

令和6年度 TC論文

マシニングセンタ及びフライス盤を用いた機械加工による  
研究・教育支援

TCカレッジ 設計製作系TCコース

長峯靖之

東京科学大学 リサーチインフラマネジメント機構

コアファシリティセンター 設計製作部門

## 目次

### 第1章 緒論

#### 第1節 設計製作部門の研究・教育支援

#### 第2節 これまでの活動実績

#### 第3節 論文構成

### 第2章 フライス盤を使用した研究支援－E C Fマイクロモータ「セパレータ」の製作－

### 第3章 マシニングセンタを使用した研究支援－磁気浮上型小型遠心回転血液ポンプ

#### 「トップハウジング、インペラ」の作製－

### 第4章 フライス盤を使用した教育支援

#### 第1節 一般機械工作実習

#### 第2節 メカノマイクロ工学基礎実験－基礎加工技術－

### 第5章 総括

### 参考文献

### 謝辞

## 第1章 緒論

### 第1節 設計製作部門の研究・教育支援

東京科学大学リサーチインフラマネジメント機構コアファシリティセンター設計製作部門が組織された経緯は、旧東京工業大学すずかけ台キャンパスの付置研究所である精密工学研究所の附属工場と応用セラミックス研究所の附属工作室が、技術職員が技術部に集約された際に統合され精密工作技術センターとして発足し、その後オープンファシリティセンター（OFC）が創設された際には大岡山の設計工作部門と統合し OFC 設計製作部門として発足した。2024 年 10 月には旧東京医科歯科大学との統合により東京科学大学リサーチインフラマネジメント機構コアファシリティセンター設計製作部門へと改組された。

旧東工大の研究支援体制を図 1-1 に示す。また、東京科学大学リサーチインフラマネジメント機構の組織図を図 1-2 に示す。

研究支援組織の旧 OFC には設計製作部門の他、分析部門、教育支援部門、情報基盤支援部門、安全管理・放射線部門、マイクロプロセス部門、バイオ部門の 7 部門があり、約 90 名の技術職員が所属している。

設計製作部門には大岡山、すずかけ台合わせて 16 名の職員が所属している。設計製作部門の業務内容として、学内の研究室から製作依頼を受け機械加工を行う他、学生・職員が自ら部門内の機械を使用するセルフ利用に対するサポートを行っている。更に、学生が自由にものづくりを行う事ができる、ものづくり教育研究支援センターの支援としてすずかけ台の工作機械講習の支援も行っている。また、大岡山では学士課程の加工実習系及び製図実習

系授業の支援も行っている。部門が所有管理している機械の保守についてもできる限り部門職員で行っている。現在は学外の教育研究機関からの機械加工依頼、セルフ利用にも対応している。年間の加工依頼件数は大岡山、すずかけ台合わせて約600件、セルフ利用研究室は約60研究室、延べ1000名程度になる。

部門が所有している工作機械には、5軸立形マシニングセンタ、3軸立形マシニングセンタ、NCフライス盤、5軸複合加工機、NC旋盤、汎用旋盤、ワイヤ放電加工機、細穴放電加工機、平面研削盤、TIG溶接機、アーク溶接機、3Dプリンタ、3次元測定器、デジタルマイクロスコープ等がある。

部門職員は保有している工作機械を全て使えるような体制で臨んでいる。しかしNC工作機械については使用する使用するCAMの違いより使用可能な機械が変わる事もありその限りではない。また溶接作業には資格が必要なものもあり、職員全員が資格を保有しているわけではない。

また、大岡山では授業支援、セルフ利用サポートの業務が多く、すずかけ台では加工依頼業務が多い等の業務内容や設置機械に多少の違いがあるため、職員がそれぞれのキャンパスでの業務に習熟してもらう事を目的として勤務地を変えることも行っている。

