

フロンティア技術開発研究

Development of Frontier Technology

主任研究員名：田中 武雄

分担研究員名：入澤 毅、上田 博之、籠谷 正則、山田 修

1. はじめに

本学が、より強く産学連携を推し進めるためには、優れたものづくり技術や、知的財産につながるようなものづくりのアイデアを創出できる組織体を形成することが重要である。そのためには単一の技術をベースにするのではなく、広領域として実施することが、実用化を進める上で重要である。産学連携は特に、異分野交流の中での応用研究が必要である。

提案者を含めて、本学の多くの教員は、地元大東や東大阪などの東部大阪における産業界と産学連携を推進してきた。このような本学の産学連携に対する姿勢は、産業界より高く評価されてきた。しかしながら、地元産業界からは、さらに国際的な競争力を持つ製品開発に対する技術開発支援や、オンリーワン技術開発に関する研究支援を求める非常に強い声が寄せられている。

本研究は、参加する本学の教員が自ら進めている先端研究を単に深く追求するというだけでなく、相互に（学際的に）技術の異分野交流を行うことにより、本学特有の新しい技術を開発するための研究を行おうとするものである。そして、フロンティア技術を開発研究することにより、産学連携をさらに推し進めて、地域に貢献しようとするものである。

筆者は、現在、集束イオンビームによる微細加工・ナノ加工に関する研究や、イオンビーム蒸着法によるナノ硬質膜形成などの研究を行っており、これまでの成果をベースにして、数社の中小企業と産学連携を推進してきており（独立行政法人中小企業基盤整備機構平成15-17年度戦略的基盤技術力強化事業；テーマ「金型によるファインピッチ電子回路パターンニングに関する研究開発」、参画メンバー；大阪産業大学、クラスターテクノロジー（株）、山本光学（株）、（有）大阪製作所、（株）フジキン、伊藤忠商事（株）、（協力機関；京都大学、柏原機械製作所、FSデザイン）、一定の成果を収めてきた。さらに、当長期的共同研究「フロンティア技術開発」発足に併せ、経済産業省 平成17-19年度 地域新生コンソーシアム研究開発事業地域ものづくり革新枠「三次元ナノ階層構造形成技術による高度機能部材の開発」、参画メンバー；大阪産業大学、関西大学、大阪府立産技総研、クラスターテクノロジー（株）、（株）ミレニアムゲートテクノロジー、日本科学冶金（株）、（株）アドモ、山本光学（株）、ナルックス（株）、（有）大阪製作所、誠南工業（株）、（株）フジキン、伊藤忠商事（株）、（協力機関；京都大学、大阪大学）が採択され、ナノテクの実用化研究が始められるに至った。この研究組織は、経済産業省が地域において産学官連携による事業化に直結する実用化技術開発を促進することにより、新産業の創出を促し、もって地域経済の再生を図ることを目的として提案公募型事業の公募が行われたものである。735件の応募があり、厳正な審査の結果、

193件が採択（地域ものづくり革新枠としては26件中7件の採択）された。この事業は、地域の産業集積内に存在する優れたものづくりの要素技術を持つ中堅・中小企業群と、高度な技術シーズ・知見を持つ大学等が、産学官の強固な共同研究体制（地域新生コンソーシアム）を組み、それぞれが有する技術を持ち寄って、摺り合わせることによって、複数の製品につながるような付加価値の高い高度な機能を持つ高度機能部材の実用化研究開発を行い、本事業を通じて、参加者間の連携による高度機能部材を産み出す能力を高め、これらの参加者が地域の産業集積の核となって、地域のものづくりの力の強化につなげていくことを目指した。高度機能部材とは、複数の要素技術（材料創生、加工、計測・評価、製造技術等）を組み合わせ、摺り合わせることによって作られる高度な機能を持つ部品・材料であって、多様な製品分野への展開が期待されるもので、本プロジェクトでは、光学部材、センシング部材などの開発を通して、ナノテク技術のプラットフォームを形成することを目標とした。

以下に、紙面の都合により代表的な成果についての概略を報告する。

2. ナノテク・微細加工評価のための超小型SEMの開発

ナノテクや微細加工技術を普及させるためには、大学や公設試などが保有する高分解能の透過型電子顕微鏡や、高分解能走査型電子顕微鏡などの評価装置、分析装置を、本学の立地条件においては地元中堅中小企業に提供することも重要であるが、ナノテクを一般化するには、中小企業でも導入することができるような安価で取り扱いが容易な評価技術の開発を進めることが極めて重要である。特に、多様な加工を行っている中堅・中小企業にナノテクノロジーを浸透させてゆくためには、それぞれの製造現場にあった評価技術が必要となる。

本研究では、放電加工機等による微細金型加工の際の加工直後、もしくは加工途中の製品の加工面の評価を行うケースを想定したその場観察用のハンディタイプのSEM技術の開発を進めることとした。具体的には切削加工の途中で金型のバリの状態や切削面の表面仕上がりなどをその場で観察できる、汎用性が高いオンマシ型超小型電子顕微鏡の仕様を提案するとともにその電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope；以後“SEM”と表記）を用いたその場観察技術の開発を行うこととした。本年度はオンマシ型超小型SEMの仕様を決めるとともに完成した小型SEMの特性評価結果を行った。

