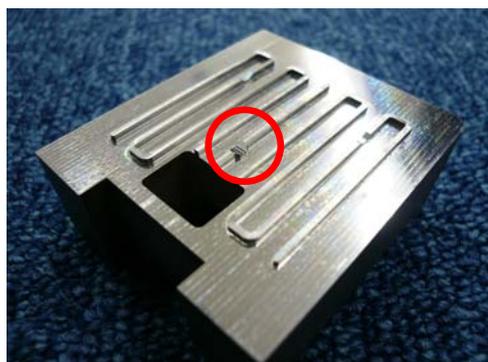


図 2-2-2 流路入れ子外観

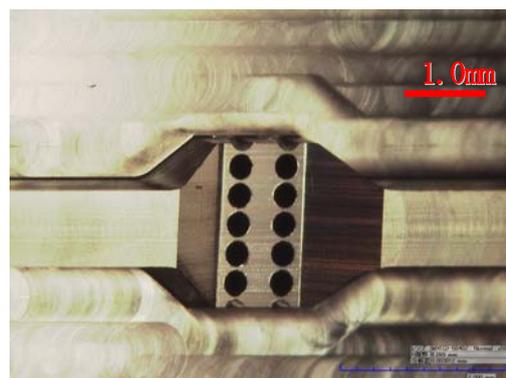


図 2-2-3 フィルター部拡大写真

アパーチャー部入れ子の製作



図 2-2-4 アパーチャー部拡大写真

第3章 機上計測システムの研究開発

3-1 機上計測システムの開発

金型形状精度 $\pm 1 \mu\text{m}$ を保障するためには、 $1 \mu\text{m}$ 以下のオーダーで形状測定する必要がある。また、金型製作リードタイム短縮のためには、測定時間を可能な限り短くする必要がある。そこで、本テーマでは以下に示す目標値を設定し、これを満足する機上計測システムの開発を目的とした。

<目標値>

- ・ 測定精度… $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 以下
- ・ 測定時間…30分以内

使用したレーザ変位計は、ダブルスキャン高精度レーザ変位計である。計測対象とした試作金型サンプル(材質:STAVAX) および計測箇所を図3-1-1に、計測条件を表3-1-1に示す。なお、図3-1-1に示すように試作金型サンプルにおいて、NO1は切削後にプラスト処理したもの、NO2は切削後に無電解研磨処理したもので、NO3は切削のみのもので、形状はいずれも同じである。

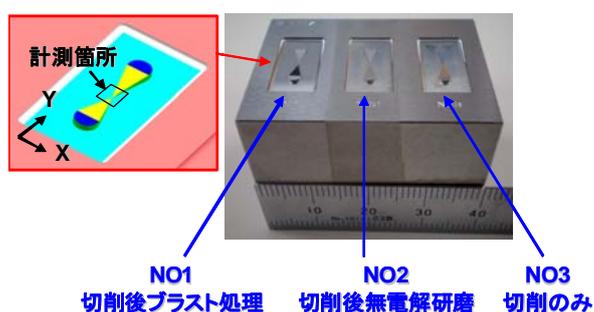
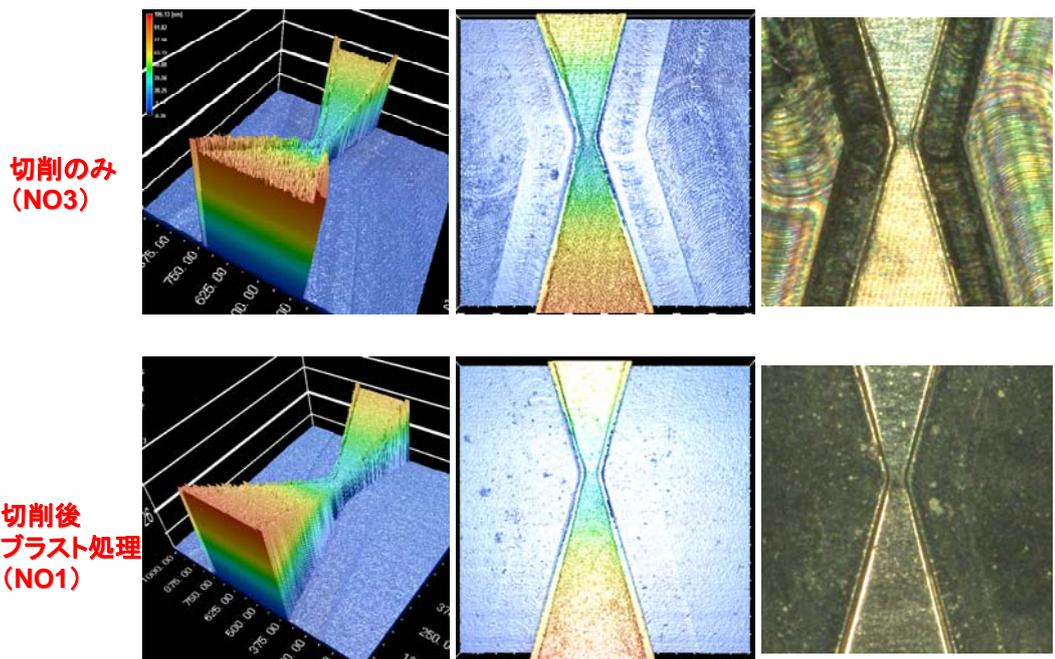


