

平成 25 (2013) 年度  
首都大学東京 大学院  
理工学研究科

機 械 工 学 専 攻  
研 究 分 野 紹 介

各専攻の分野名の前又は、研究室名の前につけた①、②などの番号は、学生募集要項の研究分野一覧表中に付してある番号と同一です。

教員名の◎印は平成 27 年 3 月定年退職予定であることを示します。

# 1) 機械構造物性工学コース

①教授：真鍋健一，助教：古島剛

研究分野：弾性塑性力学

研究内容：塑性工学，成形シミュレーション，超塑性，最適化，複合材料，加工制御，メゾ塑性論，ダイレスフォーミング

## (1) 金属材料の延性破壊に関する研究

本研究では先進金属材料を対象に，塑性変形時に見られる延性破壊現象を律則するその力学的条件式の材料定数を，より簡便により高精度で合理的に決定する方法を提案している．有限要素法 (FEM) を援用することによってマクロ的な破壊部の計測だけで破壊限界パラメータの材料定数を簡易決定しようとするもので，板材に関してはすでにその有効性を実証している．さらなる精度向上，管材やマイクロ材料への展開を進めている．

## (2) マイクロフォーミングに関する研究

近年，マイクロセンサーやマイクロマシンなどに代表される MEMS や  $\mu$ -TAS に関する研究開発が，国内外において活発に行われており，この超微細な加工技術は，メカトロニクス産業だけでなく，IT 産業や医療・バイオ，さらには福祉等の産業にも大きな影響を与えている．本研究は，塑性加工による高精度なマイクロデバイスの安価な生産を実現するため，材料のミリ/マイクロスケールにおける加工の力学と評価について実験と FEM の両面から検討している．現在，超塑性を利用したダイレス引抜きによる外径  $190\mu\text{m}$  のマイクロチューブの創成，および直径  $500\mu\text{m}$  のマイクロ深絞り を主要テーマにして，表面性状や結晶組織を考慮したメゾ塑性論的アプローチを進めている．

## (3) プレス成形プロセスの知能化

近年の多品種少量生産化及び熟練技術者・若年労働者不足などに対応して，加工機械，システムの知能化が次世代生産加工のキーテクノロジーと重視されている．本研究はプレス成形において，加工プロセスの最適化の観点から知能化のアプローチを行い，加工の柔軟性と高精度，高加工度，高品質化を同時に実現しようとするものである．主要テーマは以下のとおりである．

- ・温度分布を考慮したファジィ適応制御による可変分布圧しわ抑え深絞り加工法
- ・温度、加工速度としわ抑え力の複合ファジィ適応制御システムの開発
- ・地球環境対策指向の振動付加ファジィ知的制御深絞りに関する研究

## (4) チューブハイドロフォーミング

軽量成形加工技術として注目されているチューブフォーミングのうち，特に自動車業界で注目されているハイドロフォーミングに焦点を当てて，新プロセス開発，成形特性評価，知能化の観点から研究を推進している．材料は超軽量金属材料や鉄鋼材料を対象に，加工法はハイドロバルジ加工だけでなく，曲げ加工や口広げ等を行い，材料特性評価試験法の提案も目指している．

## (5) グリーンコンポジットの創製と力学的および機能特性評価

地球環境問題対策として脚光を浴びている生分解性樹脂と天然繊維を複合した，いわゆるグリーンコンポジットの製造とその基礎的特性の評価を行っている．これまで，ヘンプ，へちま，とうもろこし，竹などを強化繊維として，生分解性樹脂をマトリックスとして複合材料を創成し強度、振動減衰特性評価を進めている．構造強度評価だけでなく，成形加工特性評価とそれらの最適化をメインの目的としている．

②教授：吉葉正行

研究分野：環境機能材料学

研究内容：先進耐熱・耐環境性材料システム保証学，農業廃棄物回帰型グリーンコンポジットの設計と性能保証学，科学技術遺産の高度解析手法による温故知新学

(1) 超合金ならびに先進型耐熱コーティングシステムの合理的材料システム設計に関する研究

地球温暖化対策を中心とした地球環境保全や資源エネルギー保存などの観点から化石燃料使用によるエネルギー変換機器や航空機エンジン等の高温・高効率化への要請は一層強くなり，その中核となる大型火力発電システムの先進型高効率ガスタービン，さらにはジェットエンジン等の高温部材表面には，優れた耐久性を有する超合金や耐熱コーティングの実用化導入が不可避の状況にある．しかし，ガスタービン実機環境下での高温材料システムの性能劣化にかかわる影響因子と損傷様式は，極めて複雑で，しかも複合要因を考慮する必要がある．