製品仕様としては、下記を目標とした。

- ① 持ち運びが可能な大きさ、重量であること
- ② 試料サイズがチャンバーサイズで律則されてしまうような、チャンバー内に試料を入れて観察する方法（従来の手法）を採用しないこと
- ③ 専門的な知識や経験が無くても、光学顕微鏡並に簡単に観察できること
- ④ 分解能については最終的にサブミクロンレベルを目指すこと

2-1 超小型SEM第一次試作機

図1に第一次試作したオンマシ型超小型SEMの実物写真を示す。図1に示すようにSEMユニット自体は大きく分けて“電子顕微鏡本体”、“真空排気ユニット”、“制御電源”の三つのシステムから構成されている。電子顕微鏡本体については、電子銃は通常の熱電子放出型

を採用し、対物レンズには磁界レンズではなく、静電レンズを採用した。また、シュラウド下部の観察物との接触部には当初予定通りウィルソンシールを採用した。制御電源についてはタッチパネル方式を採用することにより各電源電圧等の調整つまみやダイヤルを削除でき、これにより大幅な体積の縮小を行うことができた。真空排気ユニットに関してはメンブレンポンプおよびターボ分子ポンプが一体のユニットになった真空ユニットを採用した。

特性評価結果の一例として本SEMを用いて得られたSEM画像を図2に示す。多くの小型電子顕微鏡では15kV以上の加速電圧を用い、また、検出器も二次電子検出器を使用するのに対し、本オンマシンSEMは若干ノイズがのるものの加速電圧2.9kV、メタルプレート型検出器でおよそ8 μ m程度の分解能を得ることができた。この分解能についてはワーキングディスタンスや二次電子検出器を追加することでさらなる分解能向上の可能性が期待できる。

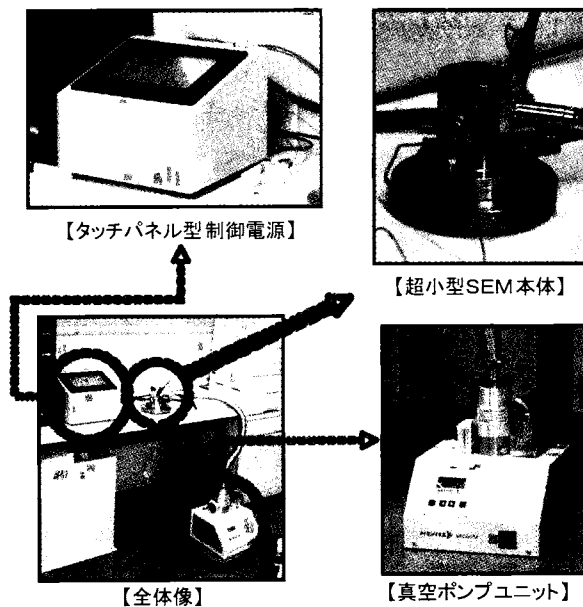


図1 オンマシン型超小型SEMユニット全体図

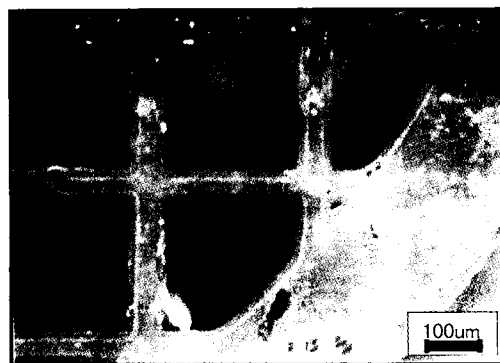


図2 オンマシンSEMによる観察像

2-2 第一号機開発の成果と課題

本試作機は、オンマシ方式（特定のチャンバーを持たないカップ型）を採用した恐らく世界的にも初の電子顕微鏡であるが、本方式でも実際に像観察が可能であることが実証されたとともに小型化および低加速電圧化に伴う分解能の低下を予想以上に抑えられることが確認できた。

今回の評価により実際にオンマシン評価機器として用いるための技術的問題点が具体的に変わった。一例としては①本体の軽量化、②真空排気時間の短縮、③真空排気系を含めたコンポーネント全体の更なる小型化、④更なる分解能の向上、⑤加工機の治具にあわせたシュラウド設計などが挙げられる。今後は以上の課題を本オンマシン型SEMに改良を加えることにより改善するよう検討する。

3-1 超小型SEM第2号機の開発

第1号機オンマシンSEMでの改善項目として挙げられた①アパーチャー交換の簡便化、光軸補正の簡略化等のメンテナンス性の向上、②真空排気時間の短縮、③分解能の向上を目的として改善を試みた。具体的な対策としては①メンテナンス性の向上については特にアパーチャーの交換時にEOC（“Electronic Optical Column”の略；電子ビーム鏡筒の意味；以後、EOCと表記）自体を完全に分解しないと交換できないという問題があったが、今回はこれらに対応するべく設計を見直した。②真空排気時間の短縮については現状市販されているTMP（“Turbo Molecular Pump”の略。ターボ分子ポンプを指す。以後、TMPと表記）の中でも最小サイズのTMPであるPFEIFFER社製TPD011をSEM本体に直付けすることにより真空コンポーネントの簡略化と真空排気時間の短縮を試みた。また、③分解能の向上はさらに静電レンズを二枚追加することにより二桁分解能の向上を目指す。

