

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「成形金型の短納期化とデザイン高度化を実現する
低投資な超精密微細切削システムの研究」
研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人理工学振興会

目 次

1. 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
1-1-1. 研究開発の背景	1
1-1-2. 研究の目的および目標	3
1-2. 研究体制	5
1-2-1. 研究組織	5
1-2-2. 管理体制	5
1-2-3. 研究者氏名	6
1-2-4. 協力者	7
1-3. 成果概要	7
1-4. 当該研究開発の連絡窓口	8
2. 研究内容および成果	9
2-1. 樹脂成形品の離型性向上とデザインの高度化対応のための 超精密微細切削技術の研究	9
2-1-1. 高精度・微細切削加工技術の研究	9
2-1-2. シボ面機能を発揮する新たな機能表面の設計と微細切削技術の研究	11
2-1-3. 簡易成形金型を用いた離型性制御作用の評価と検証	14
2-1-4. 樹脂成形品のデザイン高度化を支援する超精密微細切削技術の研究	18
2-2. 加工機周辺の環境変化による加工機の熱変形を抑制する 低投資な加工機安定化システムの研究	19
2-2-1. 設置環境が及ぼす研究用工作機械の熱変形の影響調査	19
2-2-2. 断熱性壁面構造体を活用した熱変形抑制手法の研究	29
2-2-3. 設置環境に最適な低投資環境温度制御システムの仕様設計	30
3. 全体総括	34
3-1. 研究開発の成果および課題	34
3-1-1. 研究開発の成果	34
3-1-2. 今後の課題	35
3-2. 事業化展開	35
4. 専門用語等の解説	36
5. 参考文献・引用文献	36

1. 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. 研究開発の背景

(1) 研究開発の背景

国内製造業の海外展開とアジア圏の金型企業の技術力の急速な進歩により、国内の裾野産業を形成する金型設計製作企業は、これまでの金型技術の優位性により得られた付加価値が急速に減少するなか経営面を含めた見直しが求められている。現時点では世界のトップレベルにある研究開発型製造企業でも新たな展開が必要になり、例えば、超精密複雑形状部品の生産技術を研究開発することで新たな分野への進出を図り、これまでの地位を保つ努力が成されつつある。本研究開発は樹脂成形用高精度金型のための超精密微細切削技術に着目し、デジカメ用 AF カメラレンズモジュールを事例として、樹脂成形金型の短納期・低コスト化を実現する低投資な超精密微細切削システムを研究する。

(ア) 高精度化・微細化

高精度化や薄肉・軽量・コンパクト化が情報家電製品の重要なニーズであること、更に、外装部品のデザインの高品位化指向のニーズへの対応のため、金型の超精密化や微細化を実現する高度化技術が求められる。しかし、中小企業の経営面からの投資能力の限界や新たな加工技術の開発を担当する技術人材の制約などの理由により、川下製造業者が求める高精度で微細かつ、高品位デザインを表現できる成形部品用金型を設計・製作することが難しい状況にある。

(イ) 短納期化

デジカメ用 AF カメラ用レンズモジュールの主要な樹脂成形部品はコンパクト・薄肉化と高強度化を両立させるためリブなどの補強構造を持つ複雑な形状をしている。また、これらの成形材料はセットメーカー毎に樹脂材料（例：高剛性グレード、低変形グレード、高流動グレード）やフィルターの種類と含有率が異なる（例：ガラス繊維 10%+カーボン繊維 20%）ことから、成形プロセスにおいて機種毎に異なる複雑な収縮変形が回避できない。更に、レンズ周辺や CCD 素子周辺は光の反射光による悪影響を避けるためシボ加工（図 1-1-1）がなされているが、このシボ面の表面粗さの影響で離型性が悪くなる場合が多くあり、この離型性の問題は薄肉成形品に必要な高圧成形条件により一層難しさが増大する傾向にある。この様な薄肉で高精度が求められる樹脂成形部品に付随する成形性の課題を解決するため、金型設計から金型製作の段階で色々な工夫が取られており、例えば、樹脂流動解析（図 1-1-2）の活用や樹脂の収縮特性を考慮した金型形状の設計と金型加工などが挙げられる。しかし、前述の多くの課題を金型修正にフィードバックして対策を講じる現状（図 1-1-3）の解決法では、試行錯誤のロス短縮するには限界に近く、川下製造業者の更なる短納期要請に対応できない状況にある。今後の一層の高精度化や薄肉・軽量・コンパクト化が求められる情報家電部品用金型の短納期設計・製作に対して革新的な解決手段の研究が必要である。

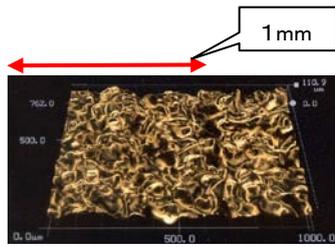


図 1 - 1 - 1 シボ面の 3D 拡大図 (x1000)



図 1 - 1 - 2 樹脂流動解析

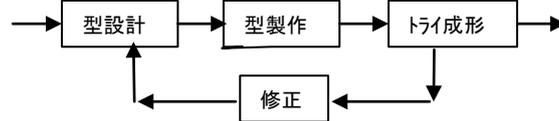


図 1 - 1 - 3 金型設計～製作～修正のプロセス

(ウ) 低コスト化

現状の金型設計～製作プロセスを前提とした場合、前述（イ）の理由等により金型の高精度部品に対して設計と加工の修正作業が回避できないことから、川下製造業者が求める更なる低コスト化にも十分に対処できる状況にないのが実状である。また、金型の高精度化への対応のために工作機械の高性能化と、熱変形等の影響を極力少なくする加工室の温度制御等が必要となりつつあるが、ともに初期投資とランニングコストが必要である。中小企業の経営規模に適した低投資で負担の少ないランニングコストで維持可能な室温制御システムが求められる。

(2) 現状技術水準と開発目標技術との比較

シボ面の光学特性の研究や新たなテクスチャー面への置換の研究は、液晶ディスプレイの導光板や拡散シートさらには光源の拡散ミラーなどの製品分野で成されている。しかし、シボ面の接着・離型性などの機械的な表面特性に関する研究は電子図書を活用した特許調査と日大白井研究室（研究実施者）からの聞き取り調査結果からは上がってこなかった。金型の離型性に関する技術は、電鋳型からの剥離技術やフラットパネルディスプレイ用レンズ金型の量産用転写型生産時の剥離問題などに典型的に現れるが、ほとんどがノウハウとしての扱いであり技術的に研究されたものは無いようである。以上の結果から、シボ加工面の光の乱反射機能を微細パターンに置き換え、さらに離型性を向上させる研究課題の設定は新規性があるものと判断できるであろう。

シボ面加工のための表面テクスチャーの CAD 設計技術の研究では、市販の機械系 CAD システムは、ある程度大きな幾何形状のデータ処理は可能だが微細な凹凸の設計には利用できない。また、コンピュータグラフィクス（CG）分野のソフトを使用することで表面テクスチャーを画像データとして処理は可能だが寸法定義ができない。研究実施者の日本大学は 3 次元の微細な表面テクスチャーが表現可能な CAD システムの研究に成果を有し、かつ、この CAD データは CAM システムへの受け渡しが可能であるため微細切削加工の研究が可能となる。広領域・微細テクスチャーの作成は CG 分野ではテクスチャー統合として多くの研究がなされているが、実際の加工の場面で離散点データが膨大すぎるため工具経路（CL）作成が非効率になるなど非現実的な課題がある。

低投資で負担の少ないランニングコストで維持可能な室温制御システムの研究アイデアは、平成 20 年に上智大学から出願された熱変形抑制技術（特願 2008-64564「構造体及び精密機械」）を活用し、本研究で実用化研究を進めるものである。この分野の研究動向は、環境安定化技術から変形補正技術に移行しており、環境温度変化によって生じる熱変位補正の研究¹⁾²⁾が挙げられる。しかし、熱変位量を推定するためには畳み込み積分を行う必要があるなど実用に供するものであるとは言いがたく、具体的な補正方法についても明らかとなっていない。

1) 堀三計、西脇信彦、基本特性データによる工作機械構造の熱変形量推定、日本機械学会論文集 C 編, 1998

2) 森脇俊道、社本英二、徳永剛志、周囲気温変化による超精密工作機械の熱変形：伝達関数による熱変形特性の検討とたたみこみ積分による推定、日本機械学会論文集 C 編, 1997

(3) 当該分野の特許化動向

樹脂成形金型の離型性制御に関する特許化動向は、金型表面のコーティング、樹脂材料に含有させる添加剤や金型構造によるものである。薄肉部品の樹脂流動性向上の研究では、デジカメのシャッター部品を事例に気相成長炭素繊維を添加材とした研究など進められているが添加剤コストなど実用化に対する課題は大きい。

室温制御に関しては、機械全体をカバーで覆いその内部温度を一定に保つ対策³⁾、機械構造内部に冷却油を循環させ、機械全体の温度を制御する⁴⁾などが挙げられるが付加的な装置とそのメンテナンス費用、ランニングコストなどの負担が必要となる。本研究が提案する断熱性を有する構造壁面の適用は、付加的な装置を必要とせず低コストでメンテナンスフリーでもあることからすべてのユーザが実施可能なものといえ、その実用化の意義は大きい。

3) 株式会社牧野フライス製作所、加工機設備、特開 2006-102939, 2006-04-20.

4) たとえば、株式会社ソディック、工作機械の冷却装置、特開 2006-224238, 2006-08-31.

1-1-2. 研究の目的および目標

(1) 高度化目標

(ア) 高精度化・微細化に対応した金型及び成形技術の向上

現状の川下製造業者が求める短納期化と低コスト化の支障と成っている金型設計～製作プロセスの試行錯誤的な繰り返しを削減させるため、シボ加工面の機能である光の乱反射作用をテクスチャー面として新たに表面設計を行い、微細切削加工を適用することで短納期・低コストと高い再現性のあるシボ面置換表面の加工工法を確立させる。

(イ) モデリング技術の高度化

シボ加工面の表面機能を光の遮光性(乱反射)とし、この機能を持つ新たな機能面を設計し、加工と表面機能の不安定性を持つシボ面の置換を行うための高度化技術である。従来の機械系 CAD システムはある程度大きな寸法の幾何形状を取り扱う設計ツールであるため微細な凹凸の設計には適していない。微細な凹凸形状のモデリング技術は、シボ加工面を事例とし、

機能表面設計ツールとして使用可能となるモデリング技術を高度化する。

(ウ) 環境配慮に対応した技術の開発

超精密加工・微細加工を行う場合、一般的には加工機は高精度に室温制御された恒温室内に設置され、連続運転で熱変形を最小化させている。しかし、初期投資とランニングコスト負荷が大きいことから、本研究では中小企業に適した加工機の熱変形最小化技術の実現を目指す。ここでは研究用工作機械の構造壁面に低コストの断熱処置を施し、室温変動に対してロバストな工作機械特性に造り込むことを目指す。

(2) 技術的目標値

(ア) 樹脂成形品の離型性向上とデザインの高度化対応のための超精密微細切削加工技術の確立

(a) 高精度・微細切削加工技術の研究

①超精密・微細金型に対応可能な切削加工技術の研究に最適な研究環境の整備

- ・研究開発に最適な設備、評価機器の効率的利用環境の整備と研究活動拠点の整備

②超精密・微細金型に対応可能な超精密・微細切削技術の基本技術の開発

- ・研究用工作機械と微細工具を用いての切削特性の基礎データ蓄積
- ・微細工具用自動工具長測定システムの計測特性の把握研究
- ・研究用標準パターンを用いての超精密・微細切削加工の基本技術の習得

(b) シボ面機能を発揮する新たな機能表面の設計と微細切削加工技術の研究

①現状のシボ面の表面特性（粗さ、表面性状、ぬれ性、他）と表面機能の研究

- ・代表的シボ面の表面形状及び表面機能に関する特徴データの採取

②シボ面の表面機能を発揮する表面テクスチャーの設計と製作技術(微細切削技術)の研究

- ・シボ面の機能置換が可能と想定できるテクスチャー設計案の考案
例：300 μ m サイズ程度の微細パターン集合体の表面テクスチャー設計
- ・同上の形状製作が可能な微細切削技術の研究

(c) 評価用成形金型を用いた離型性制御作用の評価と検証

①単純モデル化した樹脂成形品を用いての離型性制御作用の研究

- ・樹脂成形品を用いての離型性制御テクスチャーの探究と実用化面の実現
- ・離型性と反対の作用の保持性作用を発現させる微細パターンについても同時に研究する。

(d) 樹脂成形品のデザイン高度化を実現させる超精密微細切削技術の研究

①2次元平面に対するデザイン高度化対応微細切削技術の研究

- ・超精密微細切削加工による感性価値を表現する微細パターンの加工
例；300 μ m 単位サイズ程度の布目パターン集合体、代表部面粗さ 100nm Ra

(イ) 加工機の熱変形を低減させる低投資環境温度制御システム

(a) 設置環境が及ぼす加工機の熱変形の影響調査

①設置環境の室温変動に関する初期状態の調査

- ・研究用工作機械の設置環境の温度変動、気流変動等について初期状態を定量評価する。

②設置環境が及ぼす加工機の熱変形の実機調査と影響のモデル化

- ・工作機械を設置後、ある程度長期間にわたる環境変動と機械の熱変形に関する定量データを採取する。

(b) 断熱性壁面構造体を活用した熱変形抑制手法の研究

①断熱性壁面構造体の施工工法に関する研究

- ・研究の効率化のため熱変形の解析モデルを構築し、断熱性壁面構造体の最適な適用法を研究する。

②断熱性壁面構造体を活用した熱変形抑制手法の研究

- ・断熱性壁面構造体を採用し 2-1 項の結果を活用して実用的な熱変形抑制手法案を複数案考案する。

(c) 設置環境に最適な低投資環境温度制御システムの仕様設計

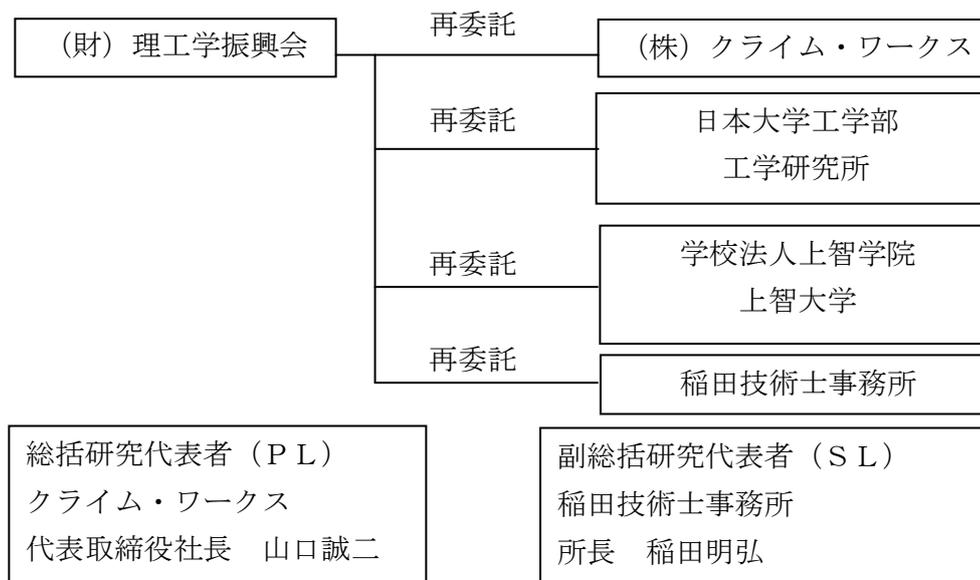
①設置環境に最適な低投資環境温度制御システムの仕様設計

- ・低投資の条件で設置環境に最適な環境温度制御システムの仕様を明らかにする。

以上の技術的目標値の達成により得られる川下製造業者ニーズへの目標値を、①高精度・微細化：20% 向上、②短納期化：現状の 15%削減、③低コスト化：現状の金型製造原価の 15%削減とする。