図 3-1-1 測定対象とした金型サンプル

表3-1-1 測定条件

範囲	X: 1mm, Y: 1mm
ピッチ	X: $2 \mu\text{m}$, Y: $2 \mu\text{m}$
送り速度	X: 1mm/s, Y: 10mm/s
時間	約9分

図3-1-2は、計測結果を示す。比較のためにマイクロ스코プ画像を合わせて示している。図より、NO1・NO3 いずれの場合も従来のレーザ変位計では困難であった立ち壁部の計測ができていることがわかる。また、クビレ部(計測箇所中央の幅が最小となる付近)や立ち壁底角部などタッチトリガプローブでは $\phi 0.3\text{mm}$ の微小スタイラス球を用いても計測不可能な箇所も計測できていることがわかる。さらに、本レーザ変位計では、立ち壁頂上凸角部でバリおよび切削後の後処理の違いによる底面の切削痕の違いも把握できることがわかる。いずれの場合もSEM像から得られる寸法に合致する測定結果が得られた。幅(X)方向のデータピッチは $1 \mu\text{m}$ であり、測定目標値を満足することができる。



(a) レーザ変位計測定結果

(b) マイクロスコープ画像

図3-1-2 ダブルスキャン高精度レーザ変位計での計測結果（マイクロスコープ画像との比較）

ダブルスキャン高精度レーザ変位計で得られる測定値は、測定対象の形状データであるため、修正加工のためにはこれをマシニングセンタの機械座標値として認識する必要がある。その流れを図3-1-3に示す。上段は、外部PCを用いての形状測定値取得およびマシニングセンタの機械座標取得の流れを示している。まず、①外部PCからマシニングセンタのCNC（Ethernet接続）にサンプリング条件を指令する。次に、②外部PCからレーザ変位計とCNCに対してトリガ信号が送られ、レーザ変位計が形状測定を開始すると同時に、マシニングセンタは運動を開始する。③外部PCは、レーザ変位計からの形状測定値とCNCからの機械座標値を取得する。しかし、これだけでは、形状測定値と機械座標値との同期が図れない。そこで、同図の下段に示すように、キャリブレーションツールとして、高精度タッチトリガプローブを用いることにした。プローブの測定精度は $\pm 0.3 \mu\text{m}$ と高精度であり、キャリブレーションツールとして十分な精度を有することは確認済である（平成20年度成果報告書参照）。まず、寸法既知の基準片をマシニングセンタ内に設置し、この機械座標値を把握しておく。これを上段のシステムで測定することで、形状測定値と機械座標値との同期を図る。これをもとに実際の工作物を上段のシステムで測定して補正するものである。

実際の金型（成形品）を考慮して、 3mm エリアを3箇所測定すると仮定すると、評価試験と同条件では約243分（9分 $\times 3 \times 3 \times 3$ ）要することになり、目標値30分以内を満足しない。実際の金型形状を考慮すると、X方向には十分な測定精度が要求されるが、Y方向には、ある程度の許容値が存在すると予想される。そこで、Y方向の送り速度およびピッチを変えた場合に目標値を達成するための測定条件について試算した。その結果を図3-1-4に示す。図よりY方向のピッチを 16mm 以下（スキャン速度 10mm/s ）、あるいはY方向のスキャン速度 100mm/s 程度以上（ピッチ 2mm ）とすればよいことがわかる。また、エリア測定をせずに、切削加工パスを利用したライン測定により計測時間の短縮が望める。