3-2 メンテナンス性の改善

図3に今回設計したオンマシンSEMの断面図を示す。図3に示されるように課題として挙げられていた分解能向上のため静電レンズを一段から三段へ変更するとともに各レンズ前にアパーチャーを設け、分解能の向上を図った。これにより分解能は $0.2\mu\text{m}$ は超えるものと推測される。メンテナンス性の向上については問題となったアパーチャーの交換が前回はEOCを一体で全部作ったためアパーチャー交換時にすべて分解する必要があった。それに対し、今回は図に示されるように各静電レンズ、デフレクターを鏡筒ごとに個別に外せる様にしており、交換する箇所の静電レンズを外すだけでアパーチャー交換は可能となった。

その反面、レンズを増やすことによる光軸の調整箇所が増えるが、これについては基本的に静電レンズ①、②は出荷時に合わせこんでおり、静電レンズ③の部分は基本的にデフレクターで電氣的に光軸調整を行うだけで対応し、フィラメント交換後の光軸調整も電子銃直下のアライナーで電氣的に調整することで調整作業の簡略化を図っている。

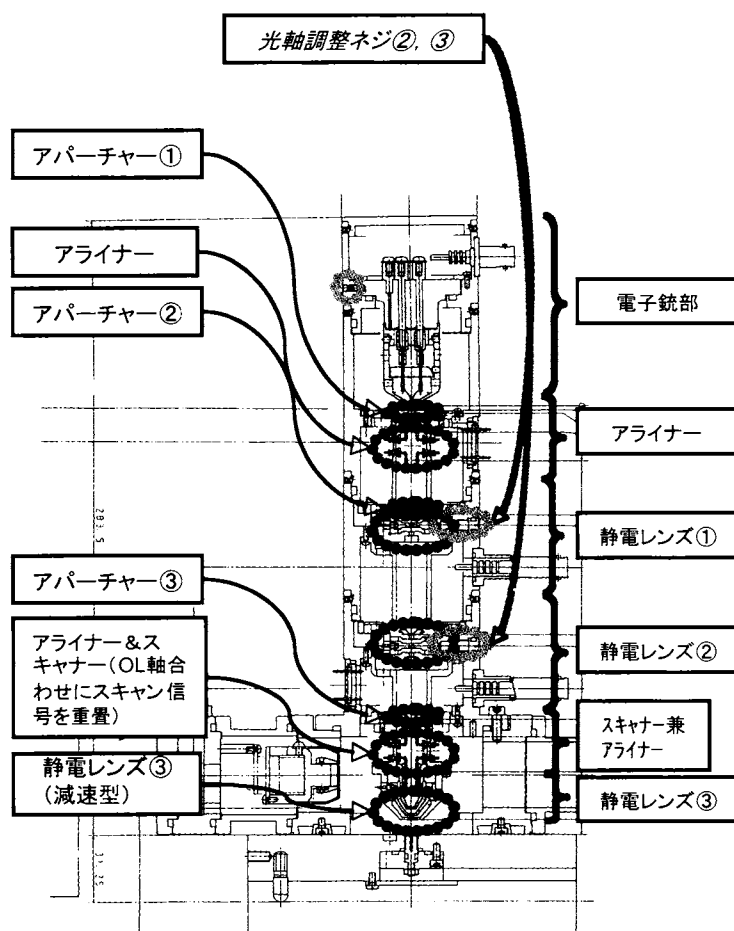


図3 オンマシンSEM2号機断面図

3-3 真空排気時間の短縮化

次に課題となっていた真空排気時間の短縮についてはEOC内の複雑な凹凸や本体から真空排気ポンプまでの距離が長いことにより当初の予想よりコンダクタンスが悪いことが原因と推測された。対策としてはさらに排気速度の高い大型のポンプを使用するか、もしくはできるだけ排気容積を縮小するとともにコンダクタンスを良くするために真空ポンプをできるだけ本体に近づけることが挙げられる。小型SEMのコンセプト上これ以上真空ポンプを大型化すると持ち運びが困難になってくることから排気速度は前回より劣るがさらに小型化したTMPを本体に直付けすることにより排気時間の短縮を目指した。図4にSEM本体に直付けしたPFEIFFER社製TPD011を示す。排気速度は従来の25l/secから10l/secと遅くなるが、サイズ、および重量は現在市販されているTMPの中で最も小さい。次に図5に本オンマシンSEMの真空排気特性を示す。オンマシンSEM一号機では観察可能圧力 5×10^{-3} Paに達するまで約200分かかっていたが、それに対し、二号機では排気速度は一号機の二分の一以下であり、容積は前回よりやや大きくなっているにも関わらず、観察可能圧力に達するまでの所要時間はわずか20分と十倍近く排気時間を短縮することが確認された。