1-2 研究体制

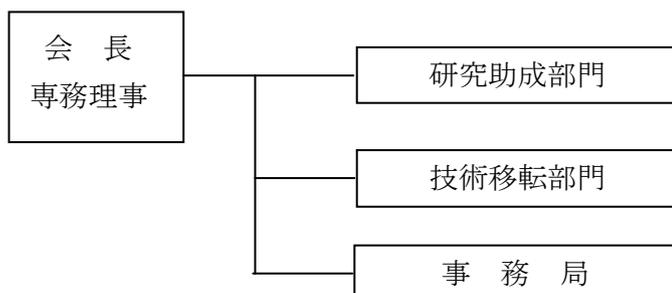
1-2-1. 研究組織



1-2-2. 管理体制

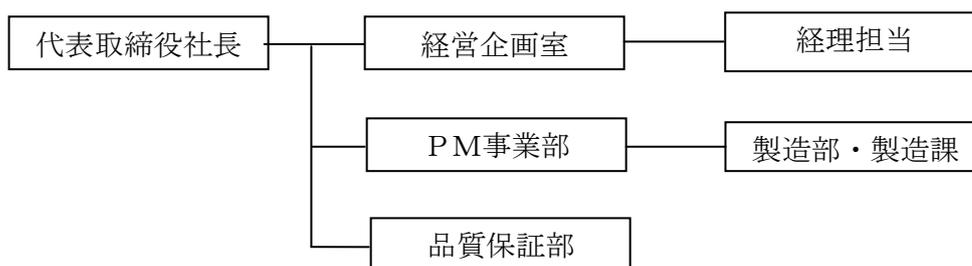
(1) 事業管理者

財団法人理工学振興会

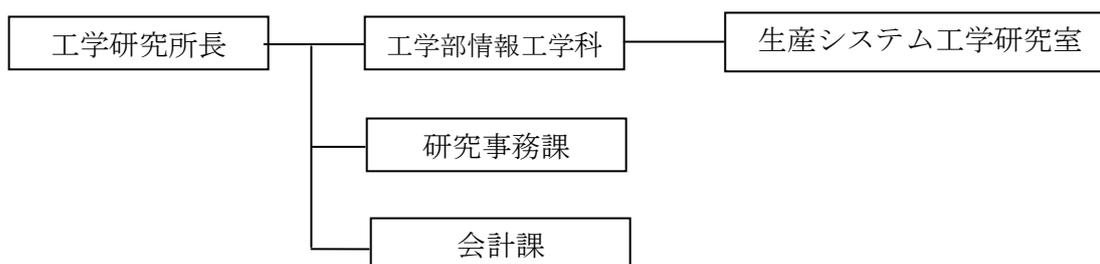


(2) 再委託先

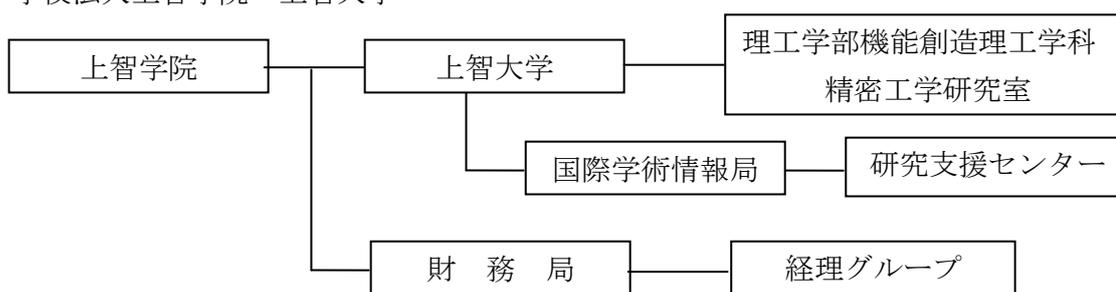
(ア) 株式会社クライム・ワークス



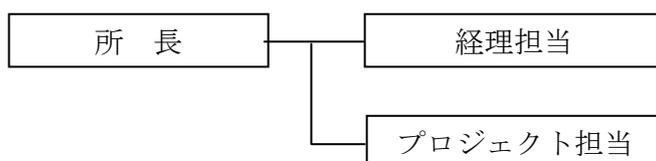
(イ) 日本大学工学部工学研究所



(ウ) 学校法人上智学院 上智大学



(エ) 稲田技術士事務所



1-2-3. 研究者氏名

氏名	所属・役職	備考
山口 誠二	(株) クライム・ワークス・代表取締役社長	プロジェクトリーダー
稲田 明弘	稲田技術士事務所・所長	サブリーダー
滑川 佳秀	(株) クライム・ワークス・品質保証部長	
白井 健二	日本大学・教授	
小林 義和	日本大学・専任講師	
清水 伸二	上智大学・教授	
矢生 晋介	上智大学・共同研究員	

1-2-4. 協力者

氏名	所属・役職	備考
高橋 一郎	理化学研究所・レピッドエンジニアリングチームヘッド	アドバイザー
後藤 隆司	日進工具（株）・開発センター長	アドバイザー
植松 卓彦	東京都立産業技術研究センター・研究員	アドバイザー

1-3. 成果概要

本研究では2つの研究開発課題を設定し活動を行った。成果概要は以下による。

(1) 樹脂成形品の離型性向上とデザイン高度化対応のための超精密微細切削技術の確立

研究開発の結果、次の成果が得られた。

- (ア) 超精密マシニングセンタの加工操作を習得し、微細金型の形状要素を集約した微細パターンで構成したテストパターンを用いた加工技術の研究の成果として超精密微細切削加工の基本技術を開発した。
- (イ) 現状はエッチングやブラスト工法で加工されるシボ面（または梨地面）を微細切削加工で可能となす基本技術（設計技術、加工技術）を開発した。これにより、これまで外注処理を要したシボ面加工が、金型部品の加工段階で内製加工できる可能性が得られたことから、短納期化や処理位置の高精度化、習熟によるバラツキの低減などの効果が期待できる。
- (ウ) 擬似シボ面を持ったプラスチック成形品の離型性制御に関する研究を行い、擬似シボパターンの形状パラメータ、射出圧力と離型力の関係を研究し、離型力を低減させる擬似シボパターンの形状パラメータを明らかにした。また、この結果を基に特許「成形用金型及びその製造方法」を出願した。
- (エ) プラスチック成形品のデザイン高度化に資する切削技術の研究として、300 μm の糸を編んだ布地パターンを事例に設計手法と微細切削を研究し、金型鋼への加工を実現した。

(2) 加工機の熱変形を低減させる低投資環境温度制御システムの研究

研究開発の結果、次の成果が得られた。

- (オ) 研究用加工機設置前後の、加工機周辺の室温変動状態と加工機の熱変形挙動の関係を調査し、加工機周辺環境の室温変動モデルを設計した。この室温変動モデルを使用することで、環境安定化と熱変形抑制効果の相関を確認した。
- (カ) 外気温度とともに変化するZ軸方向の熱変位成分があることを明らかとし、対策を実施したことで3.5 $\mu\text{m}/5$ 時間の熱変形挙動を低減させた。
- (キ) 加工機周辺環境の室温変動モデルに上智大学の研究成果である断熱性壁面構造体のアイデアを活用して3種類の熱変形抑制モデルを研究した結果、温度変動の振幅を約77%低減できるシミュレーションデータが得られ、この結果をもとに低投資な環境温度を安定化させる施工仕様案を提示した。

以上の2つの研究成果（1）（2）を統合することで得られたプロジェクトの目標達成度を次表に示した。

表1-1-1 研究目標の達成実績

研究目標項目	研究目標	実績
①高精度・微細化	H21年初期実績の20%向上	実績：目標達成 熱変形抑制の研究成果により、外気温度による加工機の熱変動の対策と断熱壁面構造体を応用した熱変動抑制効果により熱変位振幅が40%以上低減できる目途が得られた。
②短納期化	H21年初期実績の15%向上	実績：目標達成 シボ面加工が金型の部品加工と同時に内製加工が可能と成り短納期化が期待できる。上記①による金型修正作業のロス低減効果も相乗的に考えられる。
③低コスト化	H21年初期実績の15%向上	実績：現状では効果算出が難しい。 高精度化と短納期化の効果が期待できることから、金型修正のための試行錯誤の繰返し回数を削減できる可能性があり15%相当の低コスト化は可能と思われるが、現時点では効果試算が難しい。
④デザイン高度化	300 μ m相当の微細パターン 代表部粗さ100nmRa	実績：目標達成
⑤特許出願	—	実績：「成形用金型及びその製造方法」を出願

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

財団法人理工学振興会 事務局長 泉洋一郎

TEL : 045-921-4391 FAX : 045-921-4395

2. 研究内容および成果

2-1. 樹脂成形品の離型性向上とデザインの高度化対応のための超精密微細切削技術の研究

2-1-1. 高精度・微細切削加工技術の研究

(1) 超精密・微細金型に対応可能な切削技術の研究に最適な研究環境の整備：超精密微細切削技術の研究に最適な工作機械を選定し、早期に導入する。稲田技術士事務所は、前述内容を支援するとともに、加工結果の計測評価について効率的な研究環境の整備を行う。また、離型性評価のための評価技術の研究と評価金型の開発を進める。

(2) 超精密・微細金型に対応可能な超精密・微細切削技術の基本技術の開発：シボ面を有する樹脂成形部品から事例形状を選択し、研究用工作機械で微細工具を使用した超精密微細切削技術の基本技術の開発を行う。基本技術開発の研究課題として、典型的な微細パターンに対する加工技術の研究、各種の微細工具の切削特性などである。

研究成果－(1)

本研究に最適な超精密・微細金型の切削加工装置の評価指標として、①主軸回転数、②駆動ストローク、③熱変形抑制性能、④しゅう動案内方式、⑤ツーリング方式を選び市販の候補加工機を比較調査した結果に基づき早期の加工機導入を実施し、研究環境の整備を行った(表2-1-1、図2-1-1参照)。また、加工結果のフィードバックが可能と成る様、計測評価機器についても研究環境の整備を実施した。研究実施者並びにアドバイザーが所有する計測評価機器で研究結果の評価が可能であり短時間での成果獲得に寄与している。

離型性評価のための金型開発は、本プロジェクトの重要な研究ツールのため、離型力の計測方法と金型構造に関し日本工業大学機械工学科の村田教授よりご指導を頂いた。^{5) 6)} このほかに岡山県工業技術センターの関連研究⁷⁾などを調査の上で開発仕様を決定している。微細パターンを持つ離型力の推定が非常に難しかったことから離型力をプラスチック成形直後に計測するインプロセス評価方式は採用せず、万能試験機を用いるマニュアル方式で計測評価を実施した。なお、金型構造は両方式の採用が可能となるよう構造設計に工夫を凝らした。

表 2-1-1 超精密微細切削技術の研究用精密マシニングセンタの比較表

選定候補	主軸回転数	駆動ストローク	熱変形抑制方式	しゅう動案内方式	ツーリング方式
研究用精密 MC	60k	450-450-200	コラム内に冷却液循環路形成	リアガイド＋リアモータ	コレットチャック式ダイレクトチャッキング
	○	◎	◎	○	○
S 社製精密 MC	120k	150-150-100	低熱膨張セラミックコラム	リアガイド＋リアモータ	焼きばめ式ダイレクトチャッキング
	◎	×	○	○	◎
K 社製精密 MC	30k	450-400-200	大量油冷却	油静圧軸受＋リアモータ	焼きばめ式ホルダチャッキング
	×	○	×	◎	○

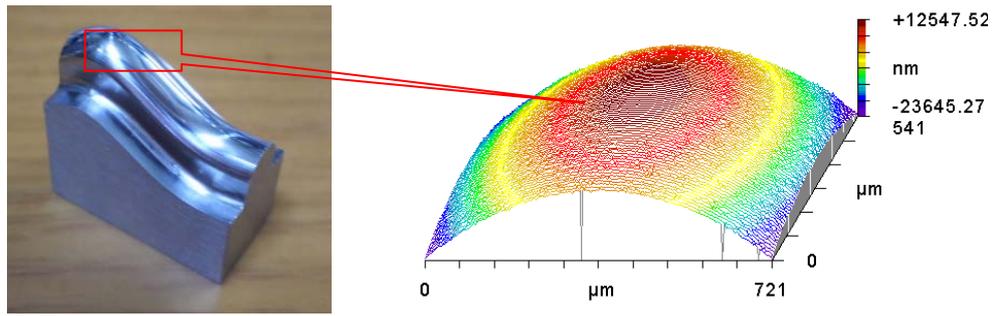


図 2-1-1 研究用工作機械の検収確認のための加工ワーク（クライム・ワークス製作）

- 5) 小林義和、白井健二、佐々木哲夫、射出成形におけるコア表面粗さと離型抵抗力の関係、精密工学会誌、第 67 巻、第 3 号、平成 13 年
- 6) 村田泰彦、プラスチック成形加工研究室（村田研究室）、日本工業大学機械工学科
- 7) 國次真輔、樹脂成形金型における離型性評価試験法の開発、岡山県工業技術センター報告、第 35 号

研究成果－（2）

研究用工作機械で超精密・微細金型の加工が可能と成るよう、超精密・微細金型の形状を構成する基本形状パターン(表 2-1-2 参照)を配列してデザインしたテストパターンを考案し、このテストパターンを用いて超精密・微細切削技術の基本技術の研究を実施した。

