

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「低振動化・温度自律補正機能を有した、超精密加工機械の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1 - 2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1 - 3 成果概要
- 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 加工機械の開発

- 2 - 1 研究目的および目標
- 2 - 2 研究内容
- 2 - 3 研究成果
 - 2 - 3 - 1 加工機械
 - 2 - 3 - 2 機械の静的精度
 - 2 - 3 - 3 加工結果

第3章 油圧振動の低減機構の開発

- 3 - 1 研究目的および目標
- 3 - 2 研究内容
- 3 - 3 実験装置及び実験方法
 - 3 - 3 - 1 モデル流路及び循環ループ
 - 3 - 3 - 2 画像撮影装置及び照明装置
 - 3 - 3 - 3 トレーサ粒子
 - 3 - 3 - 4 振動実験の方法
 - 3 - 3 - 5 可視化実験の方法
 - 3 - 3 - 6 粒子画像流速計
- 3 - 4 実験結果
 - 3 - 4 - 1 振動データの統計処理結果
 - 3 - 4 - 2 モデル流路1の可視化画像
 - 3 - 4 - 3 モデル流路1の速度ベクトルマップ
- 3 - 5 実験のまとめ

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

現在、大型樹脂型化粧部分は人手による磨き加工が行われており、機械化されていない。このようなものづくり分野においては、精密加工技術の高度化が製品の品質、機能向上を可能にするため、任意の形状及び表面粗さを高速・高精度で加工する超精密加工機械の開発ニーズが高まっている。

本事業は、振動対策、温度対策を施すことにより、加工の形状精度を $1\mu\text{m}$ レベル以下に、表面粗さの精度を将来的に 0.1S レベル以下に加工することが可能な新たな超精密加工機械を開発する。

なお、具体的な技術的目標値は次のとおりとする。

区分	従来	委託事業期間中の目標値	最終的な目標値 (参考)
機械位置決め精度	$5\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
機械振動	200nm(*)	200nm(現状維持)	10nm
繰り返し再現性	$10\mu\text{m}$	$10\mu\text{m}$ (現状維持)	$1\mu\text{m}$ 以下
工具軸再現性	$0.2\mu\text{m}$	$0.2\mu\text{m}$ (現状維持)	50nm
加工形状精度	$10\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$
加工表面粗さ	10S(**)	10S(現状維持)	0.2S
ワーク加工時間(H)	(100H)	(100H) (現状維持)	従来の 1/2(50H)
加工コスト	(100万円)	(100万円) (現状維持)	従来の 1/2(50万円)

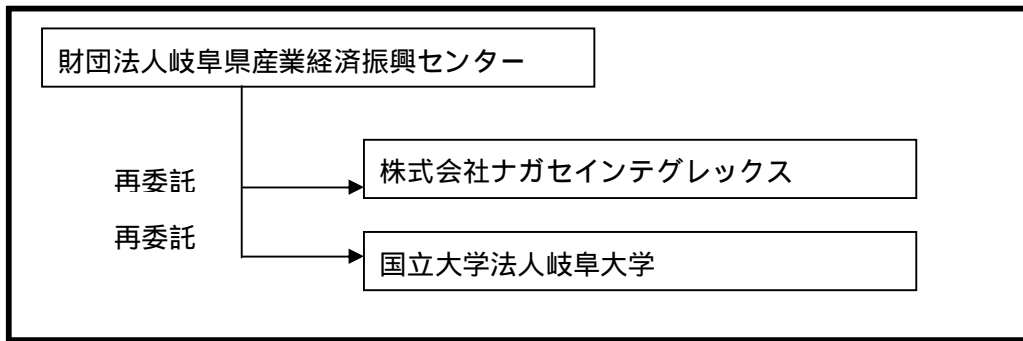
* : 1nm(ナノメートル)は $1/1000\mu\text{m}$ (マイクロメートル)

** : S は表面粗さの単位の一つで、ある測定長における最大の突起とへこみ、この凸凹差を縦方向の垂直方向にマイクロメートル読みしたもの。

研究の具体的な内容としては、新たな高速・高精度加工を可能とするため、油静圧軸受けを採用し、温度自律補正機能を組み込んだ超精密加工機械を開発することで、機械振動や温度変化による加工誤差を限りなくゼロに抑える。さらに、油静圧の油圧回路には、油圧振動の原因となる渦流の発生を抑制し振動の発生を抑えるような対策を施す。また、加工機の主軸には低振動でかつ温度変化の影響を受けにくいモータを導入して、加工精度の向上を図る

1 - 2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1) 研究組織 (全体)



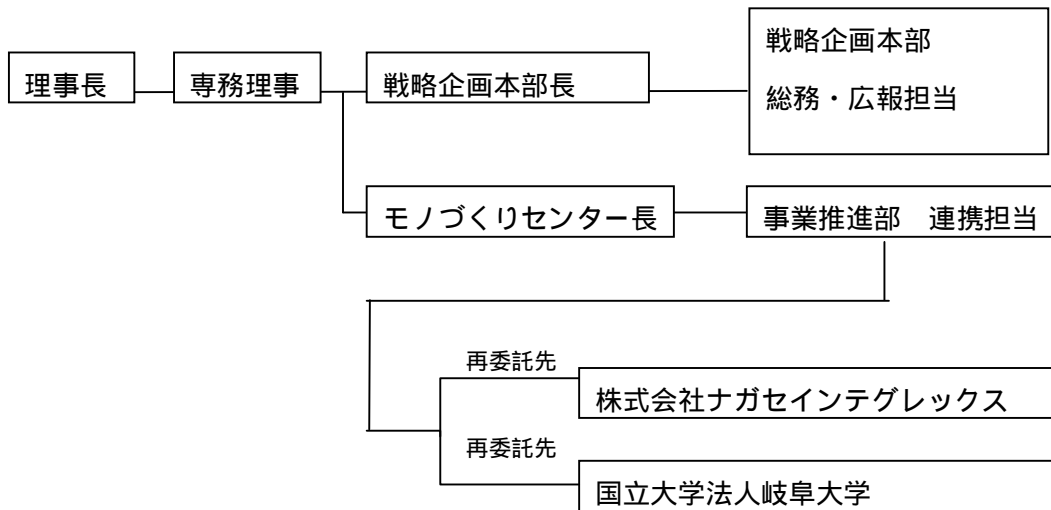
総括研究代表者(PL)
所属：株式会社ナガセインテグレックス
役職：製造部副部長 氏名：板津武志

