

## フロンティア技術開発研究

### 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

「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重要である。

本研究組織では、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。

平成17年度の分担研究は次の課題について実施された。

広領域分野名：フロンティア技術開発研究

分担研究課題及び分担研究者名：

- (1) 微細加工技術・ナノマテリアル技術 分担研究者；田中武雄
- (2) 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 分担研究者；山田 修
- (3) 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自動車排ガスの分解・無害化技術の開発 分担研究者；吉川浩美
- (4) 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 分担研究者；籠谷正則
- (5) 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 分担研究者；上田博之

本年度の分担研究の内容については、個別の中間報告に譲るが、当研究会の活動を通じて、経済産業省等の実施する地域新生コンソーシアム等、学外への発展的な研究開発の取り組みにつながることができた。このことは、本学として極めて大きな意義のある成果につながったと考える。

## 微細加工技術・ナノマテリアル技術

山中 武雄(工学部)

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、筆者が進めている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微細加工技術では、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ターニング技術を進め、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になることが示唆され、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。さらに、フェムト秒レーザーについては、大面積ナノ周期構造加工について検討を進め、ナノマテリアル表面機能化について検討を始め、現状の工学レンズ系でもナノ周期構造化は可能であり、可視光の波長オーダーのピッチを持つ周期構造（テクスチャ）が自己組織的に形成されることを明らかにした。今後、大面積化を目的にシリンドリカルレンズを導入することとした。

これらの成果をもとに、さらに新しいナノ・微細加工技術開発を進める予定である。

# 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 (トルク作用時歯付ベルトの伝達損失)

上田 博之(工学部)

## 1. 緒言

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こすことがある。前報<sup>(1)</sup>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。このような場合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。

本研究において、伝達トルク作用時における取付張力と伝達トルクが歯付ベルトの伝達損失に及ぼす影響について検討した。

## 2. 歯付ベルトとプーリー

実験に使用したベルトとプーリーの歯形は円弧歯形で、公称ピッチ  $t_b=8$  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  $w_b=20$  mm である。プーリーは歯数 32 で材質が S45C である。また、歯数比は 1:1 である。

## 3. 実験装置と実験方法

図 1 に、歯付ベルトの伝達損失の実験装置を示す。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離して取付け、動力を V ベルトで装置本体へ伝える。速比 1:50 の減速機で減速させ、歯付プーリーの回転速度を 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

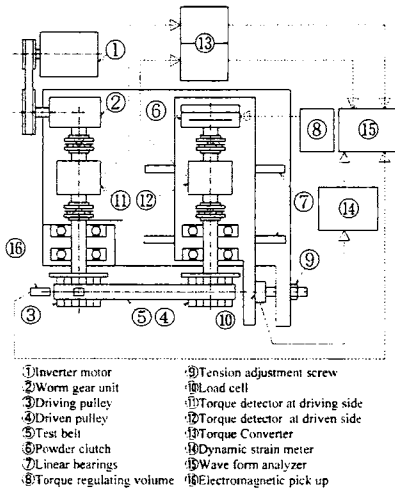


Fig. 1 Experimental apparatus for Transmitted Loss

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、データ処理した。

## 4. 実験結果の比較検討

図 2 に、歯付ベルトの伝達損失モデルを示す。原動側にトルク  $T_{qv}$  が、従動側にトルク  $T_{qn}$  が作用し、歯付ベルトに張り側張力  $T_t$  とゆるみ側張力  $T_s$  が生じる。原動側かみあい始めとかみあい終りのベルト歯に歯荷重  $F_{(1,1)}$  と  $F_{(1,n)}$  が、従動プー