表 2-1-2 超精密・微細金型の形状を構成する基本形状パターン構成表

a) 微細形状の加工技術	2.5 次元形状	① 矩形状
		② 円形状/球形状
		③ ランダム形状 (例: シボ加工)
	3 次元形状	④ 微細パターン (例: 布地、ピラミッド)
b) 表面品位の加工技術		⑤ ならかな連続曲面
		⑥ 制御された切削面粗さ
		⑦ 鏡面

下図 2-1-2 はテストパターンの加工事例である。2 か所のランダム形状部には六角ピラミッドと溝の形状を加工している。図 2-1-3 は微細パターンの加工事例である。この研究では、被削材に NAK80、STAVAX、DC53 の 3 種類の金型鋼材を選定し切削性の違いに対する加工条件の影響や微細工具の刃先欠損状態 (図 2-1-4) についての基本技術の研究を行った。

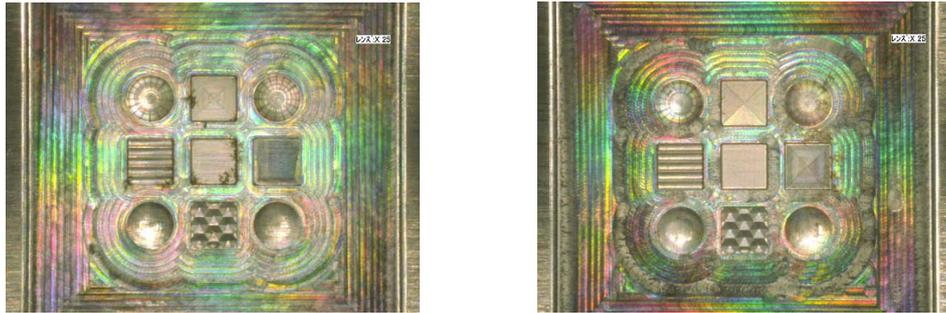
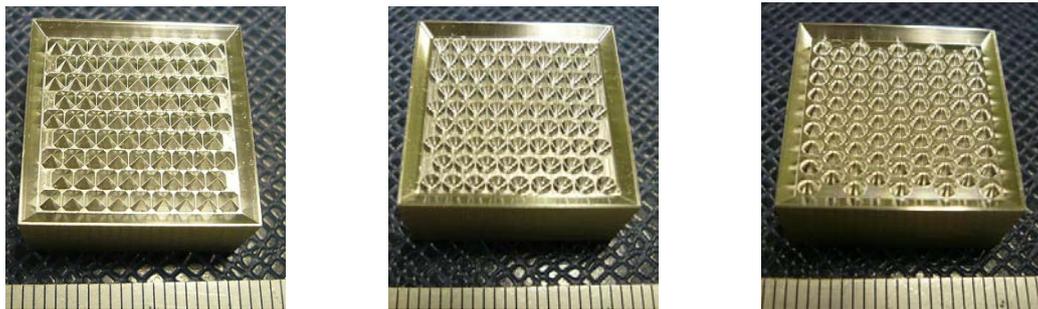


図 2-1-2 テストパターン (□12mm) の加工研究事例 (左 : NAK80 材、右 : DC53 材)



a) ピラミッドアレイ

b) ディンプルアレイ

c) 円錐パターンアレイ

図 2-1-3 微細パターンの加工事例

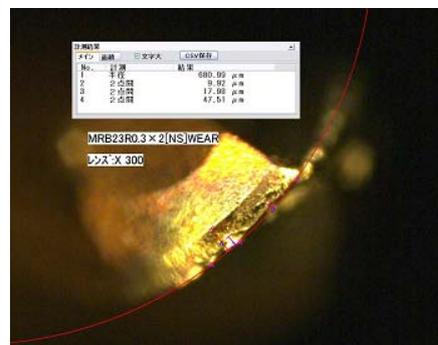
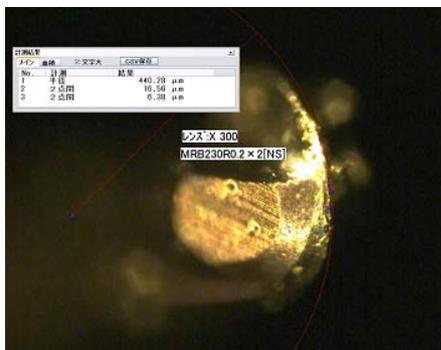


図 2-1-4 微細工具の刃先部のカケや摩耗の観察事例

2-1-2. シボ面機能を発揮する新たな機能表面の設計と微細切削技術の研究

(1) 現状のシボ面の表面特性・表面機能の研究 : クライム・ワークスの成形金型で成形したシボ面の表面特性 (粗さと分布状態、その他) と表面機能 (光の反射特性、その他) について定量評価し研究対象のシボ面に対する代替えシボ面の設計参考値とする。評価項目としては2次元表面形状、3次元表面形状、光の反射特性などを想定している。

(2) シボ面の表面機能を発揮する表面テクスチャーの設計と製作技術 (微細切削技術) の研究 : シボ面機能を実現する表面テクスチャーとしてランダム性と規則性を有する微小パターンの集合体を想定し、シボ面の表面機能を実現するための形状パラメータを設計し、この

表面テクスチャー設計案を微細切削技術で実現するための加工技術の研究を行う。評価項目は、i) 見栄え、ii) 加工時間（金型生産性）、iii) 表面機能などである。並行して表面形状と粗さが与える離型性への影響度調査を行う。なお、表面テクスチャーの表面形状・粗さと離型性の研究は、ある程度大きな表面テクスチャー形状を用いて試作評価を行うが、微細テクスチャー加工の研究進捗との兼ね合いで表面テクスチャー形状の微細サイズの再検討について判断することとした。

研究成果－（１）

クライム・ワークスの成形金型で成形したシボ面の２次元断面形状の測定結果を図 2-1-5 に示した。この結果より、ブラスト加工による成形品シボ面形状は凹状のディンプルパターンがランダムに積み重ねられて形成されていることが分かる。しかし、ランダムに配置された凹状パターンを線状に（２次元的に）計測しても表面形状は把握に限界があるため、３次元形状計測を試みた。図 2-1-6 は非接触レーザー干渉計Zygoで同一試料を３次元的に計測した結果である。同図よりZygoで計測するための十分な反射光量がシボ面から得られないためか形状計測が出来ない部分が生じている。したがって、シボ面の形状計測の研究には限界があると判断し、表面機能（光の反射・透過特性）について評価する研究を進めた。図 2-1-7 にビーム整形拡散板の拡散角評価方法を参考としたシボ面透過光の拡散状態の簡易的評価法を示した。この簡易評価法は、擬似シボテクスチャー設計の参考情報として有効であると判断し、以降の研究に採用した。なお、シボ面並びに擬似シボテクスチャー面の表面形状と光学的な表面機能の評価法については大阪大学大学院工学研究室機械工学高谷研究室から研究支援⁸⁾ ⁹⁾ ¹⁰⁾ を頂いた。

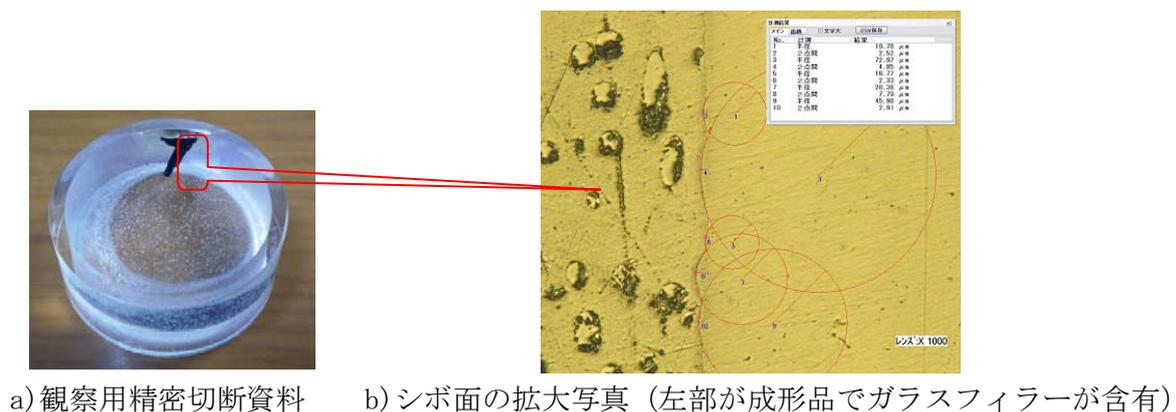


図 2-1-5 シボ面の断面観察による 2 次元形状計測結果（右写真の倍率：x1000）

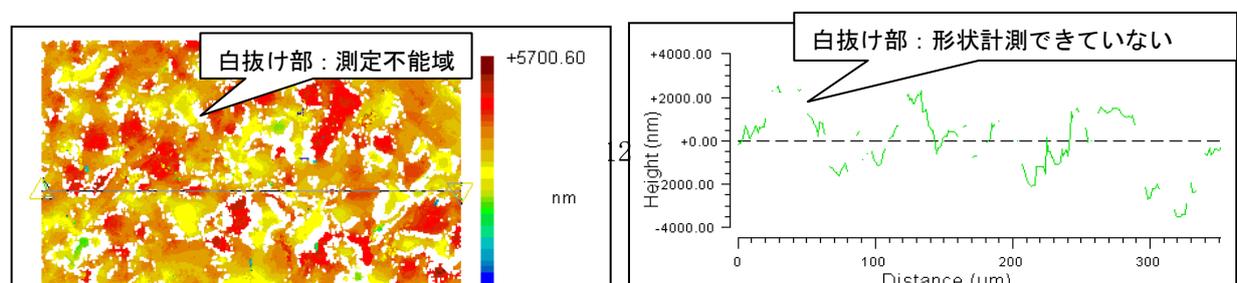
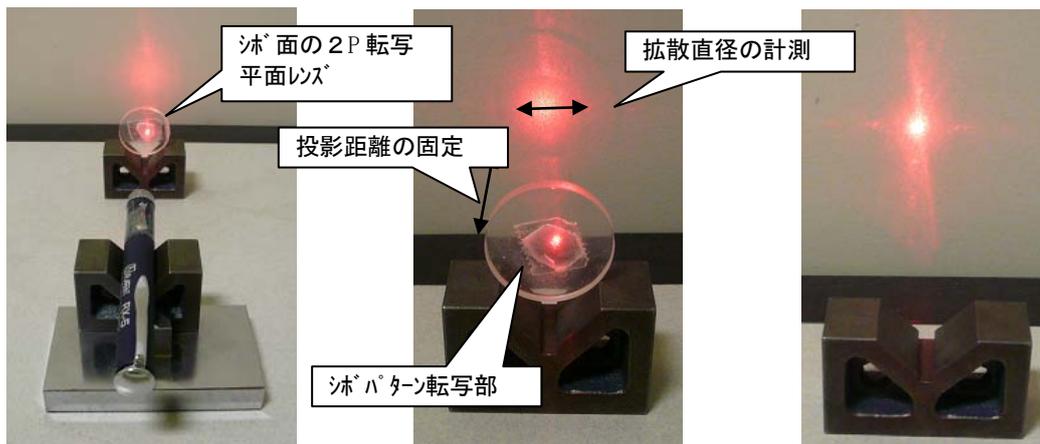


図 2-1-6 光学式表面形状測定器 (Zygo) によるシボ面の 3 次元形状計測結果



a)簡易拡散光評価法 b)シボ部の拡散状態 c)レーザーの直接照射状態

図 2-1-7 レーザー光の拡散特性によるシボ面の光学特性比較方法

8) 蓮沼宏、光沢

9) 光を用いた工学表面の性状評価分科会著、非接触方式による精密加工表面の性状評価

10) 荒井彰、高島幸史、波岡武、レプリカ回折格子の製作法、東北大学科学計測研究所報告、第 31 巻、第 2-3 号、181-191 (1982)

研究成果－（２）

前項のレーザー光の拡散特性評価法により得られたシボ面の表面機能のデータを超精密微細切削加工で創成する新たな表面テクスチャーの表面機能の基準とし、その設計手法と切削加工法の研究を行った。ここでは研究実施者日本大学白井研究室の研究成果を技術移転し表面テクスチャーの設計を行い、さらに設計したデジタルデータを用いて加工用STLデータ*)を生成し切削加工の研究を行った。STLデータと同データによる切削加工品（図 2-1-8）との比較より擬似シボパターンは切削加工で忠実に転写加工されていることが分かる。

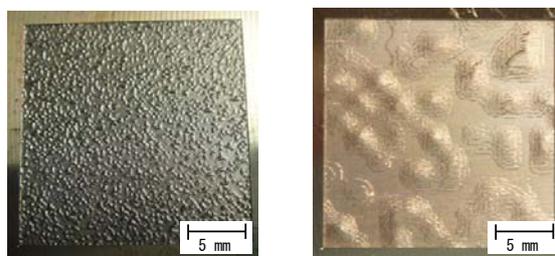
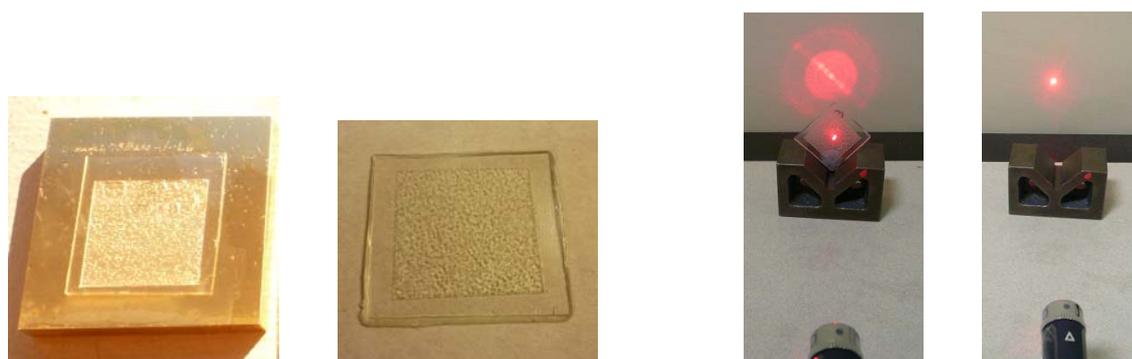