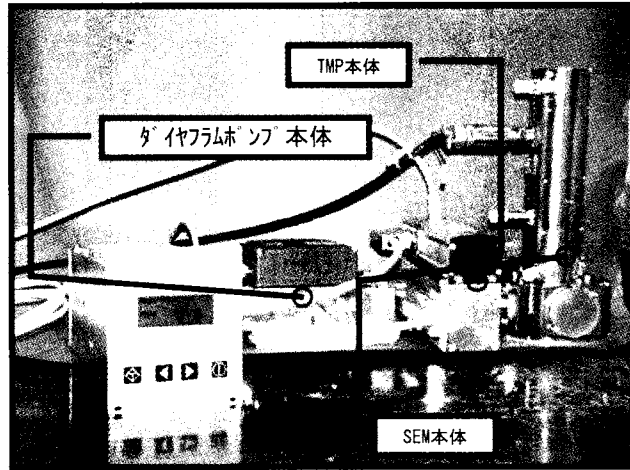


図4 オンマシンSEM2号機実機

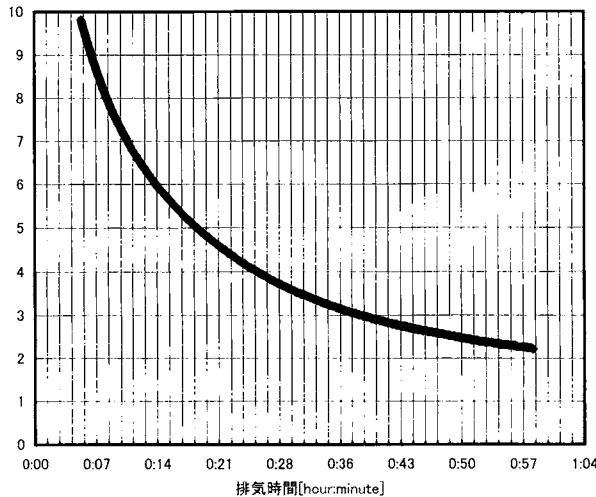


図5 オンマシンSEM2号機真空排気特性

※ 10^3 Paオーダーのみ抜粋

3-4 分解能の向上

次に図6にオンマシンSEM二号機にて撮影したSEM画像を示す。図に示されるように分解能は一号機に比べ格段に向上したものの、倍率2000倍の画像からもわかるように細かな振動が加わるためそれによる画像の乱れが観察される。これは通常TMPをベローズやゴム配管などを使って振動を防ぐようにしているが、今回はコンダクタンスの低下を防ぐため本体に直付けしたことにより振動がダイレクトに伝わるようになったことが原因と考えられる。この点については実際に振動量を観ながら振動を吸収できる緩衝剤の厚さを調整するか、もしくは比較的短いベローズを間に入れるなどの対策が望まれる。問題の分解能についてはTMPからの振動ノイズが入っているにも関わらず、おおよそ $0.67\mu\text{m}$ 程度と良好であり、振動対策、および各種調整を追い込めば $0.5\mu\text{m}$ 以下の分解能は得られるものと推測される。

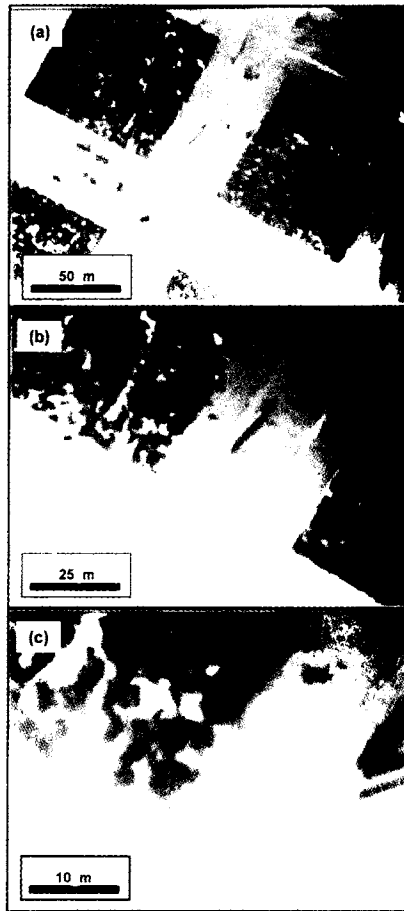


図6 オンマシンSEM2号機の二次電子像
(a)x400倍(b)x800倍(c)x2000倍

3-5 研究成果と今後の課題

以下に本研究によって得られた知見は以下の通りである。

- ①静電レンズの個数に合わせてアパーチャーの数も増えたが、各レンズを鏡筒ごとに分解可能なためアパーチャー交換の時間を大幅に短縮することができた。
- ②TMPを本体に直接配置することによって排気速度が従来の1/2以下であるにも関わらず排気時間を従来の1/10に短縮することができた。
- ③分解能についてはTMPから振動ノイズ、各部調整が十分でないにも関わらず、静電レンズ三段分の効果により最小分解能 $0.67\mu\text{m}$ を達成することができた。

以上のようにメンテナンス性、ユーティリティを改善しつつ、特性についても評価途中ではあるものの分解能は $0.67\mu\text{m}$ まで改善しており、今後の課題としては、振動対策を施すことによりさらなる分解能の向上が見込まれるなどさらなる発展が期待される。

4-1 シュラウドの開発

放電加工機などによる微細加工技術は日進月歩で開発が進められており、ナノオーダーで

の加工精度の要求は既にはじまろうとしている。本研究では東部大阪地区における微細加工技術の開発と平行してそれら微細加工切削物のその場観察技術の開発を行ってきた。昨年度納入されたオンマシンSEMは従来のように固定したチャンバーを持たず、通常のチャンバー内にはおさまらないような、例えば航空機の機体や船舶の船体などの微小欠陥の評価や切削加工物の評価への応用を検討してきた。しかしながら逆に非常に小さい試料については真空を保持するスペースが存在しないためそのまま評価することができなかった。今年度は納入されたオンマシンSEMを利用した放電加工機でのその場観察の際に試料が非常に小さい場合にシステム3Rホルダごと真空を封じ込め、その場観察できるサブシュラウドの設計、製作、およびその特性について報告する。