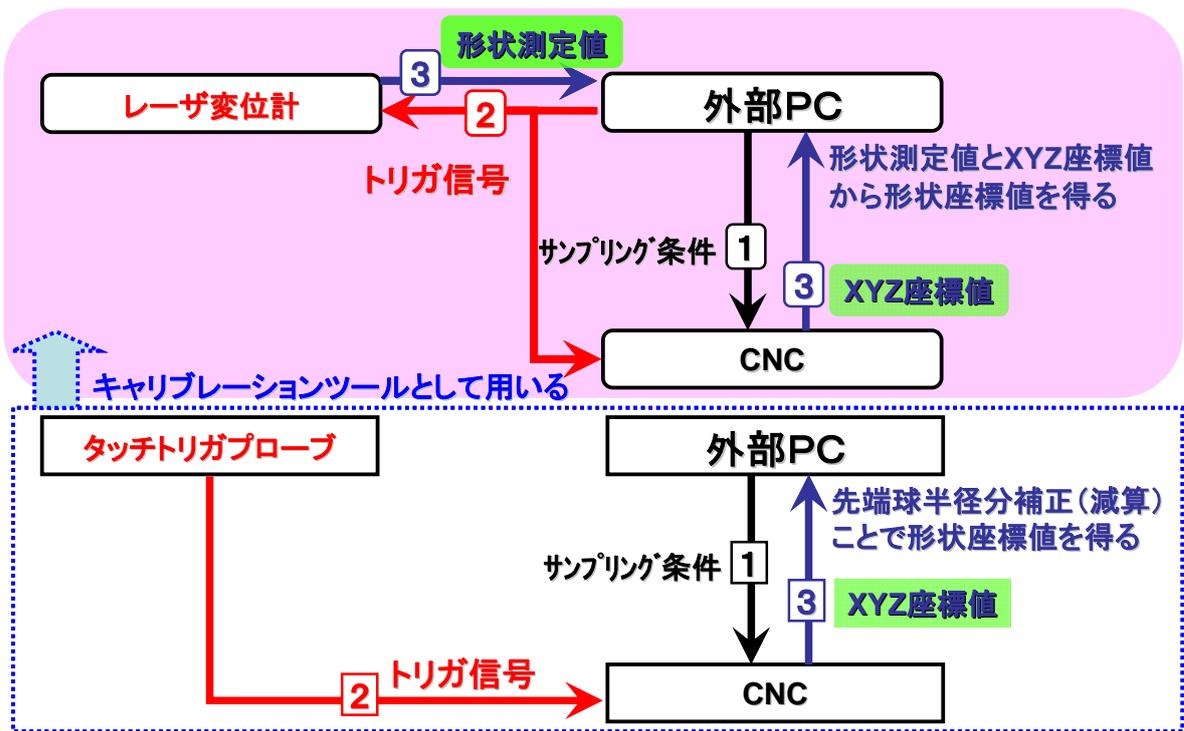


図3-1-4 レーザ変位計による形状測定値とマシニングセンタ座標値との同期方法

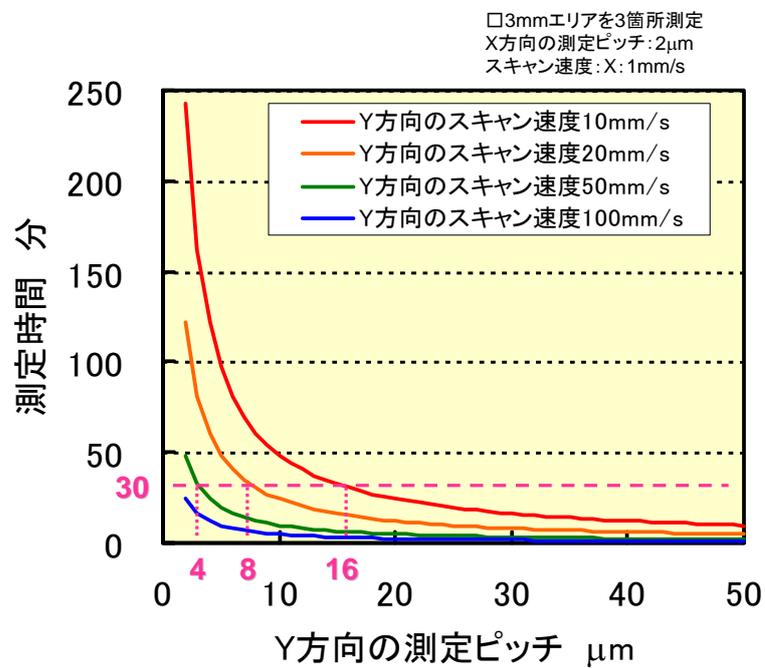


図3-1-5 測定時間

3-2 修正加工パス(寸法追込み用NCプログラム)の作成方法の確立

機上で金型の寸法や形状を測定した後、加工物を目標寸法に仕上げるための修正加工プログラムを作成するシステムを開発している。本テーマでは以下に示す目標値を設定し、これを満足するための方法を確立した。