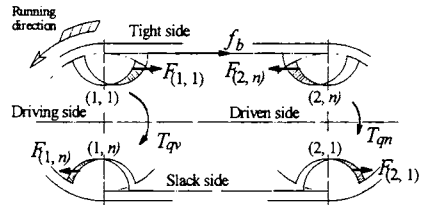


Fig. 2 Model of transmitted loss in synchronous belt

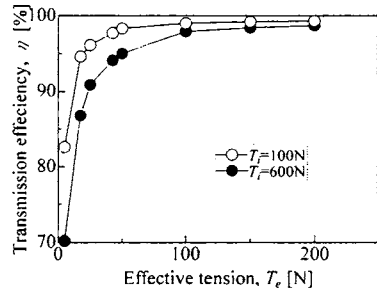


Fig. 3 Effect of torque on transmission efficiency

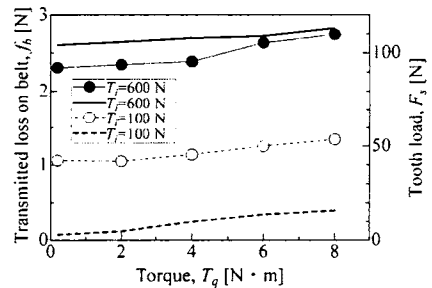


Fig. 4 Relationship between driving loss and transmitted torque

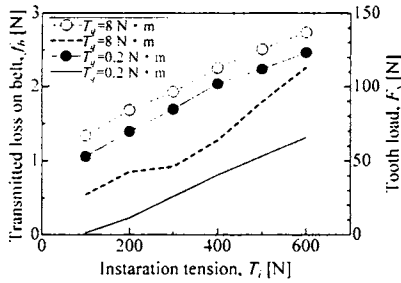


Fig. 6 Relationship between driving loss and installation tension

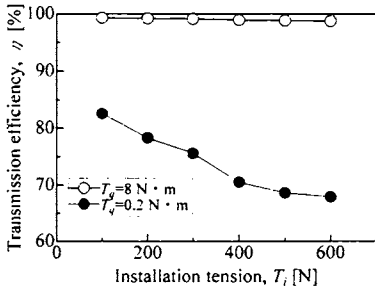


Fig. 5 Effect of installation tension on transmission efficiency

のそれらのベルト歯に  $F_{(2,1)}$  と  $F_{(2,n)}$  が作用する。伝達効率  $\eta$  は、 $\eta = T_{gr} / T_{qv}$  として求める。ここで、 $T_{qv}$  は、軸受によるトルク損失  $T_j$  を差し引いた値である。ベルトの曲げやかみあいによるベルト損失  $f_b$  が作用し、 $T_{qv}$  と  $T_{gr}$  の間に差を生じる。 $f_b$  は  $d_p$  をピッチ円直径とし、次式により求める。

$$f_b = 2(T_{qv} - T_{gr}) / d_p$$

図3に、歯付ベルトの伝達効率に及ぼす伝達トルクの影響を示す。横軸に伝達トルク  $T_q$  を、たて軸に伝達効率  $\eta$  を示す。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  $\eta$  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、伝達効率  $\eta$  は 95~98% の比較的安定した値となる。

図4に、ベルト損失とトルクの関係を示す。 $T_i = 600\text{N}$  の  $f_b$  は  $T_i = 100\text{N}$  のそれよりも大きく、図3における  $T_i = 600\text{N}$  の伝達効率  $\eta$  が  $T_i = 100\text{N}$  のそれよりも下回ることになる。それぞれの  $T_i$  で  $f_b$  は  $T_q$  の増大によって僅かに増加する程度である。このため、図3における  $T_q$  の小さな領域で  $\eta$  が低下している。図4のたて軸右側の歯荷重  $F_s$  は荷重分担の数値計算結果<sup>(2)</sup> から求め、図2における歯荷重  $F_{(1,1)}$ 、 $F_{(1,m)}$ 、 $F_{(2,1)}$ 、 $F_{(2,n)}$  の4歯の絶対値の和で求めている。実線と破線はそれぞれ  $T_i = 600\text{N}$  と  $T_i = 100\text{N}$  の  $F_s$  を示す。ここで、 $F_s$  はベルト歯のプリー歯