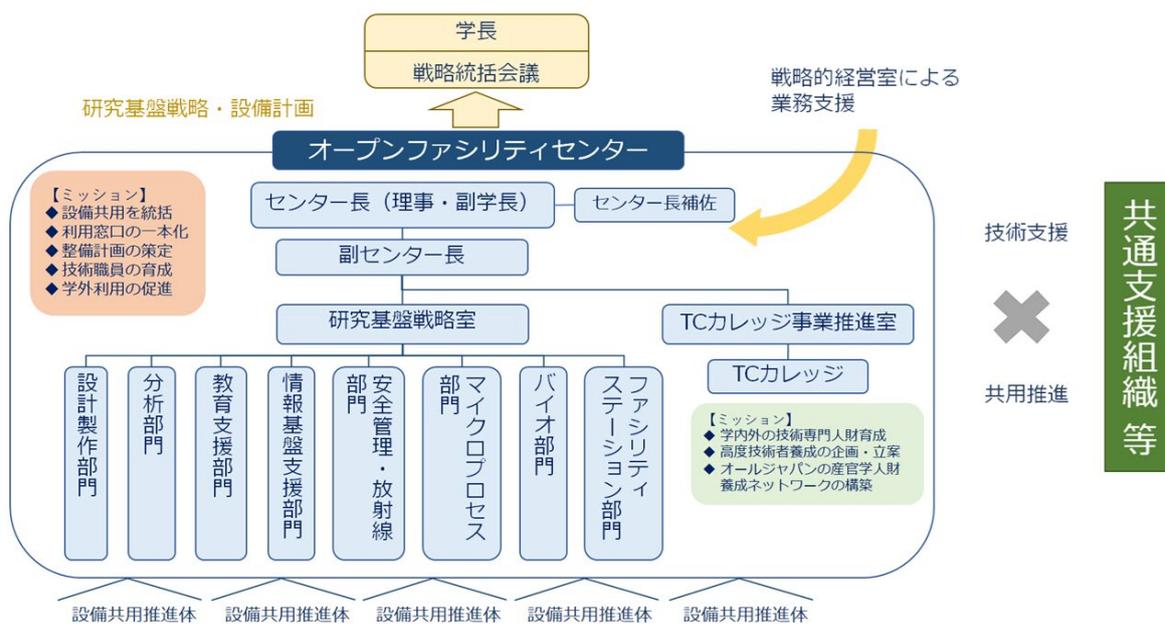


図 1-1 旧東工大の研究支援体制

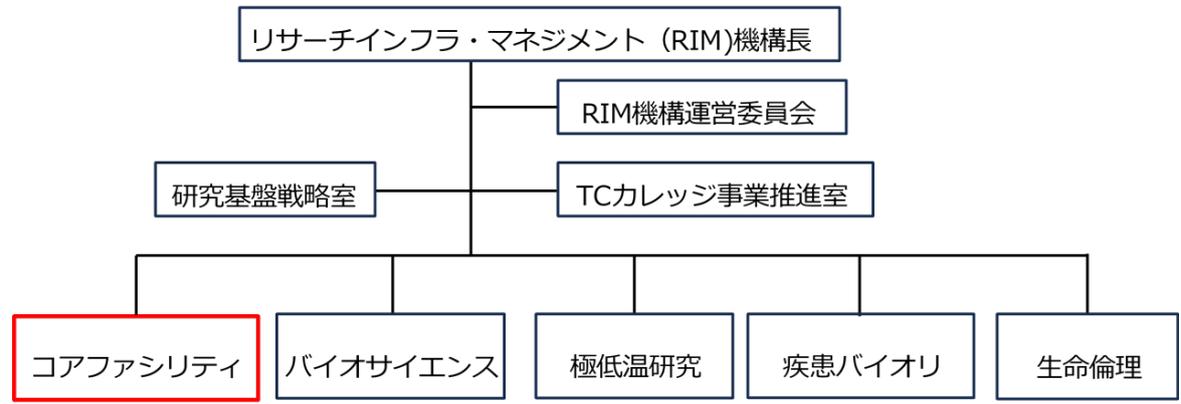


図 1-2 東京科学大学リサーチインフラマネジメント機構組織図

## 第2節 これまでの活動実績

筆者は1993年4月に精密工学研究所（精研）機械工場に文部技官として採用された。当時の機械工場には工場主任として助手が1名、技官が3名の計4名の職員が所属していた。当時は汎用工作機械しか所有しておらず、それらの機械を用いて研究支援業務として加工業務を行っていた。また、当時は学生が自ら機械を使用する事も多く、それらの指導業務も併せて行っていた。その後、大学院修士課程では珍しいと思われる機械加工に関する実習授業を行う事となり、授業支援業務も加わった。更には大岡山で行っている実習授業の支援も行うようになった

その間、工作系技術職員の人事交流として2001年6月から約2年間、応用セラミックス研究所（応セラ研）技術室に配置替えとなった。応セラ研では機械加工の他に精研では行っていなかった溶接加工も行っており、筆者は資格を持っていなかったため資格が必要な溶接作業は行わなかったが、銀ろう、はんだ付け等の溶接加工業務を行うようになった。また、応セラ研の技術室では設計支援も行っていたため、それらの支援業務も行うようになった。

2003年4月に精研機械工場に再度配置換えになった後、2004年4月に精研内で技術職員を技術室に集約され、2007年4月には技術職員の全学集約によって技術部精密工作技術センターが発足された。2011年4月からは技術部精密工作技術センター長として管理・運営を担う事となり、その後組織改組がある中、現在まで部門長を務めてきた。その間、技能検定試験を受験し2級機械技能士と2級放電加工技能士の資格を得、2019年度には「技術部設計部門における長年の管理運営業務への多大な貢献」が評価され、東工大特別賞を受賞

した。これまでの筆者の経歴と業績を以下にまとめる。

## 経歴

1993年4月 精密工学研究所 機械工場

2001年6月 応用セラミックス研究所 セラミックス機能部門（工作室）

2003年4月 精密工学研究所 機械工場

2004年4月 精密工学研究所 技術室 【技術職員部局集約】

2007年4月 技術部精密工作技術センター 【技術職員全学集約（技術部発足）】

2011年4月 技術部精密工作技術センター長

2016年4月 技術部すずかけ台設計工作部門長 【組織改組】

2020年4月 オープンファシリティセンター（OFC）設計製作部門長【技術部組織改組  
（OFC発足）】

2024年10月 東京科学大学リサーチインフラマネジメント機構コアファシリティセンター  
設計製作部門長 【大学統合】

現在に至る

## 業績

### 共著論文：

- ・近藤 豊, 富田隆広, 横田眞一, 長峯靖之, 長島弘修. 回転可動電極形 E R アクチュエータ：R-METERA (試作および静特性実験) 日本機械学会 1999 年度年次大会講演会講演論文集. Vol. 5. pp. 225. 1999.
- ・吉田和弘, 高津洋一, 横田眞一, 長峯靖之. 流体パワーを用いた管内走行マイクロマシン (3 自由度走行メカニズム) 日本機械学会 1999 年度年次大会講演会講演論文集. Vol. 5. pp. 223. 1999.
- ・秦 誠一, 後藤 潤, 長峯靖之, 佐藤海二, 下河辺明. 薄膜金属ガラスを用いた微細構造物の製作－過冷却液体域を利用した微細成形法－. 1999 年度精密工学会秋季講演会論文集. pp. 118. 1999.
- ・秦 誠一, 劉 永東, 長峯靖之, 下河辺明. 金属ガラスの精密・微細加工に関する基礎的研究 (Zr 基バルク金属ガラスの引張変形挙動) 日本機械学会論文集 (C編) . Vol. 67. No. 660. pp. 313. 2001.
- ・吉田和弘, 曾我 力, 横田眞一, 河内 仁, 枝村一弥, 長峯靖之. MR シリンダ駆動マニピュレータ 日本機械学会 2004 年度年次大会講演会講演論文集、Vol.4, pp253/254. 2004
- ・Wataru Hijikata, Hideo Sobajima, Tadahiko Shinshi, Yasuyuki Nagamine, Suguru Wada, Setsuo Takatani, Akira Shimokohbe. Disposable MagLev Centrifugal Blood Pump Utilizing a Cone-Shaped Impeller, Artif Organs, Artif Organs, Vol. 34, No. 8, pp. 669-676, Aug. 2010.

