

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「微細部品の搬送・組立のための
実用的なマイクロ・パーツ・ハンドリングシステムの試作開発」

研究開発成果等報告書

平成24年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社 森精機製作所

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
 - 1－1－1 研究開発の背景
 - 1－1－2 研究の目的及び目標
- 1－2 研究体制
 - 1－2－1 研究組織（全体）
 - 1－2－2 管理体制
 - 1－2－3 管理員及び研究員
 - 1－2－4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
 - 1－2－5 他からの指導・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 本論

- 2－1 マイクロ・パーツ・ハンドリングシステムの仕様決定、構想設計、第1次試作
 - 2－1－1 マイクロ・パーツ・ハンドリングシステムの要求機能
 - 2－1－2 微細であることの問題点
 - 2－1－3 システムに必要な要素
 - 2－1－4 構想設計と第1次試作
- 2－2 第2次試作
- 2－3 量産化に向けて

第3章 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

1-1-1 研究開発の背景

電子機器や様々なデバイスの電子化、小型化の急速な進展や、バイオセンサーや μ TAS など MEMS 領域での新たなシステム開発も活発化している。これらの技術進化の根幹には各種機能デバイス固有の微細加工技術があり、微細なデバイスを高密度に実装する技術の発展に支えられている。しかしX線を応用したレーザーLIGAプロセスやガスクラスターイオンによる加工、マイクロエッチング技術の進歩で、数マイクロメートル〜数十マイクロメートルの要素部品の製造は比較的容易になってきた一方で、半導体の高密度実装分野等の一部の領域を除き、工業的な手法で繰り返し安定的にサブミリオードの部品を3次元的に自由度高く組み上げる手法は確立されていない。

サブミリオードの微細切削加工作業に伴う部品のセッティング・脱着等の作業は肉眼で識別できる大きさではなく、多大な時間・労力を要し困難を極めているのが現状である。その解決方法として切削加工支援（ハンドリング）システムが必要であるが、現存するハンドリング支援システムの機能は、国内外ともに小さな粒状の物体を移動、仕分けすることを目的としたものがほとんどであり微細切削加工支援機器としては①大き過ぎる、②機能不足である、③ポータビリティ性に欠ける等の理由により、3次元微細形状物の切削加工用ハンドとしては目的に適合し難い。

切削加工にはワーク（被加工部品）を

- ① 規定の方向性を持たせて加工治具に挿入する作業、
- ② その治具を所定の位置に固定する作業と、
- ③ 作業完了時にワークを着脱する作業等のセッティング工程

がある。

このセッティング時にサブミリオードの微細加工部品をハンドリングするには、ピンセット等による従来工法では工具が大きすぎて、多大な労力と高度なスキルが要求される。一方、世の中の先端を行く MEMS に代表される微細加工技術は益々微細化・高機能化に向かっており、マイクロギアやマイクロモータ等の部品が製造されるようになってきたものの、色々な微細加工技術で加工された部品を機能構造物とするためには、これをハンドリングして組立をする作業が必須となる。ハンドリング作業とは方向性を定めた位置決めと、移動・方向転換や部品の受け渡し等の作業である。そして組立には微細部品を掴み・設置・嵌め込み・圧入・締め込み等部品を扱い、組み立てて行く作業である。

このような部品を組立たり、微細な作業をこなしたりするには、特別の技術スキルを持った人の技量、即ち手先の器用さに依存しているが、この方法では更なる作業効率のアップには限界がある。また作業内容に見合わない過大な治具を製作したり、不可能な作業として諦めて他の手段に移行しているのが現状ではないかと考えられる。

実際に、1ミリを下回る作業環境下では、通常の作業環境では影響のない静電気、対象表面の物理特性等の影響を考慮する必要があるが、このような微細環境下で三次元的に自由度高く微細部品を組み上げる、コスト面も考慮した実用的な技術開発は大きく遅れている。特に通常大気環境下に近い中小製造業の工場内で微細な部品を組み上げる実用的なマイクロアッセンブリーシステムは見当たらない。

特に今後医療分野においては、内視鏡の先端パーツや飲む胃カメラ等の機器の小型化が急

速に進展しつつあるが、これら機器の試作、量産方法は、まだ発展途上であり、機械的制御による工業生産的な手法でのアッセンブル効率化による製造コストの低減、納期短縮は必須であり、そのためにはマイクロ部品のハンドリング力向上による量産性の飛躍的向上が必須となる。



図1-1-1. マイクロ・パーツ・ハンドリングシステムのイメージ、課題、特徴

1-1-2 研究の目的及び目標

本プロジェクトでは、~~サブミリオーダー~~サブミリオーダーの部品製造に比較して、技術開発が遅れている~~サブミリオーダー~~サブミリオーダー部品のハンドリング（以下マイクロ・パーツ・ハンドリング）技術の開発を目指す。マイクロ・パーツ・ハンドリング分野は、大きく観察、搬送、組立て組立、接合の4段階に分けて考えられる。その中で実際の作業で重要と

なる道具は、下記の4つである。

- (1) リアルタイムに観察できる顕微鏡
- (2) 対象物に操作を行う工具
- (3) 工具を並進・回転させるマニピュレータ
- (4) 対象物を固定する機能を持ったパレット

上記のうち、(2)の工具と、(3)のマニピュレータを一体として、「マイクロハンド」と呼称し、本プロジェクトでは、このマイクロハンドの開発を中心に、中小製造業の作業現場で実際に導入可能なコストと使い易さを実現したマイクロ・パーツ・ハンドリングシステムを開発することを目指す。本システムが実用化されることで、従来手作業に拠っていた、サブミリオーダー部品のハンドリング力が大幅に向上し、仕上げ工程の大幅な効率化につながる。特に医療分野を中心に、サブミレベルの製品製造に精度向上と量産性の向上、結果としてのコスト低減化の可能性を提供することにつながる。(株)入曽精密では2006年に300マイクロメートル角のサイコロを微細切削加工によって製造済みであり、現在100マイクロメートル角の部品製造に挑戦中である。

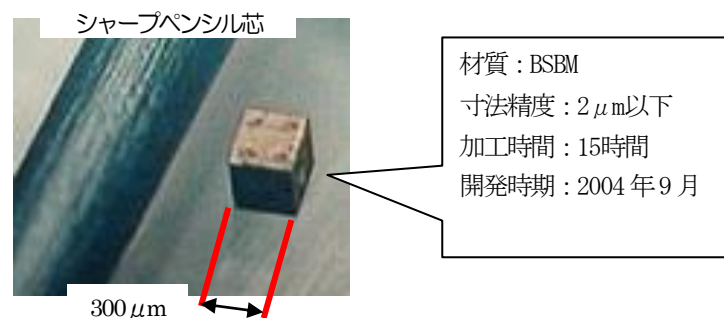


図 1-1-2. 微細切削加工による 300 μ m 角のサイコロの試作事例

また、2006年には直径0.5mmの玉を掴む2本指のマイクロハンドの試作も行っているが、視覚装置、パレット、機械的に制御可能なマニピュレータ、用途に合わせて付け替え可能な先端パーツ機構等を組合わせて、実際に製造現場でしよう可能なマイクロ・パーツ・ハンドリングシステムの開発までには至っていない。

特に本プロジェクトで目指す0.1mmレベルのパーツのハンドリングは、肉眼での視認が困難となり、静電力、表面張力等、通常作業環境とは異なる物理現象の作用を考慮に入れたパーツ設計が必要となることから、目的別のアーム先端形状の検討を中心に専門家の意見を取り入れつつ根本的なシステム設計思想の見直しを行っていく。