<目標値>

- ・ 修正加工後の金型寸法精度… $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下
- ・ 切削仕上げ面粗さRz… $0.5 \mu\text{m}$ 以下
- ・ 機能…自動プログラム作成機能の付与 (フィードフォワード型修正プログラムの作成)

2次の応答曲面モデルを用いて、応答を切削抵抗 F 、推定変数を最大切りくず厚さ t_{\max} 、接触弧長 L_c とし、2次の切削抵抗推定式を式(3-2-1)として求めた。

$$F = B_0 + B_1 t_{\max} + B_2 L_c + B_{11} t_{\max}^2 + B_{22} L_c^2 + B_{12} t_{\max} L_c \quad (3-2-1)$$

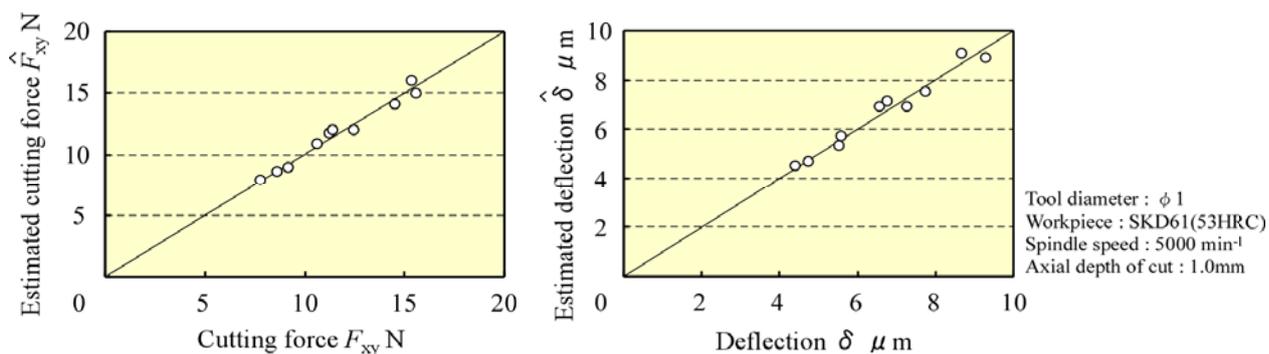


図3-2-1 切削抵抗測定値と推定値の比較 図3-2-2 測定値から求めたたわみ量と推定値の比較

ここで、たわみ量 δ を、切削抵抗の半径切込み方向成分 F_y を工具・主軸系の静剛性 E で除した値と仮定して、実験値から算出したたわみ量 δ と切削抵抗推定式から算出したたわみ量 $\hat{\delta}$ とを比較したものを図3-2-2に示す。バラツキは $1 \mu\text{m}$ 以下と精度よく推定ができていることがわかる。これを機上計測後の修正加工条件設定に応用することで、フィードフォワード型修正プログラムの作成が可能となる。なお、金型寸法精度および切削仕上げ面の粗さについては目標値を達成することができる。

第4章 微細転写成形技術の研究開発

4-1 微細転写成形技術の確立

平成 19 年度は微細転写成形技術の確立に向けて最適な成形条件を見出すための基礎研究，平成 20 年度は微細転写に最適な成形機の導入というインフラ整備を行って来た。最終年度は事業化を念頭に置き，川下ユーザーの要求仕様を盛り込んだ実際の製品に近い形状の試作金型を製作し，それをを用い成形試作を繰り返し，最終目標値の達成を目指すと同時に，川下ユーザーの要求を満足する精度の μ TAS チップ成形加工技術の確立を目的とした。

<本項の目標値>

成形品寸法精度… $\pm 2\mu\text{m}$ 以下

エッジ部角R 精度… $5\mu\text{m}$ 以下

成形サイクル…60秒/cycle

1) ゲート方式の検討

平成 20 年度に行った下記のフィルター形状の転写についての課題を解決するために，製作した試作金型のゲート部を改造し，その転写性を確認した。試作結果より，フィルターの様な突起形状（アスペクト比大）の流動に適したゲート形状は，ファンゲートが一番適していることがわかった。また，その突起物はゲートからより遠い方の流動性が高いことがわかった。金型は上記の通り，アパーチャー部の流動性の観点からのサイドゲート方式，フィルター部の流動性及び事業化を見据えた観点からのピンゲート方式という 2 種類を製作した。フィルター部はアスペクト比が大きく，ゲートから離れた方がその流動が良いことが分かっている。また川下ユーザーの要求数量がバイオハザードの観点から使い捨てということから 100 万個+ α /年間というボリュームであり，サイドゲート型の場合，そのゲートカット工数が掛かる点からピンゲート型も製作することにした。