本研究では，実用的観点から重要となる熱的（高温，熱サイクルなど）—機械的（クリープ，疲労など）—化学的（酸化，腐食など）複合負荷条件に対する高温材料システムの損傷解析を綿密に実施し，これら諸要因と損傷様式との因果関係や関連を体系的に究明するとともに，これに基づいて先進型高温材料システムのリスクベースによる合理的設計指針の提案につなげるための研究を展開する．

(2) 科学技術遺産のアーカイブと高度解析手法による温故知新学に関する研究

地球温暖化防止に向けた各種プラントやエンジン等の新エネ・省エネ性能向上において，高温高効率化の技術的アプローチは必然であり，これに伴って機器部材の高温強度特性と高温耐環境特性への要求は益々厳しくなっている．本研究では，環境・エネルギープラント実機等でこれまで使用され，多様な複合モードによる損傷劣化を受けたプラント高温部材の損傷解析（高度な失敗学解析）を通して，将来の高温化に対応可能な部材の設計開発に活かすための情報収集を図るとともに，プラントやエンジン等に反映させるべき設計指針を探る．また，科学技術史上重要なプラント部材の損傷解析データを最新の高精度分析手法の援用により収集し，設計・運用・損傷劣化の因果関係を体系的に整理するとともに，将来の技術革新に向けた材料性能保証データベース化の構築を試みる．

(3) 農業廃棄物回帰型グリーンコンポジットの設計，創製，特性評価に関する研究

持続可能な資源循環型社会の早期実現を図るための技術的取り組みの一環として，植物系廃棄物の中でも成長速度が大きく年間生産量・廃棄量ともに膨大な量に達する熱帯性非木質系植物の廃棄物（農業廃棄物）を対象に，その年間生産・排出量，廃棄物としての処理方法の現状，資源化やリサイクル等による再利用の方法と量など，世界的動向調査に基づいて，機能的カスケード利活用とリサイクルシステムの高度化に向けた提案から高機能新素材として再利用を図るための技術的可能性や，その方法論を検討している．とくに，熱帯性植物強化繊維と，近年生産量が急増し，各分野で需要が急増している生分解性プラスチックをマトリックス材に用いた複合材料（グリーンコンポジット）の創製と諸特性評価に基づく最適化設計，ならびに各種環境中での長期間耐久性（あるいは分解特性）の評価研究などに関するエコマテ・システム保証学を実施している．

(4) 廃棄物・バイオマスのエネルギー変換装置用部材の耐久性保証学に関する研究

バイオマスは再生可能エネルギーとして期待される新エネルギー源であるが，木質系バイオマスや，生ゴミや建築廃材などの廃棄系バイオマスからエネルギー変換の効率向上を目指す場合に必要なプラント部材の長期耐久性を保証するための研究を行っている．特に，廃棄物・バイオマス発電も含めて高温高効率化による過酷な腐食性環境での安全で安定したプラントの操業を保証するうえで部材の耐環境特性向上がキーテクノロジーとなっており，これを進歩させるための材料設計・開発・特性評価・応用技術に関してプラント設計，運転ならびに環境制御，メンテナンスおよびストックマネジメ

ントなどの各技術分野と連携させた研究を展開する。

③教授：若山 修一，助教：坂井 建宣

研究分野：材料評価工学

研究内容：人工関節用バイオセラミックスの長期信頼性，疲労骨折の早期診断，腱の断裂機序の解明と損傷治癒過程評価，セラミックスの熱衝撃破壊，フレキシブル薄膜太陽電池の柔軟性・信頼性評価，使用済みタイヤ・活性炭のリサイクル

#### (1) 人工関節用バイオセラミックスの長期耐用性に関する研究

人工関節用生体材料として，生体適合性・生体安全性に優れる生体不活性なセラミックスが利用されている。しかしながら，疲労強度・寿命など長期耐用性に関しては研究が十分でなく，施術後数年で破壊に至る事例も報告されている。本研究室では，バイオセラミックスの長期耐用性を確保する技術の開発を目的として，以下の諸点について検討を進めている。