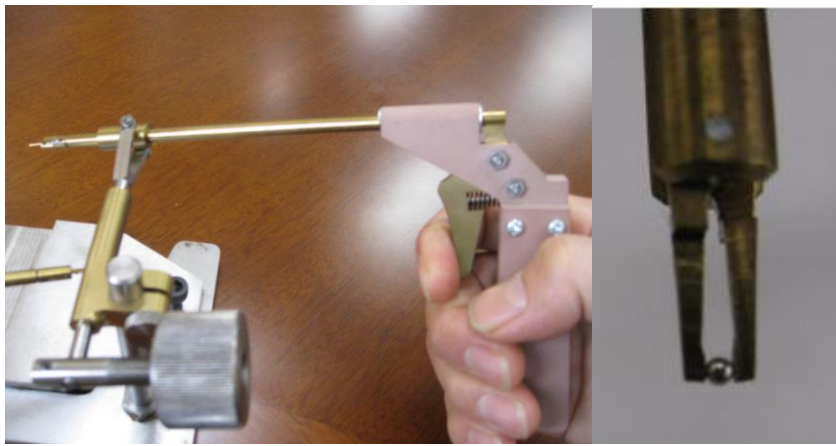


図 1-1-3. 直径 0.5mm の球を掴むマイクロハンドの試作事例

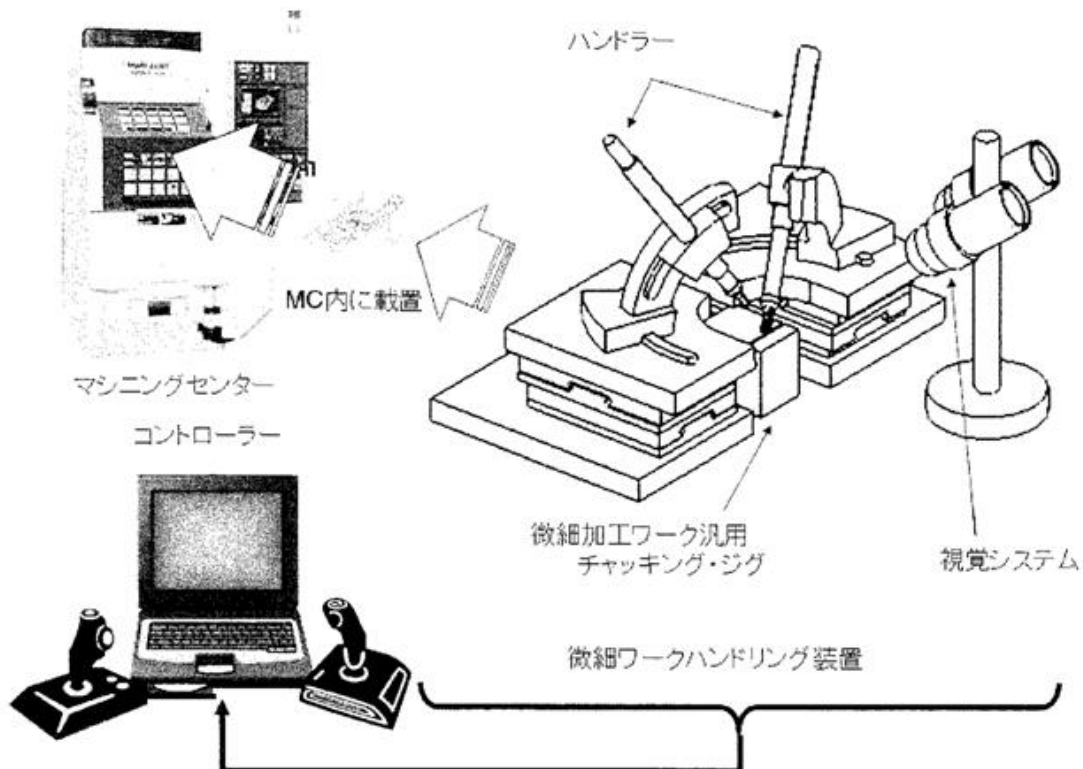


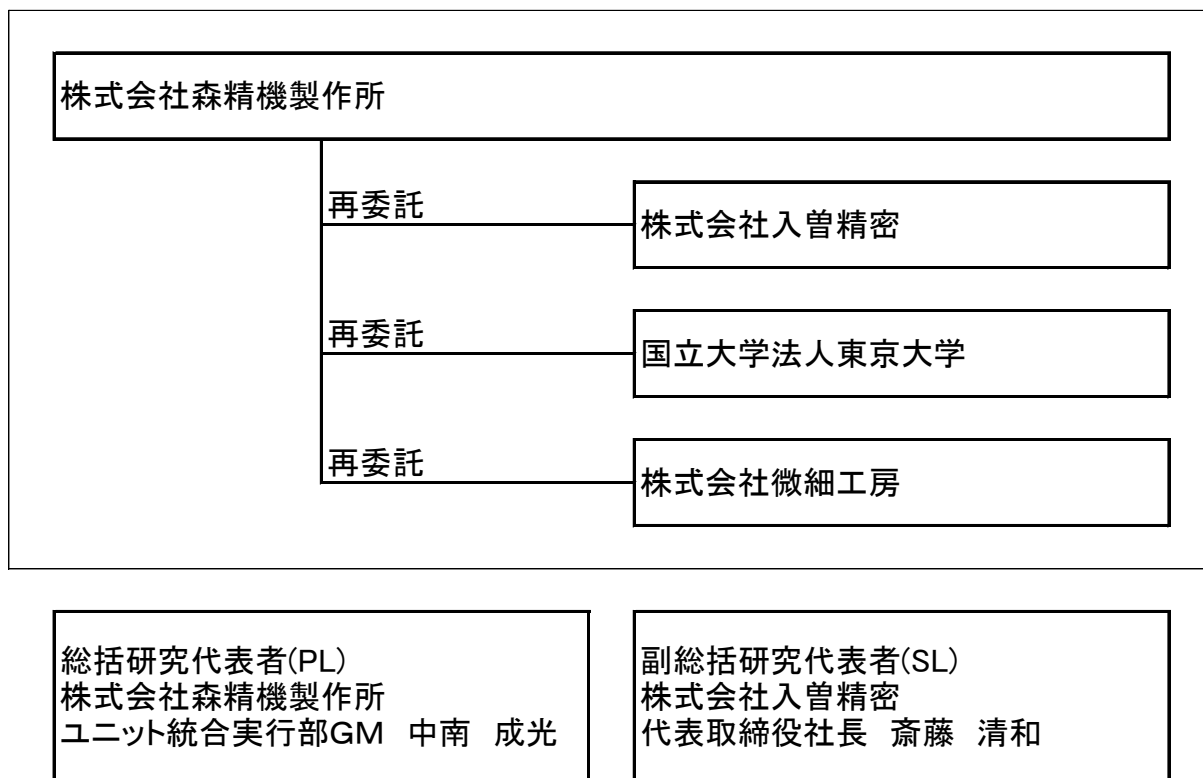
図 1-1-4. マイクロ・パーツ・ハンドリングシステム全体のイメージ図

尚、本プロジェクトでは、

- ①1mm以内に収まるサブマイクロメートルサイズの部品 2 個を、挿入、勘合、スライド挿入する動作が行えるシステムとする。
 - ②様々な対象物に対応できるように、段取り替えが容易に短時間で出来るようにする。
 - ③中小製造業の製造現場でも手軽に導入できる操作性と価格を提供する。価格は具体的には、300～500 万円程度を目指す。
- ことを目標とする。