4-2 シュラウドの設計

現場からの要求として放電加工機から治具をはずすことなく、その場で観察できる必要がある。そのためにもまずはじめに加工機のテーブルサイズとホルダーについて調査を行なった。図7に実験に供した放電加工機のステージの実写真を、図8に微小加工物の固定に使用するSystem 3R マクロスーパーバイス 3R-613.4、およびマクロミニ52.3R-653の写真をそれぞれ示す。写真にあるようにステージ自体はほぼ12cm間隔で2cm程度の間隔があるためステージ自体に底板となるプレートを用意する必要がある。また、System 3R マクロスーパーバイス 3R-613.4、およびマクロミニ52.3R-653自体もそれなりに高さがあるためこれを完全に覆うためにはある程度の深さと試料サイズによってある程度調節できるようにする必要がある。これらを考慮に入れ、サブシュラウドの概念設計、および試作を行った。

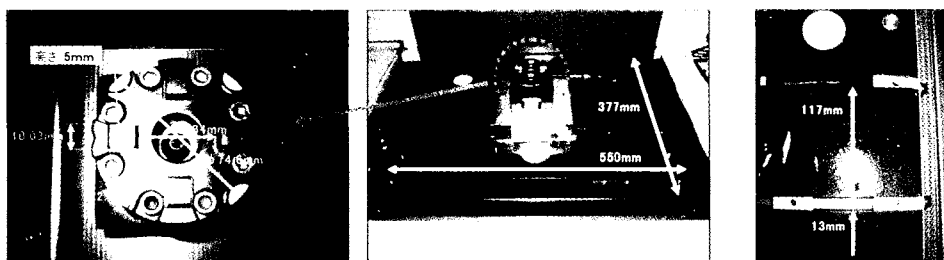


図7 放電加工機ステージおよびシステム3Rコネクタ一部

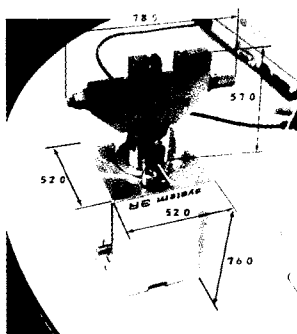


図8 System3R試料ホルダ部(マクロスーパーバイス3R-613.4およびマクロミニ52.3R-653)

図9に今回検討したサブシュラウドの検討案を示す。今回の検討案では設計案No. 01～03のようにオンマシンSEM自体を乗せる構造とEOC部分だけを移植する二種類が考えられる。設計案No. 01-02については本体の改造費が不要な以外にサブチャンバー自体から排気できるので排気時間の短縮化が期待できるが、構造上、上下動時の傾斜がスムーズに操作できないことがわかった。それに対し、設計案No. 03は上下動にベローズを使用しているため上下動がスムーズであり、コストも比較的抑えられることがわかった。設計案No. 04はほぼ鏡筒部分を設計しなおす必要があるため高コストになることがわかった。以上の結果を検討の結果、採用した最終設計案を図10に示す。原案は設計案No. 03が元になっているが、上下動の調節はナットではなく、稼動部分の接触面積をできるだけ減らして少ないトルクで動作できるように工夫した。また、真空排気時間の短縮には追加したターボポンプを現状の排気ユニットに並列に接続することにした。図4に導入後のサブチャンバーに接続されたオンマシンSEMの実物像、図6に同装置にて観察したSEM観察像を示す。図に示されるようにサブチャンバーを介することによる分解能の低下や不具合は特に見られず、良好な画像が得られた。