へのかみ込み、かみ外れ時の摩擦仕事に係る荷重と考えられ、 $f_b$  の傾向と比較する。 $T_i = 100\text{N}$  の場合、歯荷重  $F_s$  は極めて小さく、ベルト歯(1,1)、(1,m)、(2,1)、(2,n)におけるかみあいによる摩擦仕事も小さいことより、 $f_b$  も小さな値であると考えられる。 $T_i = 600\text{N}$  の場合、荷重分担が不均等であるため  $F_s$  は大きくなるが  $T_q$  の増大によって、図2に示す張り側で歯荷重  $F_{(1,1)}$  と  $F_{(2,n)}$  が増し、ゆるみ側で  $F_{(2,1)}$  と  $F_{(1,m)}$  が減少するため、 $F_s$  の変化が少なく、 $f_b$  の変化も少ないと考えられる。いずれの取付張力においても、 $T_q$  の増大によって  $F_s$  は  $f_b$  と同様な傾向を示す。

図5に、取付張力の伝達効率への影響を示す。 $T_q = 8\text{N}\cdot\text{m}$  の場合、高い取付張力の領域で  $\eta$  が低下傾向を示すが、 $\eta = 98\%$  以上である。極めて小さい  $T_q = 0.2\text{N}\cdot\text{m}$  の場合、 $\eta$  は低くなり高い取付張力で更に減少する傾向を示す。

図6に、ベルト損失と取付張力の関係を示す。 $f_b$  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。図5における  $T_i$  の増大に伴う  $\eta$  の低減は、 $T_i$  の増大に伴う  $f_b$  の増加によることからわかる。極めて小さい  $T_q = 0.2\text{N}\cdot\text{m}$  の場合、高い取付張力で  $f_b$  が増大するために、伝達効率が顕著な低下を示すことがわかる。図6のたて軸右側の数値計算による  $F_s$  は、取付張力の増大に伴い破線の  $T_q = 0.2\text{N}\cdot\text{m}$  の値と実線の  $T_q = 8\text{N}\cdot\text{m}$  の値が共に増加する。 $T_q = 8\text{N}\cdot\text{m}$  の  $T_i = 200\text{N}$  で  $F_s$  が増しているが、この取付張力において従動側でベルトの走行方向歯面がプリー歯面と接触しており、摩擦仕事としては小さく、ベルト損失に及ぼす影響が小さいと考えられる。歯荷重  $F_s$  から考察した場合、取付張力の増大がベルト歯のかみあい摩擦仕事を増して伝達効率が減少すると考えられる。今後、ベルト損失を歯面における摩擦仕事によって考察する際、滑り量を考慮して検討を加える予定である。

## 5. 結 言

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、次の結論を得た。

- (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。

## 文 献

- (1) Ueda, H., 他2名, 2005, "Driving loss in Synchronous Belt Drives," *Proceedings of ICMDDT 2005 CD*, EFE-101.
- (2) 籠谷正則, 他2名, 2000, 伝達力作用時における歯付ベルトの回転伝達誤差(ベルトの浮き上りを考慮した場合), 械論C編, 66-643, pp. 951-958.

## 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)

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。しかしながら、歯付ベルトは、準静的領域において、正逆回転時に回転伝達誤差を発生することが確認されている。このことがロボットアームの位置決め精度に影響を及ぼすものと考えられる。

本研究では、FEM 解析により、準静的領域における歯付ベルトの回転伝達誤差がロボットアームの位置決め精度に及ぼす影響について検討したので報告する。なお、FEM 解析には汎用非線形有限要素解析プログラム ABAQUS Version 6.4 を用いて行った。歯付ベルト駆動によるロボットアームにおいて、第 1 アームが準静的領域で  $\pi/2$  rad 毎に正逆回転したときのハンドの位置決め精度について、FEM 解析により検討した結果、以下の結論を得た。

- (1)位置決め誤差は、プーリ上を巻付いたベルトが移動することで起こる回転伝達誤差により発生する。
- (2)位置決め精度は、ハンド先端の往復直線運動に対して垂直方向が最も悪い。
- (3)位置決め精度は、ピッチ差と取付張力を適切に設定することにより向上する。