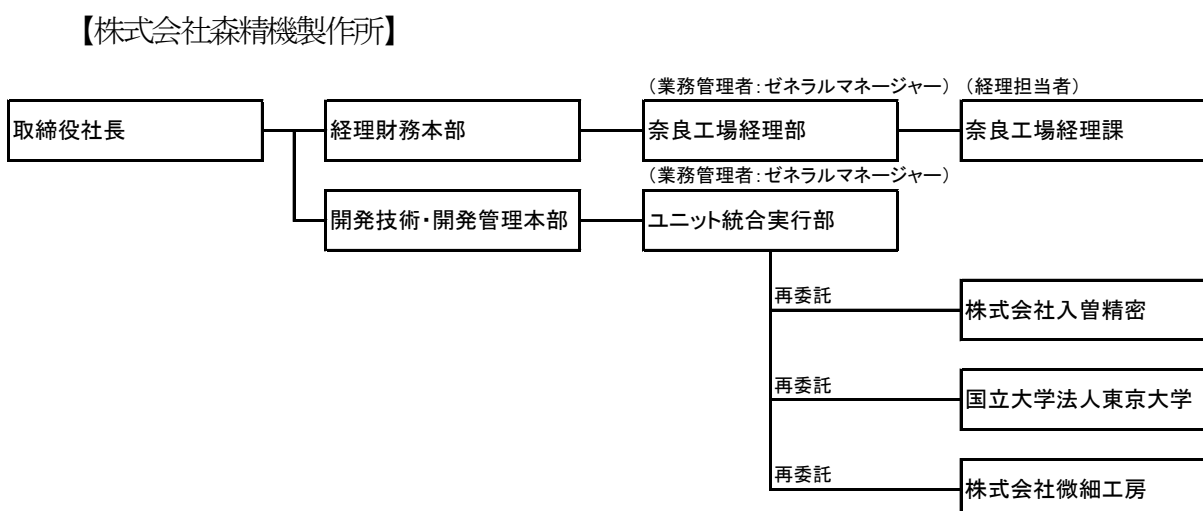
1－2 研究体制

1－2－1 研究組織（全体）



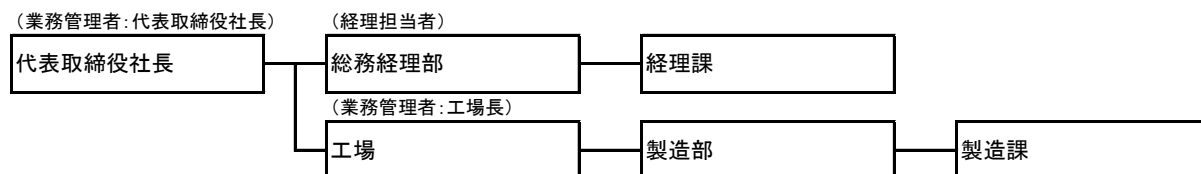
1－2－2 管理体制

① 事業管理機関

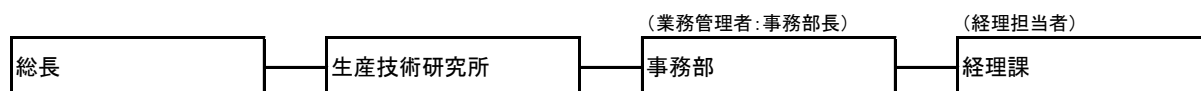


②再委託先

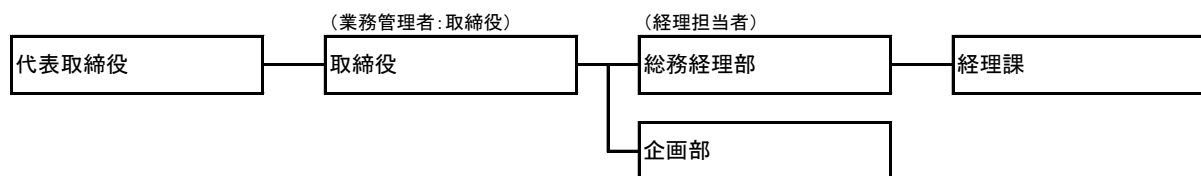
【株式会社入曽精密】



【国立大学法人東京大学】



【株式会社微細工房】



1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社森精機製作所

①管理員

氏名	所属・役職
中南 成光	ユニット統合実行部 ゼネラルマネージャー
武田 昭彦	奈良工場経理部 ゼネラルマネージャー
桐山 昌也	奈良工場経理部 奈良工場経理課 マネージャー
北林 敬子	総務部 奈良第2工場総務課 担当員

②研究員

氏名	所属・役職
中南 成光	ユニット統合実行部 ゼネラルマネージャー

【再委託先】

(研究員)

株式会社入曽精密

氏名	所属・役職
斎藤 清和	代表取締役社長
中島 米三	製造部 部長
友山 忠洋	工場長
杉本 佳人	製造部 製造課長
飯田 修一	製造部 製造課
野口 和俊	製造部 製造課

国立大学法人東京大学

氏名	所属・役職
土屋 健介	生産技術研究所 准教授

株式会社微細工房

氏名	所属・役職
内田 研一	取締役

1-2-4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社森精機製作所

(経理担当者) 奈良工場経理部 奈良工場経理課 マネージャー 桐山 昌也

(業務管理者) ユニット統合実行部 ゼネラルマネージャー 中南 成光

奈良工場経理部 ゼネラルマネージャー 武田 昭彦

(再委託先)

株式会社入曽精密

(経理担当者) 総務経理部 部長 斎藤 加枝子

(業務管理者) 代表取締役社長 斎藤 清和

製造部 部長 中島 米三

国立大学法人東京大学

(経理担当者) 生産技術研究所 事務部 経理課 連携研究支援室 企画チーム

赤池 真

(業務管理者) 生産技術研究所 事務部長 鈴木 敏人

株式会社微細工房

(経理担当者) 総務経理部 部長 斎藤 加枝子

(業務管理者) 取締役 内田 研一

1-2-5 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
中南 成光	株式会社森精機製作所 ユニット統合実行部 GM	☐ 委 PL
斎藤 清和	株式会社入曽精密 代表取締役社長	☐ 委 SL
中島 米三	株式会社入曽精密 製造部 部長	☐ 委
友山 忠洋	株式会社入曽精密 工場長	☐ 委
杉本 佳人	株式会社入曽精密 製造部 製造課長	☐ 委
飯田 修一	株式会社入曽精密 製造部 製造課	☐ 委
野口 和俊	株式会社入曽精密 製造部 製造課	☐ 委
土屋 健介	国立大学法人東京大学 生産技術研究所 准教授	
内田 研一	株式会社微細工房 取締役	
川口 武	株式会社本田技術研究所 社友	アドバイザー
一花 敏		アドバイザー

1-3 成果概要

本事業は、サブミリオーダの微細部品の搬送・組立作業を行うためのシステムを開発することである。初年度の平成 22 年度は、サブミリオーダの微細部品の搬送・組立作業に必要な機能进行分析し、システムの仕様を決定し、第 1 次試作機の完成まで漕ぎ着けた。2 年度目となる平成 23 年度は、第 1 次試作機である 1 号機の評価を行い、課題を明確にして、第 2 次試作へと進めた。

第 2 次試作は試作機を 2 台製作して評価を行い、量産化への課題を更に明確にしていった。また、市場にインパクトを与える使用方法を考案し PR 用のデモンストレーションシステムを構築した。更には、製品化に向けて工業デザインを取り入れた設計を行い、商品価値の向上を図った。

以上のように、2 年間の研究開発によって、ほぼ商品化の目処がつくところまで漕ぎ着けることができ、今後は量産試作を経て事業化へ進める計画である。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 森精機製作所
 ユニット統合実行部 ゼネラルマネージャー
 中南 成光
 TEL 080-5347-9669 FAX 0595-45-4135
 E-mail nakamina@moriseiki.co.jp

第2章 本論

2-1 マイクロ・パーツ・ハンドリングシステムの仕様決定、構想設計

2-1-1 マイクロ・パーツ・ハンドリングシステムの要求機能

前章で触れたとおり、本事業では主に切削加工を中心とした機械加工によって製作された微細な部品を組み立てる作業を実現するハンドリングシステムを構築することを目的としている。ターゲットとする部品の代表寸法は、現在の最先端の機械加工技術で製作することができる部品の全体寸法に合わせて、0.1mm レベルとする。

これらの部品に対する組立て作業に必要な機能は、基本的には人間が手作業によって組み立てているものとほとんど変わらない。

たとえば、前章で述べたように、方向性を定めた位置決め、移動・方向転換や部品の受け渡し等のハンドリング作業、また、微細部品を掴み・設置・嵌め込み・圧入・締め込み等部品を扱い、組み立てて行く作業である。さらに、必要に応じて、接合、配線、調整、仕上げ加工、あるいは分解、補修などの後工程も必要であろう。

本事業では、まず、部品の搬送と組立て作業に注目し、システムを開発する。これらに必要なとされる機能を工学的に表現すれば「複数の部品同士が相対運動をした結果、所定・所望の位置関係に収まる」ということである。すなわち、ターゲットとするマイクロな部品同士に対して、お互いに相対的に位置や姿勢を変えることができればよい。ここでの「相対運動」には、1章で述べた2個の部品の挿入、勘合、スライド挿入のほか、6面加工のためのワーク持ち替えや、ねじ・ボルト締結、配線のコネクタ接続などの作業もこれに含まれる。

2-1-2 微細であることの問題点

本事業でターゲットとする0.1mmのレベルは、ミリオードからナノオードまでの微小な領域の中でも、とりわけマクロレベルに近い大きさと言えるが、ちょうど0.1mm程度を境にそれより小さい領域では、大きく分けて3つの制約条件が存在する。