1) バイオセラミックスのハイブリッド保証試験法の開発 長期安全性を確保するための出荷前検査のひとつに，使用時に予想されるよりも十分に過大な負荷を製品に与え，破壊したもの(低強度のもの)を除去する保証試験がある。しかしながら，保証試験中に蓄積する微視的損傷により，生存した製品でも強度が劣化することがあることが知られている。本研究では，試験片のみならず実際のセラミックス製骨頭ボールをも対象に，保証試験中の損傷をAE法でモニタリングし，破壊に至らずとも損傷が検出された製品をも除去することにより，より正確に長期信頼性を確保するための技術開発を進めている。

2) バイオセラミックスの寿命予測 従来からの研究で，バイオセラミックスの最終破壊以前にその起点となる主き裂の形成をAE法で検出可能であることを示している。本研究では，破壊に至る過程を微視破壊の蓄積による主き裂形成過程と主き裂の進展過程に分けて定式化し，寿命予測式の理論的な導出を進めている。

#### (2) 疲労骨折の早期診断法の開発

生体骨のうち緻密な皮質骨は負荷を支える役割を担っているが，過大な負荷が繰り返し加わると損傷が蓄積して疲労骨折に至る。本研究室では，複雑な応力状態を検討するため，生体骨の圧縮・圧縮疲労・ねじり・引張試験の際に損傷のAEモニタリングを行い，疲労骨折のメカニズムの解明を進めている。これまでの研究で，損傷は圧縮疲労試験中，負荷中よりも除荷中に頻発することが明らかになり，信号の特徴もとらえることに成功している。これらの知見から疲労骨折の早期診断法の開発を目標に研究を推進している。また，生体骨の粘弾性特性と疲労骨折のメカニズムとの関連性についても研究を進めている。

#### (3) 腱の断裂機序の解明と損傷治癒過程評価法の開発

腱は過大な負荷が作用することで完全断裂や部分的な損傷が発生する。また，力学的負荷によって腱に発生する損傷は，腱の成長や治癒にも関与しており，その発生過程を明らかにする必要がある。本研究室では，腱断裂および損傷治癒過程評価のための基礎的知見を得るために，AE法を用いて，各負荷レベルにおける部分損傷の発生・蓄積過程のモニタリングを行っている。また，損傷後の治癒過程の腱の損傷の検出・同定も行い，リハビリテーションにおける運動開始時期・強度の最適化などの臨床応用の可能性を明らかにすることを目標に研究を進めている。

#### (4) セラミックス及びセラミックス基複合材料の熱衝撃破壊に関する研究

高温環境下で使用されるセラミックスは材料内の温度差に起因する熱応力による破壊，特に熱衝撃破壊の克服が重要な課題である。熱衝撃破壊は熱応力のもとでの微視破壊の蓄積による巨視き裂の発

生，進展過程と考えられる。したがって，熱衝撃破壊の理解には熱応力と破壊過程の評価が不可欠である。そこで本研究室では，予熱したディスク状試験片と金属ロッドの接触による熱衝撃試験法(ディスクオンロッド試験)を考案した。試験片表面温度は高速度 IR カメラで測定し，FEM に温度を境界条件として与えて熱応力を算出する。同時にロッド下部に取り付けた AE センサーにより熱衝撃試験中の AE 信号を検出し，熱衝撃破壊過程を評価している。

本研究室では上述のディスクオンロッド試験によって，平滑材からのき裂の形成および進展過程を定量的に解析し，従来法で得られて結果と比較検討することで，セラミックスの熱衝撃破壊抵抗の評価方法の開発を進めている。また，様々な強化材で高強度化・高靱化した複合材料を作成し，高耐熱衝撃性材料の開発をも進めている。

#### (5) フレキシブル薄膜太陽電池の柔軟性・信頼性評価

アモルファスシリコンや CIS 等を利用したフレキシブル薄膜太陽電池が近年開発されている。その柔軟性を生かした，折りたたみ可能な携帯用電源，非常時のテント用電源，人工衛星用電源などへの応用が広がっている。本研究室では，フレキシブル a-Si 太陽電池およびフレキシブル色素増感型太陽電池の機械的ひずみによる性能劣化機構に関する基礎的見地を得ることを目的とし，引張試験中におけるフレキシブル太陽電池の開放電圧の変化を計測し，同時にアコースティック・エミッション法 (以下 AE 法)によって損傷の発生・蓄積をモニタリングするとともに，AE 信号のウェーブレット解析に基づいて，AE 信号による損傷の同定法を検討している。