副総括研究代表者(SL)
所属：国立大学法人岐阜大学工学部
役職：准教授 氏名：井上吉弘

2) 管理体制

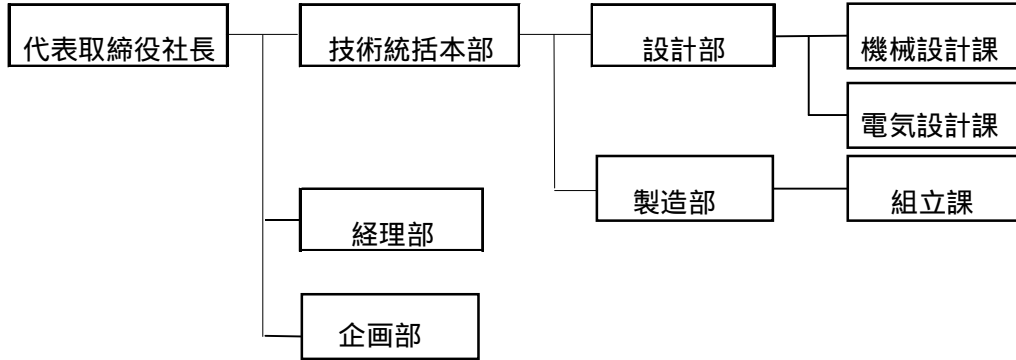
事業管理者

財団法人岐阜県産業経済振興センター

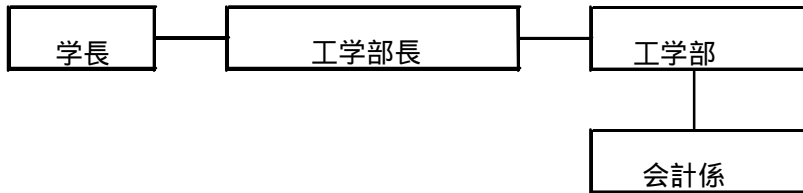


再委託先

株式会社ナガセインテグレックス



国立大学法人岐阜大学



(2) 管理員及び研究員

1) 事業管理者

財団法人岐阜県産業経済振興センター

氏名	所属・役職	実施内容
砂田 博	理事兼モノづくりセンター長	プロジェクトの管理・運営
服部 清	事業推進部長	
繁田 栄司	事業推進部参事	
朝原 力	事業推進部主任調査役	
野村 貴徳	事業推進部主査	
小川 誠	事業推進部主査	

2) 再委託先

株式会社ナガセインテグレックス

氏名	所属・役職	実施内容
長瀬 幸泰	代表取締役社長	加工機械の開発
板津 武志	製造部 副部長	
山村 誠	製造部 次長	
木村 吉行	製造部組立課 次長	
高橋 宏史	設計部機械設計課 課長	
後藤 尚哉	設計部機械設計課 リーダー	
野倉 健一	製造部組立課 係長	
宇野 剛史	企画部 課長	
村瀬 信義	設計部電気設計課 課長	
内田 聖一	企画部	

国立大学法人岐阜大学

氏名	所属・役職	実施内容
井上 吉弘	岐阜大学工学部 准教授	油圧振動の低減機構の開発
加藤 隆雄	岐阜大学工学部 准教授	

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人岐阜県産業経済振興センター

(経理担当者) 戦略企画本部主任 大堀 明雄

(業務管理者) モノづくりセンター理事推進部参事 繁田 栄司

(再委託先)

株式会社ナガセインテグレックス

(経理担当者) 経理部長 北村芳郎

(業務管理者) 製造部副部長 板津武志

国立大学法人岐阜大学

(経理担当者) 工学部 会計係 市橋 昂

(業務管理者) 工学部 准教授 井上吉弘

(4) その他

なし

1 - 3 成果概要

- 超精密切削加工機を製作し、試作加工を行うことができた。
- 安定した環境での精度データを測定し、高精度な加工を行うことの出来る性能を発揮していることが確認できた。
- 自立温調システムを取り付ける前の段階で、基礎的な高精度が達成できた。温度が安定していない悪い環境下での測定データとの比較の根拠となる値を測定することができた。
- 静圧実験装置を用いた実験において、当初目標としていた従来の振動レベルの発生を確認することができた。
- 静圧実験装置の油圧回路から2つのモデル流路を設計し、そのうちの1つを用いて流れの可視化実験を行った。実験では、トレーサ粒子、レーザ光源、ハイスピードビデオカメラ撮影条件を変化させ、実験方法の指針を作成した。
- ハイスピードビデオカメラを用いて連続撮影した可視化画像から、粒子画像流速計を用いて平均速度ベクトルを算出し、流動状態を調べた。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人岐阜県産業経済振興センター事業推進部 繁田 栄司

所在地：岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

電話：058-277-1093 FAX：058-273-5961

E-mail：shigeta@gpc-gifu.or.jp

第2章 加工機械の開発

2 - 1 研究目的および目標

今まで製作してきた超精密機械は、安定した温度環境下の中に機械を設置させることが超精密加工のための前提条件であった。今回の研究では、温度自立補正機能を搭載した加工機を開発し、温度環境が安定していない状態でも高精度に加工することが出来ることを目指す。

まずは、温度自立補正システムを搭載するベースとなる機械を開発する。本研究委託期間中に製作する機械の目標として、以下の精度目標を達成することを目指すものとする

表2 - 1 精度目標値

区分	従来値	委託事業期間中の目標値
機械位置決め精度	5 μm	1 μm
機械振動	200 nm	200 nm (現状維持)
繰り返し再現性	10 μm	10 μm (現状維持)
工具軸再現性	0.2 μm	0.2 μm (現状維持)
加工形状精度	10 μm	2 μm
加工表面粗さ	10 S	10 S (現状維持)
ワーク加工時間	(100 H)	(100 H)(現状維持)
加工コスト	(100万円)	(100万円)(現状維持)

2 - 2 研究内容

ワークの形状精度と表面粗さを両立するためには、機械特性として、3次元空間を精度良く動く同期精度と、滑らかな送りが必要となる。また、粗加工の高負荷の状態と仕上げ加工の低負荷の状態でガタの影響が無い機械構造が要求される。その為に、機械の軸4軸(X軸、Y軸、Z軸、旋回軸)にそれぞれ可動部が金属接触しない低摩擦な摺動構造の油静圧軸受けを使用し弾性変形の範囲内で加工する機械の開発をおこなう。