図 2-1-8 加工した試料

図 2-1-9 は切削加工品から 2P 成形法^{*}) で製作した透明の転写平面シートとその光の拡散特性の評価結果である。図 b) 左の切削加工で創成した擬似シボパターン^{*}の拡散特性は、レファレンスとしたシボパターンの光の拡散特性と非常に似ていること、さらに拡散光の均一性に優れていることが分かる。したがって、切削加工で創成したシボ面置換テクスチャーはレファレンスのシボ面と類似の光の拡散特性を持つと判断できる。さらに、切削加工で創成したシボ面置換テクスチャーは、島の分布密度（個数）、サイズ、傾斜角をある程度制御可能であることから、光の反射特性や摩擦特性などの表面機能を制御できることが期待できる。



a) 2P 転写 (左) と転写シート (右)

b) 転写シートの光の拡散特性

図 2-1-9 シボ面置換テクスチャーの光の拡散特性とレーザー光の拡散特性

2-1-3. 簡易成形金型を用いた離型性制御作用の評価と検証

(1) 単純モデル化した樹脂成形品を用いた離型性制御作用の研究：シボ面置換テクスチャー面の形状パラメータを数種類変更した成形試作品を作成し、表面形状と離型性の関係について研究を行う。この時点で、シボ面置換テクスチャー面の形状と離型性に関する研究デー

タによる特許出願の検討を行う。

(2) 成形条件、樹脂材料特性の影響度の概要研究：離型性に対する樹脂材料（フィラー含有比率など）の影響度合いや成形条件（特に射出圧力）との関係などについて試作評価を行い、金型以外の成形プロセス要素が与える影響度合いの概要把握を行う。

研究成果－(1)

図 2-1-10 は本研究で開発した離型性評価用金型である。プラスチック成形品の離型力に影響を及ぼすシボ面置換テクスチャー面の形状パラメータを入れ子表面に加工し、プラスチック成形品の離型性評価試作を行った。



a) 離型性評価用金型



b) 入れ子構造

図 2-1-10 プラスチック成形品の離型性評価用金型と入れ子構造

実際の加工は、加工面粗さなどの離型力に直接的に影響を及ぼすと思われるパラメータを可能な限り安定させデータのバラツキを抑える狙いから、研究用工作機械と同一機にピエゾ駆動機構を搭載させて単結晶ダイヤモンド切削工具で加工したワークを採用している。加工ワーク表面のディンプル深さを実測した結果、ディンプル深さ・形状ともに狙いの数値を実現していることが確認できた。なお、この試作加工には東芝機械㈱の協力を頂いた。

図 2-1-11 はクライム・ワークス保有の射出成型機による離型性評価サンプルの試作状況である。3回の成形試作を数日おきに行うため金型温度の安定性など成形条件の変動の最少化に配慮している。右図 2-1-12 は3種類の入れ子の成形品である。

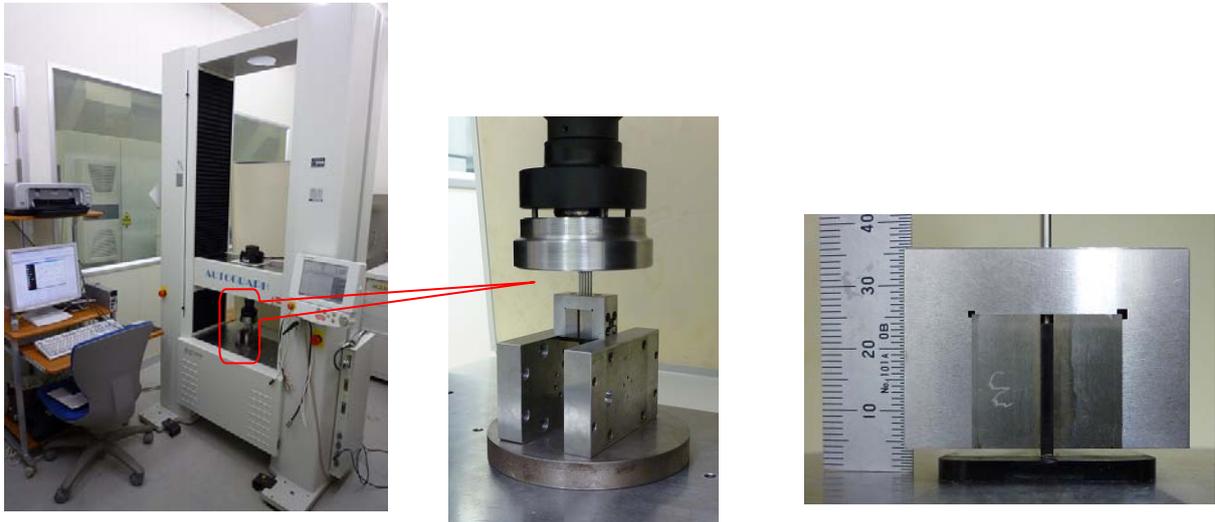


図 2-1-11 離型性評価用成形品試作実験



図 2-1-12 試作成形品 3 種

図 2-1-13 は離型力計測評価試験の状況写真である。アドバイザーの東京都産業技術研究センターの協力を頂き、成形品の離型力を高精度に計測するため試験機は $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に室温制御された部屋に設置されている。また、エジェクターピン*) に均一な離型力がかかる様、フレキシブルジョイント構造を持つ押し駒治具を採用している。離型力の計測条件は、試験モード：シングル（圧縮モード）、試験速度：0.2mm/minで行った。

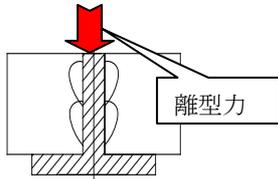
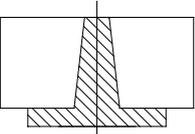
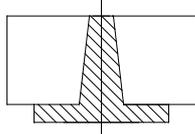
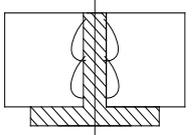
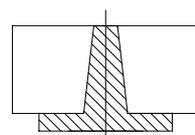
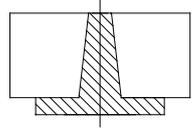


a) 離型力計測用万能試験機 b) 離型力計測部拡大写真 c) 評価試験後の成形品状態

図 2-1-13 離型力評価用設備と試験状況

次表 2-1-3 は、成形品の離型力計測評価の実験計画表である。3 種の抜き勾配に組みつけられた入れ子 3 種に対し、傾斜角の影響、ディンプル深さと抜き勾配*) の関係、射出圧力の影響について調査を実施した。

表 2-1-3 離型力計測評価の組合せ条件表

	抜き勾配 0 度	抜き勾配 一 小	抜き勾配 一 大
実験 一 1	異傾斜角ディンプル 	浅ディンプル 	深ディンプル 
実験 一 2	異傾斜角ディンプル 	深ディンプル 	浅ディンプル 
実験 一 3	実験 一 1 で射出圧力 1.4 倍	同左	同左

離型力の計測結果の事例を図 2-1-14 に示した。この結果より、入れ子表面に加工した微細パターンの種類と離型力に相関があること、また、抜き勾配 0 度の異傾斜角パターンの離型力データでは、擬似シボパターンの長さと同ストロークが一致した状態で離型力が約 30N の幅で正確に繰り返し計測できていること等から離型性評価に採用可能であると判断した。

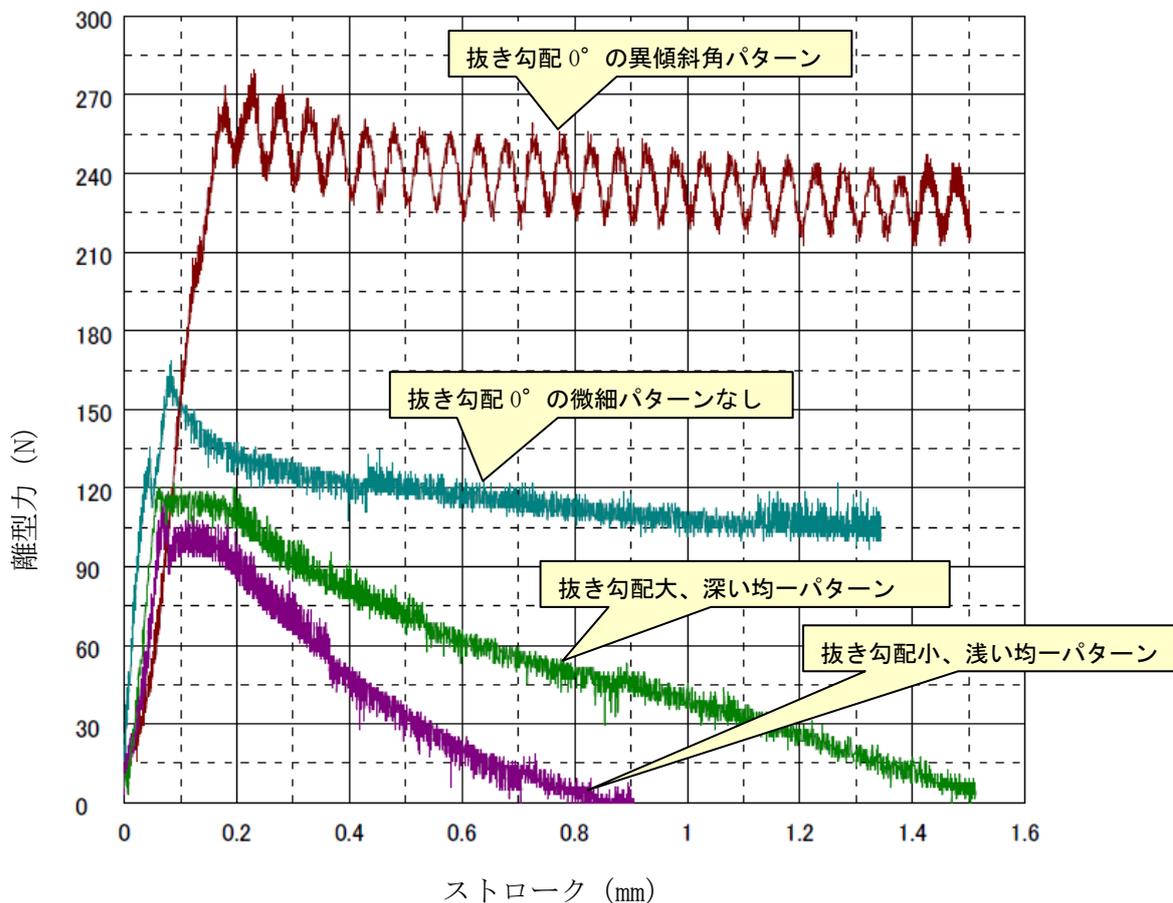


図 2-1-14 入れ子の擬似パターンと抜き勾配が与える離型力影響計測結果

離型性評価金型と離型力評価法を用いて、擬似シボ面テクスチャーの形状パラメータを変更した成形実験の離型力を計測することで、シボ面の形状パラメータと離型力の関係を把握することができ、この研究データをもとに特許出願を行った。

研究成果－（２）

デジカメ用 AF カメラ用レンズモジュールの主要な樹脂成形部品はコンパクト・薄肉化と高強度化を両立させるため成形材料にはガラス繊維やカーボン繊維などのフィラーをそれぞれ 10～20%程度含有させ薄肉でも強度を確保させている。しかし、このために樹脂の流動性が低下せざるを得ず、この対策として高圧成形条件を採用する傾向が避けられず、成形品の離型性を一層悪くする要因と成っている。この様な製品動向の理由から、本研究では成形条件の中の射出圧力と離型性の関係について試作評価を行い、金型以外の成形プロセス要素が与える

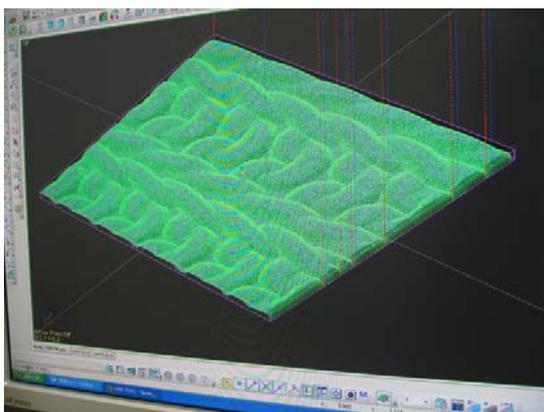
影響度合いについて基礎研究を行った。離型力の評価は、室温状態で計測しているため実際の成形直後の離型力とは異なるが、同一環境での比較評価を行っていることから相対的な影響度合いは判断が可能と考えられる。射出圧力を1.4倍にした条件下では離型力も1.3倍と射出圧力の比率に近い値で増大することが分かった。このことから、樹脂の流動性を良好させるような表面テクスチャーが解明できれば、射出圧力を低くでき、離型力も低減化できる可能性が考えられる。

2-1-4. 樹脂成形品のデザイン高度化を支援する超精密微細切削技術の研究

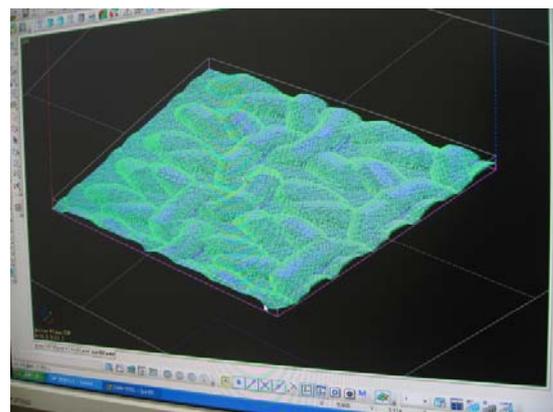
2次元平面への微細パターン（例：シボ面置換テクスチャーや布地パターン等）の加工を演習課題としてデザイン高度化に資するモデリング技術高度化の基礎研究を行う。研究用加工事例として300 μ mサイズ程度の微細パターンの集合体を想定し、その代表部面粗さ100nm Raを研究目標とする。