研究会等発表：平成 20 年度機器・分析研究会 他

各種委員等：技術部すずかけ台地区安全衛生委員会委員長

技術部委員会委員

受動喫煙防止対策ワーキンググループ委員 他

表彰・受賞：東工大特別賞（2019）

保有資格等：2 級機械技能士（機械加工普通旋盤作業）

2 級放電加工技能士（放電加工ワイヤ放電加工作業） 他

### 第3節 論文構成

本論文では、第1章において設計製作部門の概要と筆者のこれまでの活動実績をまとめ、第2章ではフライス盤を使用した依頼加工による研究支援の実例を紹介し、第3章では研究支援としてマシニングセンタを使用した加工を取り上げ、第4章では教育支援として、フライス盤を使用した実習を2例紹介している。最後に第5章ではこれまでの経験を基に設計製作部門で必要とされる技術職員像を述べている。

## 第2章 フライス盤を使用した研究支援－ECFマイクロモータ「セパレータ」の製作－

線状電極間に直流高電圧を印加すると電極間にジェットを生じる機能性流体を電界共役流体（Electro-conjugate Fluid：ECF）と呼び、ECFモータとはそのECFジェットを利用したモータである。ECFモータの全体図を図2-1に示す。

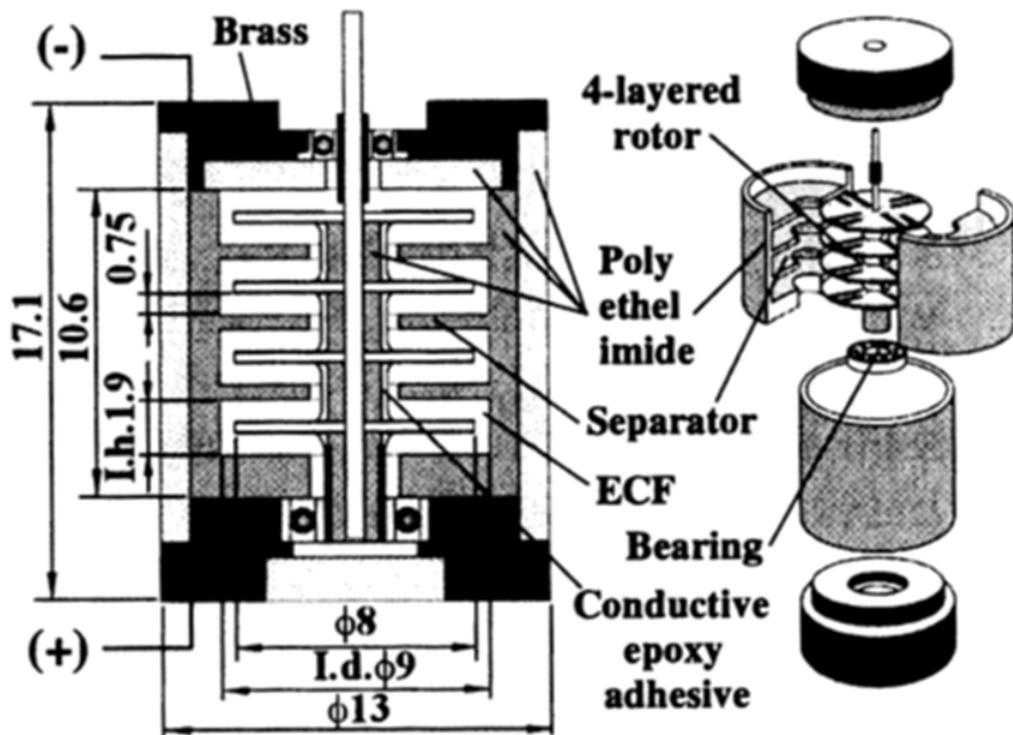


図 2-1 ECF モータ

ECFモータの一部品であるセパレータについてフライス盤を使用し切削加工を行った。

使用した機械は牧野フライス製作所製の操作型フライス盤KE55（写真2-1）である。

機械仕様を以下に記す。

主軸回転速度：40 ～ 4000 min<sup>-1</sup>

早送り速度：4000 mm/min (X・Y軸) 2000 mm/min  
(Z軸)

各軸可動範囲：X軸 550 mm, Y軸 320 mm, Z軸  
350 mm

テーブル作業面の大きさ：800 × 375 mm



写真 2-1

この機械の特徴としてNC (Numerical Control : 数値制御) 機械としての機能を持ちながら、汎用機と同じように扱えることが挙げられる。また、NCプログラムを組まずに円弧形状や角度のついた斜め形状の加工を一つのハンドル操作だけで行う事も可能な機能を有している。更に、移動範囲制限機能も有し各軸の移動量を間違えることなく加工を行う事が可能である。