#### (6) 廃タイヤ・使用済活性炭のリサイクルによる機能性複合材料の創成

プラスチックの使用は，石油由来のものから植物由来の生分解性プラスチックへとシフトしている。しかし生分解性プラスチックである PLA のぜい性的特徴から，未だに構造部材や主要部品への応用がさほど行われていない。また，タイヤはその廃棄問題もあり，特にメキシコでは重要視されている。これらを解決するために，メキシコの研究機関と共同で生分解性プラスチックに廃タイヤを粉砕したものを添加し，複合材料を作成している。これらを用いて，生分解性プラスチックに自動車のバンパー材料として使用することを目標とした耐衝撃性を有する材料の作製を行い，その耐衝撃性を，AE 法を用いて評価している。また，現在水道局では水のろ過に活性炭を用いているが，使用後は廃棄されてしまう。この使用済み活性炭をリサイクルするため，使用済活性炭粉末をポリプロピレンに混ぜることで，導電性・熱伝導性を有する複合材料を作製している。また，変形特性と導電性・AE 法により得られる結果および粘性流体解析などから，ひずみ測定，破壊診断が可能な機能性材料の開発を行っている。

#### ④准教授：筧 幸次

研究分野：航空宇宙構造材料

研究内容：航空機エンジン，ガスタービン，Ni 基超合金，耐酸化コーティング，宇宙用構造材料

#### (1) 航空機の離陸時に負荷される条件下でのタービン動翼用耐熱合金の特性評価

航空機エンジン用タービン耐熱材料の開発は，これまで主として耐用温度の向上に研究の主眼が置かれその耐用温度は 1100°C を超えている。しかし，耐用温度の高い先進単結晶超合金は，合金設計の際，低温域の強度特性をほとんど考慮していないため，離陸時に空冷流路付近に負荷されるような低温・高応力の環境下は強度が劣る。耐用温度の高い先進超耐熱合金を実機搭載するためには，750°C 付近の低温での強度低下を克服する必要がある。そこで，本研究では，低温・高応力の環境下での先進超耐熱合金の強度特性に関する研究を行う。

## (2) 航空機用タービンディスク材料 U720Li に関する研究

航空機用エンジンにおいてタービンディスクの破損は与圧された客室の破損、墜落という危険につながるため、ディスクは最もクリティカルな部位であり高い信頼性が求められている。高温強度特性に優れた Ni 基超合金 U720Li がディスクに適用されつつある。しかし、U720Li は、入手ルートが限られており、日本国内では U720Li に関する研究はきわめて少ない。本研究では、この U720Li について、組織解析、クリープおよび疲労を中心とした損傷解析に関する基礎的研究を行う。

## (3) 単結晶 Ni 基超合金の耐酸化コーティングに関する研究

独立行政法人 物質・材料研究機構 (NIMS) との共同研究。タービンブレードは高温燃焼ガスを受け回転するため激しい酸化環境下に置かれる。こうしたことから、耐酸化コーティングはタービンブレードに不可欠である。しかし、単結晶合金特有の結晶異方性と耐酸化コーティングとの関係については研究がほとんどなされていない。そこで単結晶特有の異方性に注目して、耐酸化コーティングが高温強度に及ぼす影響について、NIMS ハイブリッド材料センターと共同して研究を行う。

## (4) 宇宙用構造材料の特性と信頼性の評価

JAXA (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部) との共同研究。特殊な条件下で使用されるロケットや衛星の構造用材料について、その力学特性と信頼性の基本原理を、組織と力学の動的相互作用に注目して研究を行う。

- ・惑星探査機用セラミックスラスタの超高速衝突破壊挙動
- ・複合材/金属接着構造の極低温での強度靱性評価

## ⑤ 准教授：小林訓史

研究分野：複合材料工学

研究内容：高機能繊維強化プラスチック、医療用複合材料、エコマテリアル、プラスチック成形加工

## (1) 医療用材料の多機能化・高強度化

骨折等の骨疾患時に使用される再手術不要な医療用接合材料はプラスチック系のものとセラミックス系のものに分類される。前者は骨疾患の治癒に伴い生体内で分解される。また後者は治癒とともに分解されるかもしくは材料そのものが骨と直接結合することにより疾患部に荷重分担能力を与える。これらの材料はプラスチック系の場合剛性が不足していること、セラミックス系の場合靱性が不足していることから、使用部位が限定されている。本研究ではこれらの材料を複合化することにより、さらなる高強度な材料を開発するだけでなく、同時に骨疾患の治癒期間の短縮を狙った機能性を付与することを目指している。