研究成果

ここでは微細な布地パターンの加工を演習課題としてデザイン高度化に資するモデリング技術高度化の基礎研究を行った。加工技術に関しては、布地パターンに対する微細工具選定と刃先への凝着や摩耗の抑制を含めた切削性安定化技術、切削条件・最適ツールパスや切屑処理、熱変形を含む総合精度の安定化などが、またデータ処理技術に関しては大容量データの取扱技術などが研究課題であった。加工事例とした300 μ mサイズ程度の微細パターンの集合体3種類のうちの2種類の加工結果を図2-1-15と図2-2-16に示した。その代表部面粗さは、工具R100 μ mを10 μ mの送りピッチの条件で仕上げた結果、局所的ではあるが理論粗さ125nm Raとほぼ同等の値が得られたことから切削条件の選定で研究目標値100nm Raを実現できることを確認した。



a)布地モデリングパターン（ゴム編み）

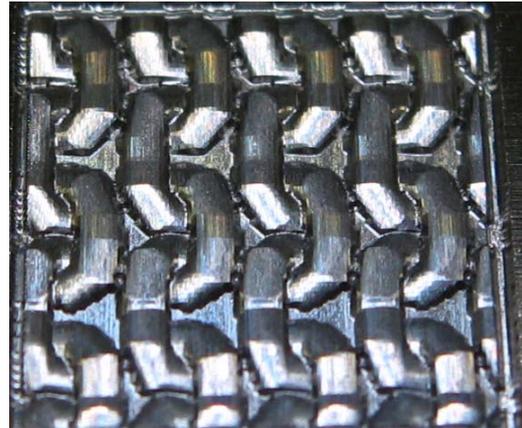


b)同左（パール編み）

図 2-1-15 クライムワークスでモデリング処理した布地パターン事例



a) ゴム編みパターンの布地加工事例



b) パール編みパターンの布地加工事例

図 2-1-16 クライムワークスで金型鋼に加工した布地パターンの加工事例

2-2. 加工機周辺の環境変化による加工機の熱変形を抑制する低投資な加工機安定化システムの研究

2-2-1. 設置環境が及ぼす研究用工作機械の熱変形の影響調査

(1) 設置環境の室温変動に関する初期状態の調査：研究用工作機械を設置する前の設置環境の温度変化に関連するデータ（温度変動、気流変動、外気温度の影響度合い、壁面床面の温度変動の影響度合いなど）を採取し、設置後の研究計画の精度向上に利用する。なお、解析シミュレーションを活用して熱変形の変動幅の推定や影響因子を洗い出す作業の中で、季節変動などの影響について考察を行う。

(2) 設置環境が及ぼす研究用工作機械の熱変形の実機調査：研究用工作機械を設置後に、1-1項と同様のデータ採取を行い比較調査から設置環境と加工機の熱変形抑制の課題を把握する。

研究成果- (1)

工作機械の熱変形による工具-工作物間の相対変位は時間とともに増減し複雑な挙動を示す。このため、金型加工など長時間にわたって極めて高い加工精度を要する場合には、無視できない課題といえる。この熱変位には、主軸モータなどの内部熱源に起因するものと、工場環境の温度変化による外部熱源に起因するものがある。内部熱源については熱源の位置や大きさが機械設計時に明らかであるため、冷却や補正などの対策が工作機械メーカーによってなされており、一定の効果が得られている。しかしながら、外部熱源である工場環境はユーザごとに異なるため、工作機械メーカーによる有効な対策が困難である。したがって、ユーザによるそれぞれの工場環境に応じた対策が重要となる。本研究では図 2-2-1 の考えで研究を進めた。

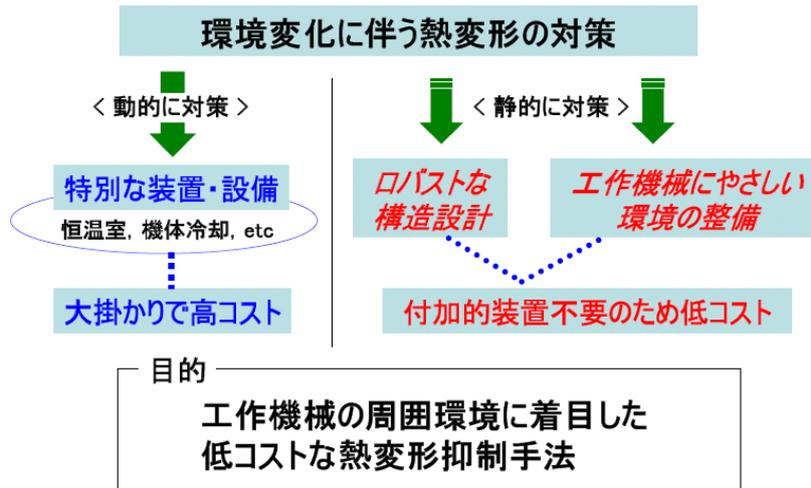


図 2-2-1 環境変動に対応する熱変形抑制対策の考え方

CW あきる野工場の大きさは 14.6×8.7×3.5m、奥左側は凸になっており UVM-450C はこの凸部に設置されている。空調設備は、手前側天井部に吹出し口のあるエアコンが 2 台設置されており、これらは独立な温度制御によって運転されている。本報告書では左側のエアコンを空調 L、右側を空調 R と呼ぶこととする。図 2-2-2 は工作機械設置予定場所の室温測定点の配置図である。

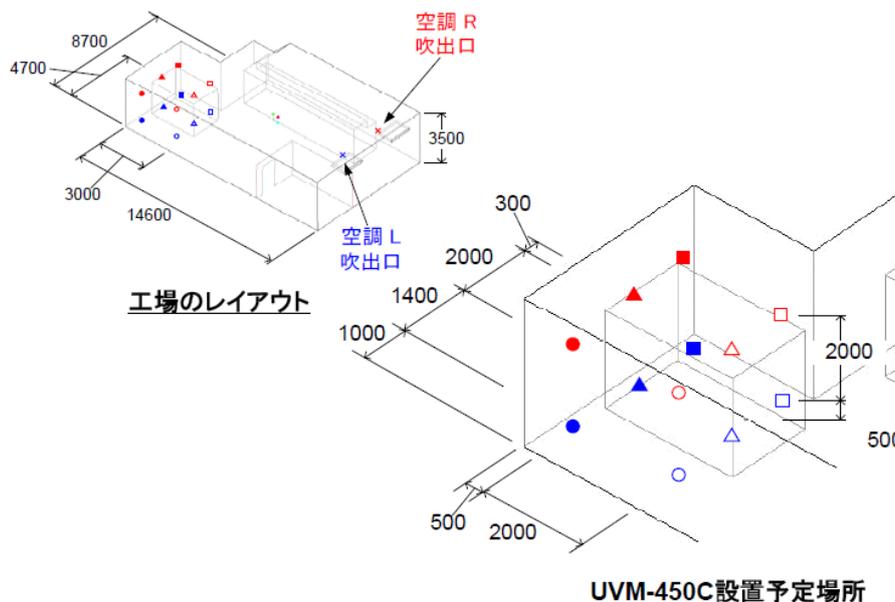


図 2-2-2 工作機械設置前の室温測定箇所

図 2-2-3 は工作機械設置前の 150 分間における空調機吹出口と工作機械設置予定場所での温度の実測結果を示した。空調の温度は、23 度から 40 度程度の間を、約 30 分のサイクルで変化しており、これにあわせて室温も同じ 30 分サイクルで変化が見られる。また、上部室温は約 26 度前後であるのに対し、下部室温は 20 度前後と 6 度も低い。

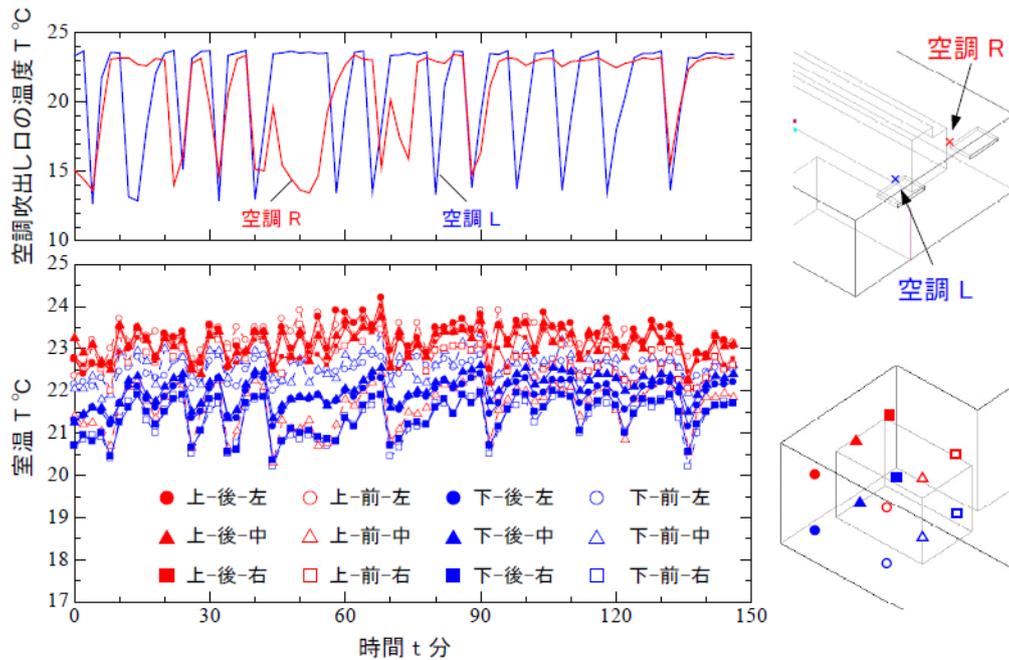


図 2-2-3 工作機械設置前の加工室温度測定結果

図 2-2-4、-5 は 24 時間 (1440 分) の長時間における温度変動の実測結果である。下部室温は、測定開始から約 1020 分後 (17 時間後、17 日 10:00 ごろ) から、顕著な温度上昇が見られる。これは日中の外気温の上昇に伴うものと思われる。

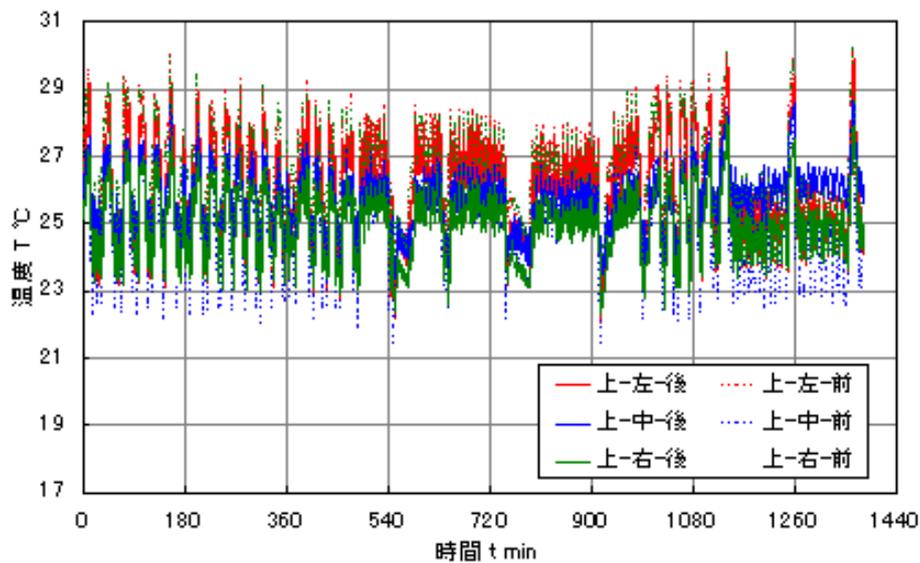


図 2-2-4 設置場所での上部室温

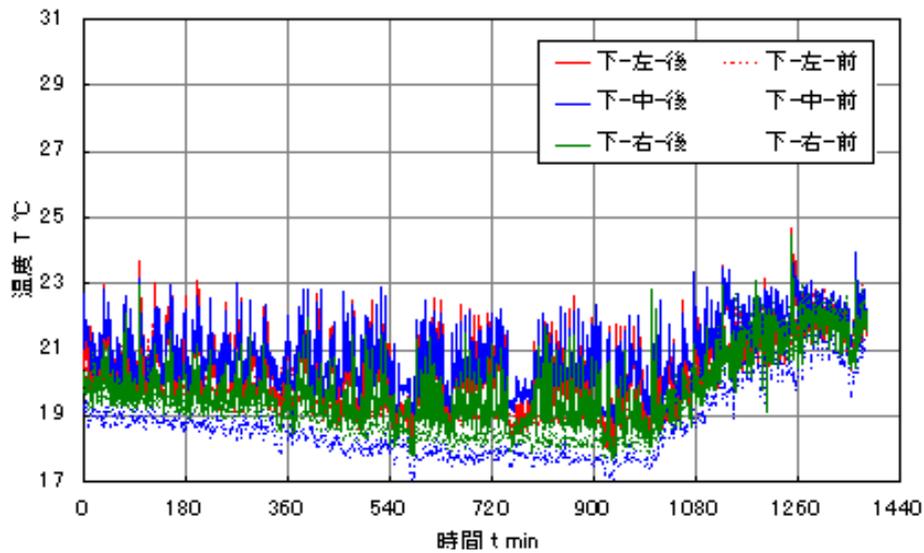
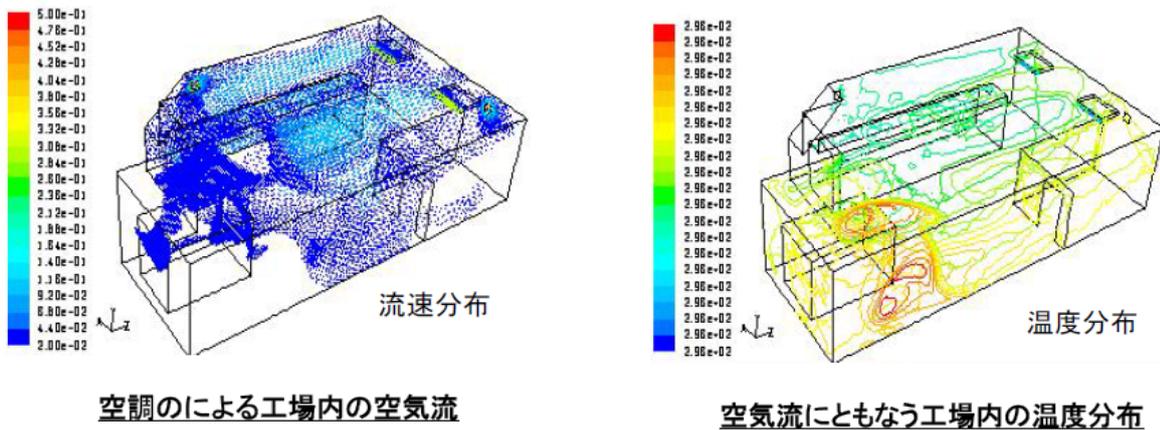


図 2-2-5 設置場所での下部室温

図 2-2-6 は加工機設置環境の空気流と温度分布のシミュレーション結果である。加工室設置予定場所が、空調機側の反対の位置でまた 3 方向が壁で仕切られている場所であるため、空気流の停滞状態と、その結果による温度分布の特徴が読み取れる。



空調による工場内の空気流

空気流にともなう工場内の温度分布

図 2-2-6 工作機械の設置環境の設置前の空気流速と温度分布のシミュレーション

研究成果－（２）

図 2-2-7 中に示す 2 台の空調吹き出し口と UVM-450C 周辺に熱電対を設置して温度測定を行った。特に、UVM-450C 周辺では、床から 500mm および 2500mm の高さにおいて、それぞれ前後、左右および中央の 6 点に熱電対を設置し、計 12 点の室温を測定することで詳細な温度分布測