今回加工したセパレータを写真 2-2、2-3、2-4 に示す。

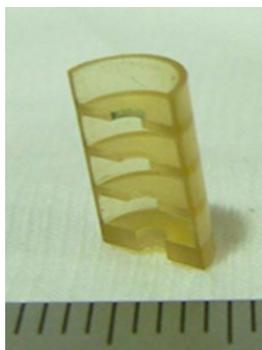


写真 2-2

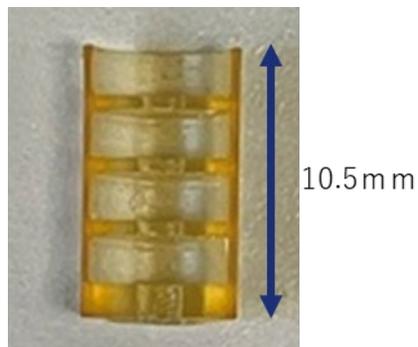


写真 2-3

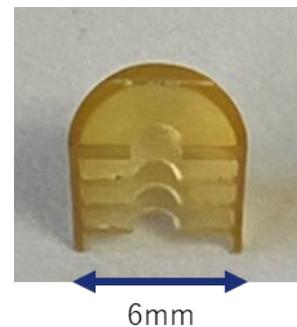


写真 2-4

セパレータの材質はポリエーテルイミド樹脂で形状は直径 6 mmの半円柱状で、高さ 10.5mm、ロータが収まる部屋（内径 5 mm×高さ 2 mm）が 4 箇所、壁の厚さが 0.5mmである。加工に用いた工具はスクエアエンドミル、キーシードカッター（写真 2-5）である。全てフライス盤で加工し、加工手順としては、直径が 6 mmよりも太い丸棒をバイスに固定し、①エンドミルで半円柱状に加工、②キーシードカッターでロータの部屋部分を加工、③外径を 6 mm に仕上げる、順で加工した。



写真 2-5

問題点は肉厚が 0.5mm と薄い事が挙げられる。そのため加工途中で何度も失敗しており、その都度工作物の固定方法や加工手順を見直し、一から加工を始めることを繰り返し行った。最終的に上記の加工手順に落ち着いたが、それでも失敗する事もあった。

設計製作部門の依頼加工は多品種少量生産で一品ものの加工が大半であるため、依頼の都度、加工工程・方法等を考える必要がある。加工が難しい場合は失敗を繰り返すものもあり、その度に失敗した原因を見極め、加工法を変える必要がある。その際には同じ過ちは繰り返さない工夫をし、視点を変えることも重要であり、失敗したことによって加工について覚えていく事になる。自ら考えてトライすることで加工技術の向上につながる。

### 第3章 マシニングセンタを使用した研究支援—磁気浮上型小型遠心回転血液ポンプ

#### 「トップハウジング、インペラ」の作製—

磁気浮上型小型遠心回転血液ポンプ（写真 3-1）は回転するインペラが磁力を利用し浮上し回転する構造のポンプで、回転部が浮上しているため接触部分が無いことが特徴である。本論文ではトップハウジング（写真 3-2）とインペラ（写真 3-3）の加工を採り上げる。ポンプの全体像を図 3-1 に示す。また、トップハウジングの図面を図 3-2、インペラの図面を図 3-3 に示す。

製作に使用した機械は牧野フライス製作所製立形マシニングセンタ V22（写真 3-4）

である。マシニングセンタとは自動工具交換

装置（A T C）付きの N C フライス盤の事であり、V22 は移動軸が X、Y、Z と 3 軸あるので 3 軸マシニングセンタともいわれる。また立形とは主軸が垂直方向にあるもので、水平方向にあるものは横形と言われる。機械の仕様を以下に記す。