一つ目は、人間の目の観察分解能、人間の手の位置決め分解能が、限界に達することである。つまり、目に見えない、手で触れないということである。0.1mmの部品をハンドリングしようとするれば、さらにその10分の1程度を識別する分解能が望まれる。しかし肉眼の分解能は、視力1.0の人で角度1分(=60秒)である。これは目と部品の距離が30cmに近付いても、距離にして0.1mm程度の分解能しかない。また、人間の指は細くても先端は10mm程度はあるため、微細なものに直接触ったりはできない。ピンセットなどの工具を用いても、人間の手ではその工具を精密に動かすことができない。したがって、開発するハンドリングシステムはこれらを解決すべく、マイクロな部品に関する情報(主に視覚情報)を拡大して作業者に伝えること、逆に作業者からの入力(主に動きと力)を縮小して伝えることが求められる。

二つ目は、現象を支配する要因が変わることである。0.1mmレベルでもっとも大きく変化する要因は、重力と慣性力の影響が小さくなって無視できるレベルに入ることと考えられる。これは一般にスケール効果と呼ばれるもので、表2-1-2-1に示すように、部品の体積・質量が長さの3乗に比例するのに対して、部品の表面積が長さの2乗に比例するため、長さが小

さくなるにしたがって体積・質量の影響が相対的に小さくなるというものである。

表 2-1-2-1 代表寸法に対する各パラメータの関係

パラメータ	記号	関係式	寸法効果
長さ	L	$\propto L$	L
表面積	S	L^2	L^2
体積	V	L^3	L^3
質量	m	ρV	L^3
圧力	f_p	SP	L^2
重力	f_g	mg	L^3
慣性力	f_i	$m \frac{d^2x}{dt^2}$	L^4
粘性力	f_f	$\varepsilon S \frac{\Delta L}{L}$	L^2
弾性力	f_e	$u \frac{S}{d} \frac{dx}{dt}$	L^2

我々がマクロの世界でものを搬送したり組立てたりする場合、重力や慣性力のはたらきが他の因子（たとえば表面張力、静電気力）に比べてきわめて大きいため、他の因子をほとんど考えなくてもよいことが多い。しかし、部品の大きさが 0.1mm 程度より小さい場合は、重力・慣性力はほとんど無視できる大きさになり、他の因子の影響によってマクロの世界の感覚では理解できない現象が多々起こる。たとえば、部品の付着、凝集、飛散、加速度の増大、剛性の低下、共振周波数の増大、摺動摩擦の増大、熱伝達・拡散の高速化、等々さまざまなことが考えられる。これらの問題に対しては、システムの中でも特に微細な物体と接触する部分（機械加工の場合は刃物やジグ、ロボットハンドの先端などがこれに相当する）を、制約に応じて個別に設計することで、問題を回避しながら必要な機能を満たすことが求められる。

三つ目は、微細な部品を組み立てる場合も、組み立てるシステム自体は微細ではないということである。なぜならば、システムを構成する部品、たとえばアクチュエータやベアリングなどは最小でも数 mm 程度の大きさが限界であり、これらすべてが幾何学的に相似縮小できるわけではない。もし仮にできたとしても、諸々の物性が一様に変化するわけではないため、相似縮小されたシステムが必ずしも要求機能を満たすとは限らない。また、人間の大きさが不変である以上、システムだけが縮小されても、人間がシステムを操縦できなくなるという問題もある。

つまり、微細な部品を組み立てるシステムは、部品に対してシステムが非常に大きいという特徴があり、後述するように、微細な部品や作業空間を取り囲むようにシステムを構成する必要がある。

2-1-3 システムに必要な要素

次に、上記の制約を考慮しながら、システムに必要な要素を決定する。

(a) 顕微鏡

まず、微細な対象物を人間が直接見ることはできないため、顕微鏡で観察する必要がある。ハンドリングするときには、その対象物がどのような状態にあるかを知らなければならない。

人間は五感に頼って行動をするが、全情報のうち 70%以上は視覚情報を使うと言われている。微細な対象物に対しても同様に、見ることなくしては何が起こっているのか全くわからない。したがって、システムには、部品を観察するのに十分な分解能を持った顕微鏡が不可欠となる。ここで、0.1mm の部品を組立てるために必要な観察分解能は、概ねその 10 分の 1 の 10 μ m レベルの観察分解能が必要と考えられる。

(b) 工具

また、部品に直接触ることもできないため、必要な作業を行うための工具（エンドエフェクタ）が求められる。本事業では、部品の位置や姿勢を動かして組立てを行うことを考慮して、グリップ型の工具を開発する。このとき工具の先端は、部品と同程度かそれ以下に先細であることが重要である。そうでなければ、人間の指で作業しようとしたときと同じように拾い上げることができなかつたり、できたとしても部品が工具先端の影になって見えなつたりするという問題が起こる。

(c) マニピュレータ

さらに、その工具を精密に動かすためには、マニピュレータが必要になる。部品の位置と姿勢を自由に変えるためには、少なくとも並進 3 自由度と回転の 3 自由度が必要である。このときの位置決め分解能は作業内容によって異なるが、マニュアル操作の場合は観察分解能に比べて不相応に高い位置決め分解能を持っていても無駄なため、ここでは 10 μ m 程度が妥当と考えられる。ただし、これは並進自由度についての数字である。回転運動は部品が微細でも微細でなくとも同じだけの角度移動が必要になるため、その位置決め分解能も通常の組立作業と同等の精度があればよい。ここでは概ね 1° 程度で十分と考える。

(d) パレット、ジグ

通常のハンドリングと同様に微細な部品のハンドリングにも前工程や後工程が存在する。その間を移動させるために、部品を載せて運ぶパレット（ジグともいう）が必要である。

人間が直接見ることも触ることもできない微細物は、数 mm～数 10mm 程度の扱いやすい大きさの容器に入れて管理するのが最も一般的な手法であり、従来技術でも広く行われていることである。たとえば、顕微鏡で微細な試料を観察する作業を考えると、試料をスライドグラスに付着させ、スライドグラスごと接眼レンズの下にセットして観察している。

ここで重要なことは、対象物を一度パレット上に乗せたら、そのまま固定して作業が終わるまでパレット上での対象物の位置は動かさないことである。これが動いてしまうと、パレット上を捜さなくてはならない。しかし肉眼では見ることができず、顕微鏡を使っても、倍率を上げると視野が狭まり、視野を広げると対象物を認識できなくなるため、再び捜し出すのは非常に困難である。

以上に述べたことをまとめると、マイクロ・パーツ・ハンドリングシステムには、以下の 4 つの機構要素が必要になる。

- ・対象物や工具をリアルタイムに観察できる顕微鏡
- ・対象物に対して操作を行う工具
- ・工具を精密に並進・回転させるマニピュレータ
- ・対象物を固定する機能を持ったパレット