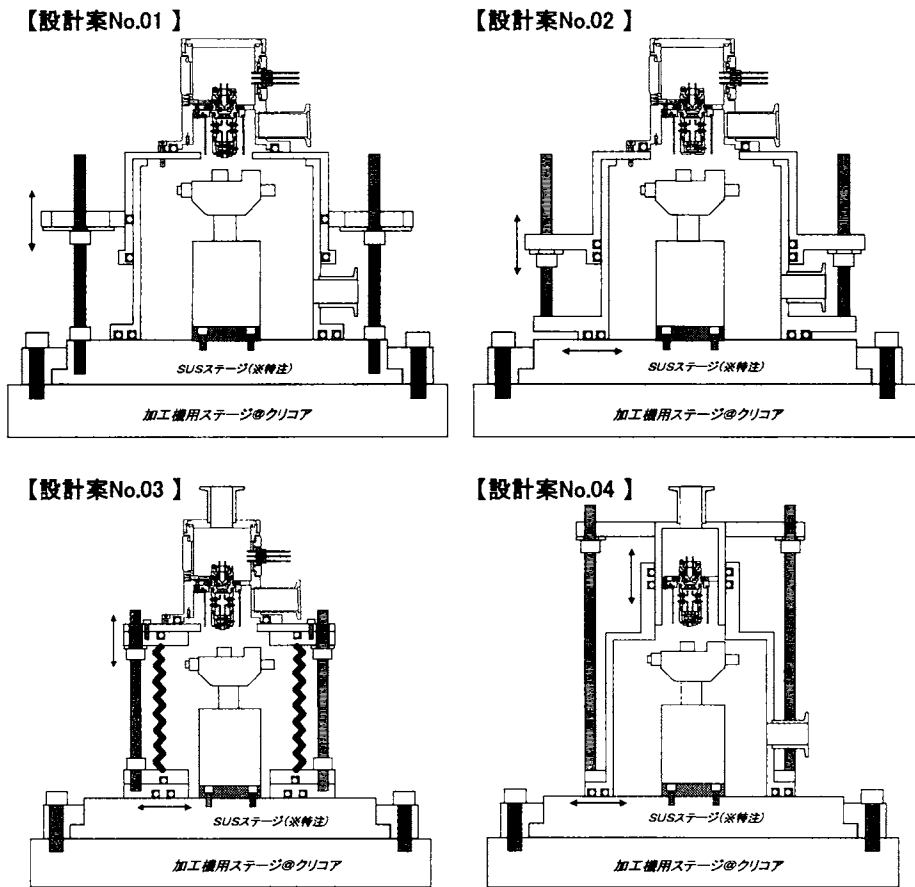


図9 各種サブチャンバーの概念設計図

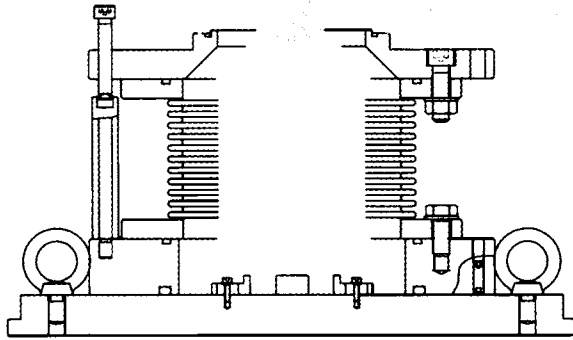


図10 サブシュラウド最終設計案

4-3 シュラウド構造の研究成果

本研究によりオンマシンの新たな用法、および観察対象物の幅を広げることができた。また、サブシュラウド部の形状を様々な対象物に合わせて用意することにより、例えば燃料パイプ等の円筒部や機体の翼部などの曲面にも対応できる可能性が示唆された。また、使い勝手としては実際の測長とは直接関係しないが、表面のあれ状態を確認するためには角度を傾けて観察できることが望ましく、この点については今後改善が必要である。

今後は各部のコンダクタンスを低減し、真空排気時間のさらなる低減を目指す必要がある。

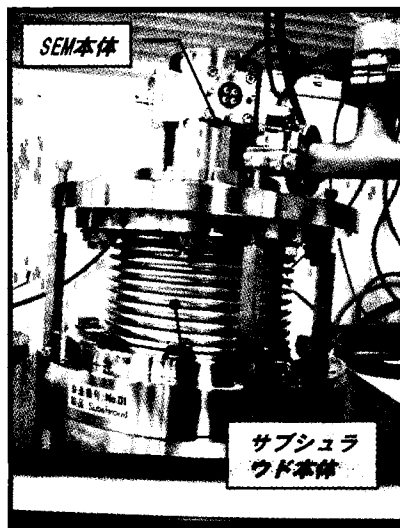


図11 サブシュラウド試作品

微細加工技術・ナノマテリアル技術

田中 武雄（工学部）

分担研究として、集束イオンビームによるナノ加工、ナノ材料開発、硬質ナノ材料などの成果をふまえ、より実用化へ向けた開発を進めるために、地域新生コンソーシアム研究開発事業地域ものづくり革新枠「三次元ナノ階層構造形成技術による高度機能部材の開発」を推し進め、微細金型技術開発・システム開発・評価技術開発などに取り組んだ。

当研究組織の研究開発期間を通して、磁気浮上テーブル技術と本学の集束イオンビームなどのナノ加工を融合させたミリ〜ミクロン領域のものづくり加工技術を開発し、微細金型加工を行った。本技術については、地元企業の微細加工技術・ナノテクプラットフォームを形成に寄与するものであり、また、微細化技術の実用化をより促進させるためには、金型製造時間の短縮化技術と融合させることが不可避である。本研究を通して、これまで微細金型技術開発の大きな課題であった金型製作の微細化と高効率化の問題が、共同開発企業の微細加工技術開発と金型素材の見直しならびにエッチング技術による工具電極開発により大幅な金型製造の切削加工時間短縮により解消した。さらに、微細金型技術ポテンシャルを上げるために中小企業技術と本学のFIB加工技術を融合させることによって独自のミリ〜ミクロンサイズ微細複合金型加工技術の開発を進めた。これにより、ミリ加工領域の切削加工技術による母材金型加工とFIB加工によるミクロン領域複合加工及びナノプリント成型の一連の微細加工プロセスが実現した。さらに、ナノテクや微細加工技術を地域企業に普及させるためには、ナノ・微細スケールの評価技術開発が重要な問題である。そのためには、本学が保有する透過電子顕微鏡評価装置、分析装置のような研究室に設置されている評価装置以外に、ナノテクノロジーを浸透させてゆくためのそれぞれの製造現場に合わせた評価技術が不可欠である。本開発項目においては微細金型加工直後、もしくは加工途中の製品加工面の評価を行うための技術開発を進めた。その目標は、切削加工の途中で金型のバリの状態や切削面の表面仕上がりなどをその場で観察できる汎用性が高いオンマシン型超小型電子顕微鏡（SEM；Scanning Electron Microscope）によるその場観察技術ができるナノテク評価措置の開発を進めた。本研究期間において、オンマシンSEMの設計試作を行うとともに、特性の向上開発を行った。その実用性と操作性の改善を試みた超小型SEMについて、現状で最小分解能； $0.67\ \mu\text{m}$ の性能を得た。また、この超小型SEMをオンマシン型として稼働させるために、システム3Rホルダごと真空を封じ込めるためのサブシュラウドの設計を製作し、オンマシン評価技術の検証に供した。コンダクタンス低減等、ブラッシュアップすべき技術開発要素も残るが、オンマシン型超小型SEMの稼働検証ができたことの意義は大変大きい。本オンマシン型超小型SEMは、おそらく世界初のチャンバーレスSEM製品が開発できた。

