

フロンティア技術開発研究

Research and development of frontier technologies

主任研究員名：田中 武雄

分担研究員名：上田 博之、籠谷 正則、山田 修、吉川 浩美

中間報告の総括

「産業」を大学名に冠する本学が、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創出などを進めることが重要である。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、新規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、内外の技術交流をすすめ、フロンティア技術を開発研究し、本学の産学連携に貢献しようとするものである。

本年度の研究成果をまとめると下記の通りである。

- (1) 本学の有する集束イオンビーム（以下、FIB）微細加工技術を用い、半導体プロセスでは加工が困難な材料や複雑三次元構造の微細加工法の開発を進めた。主として、これまでFIBでは困難であったマイクロレンズアレイ金型用の球面加工に関する技術開発を進めた。その結果、平滑曲面の加工を可能にできた。また、フェムト秒レーザーによる微細加工技術として、レーザー照射部位周辺が熱的・化学的損傷を受けない多光子吸収加工法の研究を進め、材料に構造変化を生じさせないような多光子吸収加工が可能であることを明らかにした。さらに、これらの微細加工を進めるに当たって必要となる評価技術として、オンマシン型（真空チャンバーレス）の手のひらサイズの電子顕微鏡開発に取り組み始めた。初年度は基本設計とプロトタイプ試作まで進め、画像を取得した。これらの研究は、経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業に生かした。
- (2) 近年の地球環境問題・エネルギー問題に対応して行くために、高温過熱水蒸気発生システムの構築によるバイオマスを用いた水素製造・可燃性ガス処理技術の開発を進めた。その結果、1000℃のような高温の過熱水蒸気により、杉ペレットバイオマス原料から高カロリー合成ガスが安定して得られることがわかった。バイオマス原料中の原料カーボン及び硫黄のガスへの移行率は86.4%もの高い値を示すことを明らかにした。これにより、高温過熱水蒸気発生システムの後段にガスエンジンやガスタービンを設置したエネルギーシステムが構築できることが示唆された。また、食品残渣（チョコレートなど）

からも原料中炭素のガスへの転化率が85%以上を実現するにはガス化部温度 $>950^{\circ}\text{C}$ が必要であることが判明した。

- (3) 軽量化や省エネおよび低騒音などの利点から、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用いられる歯付ベルトの効率的な設計条件と解析に関する研究を進めた。その結果、伝達トルク作用時の伝達損失については、取付張力を低くすることにより低減し、95~98%もの高い伝達トルクが実現できた。また、回転伝達誤差についての理論解析を行った結果、正逆回転によるはずば歯付ベルトの回転伝達誤差は、正回転時の際にはベルト側面誤差による原動側と従動側のベルトの軸方向移動量の差異により、逆回転時の際にはベルトの軸方向移動量の差異とベルト歯とプーリ歯の接触状態の変化によって発生するなどのことを明らかにした。

以上、フロンティア技術として我が国の産業に貢献できる技術開発を進めることができた。

微細加工技術・ナノマテリアル技術

田中 武雄（工学部）

分担研究課題の中間報告

筆者は、現在、集束イオンビーム（以下、FIB）スパッタリング及びFIB支援蒸着など機能を用いた複雑形状の超微細構造加工プロセスの開発に取り組んでいる。特に、筆者の進めているFIB微細加工技術は、半導体プロセスでは加工が困難な材料や複雑三次元構造の微細加工を可能にしてきた。

本年度のFIB微細加工技術については、1次元マイクロ加工、2次元マイクロ加工及び3次元マイクロ加工技術の基本技術を開発することとした。3次元加工については、主として液晶プロジェクタ光利用効率向上素子などに用いられている光学系の1つであるマイクロレンズアレイ金型用の球面加工に関する技術開発を進めた。

その結果、1次元加工では直径約120nmのカーボンワイヤが、2次元加工では厚さ約100nmのマイクロ平板を作成できた。また、三次元球面加工では、今回の実験条件範囲では完璧な球面を作成することはできなかったが、これまでFIBでは不可能とされてきたマイクロレンズアレイ金型の加工が不可能ではないことが示唆された。平滑曲面がFIBで加工できることがわかったことの意義は大きい。

また、スパッタリングを用いた微細配線金型用のためのサブミクロン幅の超微細溝パターンニング技術開発を進め、金型試作に成功した。また、同じFIB微細加工装置を用いてマイクロCVD反応を発生させることにより、カーボンのナノサイズのワイヤーボンディング加工が可能であることが示唆され、新しいナノ加工技術としての応用の可能性が見いだせた。

一方、フェムト秒レーザーによる微細加工技術については、超高強度超短パルスレーザーを集光照射すると、熱伝導が起こる前に瞬時にエネルギーが注入されるため、照射部位周辺が熱的・化学的損傷をほとんど受けないという多光子吸収加工が生じる閾値の調査を進めた。これにより、材料に構造変化を生じさせない多光子吸収加工と、従来の熱的加工を制御した微細加工ができるようになった。