主軸回転速度：400 ～ 40000 min<sup>-1</sup>

早送り速度：20000 mm/min

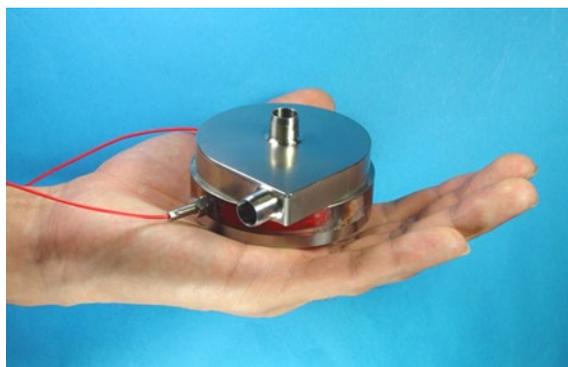


写真 3-1



写真 3-2

切削送り速度：10000mm/min

各軸可動範囲：X軸 320 mm, Y軸 280

mm, Z軸 300 mm

テーブル作業面の大きさ：450 × 350 mm

工具収納本数：15 本



写真 3-3

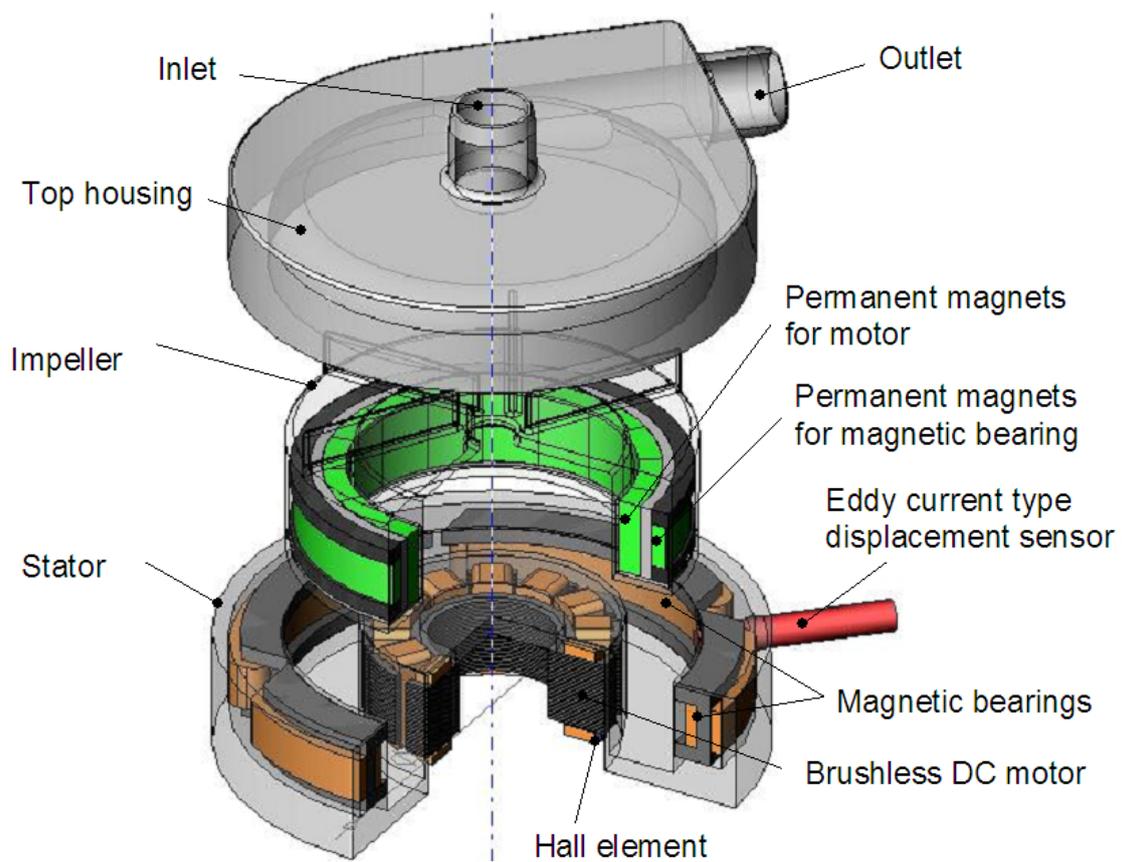


図 3-1

本論文で紹介する血液ポンプは血液に接触する部分はチタン製であり、体内に埋めこむことを想定している。トップハウジングはチタン材の削り出しでφ6mmボールエンドミル（写真3-5）を使用し加工した。ボールエンドミルは工具刃先が半球状になっている。



写真 3-4

インペラは上部と下部に分かれており、上部の羽部分はチタン削り出しでできており、下部は磁石を埋め込むためアクリル樹脂でできており、周りをチタン製のカバーで覆っている。血液が接触する面は面粗さを小さくする必要がある。全体的に角部は全て曲面にしなければならぬためボールエンドミルを使用して切削することになるのだがボールエンドミルで平面を作製する場合、スキヤロップ高さを考慮する必要がある。スキヤロップとはボールエンドミルで切削する場合削り残しが発生してしまい、その削り残し部分を指す。

そのスキヤロップ高さを小さくするためには、切削幅（ピッチ）を細かくするか工具径を大きくする必要がある。製作するインペラの最小Rは0.5mmであるため直径1mmのボールエンドミルを使う必要があり、直径1mmのボールエンドミルでの平面加工は時間が掛かり過ぎるため、平面の加工には径の違うボールエンドミルを使う事とし、インペラの加工

にはφ1、φ2、φ3のボールエンドミルを使用する事とした。

マシニングセンタでの加工工程は①CAD (Computer Aided Design) を使用しての3Dモデリングをする。中には依頼図面そのままモデリングするのではなく、加工しやすいようにアレンジする場合もある。②CAM (Computer Aided Manufacturing) においてCADデータを読み込み使用工具、加工条件等を設定し、NCプログラム作成を作製する。本加工では荒加工、中仕上げ加工、仕



上げ加工の3段階で加工する事とし、荒・中仕上げと仕上げ

写真 3-5

加工時で工具を変更し、使用エンドミルごとに加工範囲を指定

する。③ワークを機械テーブル上に固定し、ワーク位置の座標及び工具長等を機械の制御装置上で設定する。④作成したNCプログラム(Gコード)を機械本体の制御装置に読み込ませ加工する。

加工時間は工作物の大きさ等で変わってくるが、CAMでのプログラム作成が重要であり時間が掛かる。NC機械を使用する場合でも汎用機械で必要とされる基本的な加工技術も重要である。は加工技術が必要とされる。

本加工では研究室と何回も加工物のやり取りをしながら製作していく必要があり、その過程で重要なポイントが何かを考え、時には学生にその点を伝える必要も出てくる。何ができて何ができないのかを考えて、依頼者にはっきりと伝えることが必要になる。そのために

も依頼者としっかりしたコミュニケーションをとる必要がある。また、何ができないのかを  
 考える際には、どのようにしたらできるように変わるのかを考えて、トライしていく事も重  
 要であるとする。