2-1-4 構想設計と第1次試作

前章に述べたことを踏まえて確定したシステムの構想図を以下に示す。

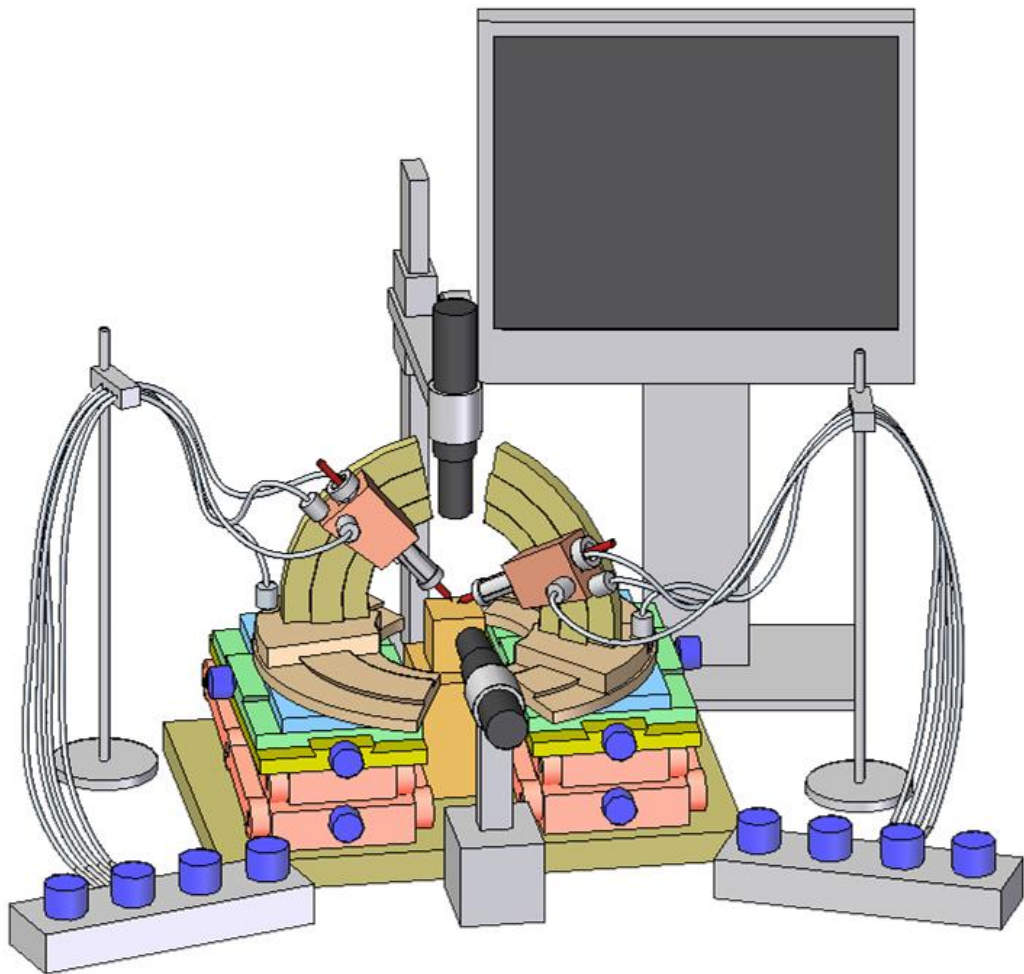


図2-1-4-1 マイクロ・パーツ・ハンドリングシステム構想全体図

この構想図をもとに、詳細設計を行った。

以下に具体的な要求仕様を示す。

尚、各軸の移動範囲については、1 mm以下の微細部品のハンドリングを想定し、また装置のポータビリティを損なわない範囲を考慮しておよそ、およそ 50mm50mm×50mm×50mm キューブの移動範囲をカバーする様に設定した。

また、軸の最小移動単位については、0.3mm のサイコロを積上げる作業を人がハンドルやダイヤルを回すことによって行うことをイメージして、短い距離の移動（微動）では移動単位が粗くならない様に、また長い距離を移動（粗動）では速度が遅く感じない様に設定した。

方式	双腕、手動操作式マニピュレータ
制御軸数	片腕8軸、合計16軸
制御軸名称	操作正面側より見て、グリップ先端部の移動方向が、 左右移動方向：X軸 前後移動方向：Y軸 上下移動方向：Z軸 X軸回りの回転軸：A軸 Y軸回りの回転軸：B軸 グリップ中心軸回りの回転軸：C軸 グリップ先端の前後出退軸：W軸 グリップの開閉軸：G軸
軸移動量	X：40mm Y：40mm Z：14mm A：100° B：70° C：360° W：10mm G：3.3mm（グリップ開閉用プッシュロッドストローク）
最小移動単位	X：0.005mm／ハンドル1回転で0.5mm Y：0.005mm／ハンドル1回転で0.5mm Z：0.005mm／ハンドル1回転で0.5mm A：0.025°／ハンドル1回転で25° B：0.025°／ハンドル1回転で25° C：1.8°／ハンドル1回転で180° W：0.005mm／ハンドル1回転で0.5mm G：0.05mm／ハンドル1回転で2.5mm
移動軸に関するその他の要求仕様および留意点	・ 軸を移動させるために、ハンドルに手を触れた際、その力によって微小な振動が生じてしまわないように、上位の5軸（A、B、C、W、G）は遠隔操作ができるようにすること。 ・ 駆動機構や減速機構については、非常に微細なギヤや高精度な部品の製作が必要となるが、そのような部品の製作できる製造プロセスを確立することも本プロジェクトのテーマであり、設計段階では製作の可否を問わない。 ・ グリップ先端部での移動精度を向上させるため、特に下位軸の静剛性およびバックラッシュ量に十分留意すること。
拡大カメラの要求仕様および留意点	・ 中小企業に廉価に提供できるシステムとするため、カメラは廉価な市販のパソコンに接続できる流通性の良いUSBカメラから選択すること。 ・ 拡大倍率は50倍～100倍程度を満たすこと。 ・ 正面からの撮影と、上面からの撮影の、2面撮影方式とする。
グリップ部	・ グリップ部は2方爪方式を試作する。 ・ 把握力、グリップ形状は入曽精密での初期の試作品に準ずる ・ 3方爪、吸引式、静電気式など色々な方式を試せる様に、グリップ部分が容易にユニット交換できる構造とする。

大きさ、重さ	・ パソコン、制御BOXなどの補機を除いた、システム本体部の大きさは500mm×500mm×500mm³程度に収めること。 ・ テーブル卓上型とする。 ・ 同じく、パソコン、制御BOXなどの補機を除いたシステム本体部の重さは、持ち運びが容易な様に 10kg 程度を目指す。
--------	---

詳細設計のより作成されたシステム本体の3次元モデル図を下図に示す。

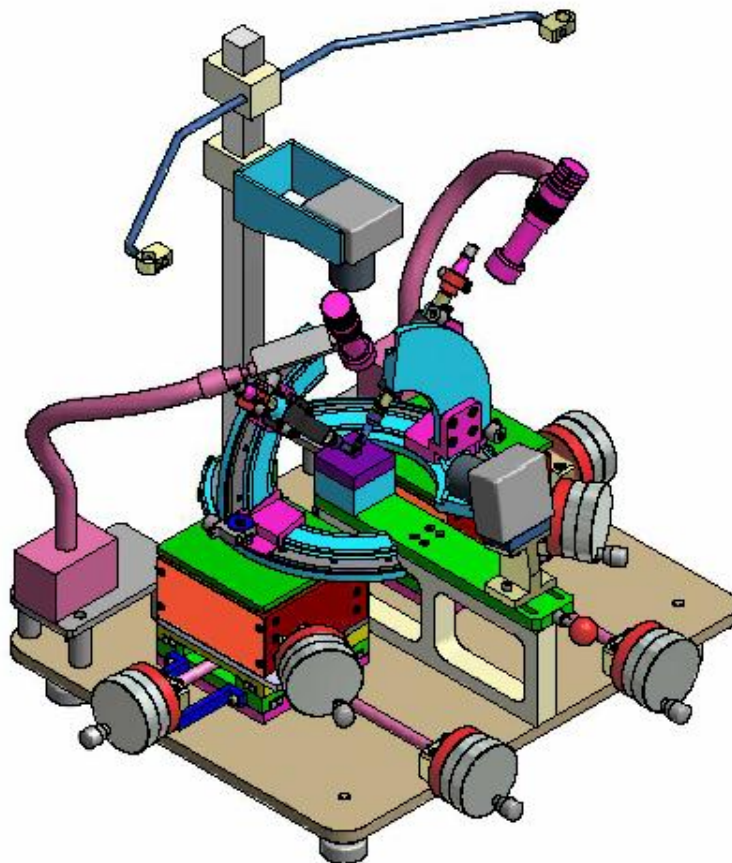


図 2-1-4-2 マイクロ・パーツ・ハンドリングシステム本体3Dモデル図

前章に示した要求事項を満たし、更に作業台を作業側へ出退できる構造を追加した。これは、作業台周辺にはカメラや照明が至近距離にあり、そこに対象物を載せたり、降ろしたりする際に、カメラや照明に手が触れてしまい、これらの機器の調整された位置が動かされてしまうことを避けるための構造である。