以上

# 高温加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)

化石資源枯渇や地球温暖化などの問題や、単一エネルギー資源への依存からの脱却という観点から、再生可能かつ、使用しても二酸化炭素の排出量がカウントされない新しいエネルギー資源としてバイオマスの利用に大きな期待が寄せられている。一方、近年、各産業分野で過熱水蒸気を用いる熱処理に関心が高まっている。過熱水蒸気は、飽和水蒸気をさらに加熱することにより得た 100 度以上の乾いた水蒸気を指し、バイオマスや有機化合物などを燃焼させずに分解させることや、炭化させることが可能など、空気存在下では不可能な熱処理が可能とされている。特に、バイオマスの分野では、高温の純粋な過熱水蒸気のみで、木質系バイオマスをガス化させるシステムの開発が行われており、従来の熱分解炉を利用する手法と比較し、より高カロリーな可燃性ガスの抽出に成功した。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。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(SHS)ガス化システムを開発して実験を行った所、下記のような結果が得られた。

- 1) SHS ガス化システムは、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、ブロワ、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°C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°C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システムである。SHS ガス化システムがバイオマスを用いてエネルギーを創り出すことのできる装置として機能することを確認した。
- 2) SHS ガス化システムにより生成されるガスは水素濃度約 50%、一酸化炭素濃度約 26%、発熱量 10,534kJ/m<sup>3</sup>N であり、水素濃度が高くかつ高カロリーであった。

# 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自動車排ガスの分解・無害化技術の開発

吉川 浩美(短期大学部)

過熱水蒸気は、飽和水蒸気をさらに過熱することにより得た 100 度以上の乾いた水蒸気を指し、100%の過熱水蒸気中ではほとんど酸素を含まない。そのため、バイオマスや有機化合物などを燃焼させずに分解させることや、炭化させることが可能など空気存在下では不可能な熱処理が可能とされている。また、ダイオキシン類などの有害有機物を高温加熱水蒸気と直接に反応させることにより、対象物質の分解を行う研究開発も行われている。上記のような用途で使用する過熱水蒸気は、800 度以上の高温が有望とされるが、800 度を超える水蒸気は非常に活性な状態であり、通常これらの発生に用いられる金属ヒータやカーボン発熱体は極めて短時間で腐食され、長時間安定的に高温過熱水蒸気を発生させるシステムの構築は困難であった。その様な背景の中、燃焼合成により作製したセラミックス多孔質体をヒータ素材に用い、高周波過熱により加熱されたヒータ部に飽和水蒸気を接触させることで 1000 度を超える超高温過熱水蒸気の発生に成功した。しかし、高周波加熱による局所加熱等の影響を受け、依然、ヒータの寿命には課題が残る。そこで本研究では、耐熱・耐食性に優れる NiAl 金属間化合物に着目し、より高温の過熱水蒸気の発生が可能かつ耐久性に優れるヒータの開発を目的として実験を行った結果、以下のことが分かった。

- 1) Ni と Al をモル比で 1 : 1 の割合で混合し燃焼合成を行った。NiAl の燃焼合成は Ar ガス雰囲気中でも着火後は、燃焼波が進行して化合物を秒単位で合成することが可能であった。
- 2) 燃焼合成により得られた化合物をフリッチュ社製ジョークラッシュャおよびディスクミルにより乾式粉碎処理を施した結果、ディスク隙間が 100  $\mu\text{m}$  の場合、75~150  $\mu\text{m}$ の粉末がもっともよく回収でき、また、150  $\mu\text{m}$  以上の粉末では酸素含有量が 0.1556wt%、水素含有量が 0.0006wt%と極めて低く高純度な粉末を得ることができた。
- 3) 燃焼合成により得られた NiAl 金属間化合物を粉碎し、焼結温度 1573K、焼結温度での保持時間を 5min、昇温速度 373K/min 一定、加圧力 30MPa およびチャンバー内の雰囲気を 8Pa の真空雰囲気で放電焼結を行った結果、いずれの条件粉末においても相対密度が 90%以上となり、45~75  $\mu\text{m}$  の粉末で相対密度が 97% の高密度な焼結体が得られた。
- 4) 放電焼結により得られた NiAl 焼結体を高温過熱水蒸気発生装置のヒータ部に組み込み、1123 および 1273K の過熱水蒸気を発生させ、経過時間とヒータ素材の重量変化を計測した結果、1123 K では純 Ni ヒータがもっとも良好な値を示した。また、1273K では、NiAl 焼結体が 10 時間経過後でも 0.26wt%の重量増加となり、本実験においてもっとも耐久性に優れるヒータであることがわかった。