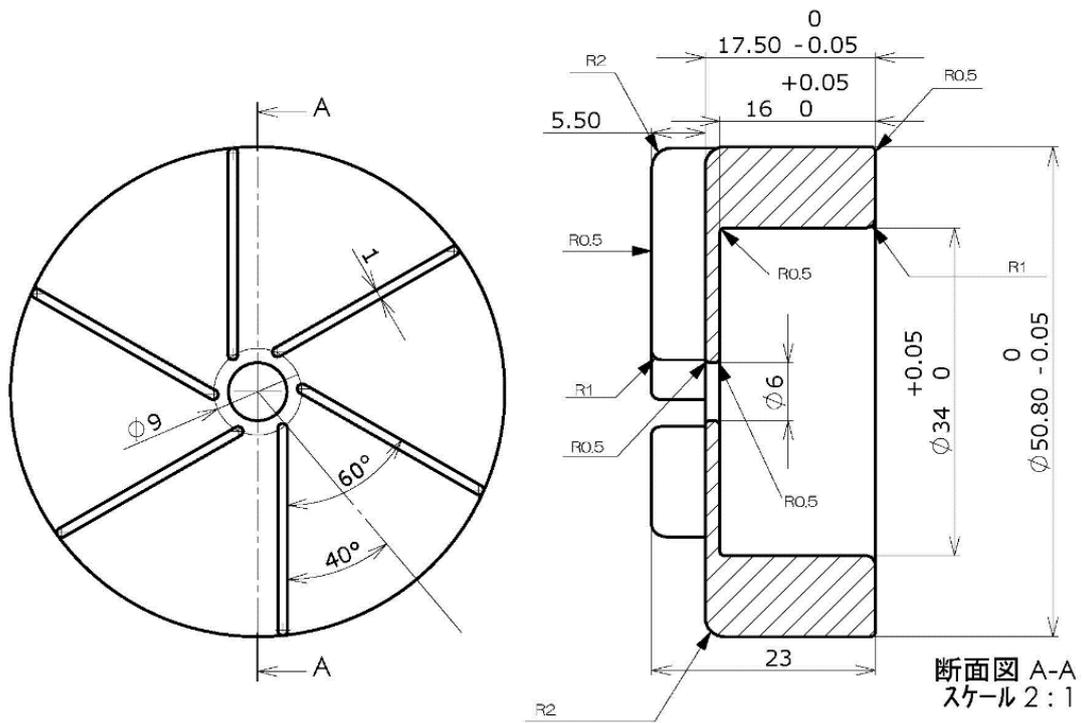


図 3-2

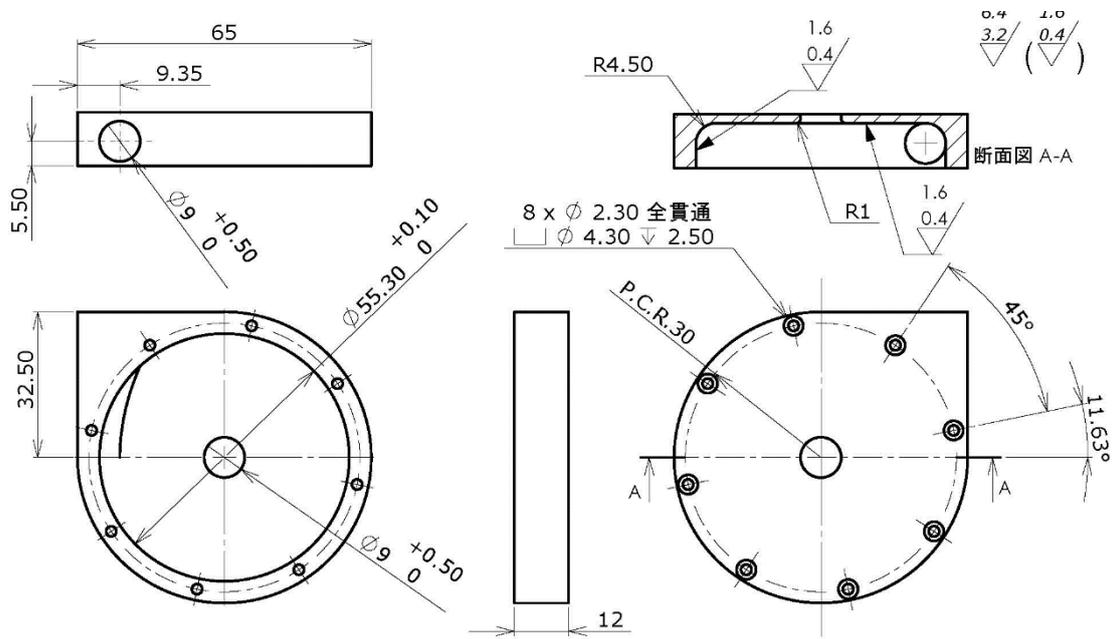


图 3-3

## 第4章 フライス盤を使用した教育支援

### 第1節 一般機械工作実習

筆者は大岡山において行われていた学士課程の工作機械実習を1999年度から2003年度まで5年間担当していた。科目名は一般機械工作実習で学士課程の2年次に設定された授業で、経営システム工学科、地球惑星科学科、金属工学科等の機械系以外の学科に所属する学生を対象とした選択科目であった。授業は半年間、週一回半日行われ、実習内容は汎用旋盤、汎用フライス盤、溶接等があり、筆者は汎用フライス盤の実習を担当した。

汎用フライス盤の実習内容は2～3名が1組となり一台のフライス盤を使用する。一回の実習で2、3組の学生がフライス盤実習をおこなった。加工材料はS50Cであり、2個の70×45×30mmのブロックから、凹型、凸型それぞれ1個作製するものであった。凹型の形状は幅が15mm、深さが15mmの溝をエンドミルで削り、凸型は中央部が幅15mm、高さ15mm残るように、エンドミルで側面削りを行う。凹部と凸部が噛み合うように作る必要がある。簡略図を図4-1に記す。

実習自体は、機械系以外の学科から参加しているため、ほとんどの学生が初めて工作機械を目の当たりにする学生も多く、更に選択科目であったからか積極的に作業を行う学生が多い印象であった。

本論文で取り上げた実習においては数名で一台の機械を使用して作業を行ったが、数名で機械を取り扱う場合の注意点として、実際に機械操作を行うのは一名に限ることが挙げられる。工作機械での作業には危険が多く、怪我をすることも考えられる。怪我防止のため