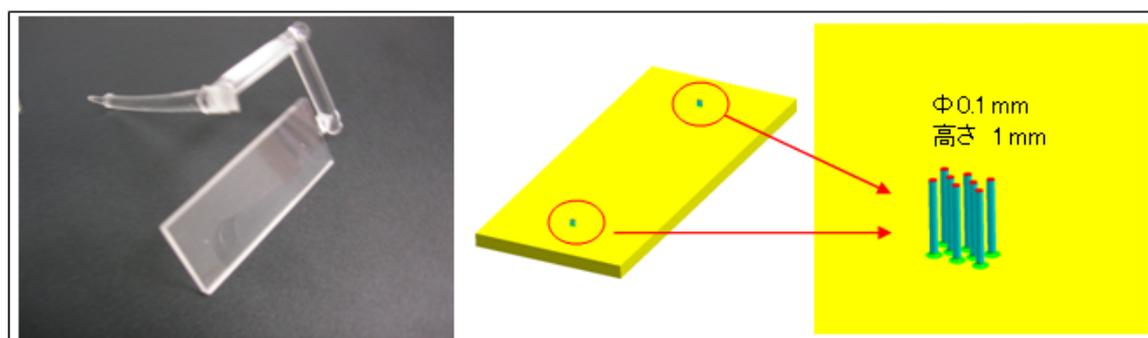


図 4-1 フィルター部の形状

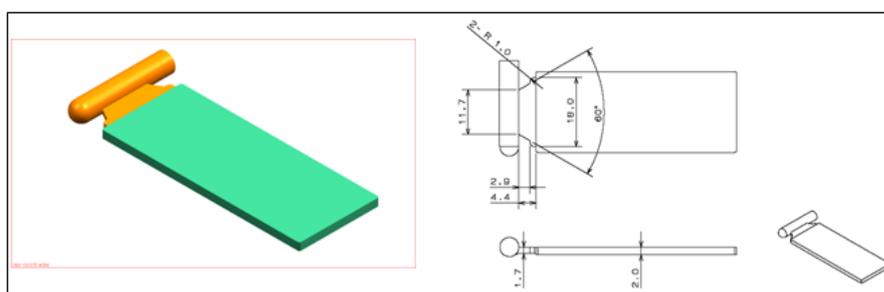


図 4-2 ファンゲート

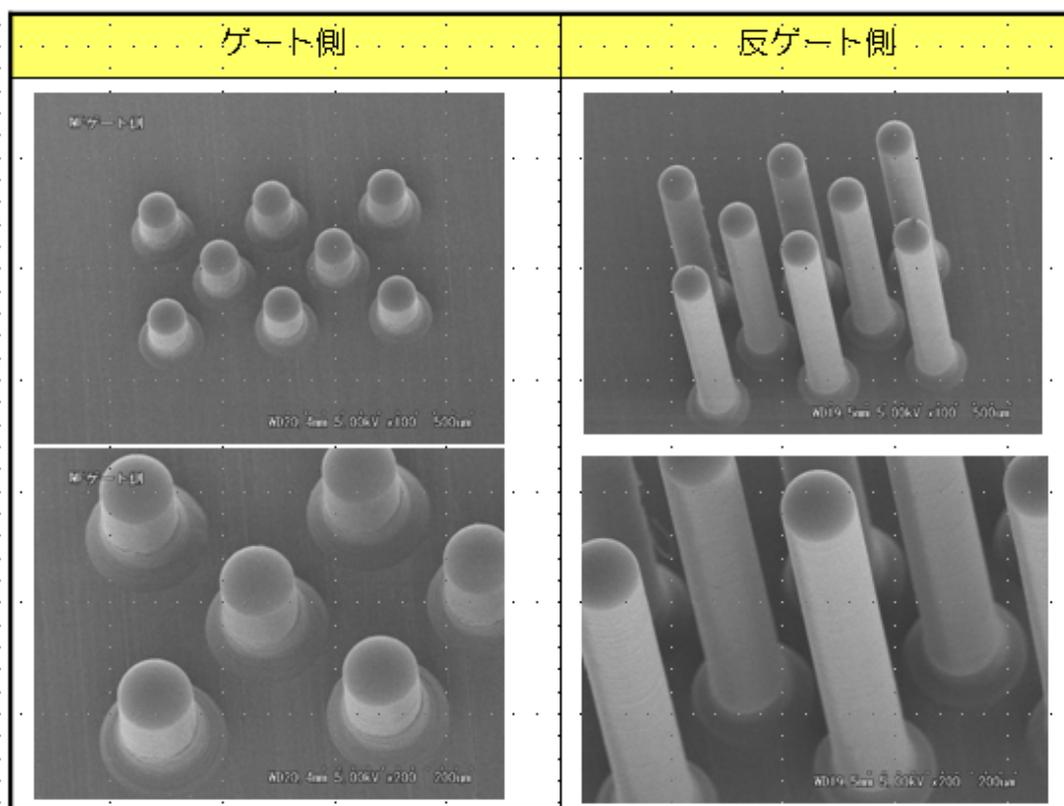


図 4-3 ファンゲートの充填 SEM 写真

2) 試作金型の製作

微細形状部をはじめ川下ユーザーの要求する仕様で実際の製品に近い形状の試作金型を製作し、成形試作を繰り返した。

3) 成形試作

アパーチャー部成形品の評価結果を下記図 4-3 に、フィルター部成形品の評価結果を下記図 4-9 と図 4-10 に示す。

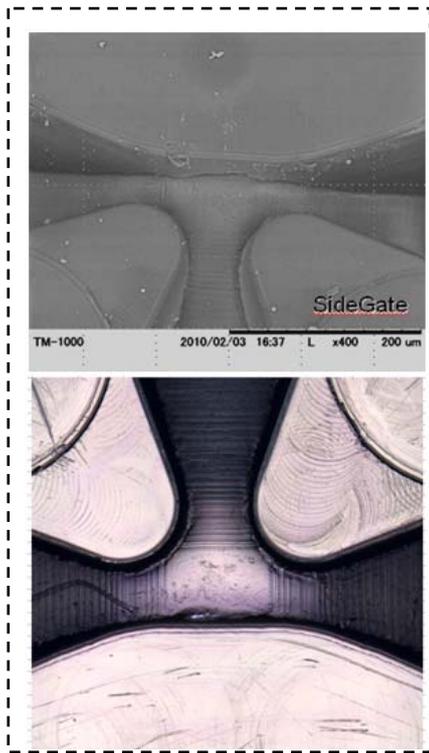


図 4-9 アパーチャー部写真

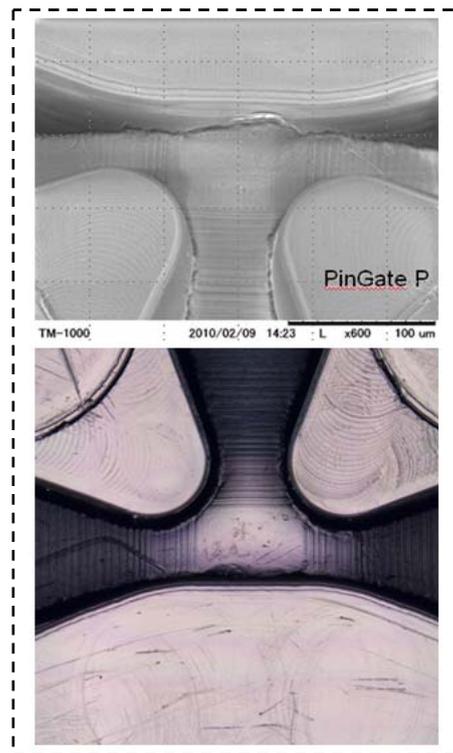


図 4-10 アパーチャー部写真（ピンゲート）