定を行った。なお、図中では床から 500mm の測定点を青色、2500mm の測定点を赤色で示し、白抜きマークが前側、塗りつぶしのマークが後側である。さらに、丸のマークが左側、三角が中央、四角が右側である。

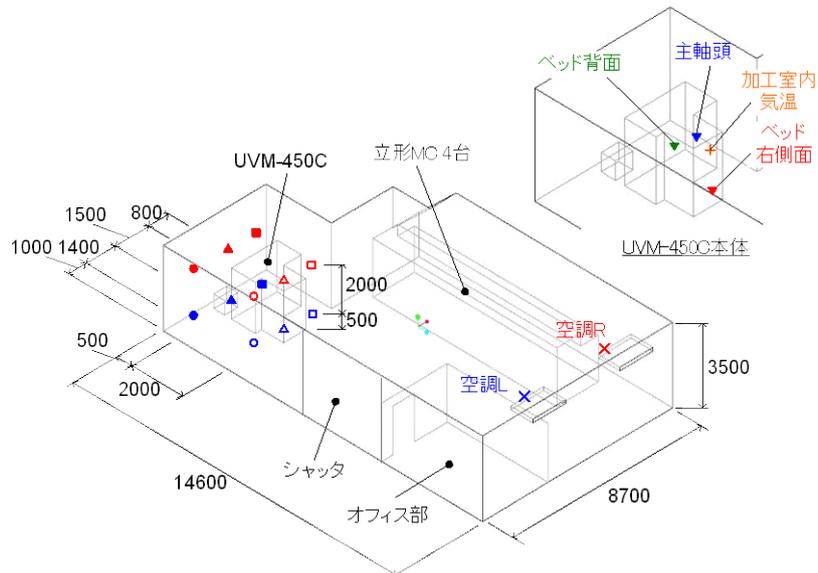


図 2-2-7 室温および機械本体の温度測定のための熱電対配置

また、同図の右上には UVM-450C 本体に設けた熱電対の箇所も示した。これは、UVM-450C が環境温度から受ける影響を直接的に明らかにするためであり、機械の構造要素であるベッドおよび主軸頭と、加工室内の温度を測定できるように熱電対を設けている。

次に、図 2-2-8 は ISO230 に基づく熱変位測定装置を示している。この装置では、テーブルに設置した治具に 6 つの渦電流式変位計を取り付け、テーブル-主軸(コレット)間のギャップの変化を検出することにより、Z 軸周りの回転変位を除く 5 方向の熱変位を同時に測定できる。ただし、今回の測定では、X、Y、Z の並進方向変位を評価の対象とした。

また、これらの温度および熱変位は、約 23 時間にわたって測定し、1 分後ごとに記録した。

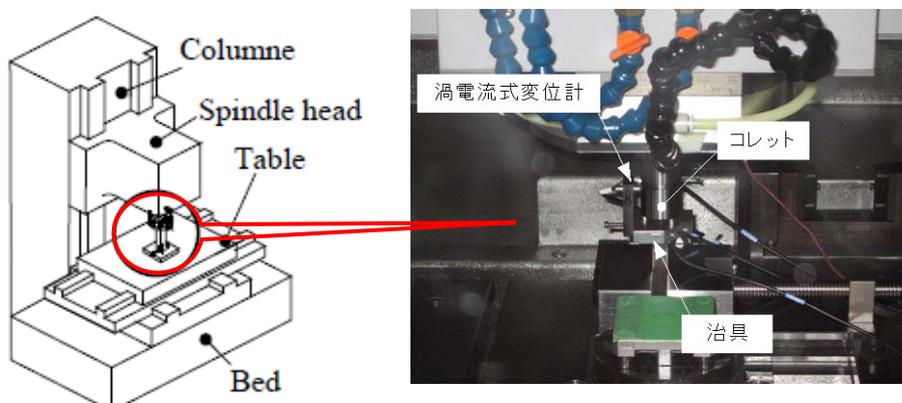


図 2-2-8 熱変位測定装置と熱変位測定用センサ設置図

図 2-2-9 は、2 台の空調吹出し口の温度測定結果を示している。なお、横軸の括弧書きは実際の時刻であり、本測定は1日目の夕方 16:00 に測定を開始し、翌日の夕方 15:00 に測定を終了したことを表している。同図からわかるように、空調温度は、送風状態の約 23°C から温風状態の 40°C の間で変化を繰り返している。なお、本報告書では、送風状態を空調 OFF、温風状態を空調 ON の運転状態と呼ぶことにする。

最初の 9 時間程度は、どちらの空調も約 30 分のサイクルで比較的規則的な ON/OFF 状態を繰り返している。しかしながら、その後はそのサイクルが不規則になる時間帯があり、一方の空調が連続的に ON 状態であるのに対し、もう一方は ON/OFF を繰り返すなどの場合がみられる。これは、2 台の空調が独立に温度制御されているため、工場内の温度分布の状態によって、運転状態のバランスが不安定になることによるものと思われる。

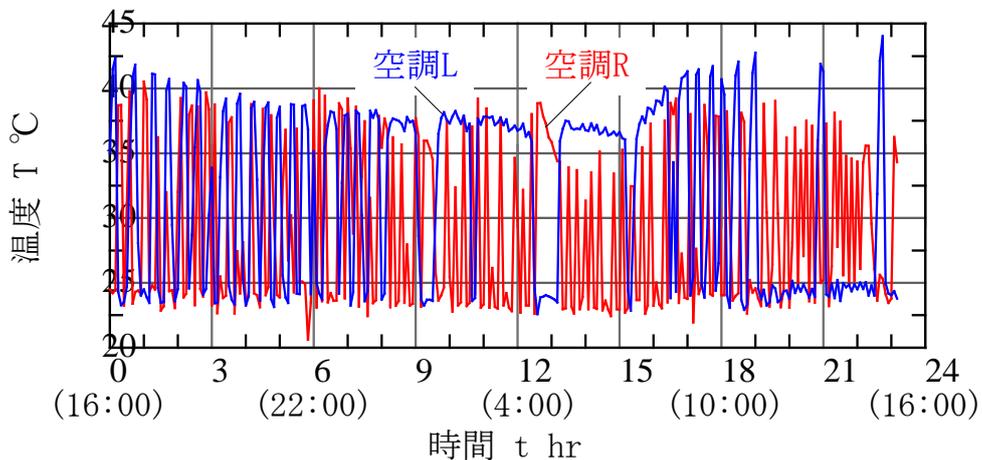


図 2-2-9 空調吹出し口温度の変化

図 2-2-10 は、機械上部の室温測定結果を示している。上図に奥側の温度を、下図に前側を示し、左側を赤、中央を青、右側を緑と異なる色で示した。この測定結果からわかるように、上部室温は全測定時間の 23 時間を通して、ほぼ 26°C を中心に約 7°C の振幅で変動している。また、わずかながら、下図に示した前側の温度が低いものの、測定箇所による顕著な差は無いこともわかる。しかしながら、図 2-2-9 に示した空調の温度変化に伴って、上部室温も変化している。これは、工場上部に空調からの空気流をさえぎるものが無いため、空調の温度変化の影響が直接的に及び易いためであると考えられる。

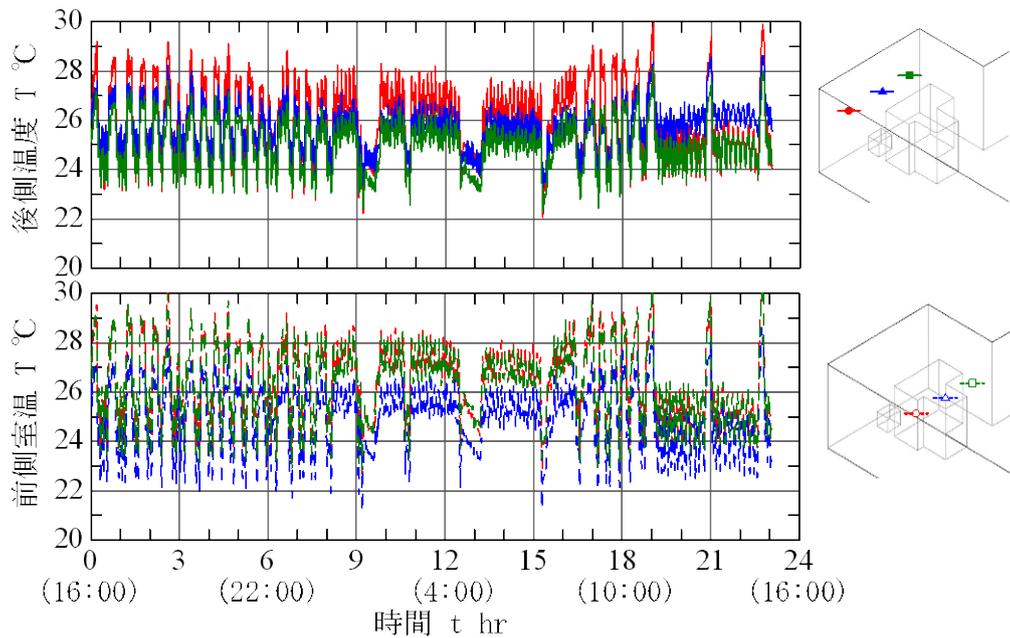


図 2-2-10 機械周囲の上部室温の変化

図 2-2-11 は、UVM-450C の熱変位測定結果である。X 方向や Y 方向には顕著な熱変位がみられない。しかしながら、Z 方向変位は、朝 10:00 ぐらいから+側へ $3.5\mu\text{m}$ と緩やかではあるが大きな変化がみられる。また、測定開始から 9 時間後からは、振幅は約 $1\mu\text{m}$ と小さいものの、周期 2~3 時間程度の変位変動も見受けられる。これは、図 2-2-9 に示したように 2 台の空調の運転状態が不安定になった時刻と対応しており、主に空調の温度変化によるものと考えられる。

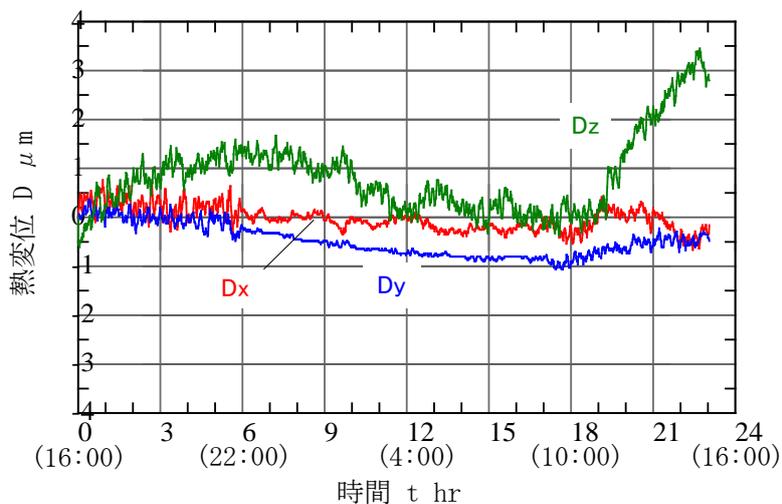


図 2-2-11 UVM-450C の熱変位測定結果

図 2-2-12 は、対策後の熱変位測定結果である。まず、対策前に見られた Z 方向の大きな変位はみられなくなったといえる。なお、測定開始から 3 時間における X および Y 方向の $-2 \mu\text{m}$ 程度の変位は、前述のように測定開始直前に機械カバーを塞いだことによるベッドの温度上昇によるものと考えられる。また、測定開始から約 15 時間後に見られる $-X$ 方向の急激な変位は、外気対策後の温度測定結果には時間的に対応する温度変化が見られないことから、機械構造が熱変位したことによるものではなく、なんらかの測定誤差であると考えられる。

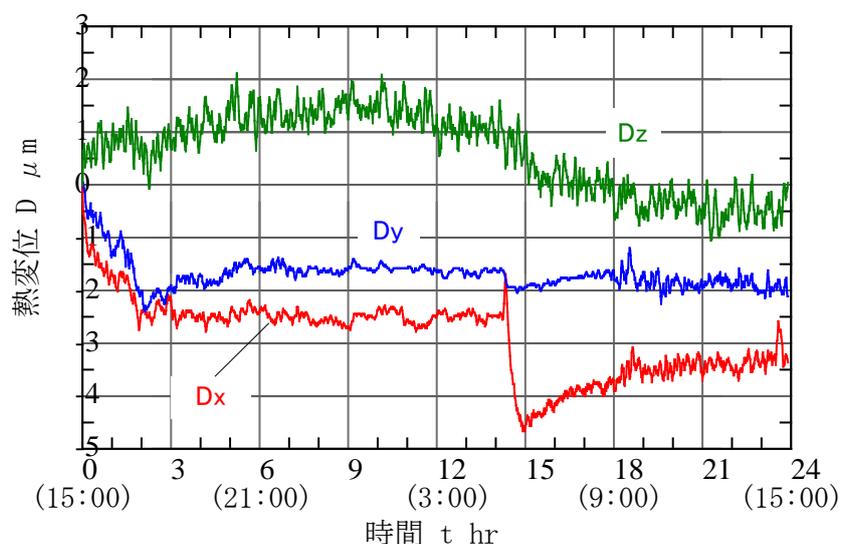


図 2-2-12 外気対策時の熱変位測定結果

次に、空調の温度変化が熱変位に及ぼす影響を検討する。このために、図 2-2-13 に示したように、工場内に L 字形パーティションを設けて空気の流れ方を変え、同様に工場内温度と熱変位を測定した。ただし、本測定時には前項で述べた外気温対策は実施していないため、測定結果には外気温の影響が含まれていることに注意を要する。

図 2-2-14 は、L 字形パーティションを設けた場合の空調温度の変化を示している。同図からわかるように、空調 R が短いサイクルで ON/OFF を繰り返しているのに対して、空調 L は不規則に比較的長いサイクルで ON と OFF を繰り返していることがわかる。そして、この運転状態は図 2-2-9 に示した現状の空調の運転状態とほぼ同様であるといえる。したがって、加工機設置後の測定結果と、以降で示す本測定結果の間にみられる差異は、主に L 字形パーティションを設けて工場内の空気の流れを変えたことによるものと考えられる。