にも、どのような行為が怪我につながるのかを、はっきりと学生に伝える必要がある。本実習では当てはまらないかもしれないが、一番危ないと思われるのはある程度機械操作に慣れてきた時である。慣れたときに気を緩めて怪我につながる事がある。工作機械の指導を行う時には怪我をしないためにはどのようにするのかを指導することが一番重要な点になる。

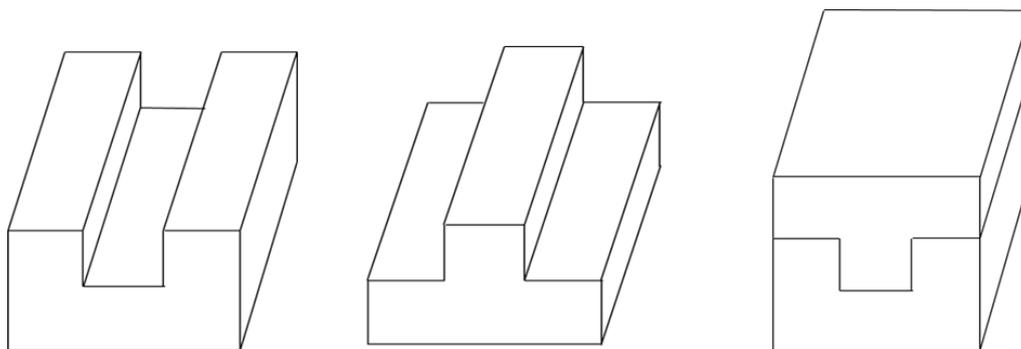


図 4-1

## 第2節 メカノマイクロ工学基礎実験—基礎加工技術—

精研の機械工場において、修士課程の機械実習が行われていた。メカノマイクロ工学専攻の科目にメカノマイクロ工学基礎実験があり、専攻所属の研究室において行われる基礎的な実験がテーマになっており、その中に基礎加工技術と



題して機械工作実習が組み込まれていた。

写真 4-1 実習風景

授業はメカノマイクロ工学専攻の1年次

に組まれており、半年間週一回一日かけて行う。テーマは全体で10テーマ程度あった。

実習内容は基礎加工技術を習得する事を目的とし、汎用旋盤、汎用フライス盤、ボール盤を使い、1個の課題を製作する。学生一人につき職員が一名担当し指導を行っていた。工作物の材質はS45Cである。製作課題の図面を図4-2に示す。



写真 4-2

課題の作成手順は①旋盤で $\phi 55\text{mm}$ の丸棒を $\phi 50\text{mm} \times$ 長さ $40\text{mm}$ に仕上げる。②フライス盤でフェイスミル(写真4-2)を使用し2面を切削する。③穴あけ位置へのケガキ作業とポンチ打ちを行う。④ボール盤でM6とM3の下穴加

工を行う。⑤タップで M6、M3 のねじ加工を行う。本論文ではフライス盤加工を採り上げる。

フライス盤での加工はフェイスミルを使用し、相対する 2 平面を削り、厚さを図面通りの精度にする事が必要になる。先ずは一面を削り仕上げて反対面を切削仕上げる事になる。寸法測定にはノギスに加えて精度を気にする必要もありマイクロメーターも使用した。

難点はフライス盤で削る 2 面の平行を出すことである。そのためには初めの旋盤作業での加工が重要になってくる。フライス盤加工でバイスに固定する際に挟む面が平行に出来上がっていないと、フライス盤で平面を削る際に平行を出すのが困難になる。よって旋盤で丸棒の端面を仕上げる際には、平行を出しておく必要があるのだが、その平行出しのためには丸棒の円周面に対する平行が出ていないと端面の平行出しも困難になる。本加工の例で示すと、 $\phi 50\text{mm}$  の平行形状精度を出す必要がある。最終的に精度の良いものを仕上げようとするときには、加工の初めから精度よく加工していかなければならず、最後だけで取り繕うのは困難である。どのように加工していけば精度よくできるかを考えて加工工程を組む必要がある。