完成した第1次試作機（1号機）の外観を下図に示す。

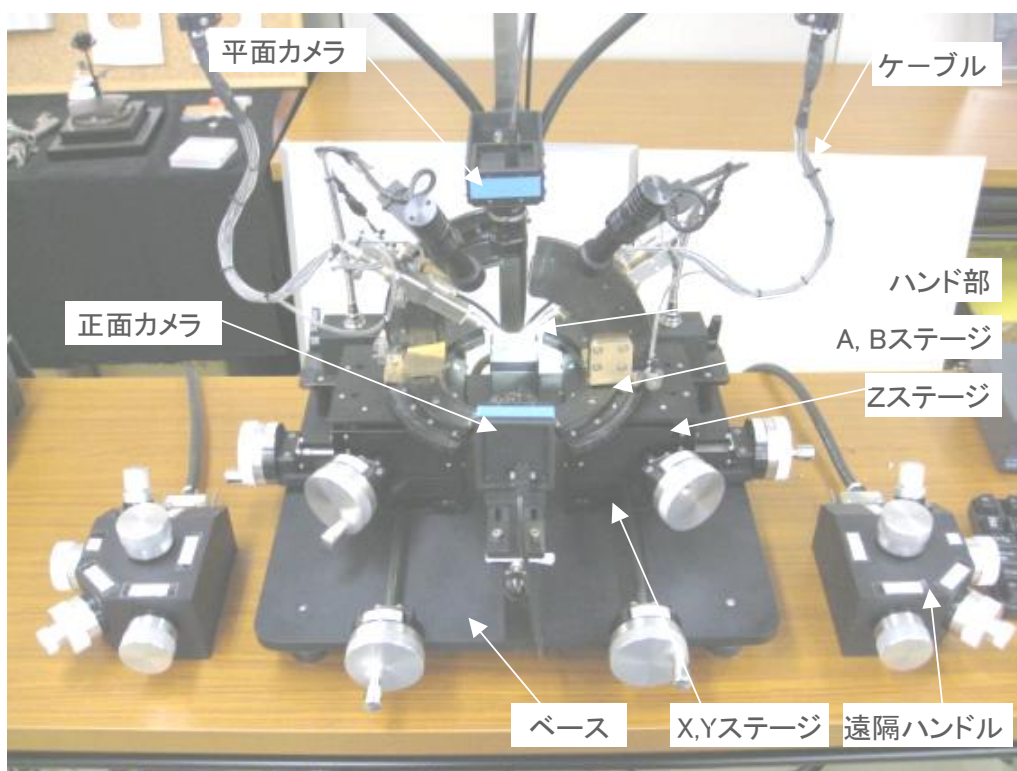


図 2-1-4-3 マイクロ・パーツ・ハンドリングシステム第1次試作機

2-2 第2次試作

第1次試作機で明確となった主な課題と対応について、表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 第1次試作機の主な課題と対応

番号	課題	今後の対応
①	グリップ部に表面張力による吸着が発生し、自在に掴んだり、放したりすることが困難	・微振動の利用【1次試作改造】→ NG ・グリップ形状の工夫【1次試作改造】 ・三つ爪バージョン試作【1次試作改造】 ・真空吸引法【1次試作改造】
②	カメラの解像度が不足しており、0.3mmのサイコロの目が読めない	・解像度を上げる【1次試作改造】 → 300万画素に改造 → ピント調整が手間
③	どのハンドルを回せばどの方向に動くかが分かり辛い	・量産時に専用ジョイスティックを考案
④	軸送り速度が遅く感じる(W軸)	・2次試作で仕様見直し
⑤	ライトのセットのしづらさ(個数、方向)	・2次試作で仕様見直し
⑥	テーブルは広く、ミラー面も効果的	・1次試作改造
⑦	ちり、埃が邪魔、洗浄方法検討	・2次試作で仕様追加
⑧	重さ19.9kg、まだ重い	・2次試作で材料軽量化
⑨	製造コストを試算するまでに至っていない	・2次試作で製造プロセス確立

①の項目は、微細部品を掴むためのグリップ部の形状や構造に関する内容である。当初から想定はされていたが、表面張力により、グリップ部に貼りついた微細部品を離す動作が困難となる。改良案として、微振動を与える、形状の工夫、三つ爪を採用する、吸引による把持などの案が上がった。

②の項目は、カメラの解像度の不足である。設計段階で想定した解像度では実際に作業を行ってみると、不足していることが明らかとなった。また、ピントを調整することや、ピントが合っている位置に対象物を移動させることの作業の難易度なども指摘された。

③の項目は、片腕に 8 個、両腕で 16 個あるハンドルの複雑さで、ハンドルを時計方向に回したときに、直感的にグリップがどちらに動くかが分かれば、ストレス無く操作ができるようになるという指摘である。

④の項目は、ハンドルの操作量と実際の移動量との関係で、遅く感じるもの、もっと速くでも差し支えないものがあった。

⑤の項目は、照明のセットのし易さや、照明を当てたいところに当たらない、反射して見づらいなどの指摘である。

⑥の項目は、テーブル上面はなるべく広くして微細部品が落ちないようにすることや、表面をミラー状にすることで、グリップの接近感が分かり易くなるといった指摘である。

⑦の項目は、対象の微細部品に、静電気などで埃やちりが付着すると作業を阻害するので、対策が必要であるという指摘である。

⑧の項目は、当初 15kg 程度の可搬な重量を狙って設計したが、結果的には未だ達成できていないという指摘である。

⑨の項目は、試作段階で止むを得ない面はあるが、まだまだ当初の狙いの製造コストを達成できていないという指摘である。

いずれも設計段階では中々計画しきれなかった課題で、実際にものを作って初めて分かる内容でもある。当初の狙いである、直感的に使い易い操作性を重視して評価を行った結果でもある。

以上の様な課題を踏まえて、1 次試作機を用いて改造を加え、予め評価できる改良内容については実施した上で、第 2 次試作機の設計を進めていった。

図 2-2-2 に第 2 次試作機の 3 D モデル図および主な改良項目を示す。

主な改良項目は以下の通りである。

1) 照明

- ・照明を 2 個から 4 個に増やし、更に水平カメラ周りにリング照明を追加する。
- ・衝立を設けて、照明の反射を防ぐ。衝立は容易に姿勢を変えられる構造とする。

2) カメラ

- ・解像度を上げる。
- ・カメラの位置調整機構を追加する。

3) テーブル

- ・X、Y、Z 方向の位置調整機構を追加する。
- ・ターゲットの位置を分かり易くするために番地地図を掘り込む。

4) ハンドル

- ・A、B 軸はモータ駆動を廃止し、手動レバー式にする。

- ・遠隔操作BOXの小型化する。
- ・モータ駆動各軸の駆動倍率変更する。

5) その他

- ・円弧リニアガイドの採用する（価格低減、精度向上を狙う）。
- ・ステッピングモータの出力変更し、大きくする。
- ・駆動機構の見直して、作りやすく、精度よくする。
- ・本体重量約 20kg を 15kg 以下に軽減する。