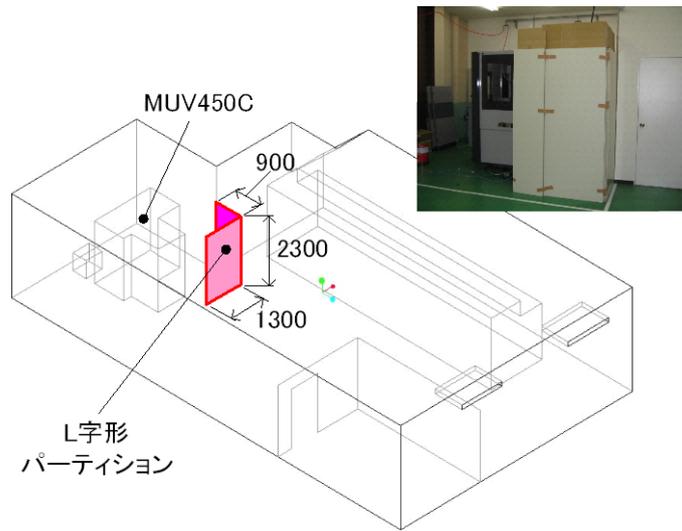


図 2-2-13 空気流が熱変位に及ぼす影響を検討するために設置した L 字形パーティション

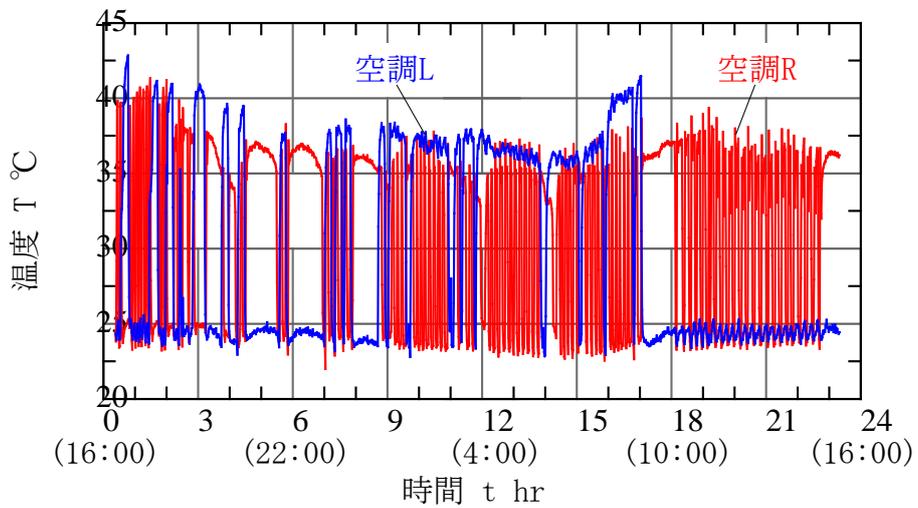


図 2-2-14 L 字形パーティション設置時の空調温度の変化

図 2-2-15 は、機械周囲の下部室温の測定結果を示している。L 字形パーティションが無い場合に比べると機械前後での室温差が大きくなっている。

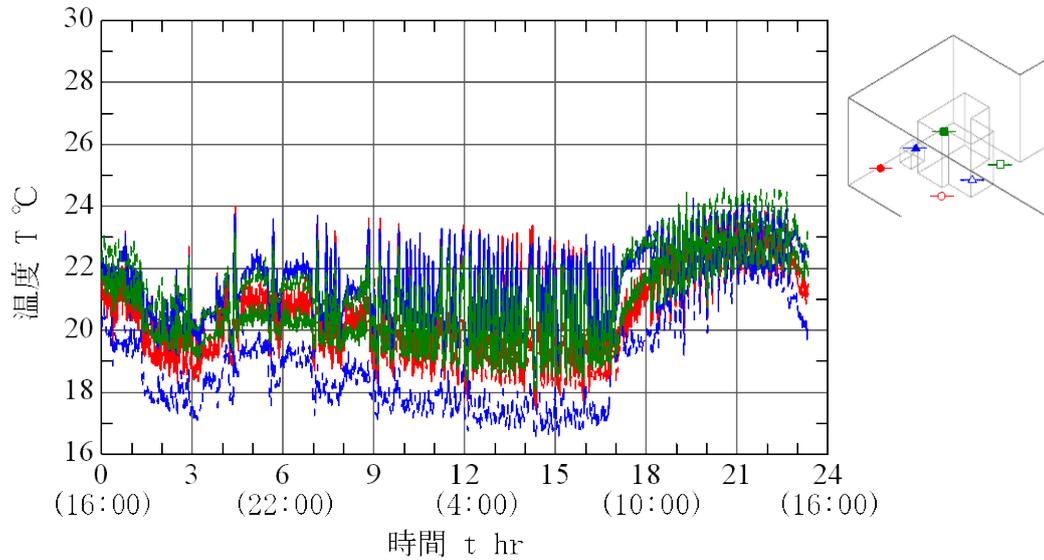


図 2-2-15 L 字形パーティション設置時の下部室温の変化

図 2-2-16 は、L 字形パーティションを設けた場合の熱変位測定結果を示している。X および Y 方向変位については、図 2-2-11 に示した現状の場合と同様に顕著な変位はほとんどみられない。これに対して、Z 方向変位は測定開始から翌日の朝 10:00 にかけて緩やかに $-3\mu\text{m}$ ほど変位し、その後は + 方向に約 $4\mu\text{m}$ 変位している。ただし、これらの比較的大きく緩やかな変位は外気温の影響であるものと考えられる。しかし、Z 方向変位には、空調の温度変化の影響と思われる振幅が $1\mu\text{m}$ 以下の比較的短周期な変動もみられる。

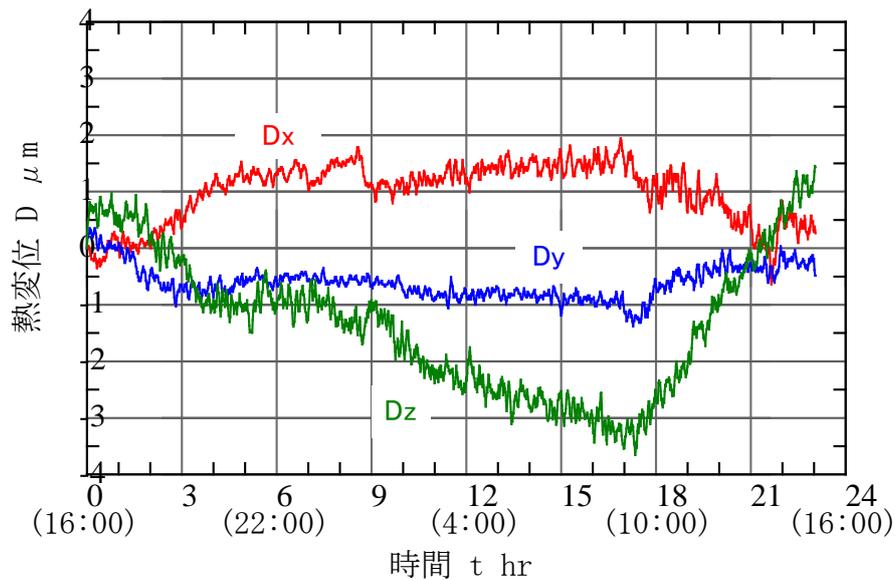


図 2-2-16 L 字形パーティション設置時の UVM-450C 熱変位

以上より、CW あきる野工場において工場環境温度と UVM-450C の熱変位を実測することにより以下のことが明らかとなった。

- 1) 外気温の変化と空調温度の変化に起因した室温変化が UVM-450C に熱変位を生じさせる要因である。
- 2) 外気温に伴う室温変化は、緩やかであるものの大きな熱変位をもたらす。しかしながら、比較的簡単な対策で外気温の影響を低減することができる。したがって、この対策は必須であるといえる。
- 3) 空調の温度変化に伴う周期 30 分以上の室温変化も比較的小さいながら、熱変位を生じさせる。したがって、空調は、その温度制御が長周期で不規則に変動しないように使用方法を工夫するか、機種や設置台数を決定しなければならない。
- 4) 環境安定化と熱変位抑制効果の関係から、UVM-450C 周囲の室温変化を 1°C 低減することで、熱変位 $1\mu\text{m}$ を抑制することができる推定される。

2-2-2. 断熱性壁面構造体を活用した熱変形抑制手法の研究

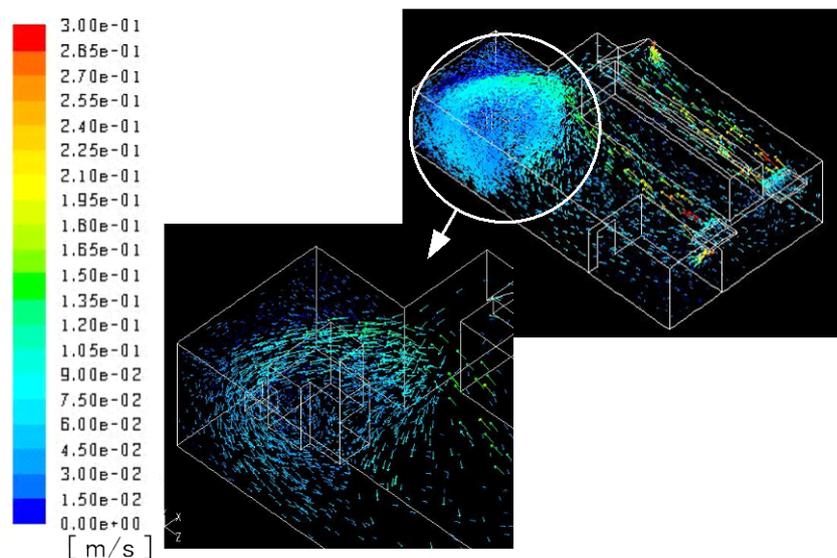
(1) 断熱性壁面構造体の施工工法に関する研究：研究用工作機械に対する熱変動の影響度を短期間に把握する目的で、熱流体解析ソフトと構造熱応力解析ソフトを活用し加工機に及ぼす熱変形のモデル化を行う。この熱変形モデルと解析ソフトを用いて、断熱性壁面構造体の外形形状（溝深さや幅寸法など）の最適化設計を進める。

(2) 断熱性壁面構造体を活用した熱変形抑制手法の研究：断熱性壁面構造体を加工機本体に施工することで熱変形の抑制効果を得ることが研究目標であるが、熱変形の複雑な挙動を単純な 1 軸方向のみの変形（例えば Z 軸方向のみ）になるように断熱性壁面構造体の配置設計をすることや、伝熱/排熱特性を制御する等の熱変形抑制手法も考えられる。ここでは、設置環境の特徴と金型部品加工業を前提条件として、より好ましい熱変形抑制手法を開発する。

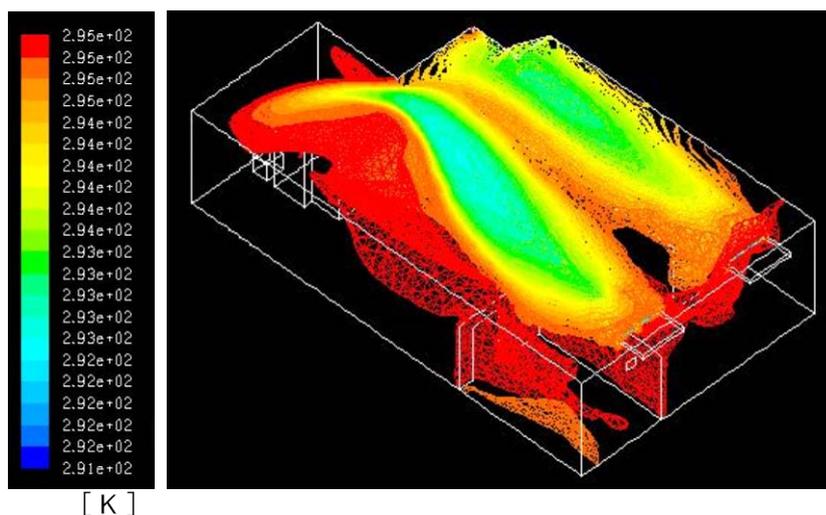
研究成果－(1)

本章では、特に空調の温度変化に伴う室温振幅を低減させるという観点から、環境を安定化するための手法を数値解析に基づいて検討した。また、その熱変位抑制効果についても推定した。2 台の空調からは 0.5m/s の速度でグラフに示したような温度変化をする空気がモデル内に流れ込むよう設定した。

図 2-2-17 に、解析結果の 1 例として、時刻 52 分における流速分布と温度分布を示した。図(a)の流速分布はベクトルの向きが流れの方向を、色および長さが速度の大きさを表している。これによれば、2 台の空調から流入した空気が機械の上空を旋回するように流れていることがわかる。一方、図(b)は温度分布であり、図(a)の空気の流れに沿って、空調からの冷気が拡散する様子が確認できる。



(a) 52分後の速度分布



(b) 52分後の温度分布

図 2-2-17 解析結果の 1 例

2-2-3. 設置環境に最適な低投資環境温度制御システムの仕様設計

2-2-2 (2) の結果として、断熱性壁面構造体により熱変形の時定数制御（大きくして鈍感にする）や熱変形抑制効果が得られたとしても、現状では加工室の温度変動幅が大きい
ため超精密切削加工機の熱変形挙動が無視できる程度に制御できる状況にはならないと想定される。したがって、最少限の投資で超精密微細切削加工に対応可能な空調システムの仕様案を作成する。

研究成果

(ア) 低コストな環境安定化手法による熱変位対策検討のための対策モデル

図 2-2-18 は、対策検討用の解析モデルである。図(a)は、前章でも実際に適用した L 字形パーティションを設けたモデルであり、ここでは対策モデル L と呼ぶ。図(b)は、UVM-450C 直上の天井から 1m の仕切りを下げるように取り付けられたモデルである。これは、床に設置しないため作業者の移動を阻害することがないという点で優れているといえる。これを対策モデル V と呼ぶ。また、図(c)は工場内オフィスと同様に、UVM-450C 設置域をパーティションで仕切る対策案である。このパーティションの高さは 2.4m とし、天井との間は 1m 程度の開口部があるため、あくまで空調には既設の 2 台の装置を用いるものである。これを対策モデル S とする。なお、境界条件は図 2-2-17 と同じ設定である。