2 - 3 研究成果

2 - 3 - 1

本年度は以下の加工機の製作を行った。

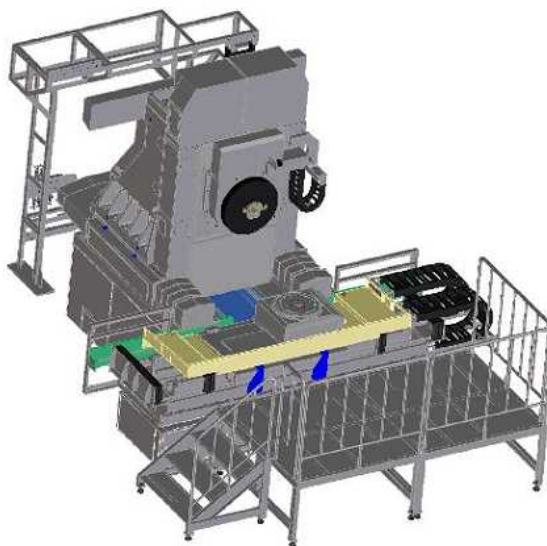


図 2 - 1 製作した機械の 3 次元設計図

上図は今回開発した超精密加工機械の全体図である。なおこの状態にさらに電装品である制御盤、操作盤、NC 装置および油圧タンクが付け加わる。なお本図には、岐阜県産業経済振興センターからの委託部分および自社負担分も含めた状態で表示してある。

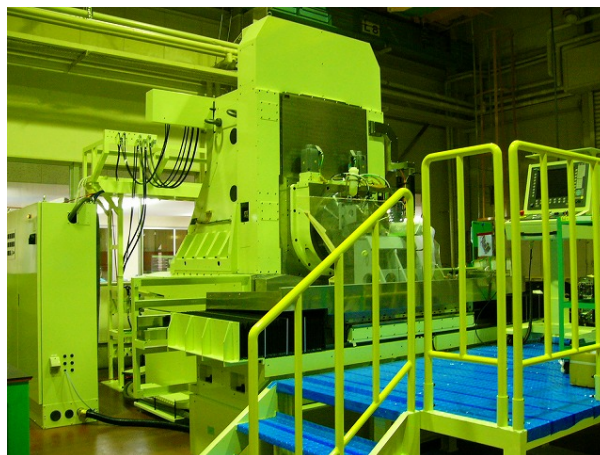


図 2 - 2 実際の機械の様子

2 - 3 - 2 機械の静的精度

以下に目標として機械精度と完成した機械の実測値をのせる。

表 2 - 2 機械の精度の測定結果

区分	従来値	委託事業期間中の目標値	測定値
機械位置決め精度	5 μm	1 μm	1 μm 以下
機械振動	200 nm	200 nm (現状維持)	200 nm 以下
繰り返し再現性	10 μm	10 μm (現状維持)	1 μm 以下

委託事業期間中に目的とした精度を上回る結果を出すことが出来た。

2 - 3 - 3 加工結果

静的な精度目標を達成することが出来たので、動的な精度目標の達成を確認する。動的な精度は、試作加工結果によって確認する。試作加工として次のようなワークを加工し、その結果を用いて、動的な精度評価を行った。