粉体プラズマ溶接によるNiAl金属間化合物肉盛層の形成

入澤 毅（工学部）

産業機械は高効率化や環境問題などの観点から、使用条件が一段と過酷になり、耐摩耗性、耐熱性、耐酸化性や耐腐食性などの耐環境性の向上が求められるようになってきた。

産業機械や構造体を形成する金属材料においても、より優れた耐環境性が求められている。耐環境性は主に材料表面で求められる特性であり、表面被覆処理によって向上が可能である。

金属材料への表面被覆にはCVD、PVD、メッキなど様々な方法があるが、対象部材の寸法や形状に制限がなく数十ミクロンから数ミリ単位での成膜が可能な溶射法および、容易に数ミリ単位での厚膜形成が可能な粉体プラズマ溶接（PTA）に着目した。ここではPTAを用いた肉盛溶接について報告する。

次世代の金属材料として有望視されている材料の一つに金属間化合物がある。金属間化合物は高温強度、耐熱性、耐酸化性、軽量性などの特性に優れ、多様な性質を有することで幅広い応用が期待され研究が進められている。金属間化合物は数百種類あるが、その中でもNiAl金属間化合物は耐熱性、耐酸化性に優れており、耐熱材料として着目されている。表面被覆処理の一つである肉盛溶接法を用いてNiAl金属間化合物の肉盛層を形成することができれば、異種材料に優れた耐熱性、耐酸化性を付与することが可能となる。

本研究では、燃焼合成法で作製したNiAl粉末を用いて、PTAによるNiAl肉盛層の形成を目的とした。NiAlを直接Fe系基材に肉盛溶接すると、NiAl肉盛層と基材との熱膨張の違いによる熱ひずみの発生や、基材への肉盛層の溶け込みによる肉盛層の結晶粒界へのFeの濃化による脆化が考えられる。脆化された肉盛層では熱ひずみを吸収しきれず、延性低下によるクラックの発生が推測され、中間材を用いた応力の緩和が必要となる。

そこで、基材に球状黒鉛鋳鉄（FCD）および溶接構造用圧延鋼（SM400）を用い、中間層にNi自溶合金JIS 4種（Ni-SFA）を用いて、クラックの無いNiAl肉盛層が得られる条件について検討した。

その結果、FCDおよびSM400基材へのPTAによるNiAl肉盛層の形成は可能であることがわかった。浸透探傷試験からSM400を基材としたとき肉盛層表面にクラックが認められた。一方、FCDを基材に用いると、SM400に比較して肉盛層表面のクラックの発生は減少したが完全に無くすることはできなかった。

基材と肉盛層との応力の緩和を目的としてNi-SFA中間材のみをPTAで肉盛溶接し、その上にNiAlの肉盛溶接を行った場合にも肉盛層を形成することができた。中間層を用いて得られたNiAl肉盛層にはクラックの発生が見られなかった。中間層に用いたNi-SFAは硬度が比較的低いことおよび、基材からのNiAl肉盛層へのFeの拡散が抑制されることからクラックの無い肉盛層を得ることができたと思われる。

これらの基礎的研究の結果は、NiAl金属間化合物が表面被覆材料として使用できる可能性を示唆しており、今後も研究を継続し耐熱、耐腐食材料としての実用化について検討を進めて行きたい。

歯付ベルトの効率的な設計条件と性能向上に関する研究開発

上田 博之（工学部）

1. 研究目的

現在、省資源・省エネ時代にあり各種機器においても高効率化が望まれ、係わる器機の動力伝達系においても歯車やチェーン駆動に替わり高効率で構造が簡便・軽量の歯付ベルトの利用が増えてきている。歯付ベルトは高い伝達効率を有するが、走行条件によって伝達効率が低下することが知られている。その場合、ベルトの損失が原因で原動機への負担が大きくなり機械の機能に支障をきたすことがある。伝達損失の発生原因を解明し、その改善を施すことで歯付ベルトの更なる高効率化が可能となる。

2. 供試ベルトとプーリについて

実験に使用したベルトとプーリの歯形は円弧歯形で、公称ピッチ $t_p=8$ mmである。ベルトの歯ゴムはクロロプレンゴム、心線がグラスファイバー、歯数 $z_p=100$ 、幅 $w_p=20$ mmである。プーリは歯数32で材質がS45Cである。また、歯数比は1 : 1である。

3. 実験方法

歯付ベルトの伝達損失の実験装置を試作する。駆動部は供試ベルトに対する振動を少なくするためにインバータモータを装置本体から分離して取付ける。速比1 : 50の減速機で減速させ、歯付プーリの回転速度を1周8秒とした。取付張力は、従動軸受台を張力調整ボルトにより移動させ、軸間距離を変化させることによって作用させ、ロードセルで軸荷重として検出した。伝達トルクは、従動軸端に取付けたパウダークラッチによって作用させ、原動軸と従動軸に取付けたトルク検出器によって検出する。検出結果はトルクコンバータからウェーブフォームアナライザに出力し、損失トルクを得る。

4. 研究結果

先ず、無負荷時における歯付ベルトのピッチ差やベルト幅、厚さがベルト損失に及ぼす影響について検討した。さらに、伝達トルク作用時の伝達損失について検討した。これらの結果から歯付ベルトの伝達損失の発生原因を解明し、次の改善を施すことで歯付ベルトの更なる高効率化への可能性を得ることができた。