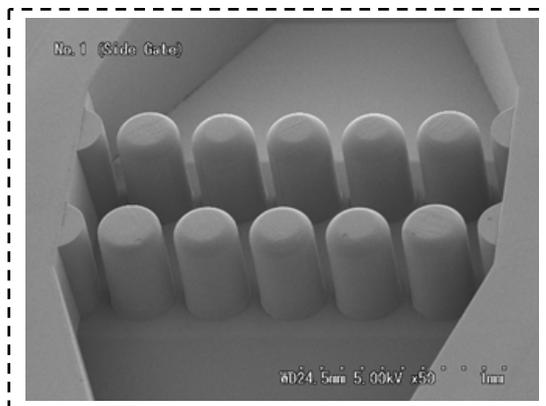


図 4-11 SEM 写真（サイドゲート）

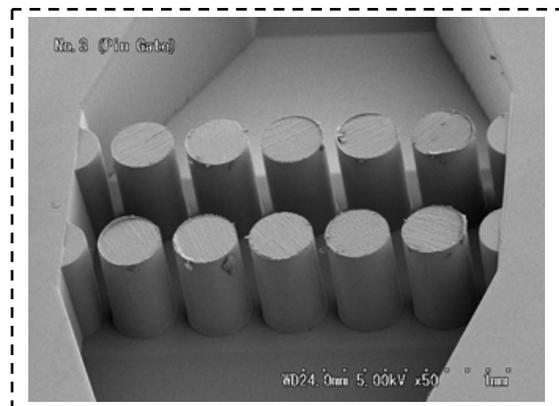


図 4-12 SEM 写真（ピンゲート）

4-2 微細転写成形品の観察方法の研究

本項では、 μm レベルの精度が要求される成形品について、短時間で簡易にかつ高精度で寸法計測や観察を行う方法を選定することを目的としている。立体的な形状をもつ成形品の寸法を μm レベルで正確に測定するためには、計測に用いる装置の精度に起因するところが多い。また、本研究の目標成果物である μTAS チップは、事業化時には大量生産を行うことから、品質管理の面において短時間でかつ効率のよい精度管理が必要となる。以上の観点から、まず共焦点型レーザー顕微鏡の精度把握を行ったのち、マイクロ스코プおよび共焦点型レーザー顕微鏡による計測値と金型設計寸法の比較を行い、誤差精度の確認を行った。また、(株)

カフィールに導入設置した共焦点型レーザー顕微鏡を基準測定機として、当該機による計測値および計測時間に関して検討を行い、標準化を図った。

なお、本項における成果目標値は以下である。

<平成21年度目標値>

計測精度… $0.2\mu\text{m}$ 以下

計測時間… 1 min/回以内

共焦点型レーザー顕微鏡の計測精度の把握を目的に、(株)カフィールに設置した顕微鏡と同型であるレーザーテック株製 OPTELISC C130 を用いて、8本の円柱状突起物の径、面積について計測値のバラツキ確認を行った。平均値はまほ設計図面通りであり、 $1\mu\text{m}$ 以下の分解能を期待することができる。

以上は、成形品寸法と金型設計寸法の差を確認したものであり、事業化における品質管理では、人的要因による誤差も課題となる。そこで、同一サンプルを複数回計測した場合の測定値のバラツキについて検証を行った。1.5 min 程度の計測時間が必要であることがわかる。しかし、マイクロ스코プによる観察は画像取得が短時間で可能なことから2から3部位程度であれば、1 min 以内の計測が可能である。