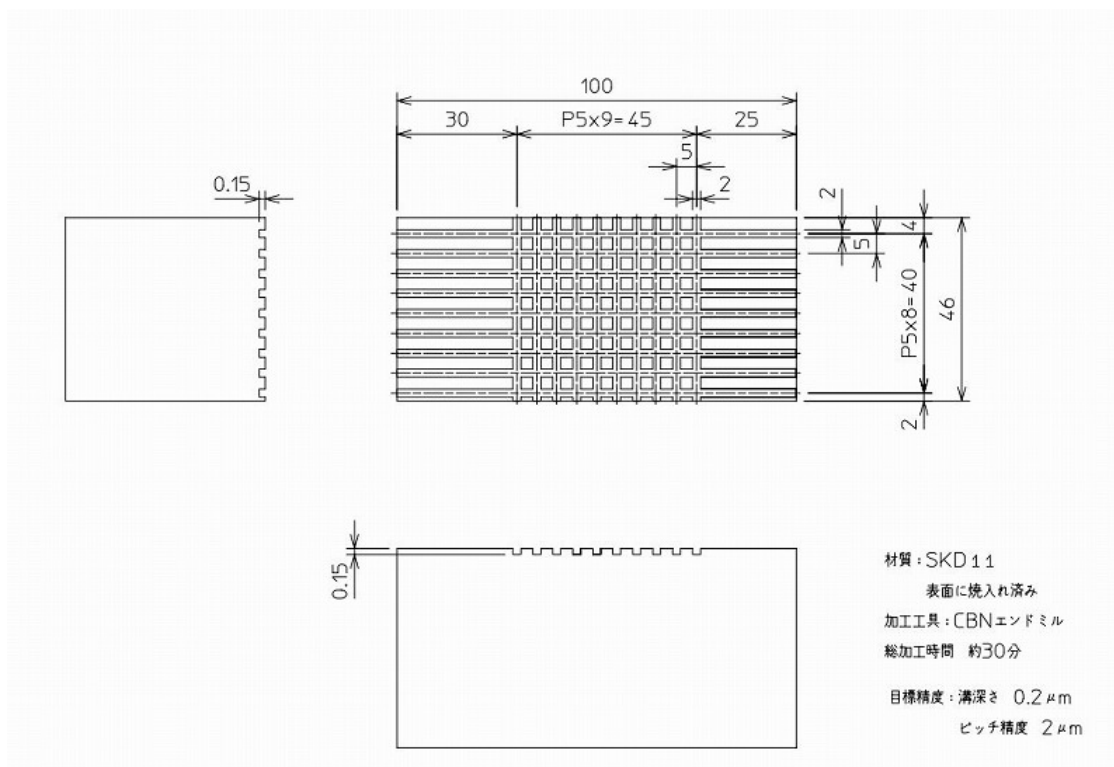


図 2 - 3 加工したワークの図面

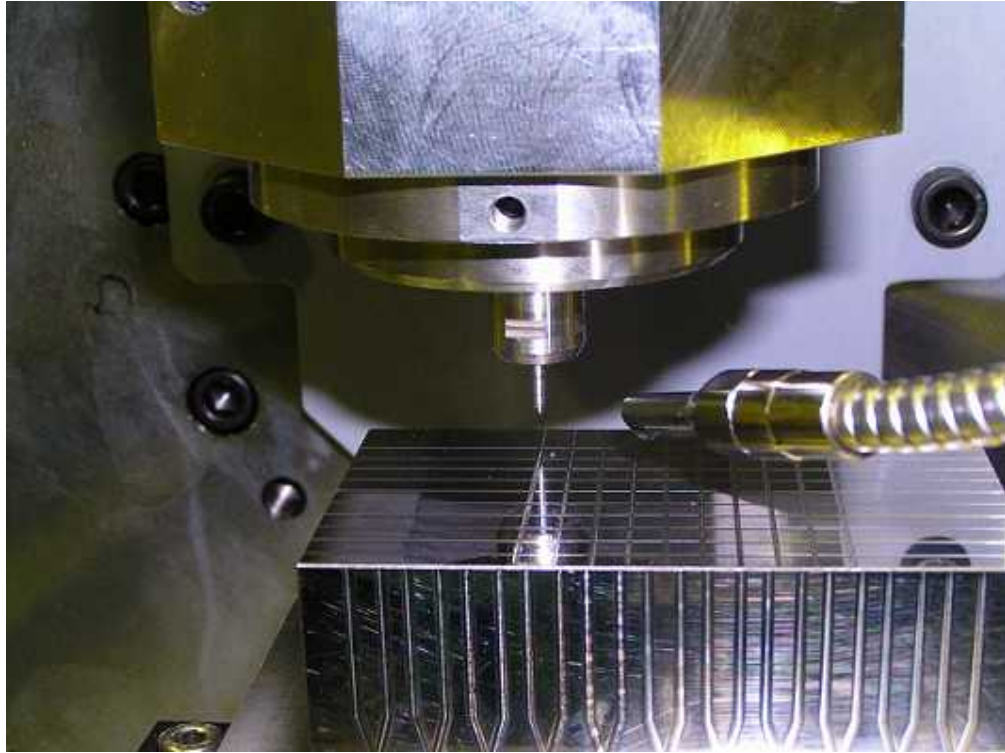


図 2 - 4 試作加工の様子

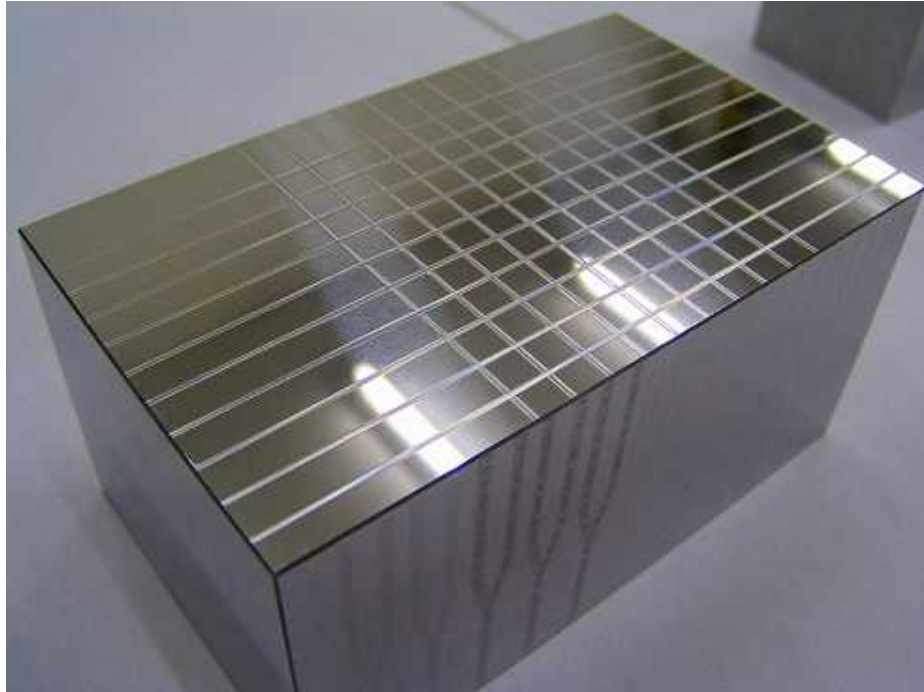


図 2 - 5 加工したワークの様子

試作加工したワークで、目標値の達成度を測定した。

A、工具軸再現性

旋回軸に工具を取り付け、テーブル上にワークを設置し加工を行う。連続して加工したその面それぞれの切り込み深さを測定し、その値のバラつきを比較する。その値で加工時の工具軸の再現性を調べる

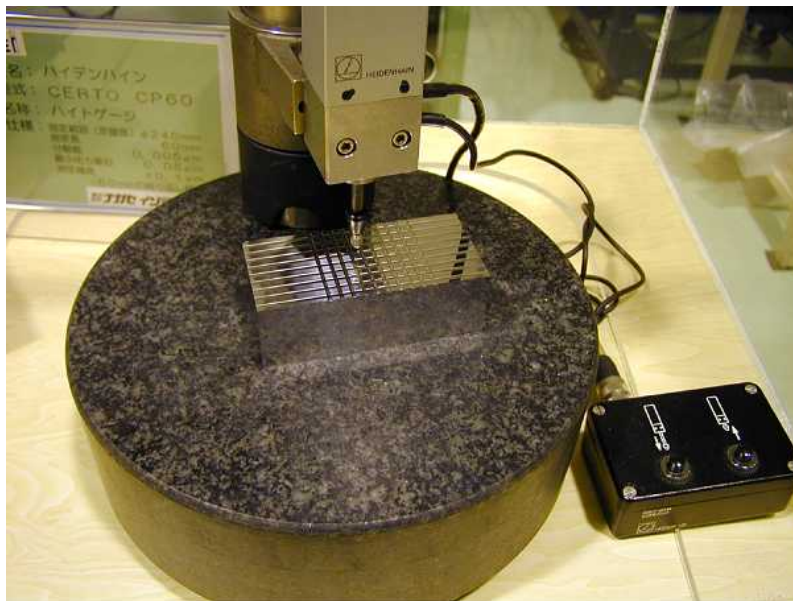


図 2 - 6 溝深さ測定の様子

以下に溝の深さの測定結果を示す。

表 2 - 3 溝深さの測定値

溝深さ	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
1本目	0	0	0	0	0	0
2本目	0.2	0.1	0.1	0	0	-0.1
3本目	0.1	-0.05	0	0.1	-0.05	0.1
4本目	0.2	-0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
5本目	0.2	-0.05	0.15	0.2	0.1	0.1
6本目	0.2	-0.05	0.05	0.15	0.05	0
7本目	0.2	0	0.05	0.2	0.15	0.1
8本目	0.2	-0.05	0.15	0.2	0.1	0.05
9本目	0.2	0.05	0.1	0.2	0.15	0.1
誤差	0.2	0.2	0.15	0.2	0.2	0.2