## (2) 環境負荷低減への材料開発からのアプローチ

近年環境問題に対する関心が高まり、低炭素社会へ向けた取組が多数行われている。その中で様々なリサイクル技術が確立されてきているが、ライフサイクルアセスメント解析を行った際に、本当に有効であるか疑問視されているものも多数存在する。そこで、我々は廃棄物を少なくとも一回以上、極力エネルギーをかけずに材料として再生することを目的としている。これまで、浄水場で使用された廃活性炭を利用した多機能複合材料の開発や、麻繊維をもちいた複合材料の開発を行ってきた。今後は竹林伐採後に廃棄される竹繊維を用いた複合材料の開発を計画している。

## (3) 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の長期耐久性の解析的評価

繊維強化プラスチックは本質的にばらつきが大きいですが、これは材料を構成している繊維・母材及

びその界面のばらつきに依存しているためである。このような多数の要因が関係してくる材料の信頼性評価を行う際には、その各使用条件における寿命評価が必要になってくる。しかしながらこれを実験的に行うことは時間的・金銭的に非常に大きな負担となる。そこで、各要素のばらつきをパラメータとして、コンピューター内で擬似的に疲労試験を行なうことが可能となると、材料の信頼性評価を容易に行うことが可能となるといえる。このための長期耐久性評価法としてモンテカルロ法を用いたシミュレーション技法を開発している。

#### (4) 人工衛星用 CFRP 積層板の長期変形特性評価

人工衛星はその運用中、大きな温度サイクル（熱履歴）を受けるが、そのミッション上の問題から熱変形を抑える必要があり、当然のことながら打ち上げ時の制約から軽量であることが求められている。このため、CFRP の適用が必須となっている。本研究では熱変形を極力抑制する手法を検討するため、CFRP 積層構造の最適化、また高温下でのクリープ試験や熱サイクル試験により、その長期特性の解明を目指している。

#### (5) CFRP 複合圧力容器のロバスト性評価及び寿命延長を目的とした理論解析

クリーンなエネルギー源として水素が注目され、水素を燃料源とする燃料電池自動車の一部実用化されてきている。また、このような自動車は航続距離の拡大のため、現状の 35MPa 級圧力容器から 70MPa 級圧力容器へのシフトが期待されているものの、高圧化に伴う容器の厚肉化・それに伴う応力分布の不均一化のために困難であるのが現状である。さらにこのような高圧圧力容器の安全率をどのように設定すべきか ISO TC58 において議論がなされている。また国内においては天然ガス自動車の燃料用圧力容器は寿命が 15 年との規制があるが、自動車の使用年数を考えた際に 21 年以上へ寿命を延長したいとの要求が各方面から出されている。このような背景から、本研究では実使用環境下において圧力容器がどのような負荷を受けるのかについて実際に調査し、解析的に実用負荷に対して圧力容器がどれだけロバスト（剛直）であるかを検討している。また、実際に圧力容器を試作し、実験を行うことにより、その妥当性を検証している。

#### (6) 連続繊維強化プラスチックの高速・省エネルギー成形

CFRP をはじめとする連続繊維強化プラスチックは金属代替等の高性能構造材料といえるが、プラスチックとして成形時に化学反応を伴う熱硬化性プラスチックを用いていることから、成形に極めて時間を要するため、自動車等の大量生産品への応用が限定的である。このため、加熱すると溶解し、冷却すると直ちに固化する熱可塑性プラスチック（TP）を用いたものも開発されてきている。TP は粘度が高いことから繊維束への含浸性が乏しく、あらかじめ加熱・圧縮工程からなる含浸工程を設けて予備成形体を作製し、これを改めて加熱・圧縮成形することにより部材への成形を行う方法が一般的であるが、加熱・圧縮工程を二回経ることになり、成形エネルギー的にロスを生じることとなる。このためプラスチックの含浸工程と成形工程を同時に行うプロセスが省エネルギー化の観点から望まれている。本研究ではマイクロブレイディング法という手法を用い、含浸・成形を同時に行うプロセスについて実験・解析の両面より検討を進めている。