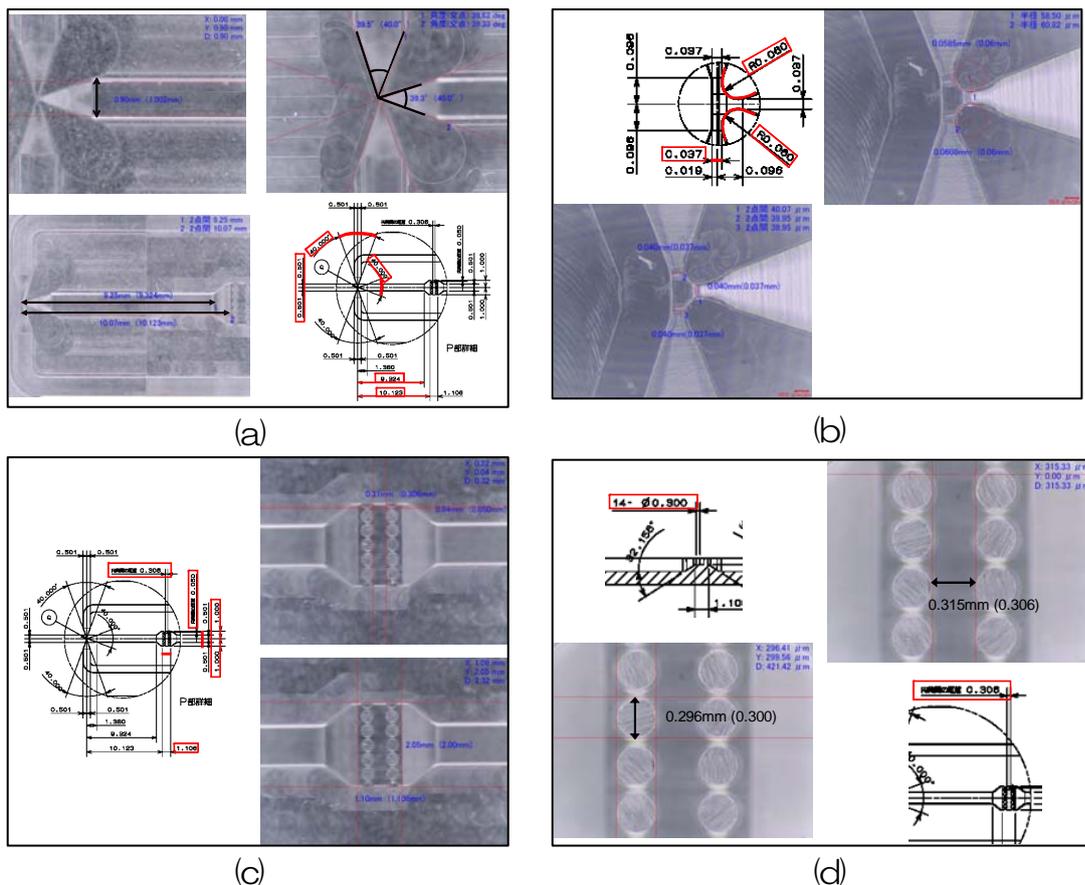


図4-32 マイクロ스코プによる各部位の計測結果

(a) 流路溝 (b) アパーチャー部付近 (c) フィルター部全体 (d) フィルター

第5章 全体総括

切削工具の研究開発

切削工具の研究開発については、形状精度 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下、振れ精度 $0.5 \mu\text{m}$ 以下の目標値を達成することができた。また、切削寿命距離については、工具材質をcBNにすることにより平面加工において目標値を達成することができた。ピン角の工具よりもCO.01程度の微小面取りをつけた工具の方が、ムシレのない加工面が得られ、多数個取りの金型製作にとっては有利なことが分かった。微少面取り形状は、切削初期の段階から安定した摩耗を示し、その後の摩耗の進行を抑制する効果があると判断できた。

型材料と加工方法・加工条件の研究開発

$40 \mu\text{m}$ のアパーチャー部の加工において金型を実測する方法と、その後の補正加工を行うことにより、金型形状精度 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下が達成できた。切削仕上げ面粗さは $Rz0.15 \mu\text{m}$ を達成し、cBN、超硬工具ともに目標値の $Rz0.5 \mu\text{m}$ を大きく下回ることができた。小径工具の工具長の測定方法を確立できた。また測定器の測定誤差の傾向も把握することができた。工具磨耗量 $5 \mu\text{m}$ 以下の目標値は、加工途中での工具長の測定が可能となったので、工具交換のタイミングを把握することができるようになった。試作型の製作については、川下ユーザーの要求する精度と機能をすべて満足する金型を製作することができた。

机上計測システムの開発

プローブとしてダブルスキャン高精度レーザ変位計を用い、これによって得られる形状データとマシニングセンタの機械座標値との同期を図るためのキャリブレーションツールとして高精度タッチトリガプローブを用いることで、測定精度 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 以下が達成できた。スキャン速度を速くすることで、測定時間30分以内を達成できた。本システムは、外部PCをマシニングセンタCNCおよびレーザ変位計とデータ通信ができ、両者から取得したデータをもとにCADデータとの差分により形状誤差を把握する。工具たわみ量は切削抵抗を工具剛性で除算することで得られる。切削抵抗は応答曲面法による簡易推定式により得られ、これに基づいて修正加工パスを生成するものである。寸法精度 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下および仕上げ面粗さ $Rz0.5 \mu\text{m}$ 以下を満足できる。

微細転写成形技術の確立

最終年度である本年度は川下ユーザーとの打合せを密にして、事業化を見据えた取り組みを行った。また、金型培門と成形研門がお互いの成果をフィードバックしながら川下ユーザーの実際の課題について掘り下げて取り組むことにより、当初計画の目標値を達成することができた。成形試作品サンプルについては、川下ユーザーより高評価を得ている状況である。成形環境についても、クリーンブースの設置により、川下ユーザーの要求するクリーン度を確立することができた。

微細転写成形品の観察方法の研究

微細転写成形品の観察方法の研究については、成形品の計測方法の標準化を目的に、マイクロスコブおよび共焦点型レーザ顕微鏡を用いて、測定精度の確認と計測時間の評価を行い、目標値を達成することができた。今後の課題としては、事業化に必要な多数個取りを行った際の寸法安定性を向上させることであり、当該課題について継続研究を実施していく予定である。