単位: μm

目標としていた値、工具軸再現性 $0.2 \mu\text{m}$ の値内に入っていることが確認できる。

B、加工形状精度

回転軸に工具を取り付け、テーブル上にワークを設置し、加工を行う。その加工形状の設定値と実際の加工形状との差を測定する。

設定値と実際の溝加工を行った結果から、どの程度精度良く加工できたかを確認する。



図 2 - 7 測定に使用した計器

以下に溝の設定値からの誤差の測定値を示す。

表 2 - 4 溝の位置誤差

測定回数	縦方向	横方向
1	0.0015	0.0016
2	0.0017	0.002
3	0.0019	0.0018
4	0.0016	0.0015
5	0.0016	0.0015

単位 : mm

加工形状精度についても、目標とする値、2 μ m の値内に入っていることが確認できる。

C、加工表面粗さ

旋回軸に工具を取り付け、テーブル上にワークを設置し、加工を行う。その加工面の粗さを測定する。加工面を Zygo 社の NewView で測定し、その表面粗さを測定した

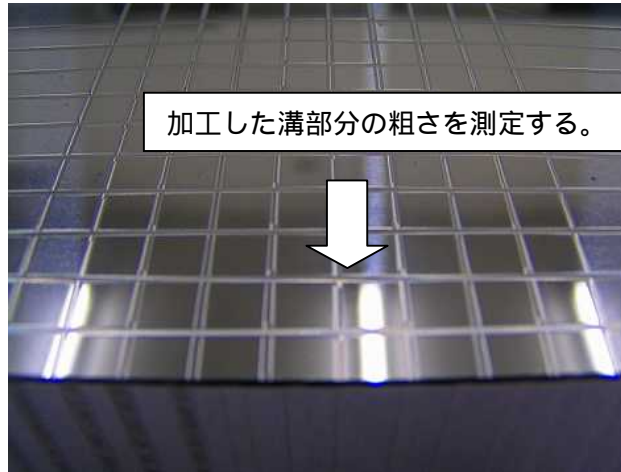


図 2 - 8 測定部分の説明

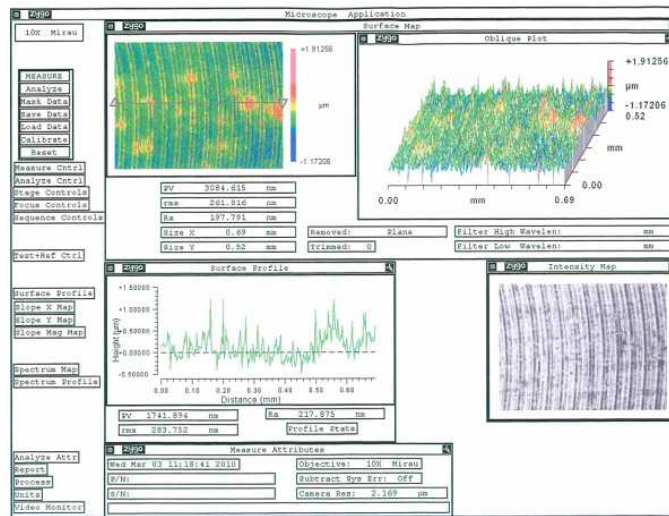


図 2 - 9 加工測定結果

PV 値 = 最大高さである。測定の結果、値は $1.7\mu\text{m}$ となり、目標としていた値 10S の範囲に入っていることが確認できる。

表 2 - 5 測定結果のまとめ

区分	従来値	委託事業期間中の目標値	測定値
工具軸再現性	$0.2\mu\text{m}$	$0.2\mu\text{m}$ (現状維持)	$0.2\mu\text{m}$
加工形状精度	$10\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$
加工表面粗さ	10S	10S (現状維持)	2S 以下

第3章 油振動の低減機構の開発

3 - 1 研究目的および目標

本研究は、表題の委託業務のうち「油圧振動の低減機構の開発」を目的とするものである。実施計画書に記載のとおり、油静圧軸受に供給される油に暴れ（振動）が発生すると超精密加工機械自体が振動し加工誤差の原因となるため、油の流れによる振動を少なくする実験装置を開発・製作し、実験による検証を行うことが本研究の目的である。本年度は現有の静圧実験装置を用いた各種条件下の測定を行い、従来の振動レベル（200nm 程度）の発生を確認するとともに、本年度購入のハイスピードビデオカメラを用いた流れの可視化観察方法の確立を目標とする。

3 - 2 研究内容

本研究開発は、株式会社ナガセインテグレックスにおいて従来から開発・製品化を進めており、軸受特性上もより有利な油静圧軸受を採用し、その振動発生源を精査し、低振動機構を新たに開発しようとするものである。研究は2つの要素からなり、1つには、静圧実験装置を用いた実験から振動発生状態を調べ、各種因子の影響を振動の振幅及び周波数によって評価する。もう1つには、軸受内油圧回路をモデル化した流路を製作し、その内部流れの可視化観察から、振動発生要因となる流れ特性の発現を調べる。そして、両結果を総合して、油圧振動の低減機構の開発に着手する。

3 - 3 実験装置及び実験方法

3 - 3 - 1 モデル流路及び循環ループ

モデル流路は、静圧実験装置の油圧回路を調べ、自励振動流、あるいは、はく離せん断流が形成される可能性のある部分を抽出し、設計した。流路の材質は、可視光による流れの観察を可能とするため無色透明アクリル樹脂とし、切削により機械加工した後、加工面を研磨処理した。

上述のモデル流路に作動油を流し込むために製作した循環ループの概略図を図3 - 1 に示す。最上部にオーバーヘッドタンクを設け、モデル流路に静水圧を印加する構造とする。ヘッドは当面のところ 0.7 m としているが、最大で 1.5 m まで増加させることが