本年度は、閾値よりも高い高低エネルギー光を用いることにより、物質内部に複雑微細孔空け加工が可能になった。しかも、微細孔はレーザー光が照射できるところであれば任意の3次元複雑形状に微細経路を形成することが可能であることがわかった。今後は、この技術を発展させて、物体内部に微細配線できるような技術にして行く計画をしている。

また、上記の微細加工に関連して必要になってくる評価技術として、オンマシニング型（真空チャンパーレス）の手のひらサイズの電子顕微鏡開発に取り組み始めた。初年度は基本設計とプロトタイプ試作まで進め、画像を取得した。

これらの研究は、経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業に生かした。

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)

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。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起すことがある。昨年の前報において、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影響することを報告した。一般に歯付ベルトは伝達トルクが作用する。本年度は伝達トルク作用時の伝達損失について検討する。このように歯付ベルトの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。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 $t_b = 8 \text{ mm}$ である。ベルトの歯ゴムはクロプレンゴム、心線がグラスファイバー、歯数 $z_p = 100$ 、幅 $w_b = 20 \text{ mm}$ 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。

まず、歯付ベルトの伝達効率 η に及ぼす伝達トルク T_q の影響について検討した。取付張力 T_i は低く設定することで高い効率を得られる。 $T_q = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$ 以下で η は急激に低下するが、 $T_q = 2 \text{ N}\cdot\text{m}$ 以上が作用すると、 η は95~98%の比較的安定した値となる。続いて、ベルト損失 f_b と伝達トルク T_q の関係について検討した。取付張力が高くても低く設定されても f_b は T_q の増大によって僅かに増加する程度である。取付張力の伝達効率への影響を検討した。 $T_q = 8 \text{ N}\cdot\text{m}$ の場合、高い取付張力の領域で僅かに η が低下傾向を示すが、取付張力の影響を受けずに $\eta = 98\%$ 以上となる。極めて小さい $T_q = 0.2 \text{ N}\cdot\text{m}$ の場合、 η は低くなり高い取付張力で更に減少する傾向を示す。更に、ベルト損失と取付張力の関係について検討した。 f_b は、 $T_q = 0.2 \text{ N}\cdot\text{m}$ と $T_q = 8 \text{ N}\cdot\text{m}$ 共に T_i に比例した傾向を示す。

まとめると、伝達トルク作用下における取付張力とトルクが伝達効率に及ぼす影響を実験的に検討した結果、(1)ベルト損失は、伝達トルクによる変化は小さく、取付張力に比例して増大する。(2)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

籠谷 正則（工学部）

分担研究課題の中間報告：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、理論解析）

液晶用ガラス基板やウェハ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。

本研究では、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、以下の結論を得た。

(1) 正回転時の回転伝達誤差は、ベルト側面にフランジが接触した場合、ベルト側面誤差による原動側と従動側のベルトの軸方向移動量の差異により発生する。また、フランジに接触する際、ベルト側面の接触位置の違いにより回転伝達誤差量は異なるが、その後はベルト1周を周期として同様に発生する。

(2) 逆回転時の回転伝達誤差は、起動時に伝達トルクが作用したことによるベルト張力の変化と、原動側と従動側のベルトの軸方向移動量の差異と、これらに伴うベルト歯とプーリ歯の接触状態の変化によって発生する。また、正回転時のプーリ停止位置により、逆回転時の回転伝達誤差量は異なる。

なお、このことについて、日本機械学会第6回基礎潤滑設計部門講演会講演論文集、No.06-6(2006)、pp.37-40にて、発表した。

高温過熱水蒸気発生システムの構築

バイオマスを用いた高温過熱水蒸気改質による水素製造技術の開発

山田 修（工学部）

1) SHSガス化装置の概要

SHSガス化装置は、バイオマス供給機、水蒸気過熱器、ガス化炉、ガス冷却器、気液分離器、ブロウ、流量測定用補器（水分除去器、ガスフィルター）にて構成されている。バイオマスはホッパーに充填され、振動フィーダーにてガス化炉に連続投入される。一方、水蒸気はヒーターを充填した水蒸気過熱器を通過して1000℃以上の過熱水蒸気となる。バイオマスと過熱水蒸気がガス化炉内で接触し、バイオマスは水蒸気の保有エネルギーにて加熱・ガス化する。また、水蒸気の一部は熱分解反応に寄与して自身も分解する。ガス化炉から出たガスおよび余剰水蒸気は、ガス冷却器で水蒸気が凝縮する100℃以下となるまで冷却し、ガスのみを捕集する。ガス化炉温度維持用の燃焼設備やガス洗浄・熱分解装置を簡素化できるシンプルな装置である。