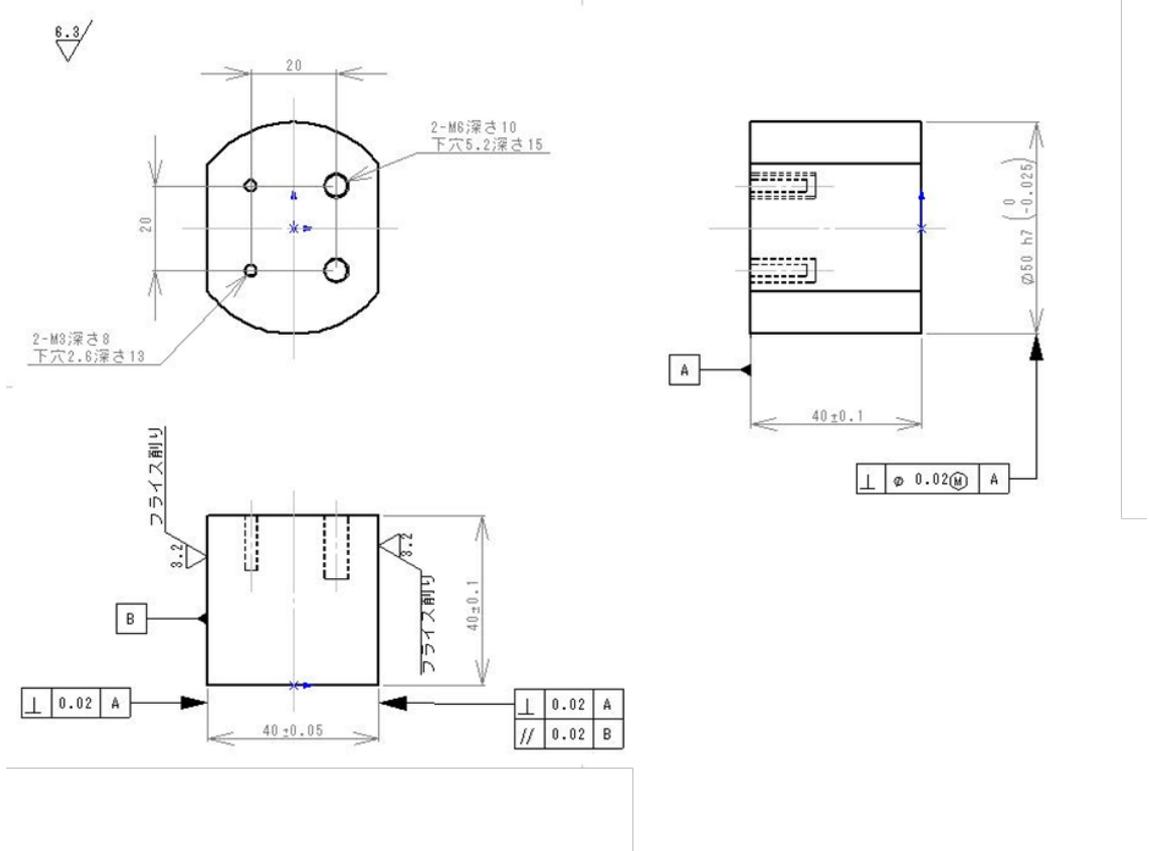


図 4-2

## 第5章 総括

本論文で取り上げた機械加工においては、加工方法、加工手順、ワークの固定方法から使用する工具の選択等、加工を始める前に考えなければならないことが多岐にわたる。その考える事がものをつくる上でかなりのウエイトを占めている。考えた通りに作業が進むのが理想だが、上手くいかないこともある。本学における依頼加工業務は初めて加工する事になる加工品が数多いため、どのように加工すれば、よいものが作れるかをその都度考えるのだが、加工が難しいものはそれなりの経験も必要とする。初めのうちは失敗する事も多くなり、どの点が失敗につながったかを見極めて加工をし直すことになるが、そのような経験が積み重なる事によって、初めての加工物に対しても対処できるようになる。

本論文で取り上げたマシニングセンタの加工技術においても、汎用工作機械で必要とされる基礎的な加工技術の上に成り立っており、その上でCAD/CAM等のNC工作機械で必要とされる技術を習熟する事が重要になってくる。

経験になる事として、技能検定の受験も挙げられる。検定試験の実技には時間制限があり、そのため限界に近い条件で加工しなければならず、合格するにはそれなりの練習も必要になるため経験をj得る点で非常に有効である。

また、経験のみならず加工に関する理論を理解することも重要であり、理論に基づく加工については、学外の団体が開催している講習会に参加する事も大切である。要は自分の引き出しを増やす努力を続けていく事が重要であるjと考える。

当部門では研究者からの依頼を受けることが業務であるため、どんな依頼が来るのかは、

依頼を受けてからでないと分からないが、その研究の目的を理解することがより良い加工に繋がり、加工に関する相談を受ける際にも役立っていく。

設計製作に関係する技術職員の在り方としては、以下に記されている本TCカレッジ設計製作系コースの目指すべきTC像にもあるように、機械加工や溶接加工さらには、材料、設計の知識も有する事で、様々な依頼に応えることができるようになると思う。また、技術の伝承をしていく事も重要であり、そのためにも有用技術の言語化が大切であると思う。

## 目指すべきTC像

機械加工や接合加工及び設計について高度な専門技術を備えるとともに、金属・樹脂材料等の特性に関する広い知識を有することで、装置製作や部品提供を通じた多様な研究開発にコミットする。最新の工作機械やそれらを用いた設計工作技術の習得のみならず、特殊材料を使った最先端研究などへの応用展開についても深く理解し、研究者の所望の装置やそれに付随する部品等を設計、製作する。設備などの改良も含めた共同研究にも、企画と支援の両面から積極的に参画する。技術伝承にも取り組み、組織における指導的立場として活躍する。

## 参考文献

横田眞一, 桑島崇, 枝村一弥, 積層 DP-RE 形 ECF マイクロモータの高集積化, 日本機械学会論文集(C編), 70 卷, 693 号, pp. 1463-1469, 2004

Chi Nan Pai, Tadahiko Shinshi, Junichi Asama, Setsuo Takatani, Akira Shimokohbe. Development of a Compact Centrifugal Rotary Blood Pump with Magnetically Levitated Impeller Using a Titanium Housing, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 2, No. 3, pp. 345-355, June 2008.

## 謝辞

本論文の作成にあたり多くの方々にご協力いただき感謝しております。この場をお借りしお礼申し上げます。

設計製作系TCコースの監修であり主査をお受けいただいた本学未来産業技術研究所の中村健太郎教授には、本論文作成のご指導のほかにも、設計製作部門の筆頭顧問として部門運営にも深く携わっていただき篤くお礼申し上げます。

同じく未来産業技術研究所の吉田和弘教授ならびに進士忠彦教授にはお忙しい中、本TC論文の副査をご承諾いただいただけでなく、本論文作成のご協力もいただき誠にありがとうございました。

本学RIM機構研究基盤戦略室の高橋久徳主任技術専門員とTCカレッジ事業推進室の高田綾子主任技術専門員には本論文作成のためにご助言およびご協力いただきお礼申し上げます。

CF設計製作部門のみなさまには部門の運営にあたり多大なるご協力をいただき心から感謝いたします。