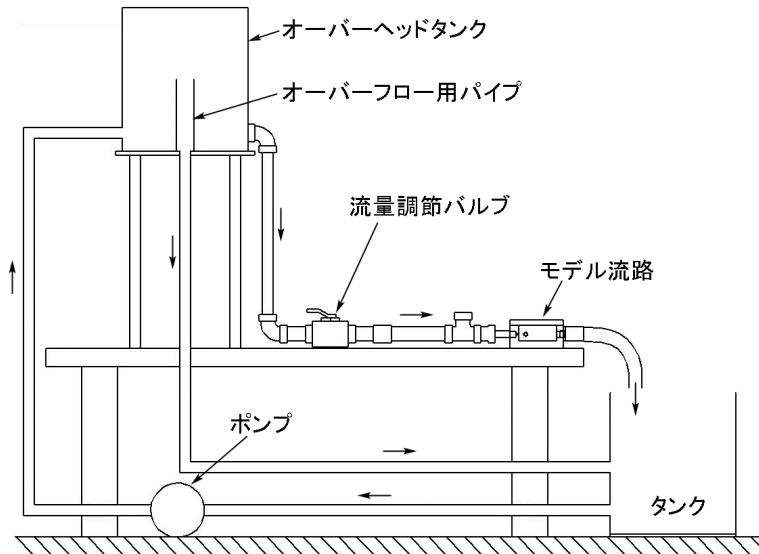


図3 - 1 モデル流路用循環ループの概略図

できる。このタンクに貯められている油は、流量調節バルブを通りモデル流路へと流れ、モデル流路から出た油はタンクに貯められ、ポンプによりオーバーヘッドタンクへと循環させられる。

3 - 3 - 2 画像撮影装置及び照明装置

モデル流路内を流れる作動油の状態を観察するために、流れの可視化を行う。流れの可視化法としては、照明に可視光を用い、照明光を反射・散乱させるためのトレーサ粒子を作動油中に混入させる。トレーサ粒子については次節で述べる。

図3 - 2 に、光学系装置の概略を示す。画像撮影装置には、本委託業務の経費で購入の Photron 社製ハイスピードビデオカメラ FASTCAM SA3 を用いた。レンズには、同じく購入品である CCTV レンズ (タムロン製 23FM50SP) を用いた。

照明装置には、現有のレーザを光源とし、これに購入品である光ファイバー式シート光学系を取り付けて用いた。レーザ光源としては、米国 DZ LASER SERVICE 社製空冷式アルゴンイオンレーザ 5500A (0.5 W) 及び米国 SPECTRA-PHISICS 社製水冷式アルゴンイオン

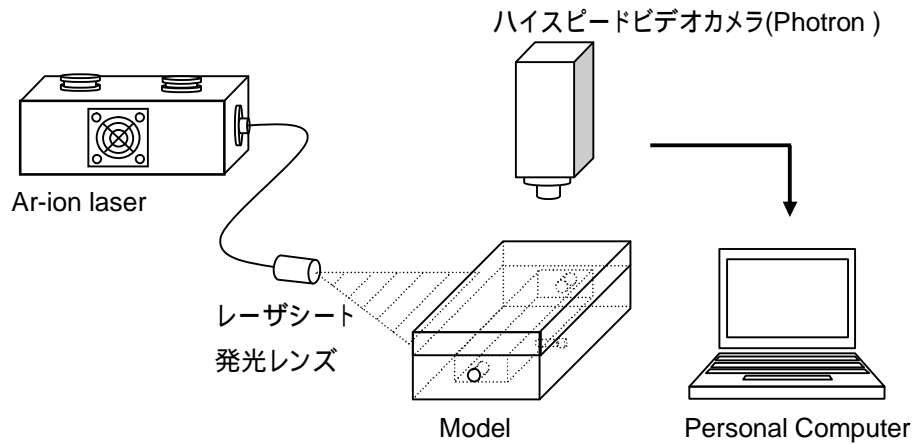


図 3 - 2 光学系装置

レーザ 2017-04S (2 W) の 2 台を用意し、撮影条件によって選択し使用した。実際のところ、ハイスピード撮影を実現するためには、強力な光源が、反射率の高いトレーサ粒子か、あるいは、高感度なカメラが必要となるため、撮影条件に応じた選択が必要となる。

3 - 3 - 3 トレーサ粒子

トレーサ粒子として、パールホワイト (雲母チタン)、アルミナホワイト、リトポン、チタニウムホワイトを用意した。SEM 画像から粒径をもとめた。ここでは、粒径が 10 μm 程度であるパールホワイトおよびアルミナホワイトを用いた。

表 3 - 1 トレーサ粒子の種類と粒径

種類	名称	粒径 [μm]
顔料	パールホワイト	10 ~ 70
	アルミナホワイト	1 ~ 7
	リトポン	0.5 ~ 3.0
	チタニウムホワイト	0.15 ~ 0.25
蛍光粒子	Fluoro-Max™	8

3 - 3 - 4 振動実験の方法

振動測定には、メステック社製の静電容量変位計 M-2216、変位計センサプローブ TRA316-20-V を用いた。それぞれの仕様を表 3 - 2 と表 3 - 3 に示す。

変位計からの出力電圧は AD 変換器を通してパーソナルコンピュータへ取り込まれ処理される。パーソナルコンピュータのソフトウェアには LabVIEW を用いた。測定されたデータの解析はパソコンで行い、変位の時間変化、およびパワースペクトルの計算を行った。

3 - 3 - 5 可視化実験の方法

本実験では、作動油として VG2 を用いた。VG2 は密度 833 kg/m^3 、動粘度 $2.20 \text{ mm}^2/\text{s}$ 、粘度 $18.3 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ である。流量は容積法によって測定しており、モデル流路から出てきた油を 50 mL のメスシリンダーにため、満タンになるまでの時間をストップウォッチで測定した。これより、実験流路の流量は、

$$Q = 0.111 \text{ L/min} = 6.64 \text{ L/hr}$$

であった。

表 3 - 2 静電容量変位計の仕様

メステック M-2216	
チャンネル数	1
出力電圧	$\pm 5 \text{ V}$
最小分解能	$0.001 \% \text{FS}$
応答周波数	1 kHz