2) 試験方法

バイオマス原料として用いた杉ペレットは、 ϕ 5 mm × L 5 ~ 10 mm程度の円柱状であった。試験条件としては、過熱水蒸気温度が1000℃となるように設定し、S/C=2.1となるような割合でバイオマスと過熱水蒸気を接触させた。ガス発生量は、乾式ガスメータにて計量した。ガス組成 (H_2 、 CO 、 CH_4 、 CO_2) の濃度測定にはTCDガスクロマトグラフを用いた。タール、ダストのサンプリングおよび測定は欧米6研究機関で策定されたバイオマス由来ガス・タール・ダストの採取・測定ガイドラインver. 3.3に準じて実施した。イソプロパノールおよび過酸化水素水に吸収された分を全硫黄化合物とした。また、硫黄化合物のうち、 H_2S はガスクロマトグラフィ、 COS は検知管にて別途定量した。

3) 試験結果

生成量として平均1.37m³N/kg-原料の合成ガスが発生した。原料カーボンのガスへの移行率は86.4%であり、高い値となった。合成ガスの低位発熱量は平均10.524kJ/m³Nであった。また、変化量は、経過時間120分目が6.4%と若干高かったが、それ以外は±4%以内で、高カロリーな合成ガスが安定して得られた。反応部ガス出口における合成ガス中の微量ガス分析結果として、硫化水素濃度は54.8mg/m³Nであった。この値から求めた原料中の硫黄量の合成ガスへの移行率は炭素のそれとほぼ一致しており、原料中に含まれる硫黄成分は合成ガスに移行することが明らかとなった。また、他の腐食成分については塩化水素濃度3.3mg/m³N、アンモニア濃度28.1mg/m³Nであり、硫化水素も含め低濃度であることから、いずれも無処理で後段にガスエンジンやガスタービンを設置できることが示唆された。

高温過熱水蒸気発生システムの構築

食品残渣の可燃性ガス化処理

吉川 浩美（短期大学部）

1) 過熱水蒸気ガス化システム

バイオマスは賦存量が現在のエネルギー消費量の1割程度と小さいこと、エネルギー密度が小さく収集にコストがかかることを考慮すると大規模施設が成立する立地点は限定され、むしろ中小規模施設を各地に建設することが資源利用の観点からは望ましい。一方で、小規模設備では効率が低いといった問題があることから、小規模でコストが安く、かつ効率の良い装置を開発する必要がある。本装置では、高温の純粋な過熱水蒸気のみでバイオマスをガス化させるシステムを採用した。通常の熱分解炉では空気と燃料が投入されるため、通過後のガスは窒素や二酸化炭素濃度が増加し、ガス量は増えるが薄くて低カロリーガスとなるが、過熱水蒸気によって熱分解することができれば、高カロリーガスが得られる。また、ガス化は、昇温速度の影響が大きく、単位質量当たりの保有エネルギーの大きい水蒸気を熱媒体として利用することで、原料の昇温速度が大きくなり、タールやダストの生成を抑制してガス収率が高くなる。さらに、水蒸気の投入によって軽質炭化水素等を原料として水素および一酸化炭素が得られる水蒸気改質反応が起こるといった利点が期待できる。ここでは現在開発中である過熱水蒸気ガス化システムを開発して、食品残渣としてチョコレート为原料に実験を行った。

2) チョコレートガス化

原料として用いたチョコレートは“m&m's ミルクチョコレート”であり、 $\phi 14 \times t 7$ mm程度の円状であった。チョコレートを原料としたガス化は、ガス化部温度が 950°C から 850°C へと 100°C 下がっただけでガス転化率が80%から25%まで低下し、温度の影響を受けやすい傾向が見られた。SHSガス化装置は『タールやダストの生成を抑制して原料のほぼ全てをガス化』をコンセプトとしていることから、チョコレートを原料とした運転における温度条件として、原料中炭素のガスへの転化率が85%以上を目指すのであればガス化部温度 $>950^{\circ}\text{C}$ が必要であることが判明した。

3) 物質・エネルギー収支

チョコレート4.20kgから1.88kgの熱分解・水蒸気改質ガスが発生した。チョコレート4.20kgの低位発熱量は13.62kWであり、熱分解・水蒸気改質ガスの低位発熱量は7.34kWであった。原料エネルギー（低位発熱量）の54%しかガスエネルギー（低位発熱量）に変換されず、変換効率は低かった。また、SHSガス化装置は熱源である水蒸気を過熱する際に電力を使用するシステムとなっている。実際、7.34kWのガスを得るために高周波誘導加熱装置の電源として6.5kWの電力を使用した（ボイラーは排熱利用により水蒸気を作ることが可能であるとしてここでは言及しない）。