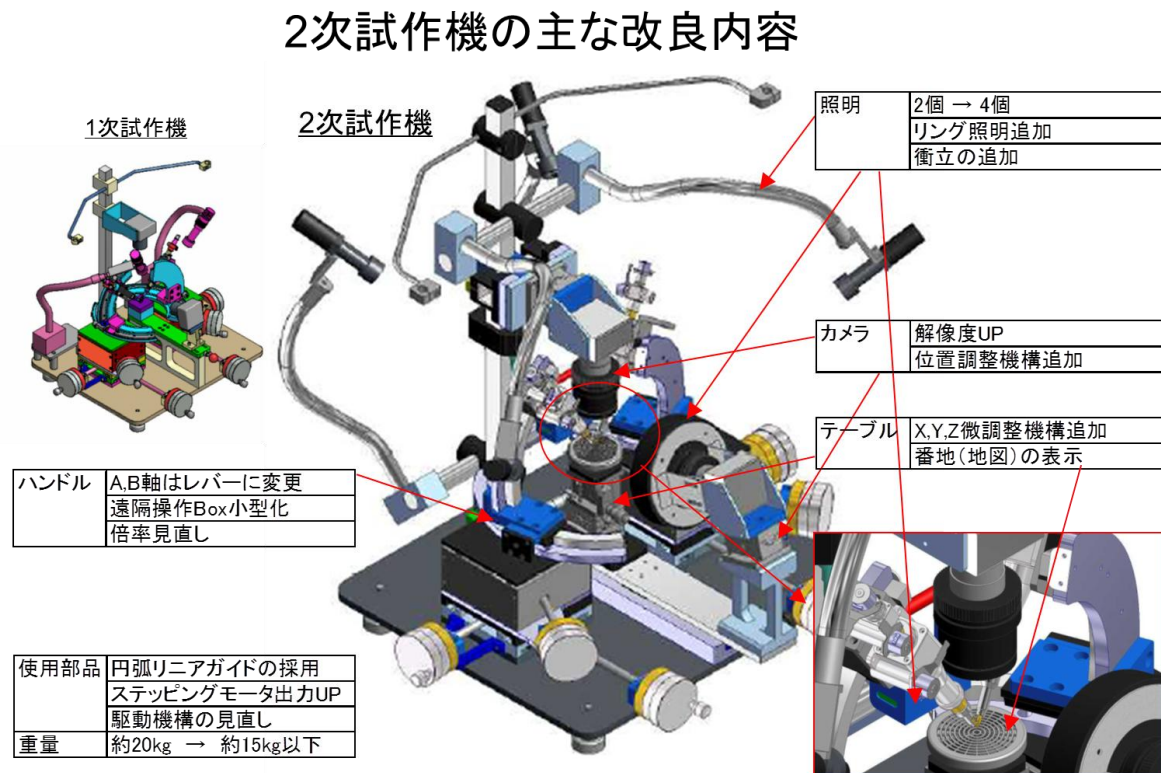


図 2-2-2 第 2 次試作機の 3 Dモデルと主な改良内容

図 2-2-3 に製作された 2 次試作機の外観を示す。

2 次試作機は 2 台製作し、1 次試作機で課題となった製作上の改良項目を確認するとともに、PR、市場調査のための展示会出品や、評価、耐久試験に用いた。

1 次試作での課題をほぼ克服したものとなっている。

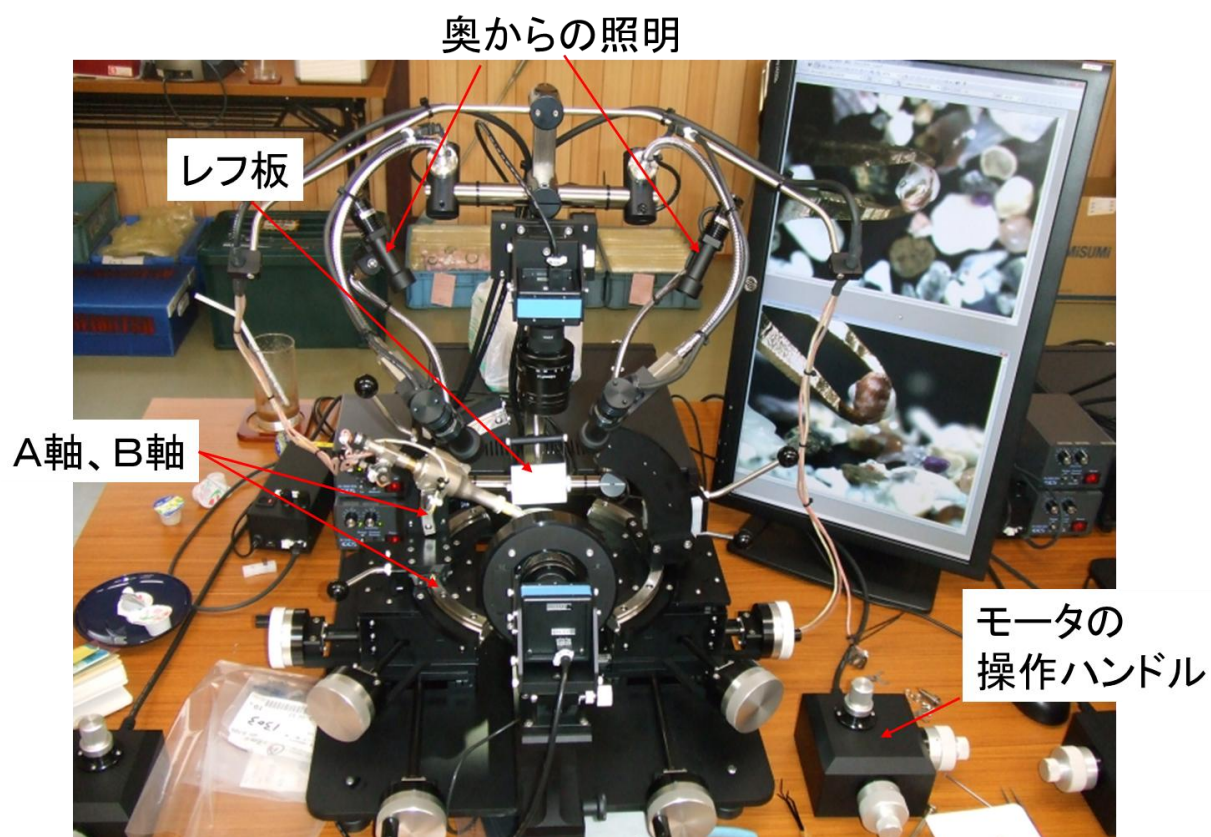


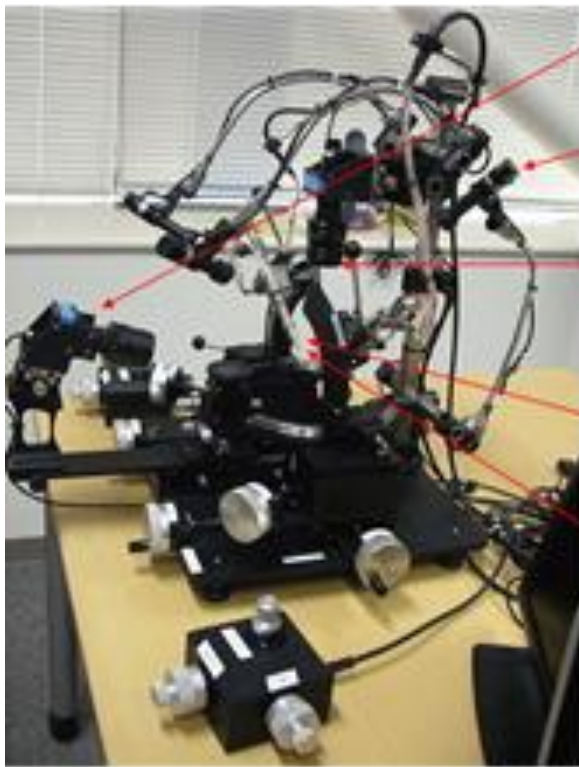
図 2-2-3 2次試作機の外観

2次試作機は先に述べた通り、2台製作した。

1次試作では課題として捉えて加えた改良や、仕様変更も実際に使用してみると、新たな課題となることもあり、当初の狙いである「微細な部品をあたかも自身の手で扱うかの様に自然な感覚で使えるようにする」ことの難しさを再認識することになる。

2次試作機が完成し、実際に使ってみた初期の段階で判ってきた更なる改良点を図 2-2-4 に示す。

2次試作機の主な評価、変更内容



- ・カメラのリング照明廃止
効果が少ない
- ・スポット照明4個→2個
対角の2個で充分
- ・カメラ焦点指示用レーザーポインタ追加
カメラ視野内にワークを移動させる
のに非常に有効
- ・3方爪廃止
使いづらい
- ・爪素材、バネ鋼化
ぶつけたときの変形が防げる
- ・耐久試験開始 12/26～
- ・工業デザイン案作成

図 2-2-4 2次試作機の主な課題と変更内容

2-3 量産化に向けて

以上に述べた2次試作機での評価を経て、技術的な課題についてはほぼ解決の目処がついたと考えている。

商品化につなげて行くためには、更に商品価値を上げるために、工業デザインを取り入れることとした。

2つのコンセプトに基づいて作成した案を図2-3-1に示す。



図 2-3-1-a デザインA案 (ボディ色赤系とシルバー系)