表 3 - 3 変位センサプローブの仕様

メステック TRA316-20 - V	
FS 測定レンジ	$\text{FS}20 (\pm 10 \mu\text{m})$
出力感度	$5 \mu\text{m}/\text{V}$
基準距離	$20 \mu\text{m}$

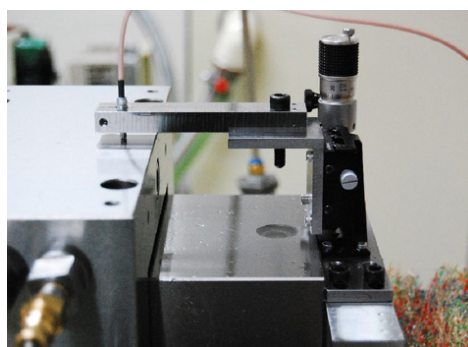


図 3 - 3 変位センサプローブの取付状態

3 - 3 - 6 粒子画像流速計

粒子画像流速計 (PIV、Particle Imaging Velocimetry) は、画像面内の多点同時測定が可能であり、流れ場の空間的構造を把握できるなどの特徴を持っている。

PIV は流体中にトレーサ粒子を混入させ、その運動を撮影し、時間が異なる 2 枚の画像 (時間間隔 Δt) の粒子位置から粒子の移動距離 Δs を求め、それから流速、厳密に言えば、粒子速度 $V_p = \Delta s / \Delta t$ を算出するものである。また、その解析方法は多種多様であり、大きく濃度パターン法、粒子パターン法、粒子追跡法などがある。

本実験では、新たに購入した PIV ソフト (DIPP-FLOW) を用いた。解析方法は濃度パターン相関法である。

3 - 4 実験結果

3 - 4 - 1 振動データの統計処理結果

共通条件のもと、静圧すきま、絞り弁、圧力を変えた 3 パターンの条件で振動の測定を行った。それぞれにおいて測定物の振動幅とその振動のパワースペクトルを測定することが出来た。

また、各条件においてリセス圧力 を測定し、左右・上下それぞれのリセスに流入する潤滑油の流量 も見積もった。

3 - 4 - 2 モデル流路 1 の可視化画像

モデル流路 1 について、白色顔料のパールホワイトとアルミナホワイト、そして、蛍光粒子を用いてトレーサ粒子の画像撮影試験を行った。図 3 - 4 から図 3 - 6 までに、流路高さ方向 $z = 0$ (絞り出口の中心高さ) において、フレームレート 500 fps と 2,000 fps で撮影した画像を示す。

図 3 - 4 から分かるように、パールホワイトの反射・散乱率は高く、何れのフレームレートの画像でも粒子は鮮明に観察できる。一方、パールホワイトは鱗片状をしており、3次元の流れ場では粒子が回転し、画像に写ったり消えたりを繰り返す。このため、流れの可視化観察には有効であると思われるが、この粒子の挙動は PIV 解析を行う場合には不適切である。

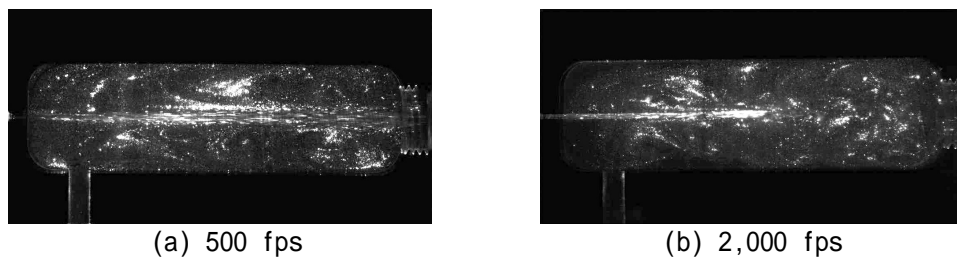


図3 - 4 パールホワイトの画像撮影試験

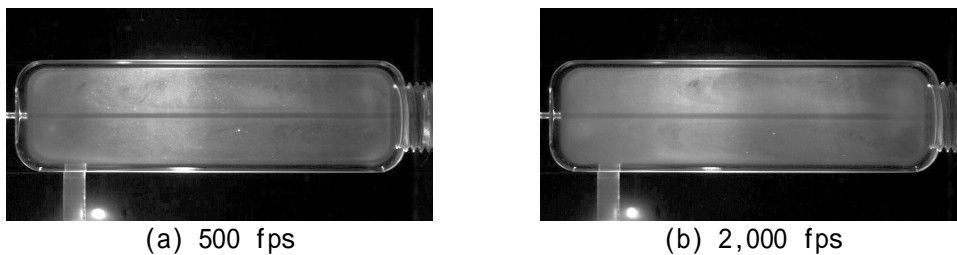


図3 - 5 アルミナホワイトの画像撮影試験

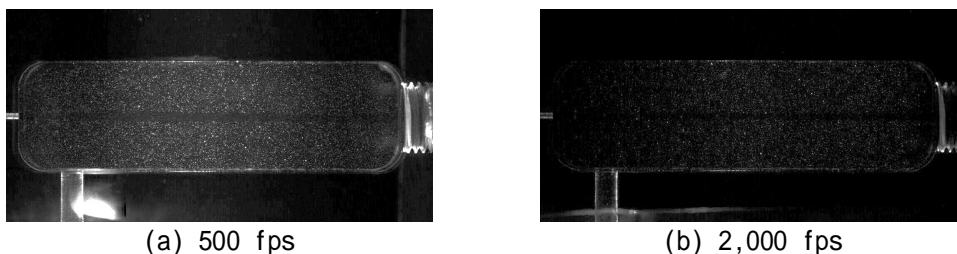


図3 - 6 蛍光粒子の画像撮影試験

アルミナホワイトの撮影画像を図3 - 5に示す。この場合も、フレームレートによる差はほとんど認められず、全体に白濁した画像となっている。アルミナホワイトは、染料のように作動油を一様に着色し、流れを観察するために使用できることが分かった。