- (1) 歯付ベルトと使用する軸受の摩擦損失は取付張力を低く設定することで低減できる。
- (2) 歯付ベルトの伝達損失は主にかみあい損失とベルトの曲げ損失である。
- (3) かみあい損失はピッチ差を小さく設定することで低減する。
- (4) ベルトの曲げ損失はベルトの幅と厚みを小さくすることで低減する。
- (5) 伝達効率は取付張力を低く設定し、大きな伝達トルクを作用させたとき向上し、極端に伝達トルクが小さな領域を除いて95~98%程度が得られる。

搬送用ロボットアームの駆動用に歯付ベルトを用いた動きの研究開発

正逆回転によるはずば歯付ベルトの回転伝達誤差（ベルト側面誤差の影響、計算結果）

籠谷 正則（工学部）

液晶用ガラス基板やウェハー搬送用ロボットアームの駆動には、軽量化や省エネおよび低騒音などの利点から歯付ベルトが使用される場合がある。このとき、ロボットアームのハンドは、往復直線運動する際の位置決め精度が求められる。このような位置決め精度の向上のために、はずば歯付ベルトを使用すると、運転騒音や1ピッチを周期とする回転伝達誤差の低減に有効である。しかしながら、はずば歯付ベルトは、歯すじのねじれ角により、軸方向移動を生じる。この際、ベルト側面がプーリフランジに接触したとき、ベルト側面の製作誤差が回転伝達誤差に影響を及ぼすことが考えられる。

これまでに、プーリ歯数比1で、伝達トルクが作用するはずば歯付ベルト伝動装置において、フランジ付プーリが準静的領域で正回転から逆回転した場合のベルト側面誤差を考慮した回転伝達誤差について理論解析を行い、数値計算した結果、いくつかの知見を得た。

本報告では、理論解析の有効性を確認するため実験を行うとともに、伝達トルク、取付張力、ピッチ差、プーリ整列誤差が回転伝達誤差に及ぼす影響について検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 伝達トルクの増加とともに回転伝達誤差は増加する。
- (2) 取付張力は高く設定した方が回転伝達誤差は減少する。
- (3) 原動側のピッチ差は、従動側のそれよりもある程度小さい方が回転伝達誤差を低減できる。
- (4) プーリの整列は、原動側のベルトがフランジに早く接触するように設定すれば回転伝達精度が向上する。

なお、このことについて、日本機械学会 MPT2007シンポジウム〈伝動装置〉講演論文集、No. 07-15(2007)、pp. 219-222にて、発表した。

高温過熱水蒸気発生システムの構築

高温過熱水蒸気を用いた高機能炭化物の作成

山田 修（工学部）

本研究では、燃焼合成によって合成された耐熱・耐食性に優れた導電性多孔質ヒーターを高周波加熱する方法（IH方式）およびマイクロウェーブ加熱する方法（MW方式）の開発により、いずれも1000℃におよぶ高温過熱水蒸気発生が可能となった。またこの過熱水蒸気の実用展開として、比表面積の大きな高機能炭化物の作成を行うと同時に、過熱水蒸気による竹繊維の抽出方法としても検討を行った。

1) 高温水蒸気に対して高い耐食性とマイクロ波吸収特性を併せ持つセラミックスをヒータ部材として用いることにより、ヒータ温度に近い高温過熱水蒸気を安定して発生させることができ、マイクロ波加熱を用いた過熱水蒸気発生という本装置のコンセプトを実証することができた。本装置は、従来の誘導加熱による過熱水蒸気の製造装置に比べ、①マイクロ波照射によりセラミックスヒータを加熱するので、ヒータ形状に制限がなく熱交換に優れたヒータ部材とすることで極めて高い温度制御性を実現することができる、②耐熱性の高いセラミックス製ヒータを用いるため1000℃を超える過熱水蒸気発生が可能である、③耐食性の高いセラミックスを配管及びヒータ部材として用いるので汚染が少なく極めて純度の高い過熱水蒸気を製造することができるなどの優れた特性を持ち、有害物質や産業廃棄物の高温分解、医療廃棄物や医療器具の高速殺菌洗浄、バイオマスの水蒸気改質によるガス化、活性な高温水蒸気を反応場として利用した高機能粉末の創製など幅広い分野での応用が期待される。

2) 過熱水蒸気を用いた竹繊維の抽出手法を提案し、いくつかの抽出条件の中から、最適な条件について検討を行った。また既存の処理方法と抽出時間・強度の面において評価を行い、過熱水蒸気を用いた処理方法の利点を確認した。その結果、①過熱水蒸気を用いた竹繊維抽出方法と既存のアルカリ処理の比較を行った結果、過熱水蒸気を用いた場合、竹繊維の強度を損なう事無く抽出時間を短縮することができた。これより、過熱水蒸気を用いた抽出方法の利点を確認できた。②過熱水蒸気を用いた処理方法では、既存の処理方法に比べ、アルカリ水の消費量が少ないだけでなく、廃棄の際のアルカリ水の濃度がより薄いままであることがわかった。このため過熱水蒸気用いると環境負荷を低減させることができた。③過熱水蒸気を用いた竹繊維抽出方法の最適な抽出条件は、抽出時間が最も短く、引張強度が条件を満たしている、過熱水蒸気の温度270℃、アルカリ水の濃度1規定の時で抽出時間は39分であることを明らかにした。