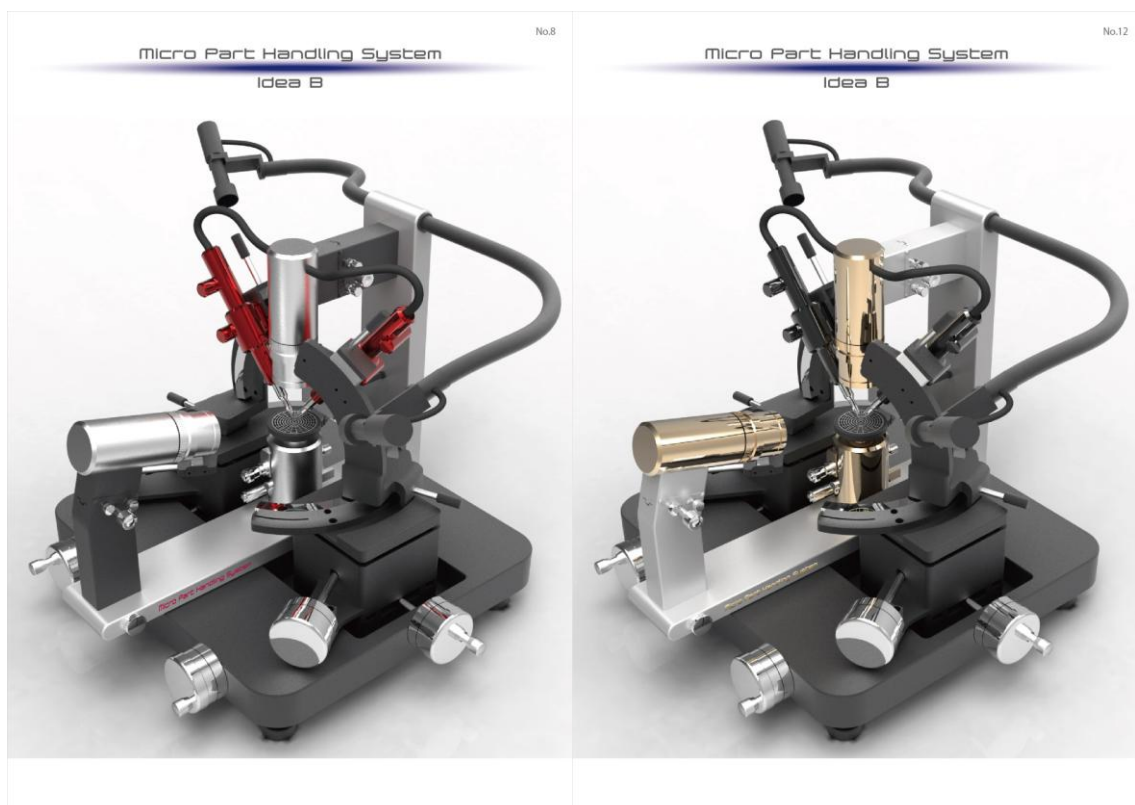


図 2-3-1-b デザインB案 (ボディ色赤系とゴールド系)



図 2-3-1-c 遠隔操作BOXのデザイン 2 案

A案は機能的な美しさを感じ、洗練された印象となる。

B案はコンセプト通り、どことなく先進性を感じさせる印象となる。

いずれの案も、試作機の無骨な印象を一変し、商品としての価値、存在感を示すことが出来ている。

以上のデザイン案を関係者で協議した結果、デザインA案のボディ色赤系を採用することとした。

第3章 総括

2010 年度に開始した本プロジェクト「実用的なマイクロ・パーツ・ハンドリングシステムの試作開発」は、以下の目標をもって開始した。

- ①1mm以内に収まるサブマイクロメートルサイズの部品 2 個を、挿入、勘合、スライド挿入する動作が行えるシステムとする。
- ②様々な対象物に対応できるように、段取り替えが容易に短時間で行えるようにする。
- ③中小製造業の製造現場でも手軽に導入できる操作性と価格を提供する。価格は具体的には、300～500 万円程度を目指す。

各々の達成度、成果について考察する。

①

図 3-1-1、図 3-1-2 は、米粒の上に 0.3mm 角のサイコロを積み上げる作業を行っており、本システムの検証として、一番最初に行ってみた作業である。この作業の過程で、多くの課題が明らかになった。

図 3-2 は、片方のグリップに $\phi 60\mu\text{m}$ の微細穴が開いている部品を掴み、もう一方のグリップには $\phi 50\mu\text{m}$ の微小径ワイヤを把持して、挿入の作業を行っている様子である。このような両腕の協調作業も行えることが確認された。

以上により、①の狙いは達成できていると言える。

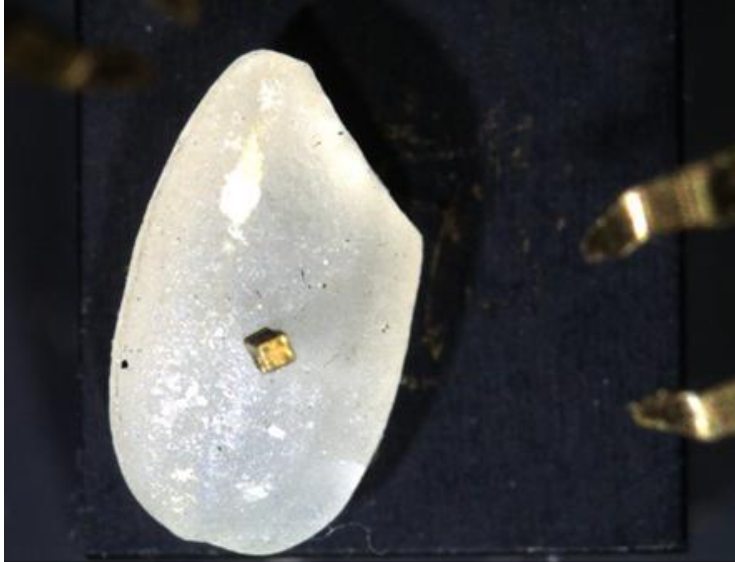


図 3-1-1 米粒の上に乘せた 0.3mm 角のサイコロ（上から見た様子）



図 3-1-1 米粒の上に乘せた 0.3mm 角のサイコロ（横から見た様子）

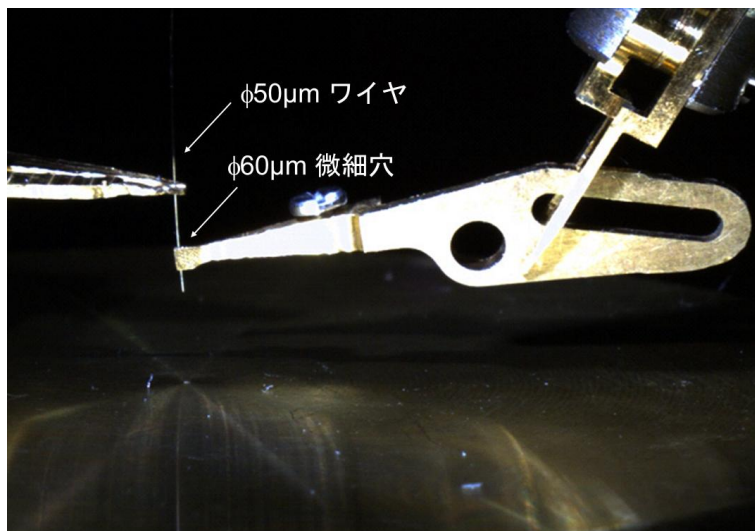


図 3-2 $\phi 60 \mu\text{m}$ の微細穴に $\phi 50 \mu\text{m}$ の微細ワイヤを通す作業の様子

②

段取り替えを容易にするための課題は、評価の初期から多く洗い出された。その結果、以下のような変更を実施し、初期の狙いは達成できたと考えている。

- ・照明の個数、配置の適切化と衝立の追加。
- ・カメラ解像度の改良、深度調整機構の見直し。
- ・カメラ焦点位置を示すレーザポインタの追加。
- ・テーブル側にX、Y、Z、 θ 、4自由度の調整機構追加。
- ・テーブルを前後に出退させる構造を追加し、対象物のセットを容易にする。
- ・テーブル上面に蜘蛛の巣状のラインを設け、テーブル上における対象物の位置をわかりやすくする。

今後は、段取り替え作業に必要とされる時間を計測するなどを行い、定量的に段取り時間を把握し、量産に向けて更なる課題の洗い出し、改良を加える。

③

販売予想価格は、今後の量産設計、試作の結果を待つ必要がある。

試作1号機は狙いの2倍近い製造コストを要した。第2次試作ではそれを、およそ2/3に低減できたことが確認できた。量産を前提としたロット生産を行うことで、ほぼ当初の狙いである500万円以下の販売価格は見通しをつけることが出来た。初期の狙いは達成できたと考えられる。

以上の通り、ほぼ計画通りの仕様や価格を実現できる見通しが立ち、またスケジュール面でも初期の計画通りに実行できたと考えている。

今後は正式な製品としてのリリースに向けて、量産試作機を5台製作し、本試作を最終として、2013年度には製品としてリリースできる予定である。