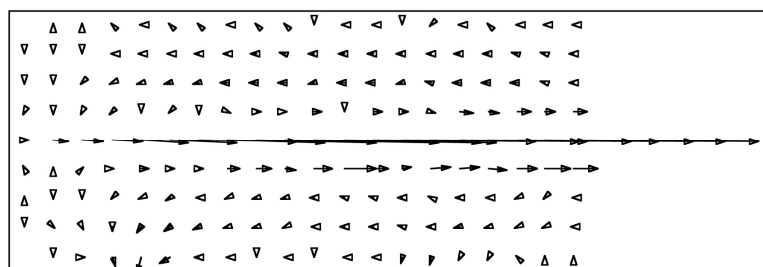
図3 - 6は蛍光粒子を用いて撮影された画像である。蛍光粒子の発光強度は高く、粒子を個別かつ明瞭に撮影することができる。ただし、本研究で使用している照明装置（2 W 水冷アルゴンイオンレーザ）では、2,000 fps における撮影時に、若干の光量不足となる。高強度の光源を別途に用意するか、粒径を再検討し、現在の 8 μm からサイズアップするか、引き続き検討する必要がある。

以上より、トレーサ粒子、その混入の仕方、レーザ光源、ハイスピードビデオカメラのフレームレートといった条件を種々組合せて変化させ、画像撮影を行った結果、およそ実験方法を確立することができた。

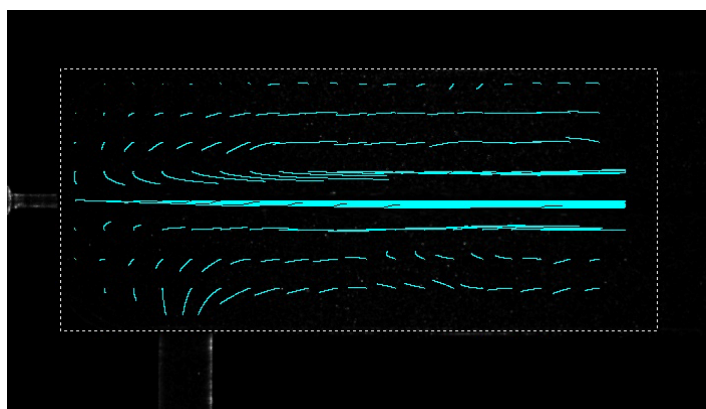
3 - 4 - 3 モデル流路 1 の速度ベクトルマップ

最後に、 $z = 0$ においてハイスピードビデオカメラを用いて連続撮影した可視化画像から、PIV（粒子画像流速計）を用いて平均速度ベクトルを測定した結果を示す。トレーサ粒子は蛍光粒子であり、フレームレートは 2,000 fps である。図 3 - 7 (a) は平均速度ベクトルマップを示しており、図 3 - 7 (b) は平均速度ベクトルを積分して得られた流線を示す。PIV 測定の解析ウィンドサイズは 2.25 mm 正方である。

まず、流路中央には、左から右方向へと流れる噴流の速度が現れている。しかし、絞り出口近傍の速度が実際よりも低く解析されている。これは、レーザ光源のシート光厚さの問題であり、シート光の厚さが十分に薄くなく、噴流中の高速な粒子と一緒に、噴流周囲の低速な粒子が写り込んでしまうためである。また、流路中心から右半分では、噴流両側にも右方向に向かう流れが形成されている。これは、噴流の連行と呼ばれ、速度差の大きな流れ場における粘性的作用によるものである。そして、この噴流領域を取り囲むように対向流領域が存在しており、左方向に向かう速度が測定されている。なお、今回の解析では、衝突領域は対象外としている。



(a) 平均ベクトルマップ



(b) 流線図

図 3 - 7 PIV 測定の結果

3 - 5 研究成果のまとめ

本研究開発において得た成果を以下に要約する。

- (1) 静圧実験装置を用いた実験において、当初目標としていた従来の振動レベルの発生を確認することができた。
- (2) 変位量のパワースペクトルから、高周波数変動の存在が示され、油圧ポンプシステムの暗振動雑音の影響が懸念された。
- (3) 静圧実験装置の油圧回路から2つのモデル流路を設計し、そのうちの1つを用いて流れの可視化実験を行った。実験では、トレーサ粒子、レーザ光源、ハイスピードビデオカメラ撮影条件を変化させ、実験方法の指針を作成した。
- (4) ハイスピードビデオカメラを用いて連続撮影した可視化画像から、粒子画像流速計を用いて平均速度ベクトルを算出し、流動状態を調べた。

最終章 全体総括

1、加工機の開発について

加工機の開発と製作を行った。

所期の運動特性を持った機械を製作することが出来た。また、その機械で試作加工を行った。その結果、目標に設定した値よりも良い精度で加工を行うことが出来た。

加工機は安定した環境下（ 23 ± 1.0 度）では高精度を持っていることが確認できた。不安定環境下での精度との比較のための安定した環境下での基礎データを測定できた。

ただし精度が良い機械が出来たというのは、あくまで安定した温度環境という限定された状況下での精度が出たという状態である。本研究で目標としているのは、不安定な温度環境下でも高精度に加工できる機械である。ベースとした機械の精度をどの環境でも維持できるように超精密加工機械を作り上げることが今後の目標となってくる。

2、油圧振動の研究について

実施計画書に記載の委託事業期間中の目標は達成しているものの、最終的な目標に到達しているわけではない。そのため、今後の研究の必要事項を以下にまとめ、総括とする。

- (1) 静圧実験装置を用いた振動測定の結果、パワースペクトルには複数のピーク周波数が出現した。その発生原因の調査を本期間内に十分行うことが出来なかったため、継続して調査を進める必要がある。これより、油圧回路内に形成された流れ特性の推定や、油圧ポンプシステムからの暗振動雑音の影響量評価などが期待できる。
- (2) 流れの可視化観察用のモデル流路を、本期間内に 2 つ設計し製作したが、実験はそのうちの 1 つにとどまっており、低振動機構の開発に資するに十分なデータを得るに至っていない。また、前項の結果を考慮に入れ、新たにモデル流路を製作する必要がある可能性も大いにあり、継続して実験に取り組んでいかなければならない。
- (3) 実験技術の上からも、解決すべき問題を残している。本期間内には、流れ場の非定常安定性を可視化観察し、定常的な速度場測定をするための実験方法ほぼ確立できた。今後は、トレーサ粒子の種類と粒径、照明光の光量、ハイスピードビデオカメラのフレームレートの 3 者の組合せを適切に選択し、速度場の非定常安定性までを補足できる実験方法の確立を目指す。

3、今後の取り組み

今後は本年度に達成できなかった温度自律補正システムの開発、加工スピンドルの開発、振動の少ない油静圧回路の開発を行う。そして、その開発結果を搭載した低振動かつ温度自律補正機能を有した加工機械を作成することを目指す。