⑥准教授：高橋 智

研究分野：表面・界面工学

研究内容：サーマルバリアコーティングの高性能化・合理的試験法の開発と国際標準化、超音波接合技術の応用

#### (1) サーマルバリアコーティングシステムの創製とキャラクターゼーション

航空機用及び発電用ガスタービンの各種高温部材に必要なサーマルバリアコーティングシス

テムの性能は、種々の外的負荷要因に加え、コーティングプロセッシングに強く依存したコーティング層の組成・組織を中心とする内的要因との組み合わせ条件によって決定される。本研究では、透過型電子顕微鏡（TEM）や電子プローブマイクロアナライザー（EPMA）などの各種観察・分析機器を援用し、サーマルバリアコーティングシステムの組成・組織因子に及ぼすプロセス条件の影響を体系的に究明し、高度プロセッシング技術を駆使したコーティング微構造制御による高性能化を目指している。

#### (2) サーマルバリアコーティングシステムの微視的様相に着目したクリープ及び疲労損傷機構の解明

先進型発電用ガスタービンでは高温高効率化による CO<sub>2</sub> 排出量削減及び省エネルギー化を目指し、現在ではタービン入口温度が 1500°C 以上にも達している。このため、最も過酷な熱的・機械的負荷をうける動翼部には、信頼性・耐久性に優れた高性能サーマルバリアコーティングシステムの設計・開発・導入が要求されているが、損傷劣化機構は十分に解明されていない。本研究では、独自に設計・開発した機械的損傷挙動その場観察装置を用い、高温環境下でサーマルバリアコーティングシステムのクリープ及び疲労損傷挙動をその場観察し、き裂発生・進展挙動をコーティング微構造と関連づけた損傷機構の解明を進めている。

#### (3) 耐熱コーティングシステムの合理的試験方法の開発と国際標準化

各種エネルギー変換機器に必須な耐熱コーティングシステムには、コーティング技術の開発とともに、これらの導入促進を保証するための合理的評価方法の開発が要求されている。特に当該分野の技術は地球温暖化対策に直結することから、国際競争力を高めて日本主導による評価方法の国際標準化が重要である。このため最近では経済産業省-NEDO のプロジェクトとして、産学公連携による耐熱コーティングの合理的評価方法の JIS 化及び国際標準（ISO）化活動を活発に展開している。この一環として本研究では、合理的な耐熱コーティングの耐はく離性試験方法や熱サイクル特性評価試験方法などの開発に取り組んでおり、その成果の一部は既に ISO 提案中である。

#### (4) 超音波接合技術の応用

半導体デバイス、ハイブリッドカーの2次電池などの電子部品接合技術として、電子部品に対する熱影響が少なく、かつ鉛含有はんだのような有害成分を含まず、地球環境に優しい超音波接合技術が近年注目され、実用化されつつある。しかし、超音波接合機構は諸説報告されているが、不明な点が多く、接合特性と接合条件を関連付けた系統的研究がなされていないのが現状である。本研究では、Cu や Al などの金属材料を用い、接合条件を系統的に変化させた各種超音波接合材を対象に、機械的及び電気的特性を接合界面の組成・組織と関連付けて評価し、接合機構の解明、接合条件の最適化及び新たな材料に対する超音波接合技術の応用を進めている。

## 2) 熱流体工学コース

⑦教授：浅古 豊 ◎, 助教：金子達司, 助教：村上和彦

研究分野：熱工学

研究内容：マイクロスケールのガスの流れと熱伝達, レーザ誘起蛍光による三次元遷音速流れの構造解析, 再生可能エネルギーおよび未利用エネルギーに関する研究 など

#### (1) マイクロスケールのガスの流れと熱伝達

流体が圧縮性流体である場合、摩擦係数を求めるには圧力と静温の二つを測定する必要がある。しかし、マイクロチャンネルの場合の摩擦係数は、熱伝達が良好なこと、静温の測定が容易でないこと

から等温流れを仮定し、流量と圧力差とから求められ、数値解析結果などの検証に供されている。しかし、マイクロチャンネルの出口近くでは加速により流体の静温が低下し、等温流れの仮定が成り立たない。本研究では等温流れの仮定よりも、より実際に近い静温の予測法を確立するため、数値解析および実験の両面から研究を行っている。