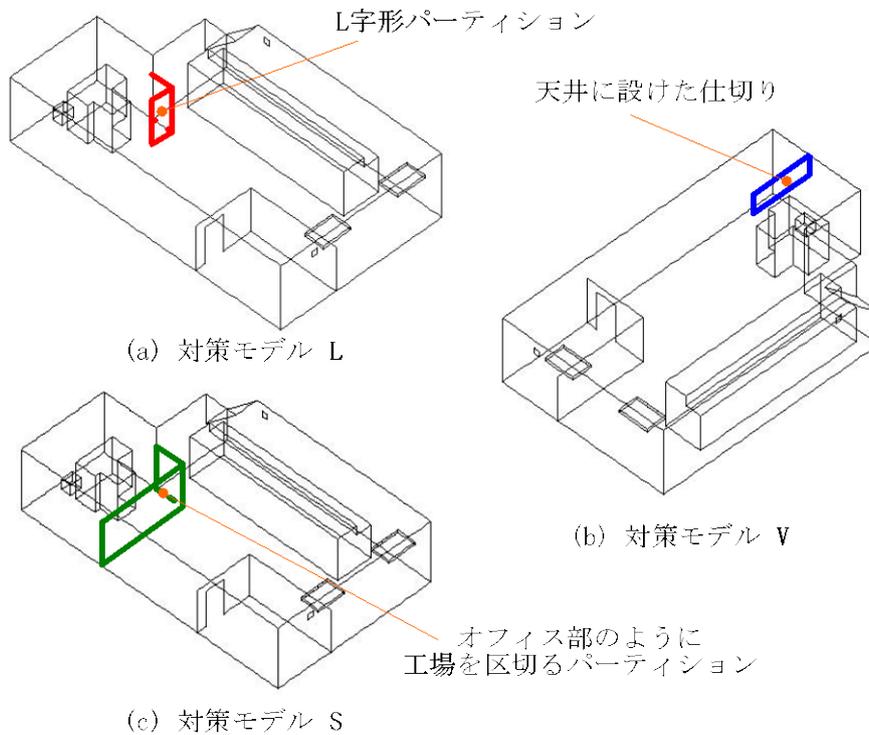


図 2-2-18 対策検討用の解析モデル

(イ) 対策が工場環境に及ぼす影響とその熱変位抑制効果の推定

図 2-2-19 は、各対策モデルによる解析によって求めた、機械周囲の流速の大きさを比較したものである。対策モデル L では、現状モデルに比べて後側の流速がわずかながら減少している。また、対策モデル V では、前側の流速が小さくなる一方で、後側の流速が大きくなり、機械背部の換気性が増したことがわかる。さらに、対策 S では、前後とも流速が大きく低下し、空気の対流が抑制されたことがわかる。

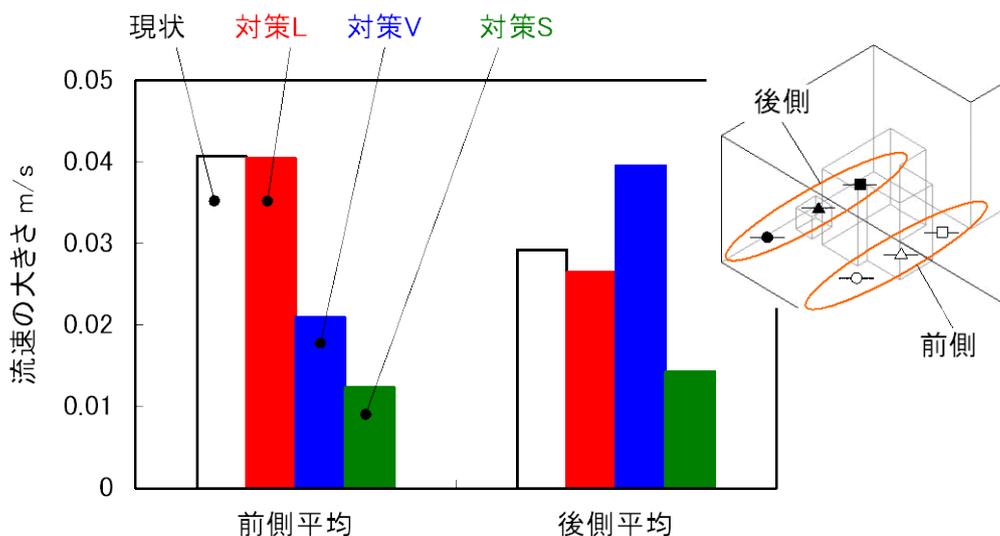


図 2-2-19 対策が UVM-450C 周囲の流速に与える影響

図 2-2-20 は、各対策モデルによる解析から求めた、機械後部の右下における室温変化を示している。同図からわかるように、解析開始から 30 分までは、不規則な変化を示すモデルも見られるが、それ以降は空調の温度変化に合わせた周期的な変化を繰り返すようになっている。そこで、この 30 分以降の温度の変化挙動に着目して各モデルを評価する。まず、対策モデル V は、現状モデルの結果とほとんど変わらないことがわかる。しかし、対策モデル L では振幅が小さくなっており、対策モデル S ではさらに減少している。

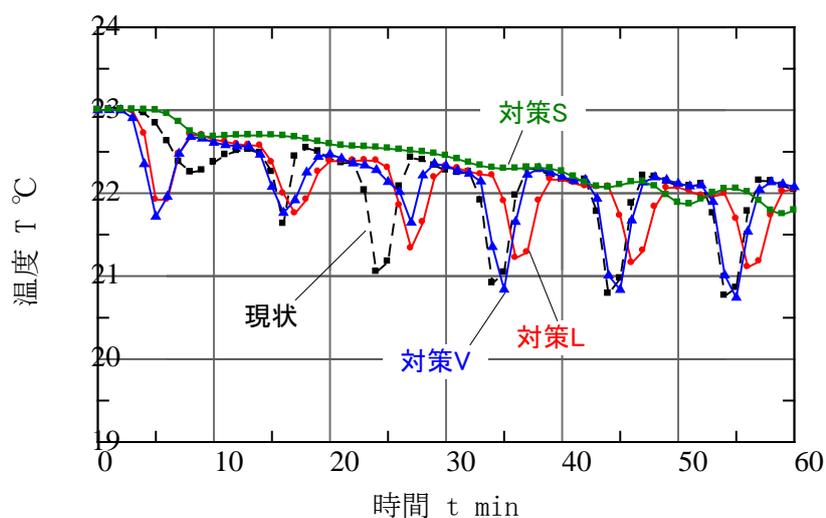


図 2-2-20 解析による機械周囲の室温変化

次に、これら対策モデルによる熱変位抑制効果を、前章で明らかにした1℃の室温振幅減少で、機械の熱変位が1μm程度減少するという関係から推定する。ここでは、図2-2-20に示した室温の解析結果から、その変動が安定する最後の10分間の温度変化量に着目し、表2-2-1にまとめた。この結果から、対策モデルSが最も効果が大きく1μm程度の熱変位抑制効果が望めることがわかる。また、測定実験にも適用した対策モデルLも、実験的に確認したように一定の熱変位抑制効果がみとめられる。ただし、対策モデルVには大きな効果が期待できない結果となった。しかしながら、この対策モデルVは天井に設けるため、作業者の移動を阻害しないという利点があり、天井のいずれの場所にも設置可能なため自由度が高い。したがって、これ以外の設け方も多く考えられ、それらを詳細に検討することでより効果的な対策を見出せる可能も大きいと思われる。

表 2-2-1 室温振幅の減少量から推定される熱変位抑制効果

モデル	現状	L	V	S
室温振幅 °C	1.39	0.96	1.39	0.31
熱変位抑制効果の推定値 μm (室温振幅の減少量)	—	0.43	0.0	1.08

(ウ) 設置環境に最適な低投資環境温度制御システムの仕様設計

CW あきる野工場の環境を忠実に再現したモデルを構築し、空調の温度変化に伴う室温変動を抑制して環境を安定化するための手法を検討した結果より、設置環境に最適な低投資環境温度制御システムの仕様案を作成した。

3. 全体総括

3-1. 研究開発の成果および課題

3-1-1. 研究開発の成果

本研究開発により下記の成果が得られた。

(1) 樹脂成形品の離型性向上とデザイン高度化対応のための超精密微細切削技術の確立のテーマに関し

- (ア) 超精密マシニングセンタの加工操作を習得し、微細金型の形状要素を集約した微細パターンで構成したテストパターンを用いた加工技術の研究の成果として超精密微細切削加工の基本技術を開発した。
- (イ) 現状はエッチングやブラスト工法で加工されるシボ面（または梨地面）を微細切削加工で可能となす基本技術（設計技術、加工技術）を開発した。これにより、これまで外注処理を要したシボ面加工が、金型部品の加工段階で内製加工できる可能性が得られたことから、短納期化や処理位置の高精度化、習熟によるバラツキの低減などの効果が期待できる。
- (ウ) 擬似シボ面を持ったプラスチック成形品の離型性制御に関する研究を行い、擬似シボパターンの形状パラメータ、射出圧力と離型力の関係を研究し、離型力を低減させる擬似シボパターンの形状パラメータを明らかにした。また、この結果を基に1件の特許「成形用金型及びその製造方法」を出願した。
- (エ) プラスチック成形品のデザイン高度化に資する切削技術の研究として、300 μm の糸を編んだ布地パターンを事例に設計手法と微細切削を研究し、金型鋼への加工を実現した。

(2) 加工機の熱変形を低減させる低投資環境温度制御システムの実用のテーマに関し

- (オ) 研究用加工機設置前後の、加工機周辺の室温変動状態と加工機の熱変形挙動の関係を調査し、加工機周辺環境の室温変動モデルを設計した。この室温変動モデルを使用することで、環境安定化と熱変形抑制効果の相関を確認した。
- (ク) 外気温度とともに変化するZ軸方向の熱変位成分があることを明らかとし、対策を実施したことで3.5 μm /5時間の熱変形挙動を低減させた。
- (ケ) 加工機周辺環境の室温変動モデルに上智大学の研究成果である断熱性壁面構造体のアイデアを活用して3種類の熱変形抑制モデルを研究した結果、温度変動の振幅を約77%低減できるシミュレーションデータが得られ、この結果をもとに低投資な環境温度を安定化させる施工仕様案を提示した。

以上の2つの研究成果(1)(2)を統合することで得られたプロジェクトの目標達成度を次表に示した。

表 3-1-1 研究目標の達成実績

研究目標項目	研究目標	実績
①高精度・微細化	H21年初期実績の20%向上	目標達成
②短納期化	H21年初期実績の15%向上	目標達成
③低コスト化	H21年初期実績の15%向上	現状では効果算出が難しい。
④デザイン高度化	微細パターン：300 μ m相当 代表部粗さ：100nmRa相当	目標達成
⑤特許出願	特許出願1件	目標達成

3-1-2. 今後の課題

本年度の研究は、超精密微細切削システムの研究が主であったため、量産加工技術としての完成度や商品として成形品を評価した場合における擬似シボパターンの完成度などに、検討課題が残る状況である。したがって、今後の課題として次の項目が挙げられる。

- 1) 超精密微細切削技術に関し、更に各種の加工データベースを蓄積させる必要がある。
- 2) 擬似シボパターンの設計技術として、エッチングやブラスト法で加工したシボ面と完全に置換できる設計技術の更なる完成度向上が必要。
- 3) 擬似シボパターンの加工技術として、上記2)内容と同様に加工技術の更なる完成度向上が必要。
- 4) デザイン高度化の研究では、微細工具の使用技術を向上させた上で微細パターンの加工表現技術の高度化と大面積加工・曲面投影加工等の対応力の向上が必要。
- 5) 低投資な熱変形抑制施工を実現するための施策の実践が必要

3-2. 事業化展開

本研究の短期の事業化目標市場として、デジカメ用AFレンズモジュール市場を想定した。この間、車載カメラの搭載比率が急速に上がっていることや監視用途でも応用分野が広がっていること等から事業化目標としては現時点においても好ましいと言える。本研究で成果が得られた再現性に優れるシボパターンの切削加工技術の実用化に期待が高まることが想定される。この様な現状分析を踏まえると、当初に設定した事業化計画は短期・中期計画案ともに、今後も継続検討に値するものと言える。よって、今後の活動として以下の必要がある。

- 1) 本研究で開発した技術手段を実用化技術にまで完成度を向上させること。
- 2) 具体製品を設定した上で、早期の事業化実施計画に繋げること。
- 3) 特許申請内容の知財を活用するなど事業化実現のための幅広い活動を展開すること。

4. 専門用語等の解説

シボ面（シボ加工）：シボ面とはすりガラス状のように表面粗さをランダムな凹凸状に仕上げられた面のことで、シボ加工は硬い微粒粉を噴射させて表面を変形させたり（ブラスト工法）、エッチングによる化学的に表面を除去する加工法などがある。

離型性：樹脂成形金型から成形品が離れやすいかどうかの特性。

テクスチャー：語源は布地のテキスタイルから出たとされる技術用語で、見栄え（視覚）や肌ざわり（触覚）の状態を表面の形状で表現した面をテクスチャー面と呼ぶ。

工具経路：NC 工作機械では工具と工作物の相対運動を工作物が固定されていると考え、工具の動きで加工を指示する。この工具の移動軌跡を工具経路という。

時定数：応答の速さを特徴づける時間の次元をもつ定数。

STL データ：STL (Standard Triangulated Language) の略語

2P 成形法：Photo polymerization 法の略語表記法で、成形圧力がほとんど作用しないプラスチック成形法の1つでUV樹脂などを用いる場合が多い。

エジェクターピン：突出しピンとも呼ばれるもので、プラスチック成形品などを金型から抜き出すために使用されるピンのこと。

抜き勾配：成形品の離型を容易にするために離型方向に対し側面につける傾斜をいう。一般に1～3°程度の抜き勾配を持たせるが、シボ面などの抜きが悪い面に対しては抜き勾配を大きく設計する。

5. 参考文献・引用文献

- 1) 堀三計、西脇信彦、基本特性データによる工作機械構造の熱変形量推定、日本機械学会論文集 C 編、1998
- 2) 森脇俊道、社本英二、徳永剛志、周囲気温変化による超精密工作機械の熱変形：伝達関数による熱変形特性の検討とたたみこみ積分による推定、日本機械学会論文集 C 編、1997
- 3) 株式会社牧野フライス製作所、加工機設備、特開 2006-102939、2006-04-20.
- 4) たとえば、株式会社ソディック、工作機械の冷却装置、特開 2006-224238、2006-08-31.
- 5) 小林義和、白井健二、佐々木哲夫、射出成形におけるコア表面粗さと離型抵抗力の関係、精密工学会誌、第 67 巻、第 3 号、平成 13 年
- 6) 村田泰彦、プラスチック成形加工研究室（村田研究室）、日本工業大学機械工学科
- 7) 國次真輔、樹脂成形金型における離型性評価試験法の開発、岡山県工業技術センター報告、第 35 号
- 8) 蓮沼宏、光沢
- 9) 光を用いた工学表面の性状評価分科会著、非接触方式による精密加工表面の性状評価
- 10) 荒井彰、高島幸史、波岡武、レプリカ回折格子の製法、東北大学科学計測研究所報告、第 31 巻、第 2-3 号、181-191(1982)