## (2) レーザ誘起蛍光による三次元遷音速流れの構造解析

音速を超えるような高速流れでは、衝撃波や膨張波が発生し、流れは複雑な様相を呈することが多い。このような流れ場を把握するのに、シュリーレン法などの可視化技術の貢献が大きかったが、これらの方法は流れを横断した情報を用いるため、三次元的に複雑に変化する流れ場には適用できない。そこで、蛍光物質を混入した流れに、シート状のレーザ光を照射することによって得られる蛍光強度分布を基に流れ場の情報を取得する、レーザ誘起蛍光法に着目している。本研究では複数断面の可視化画像から三次元画像を再構築し、狭い流路内で起こる三次元流れの境界層と衝撃波・膨張波の干渉などの構造を調べている。

## (3) 再生可能エネルギーおよび未利用エネルギーに関する研究

未利用バイオマスや廃プラスチックなどを熱分解することにより、気体、液体、固体のそれぞれに変換し、燃料や有用な物質として利用することで持続可能社会の構築に向けた研究を行っている。気体としては燃料電池などに利用できる水素を主とし、液体としては灯油、軽油などの代替となる燃料、固体としては、高純度な炭により固形燃料、大気・土壌の改質などに利用できる。従来技術に留まらず、独自のエネルギー変換方法を開発しており、産業界との連携によって実用化を目指している。また、太陽光を集光し、1000度以上の高温を作り出し、投入エネルギー源に利用することにも力を入れている。

## ⑧教授：首藤 登志夫

研究分野：エネルギー環境システム

研究内容：水素エネルギー、低環境負荷エネルギー利用システム、次世代自動車動力システム、燃料電池、水素エンジン、HCCI 燃焼、石油代替燃料、バイオ燃料、環境負荷低減 など

### (1) 燃料電池における金属多孔体流路セパレータの利用による発電性能向上に関する研究

固体高分子型燃料電池の電極に燃料や酸素を供給する流路に、スポンジのように小さな空隙を多数持つ多孔体金属材料を用いることで、反応物の供給状態と生成物の排出状態を改善し発電出力を大幅に向上させる手法を提案し、その効果の検証および性能向上メカニズムの解析を行っている。

### (2) 水素エネルギーシステムのための高密度水素キャリアおよびエネルギー回収技術に関する研究

燃料電池や水素エンジンなどの水素を燃料とするシステムでは、水素の高密度貯蔵が重要な課題となる。この研究では、メタノールなどの液体燃料を輸送・貯蔵し、化学反応で水素を生成して利用するシステムを検討している。反応による化学的なエネルギー回収システムの効果も解析している。

### (3) 水素による着火抑制効果を利用した予混合圧縮自己着火 (HCCI) 燃焼システムに関する研究

従来にない高い効率とクリーンな排気を両立する燃焼方式として HCCI 燃焼が世界的に注目されているが、着火時期が制御できないため実用に至っていない。この研究では、水素により低温酸化反応が抑制される効果を利用した着火時期制御システムを提案し、実験や化学反応解析を行っている。

### (4) 水素エンジンにおける直接噴射層状給気 (DISC) 燃焼による効率向上に関する研究

水素エンジンでは、ガソリンに比べて燃焼速度が大きいことや消炎距離が短いことなどにより、燃

焼ガスからシリンダーへの熱伝達による冷却損失が大きい。この冷却損失を低減して高いエネルギー効率を得るために、水素の直接噴射による層状給気燃焼などを検討している。

(5) バイオ燃料を用いたエンジンにおける排気中の黒煙と窒素酸化物の低減に関する研究

植物油から作る脂肪酸メチルエステルと穀物などから作るエタノールを混合して利用することで、黒煙を排出しない燃焼を実現するとともに、酸性雨の原因となる窒素酸化物の排出量を大幅に低減する燃焼システムを提案し、その効果の検証およびメカニズムの解析を行っている。

(6) 微生物燃料電池に関する研究

微生物燃料電池は、水中に溶存する化学エネルギーを、微生物を媒介として利用する技術である。汚染物質のかたちで化学エネルギーを多く含んだ水が環境に放出されると、富栄養化によって有害な生物の繁茂をまねくことが多い。逆に、下水処理施設では、排水中に溶存する汚染物質の化学エネルギーを消費して微生物が繁殖することを利用して水質浄化をおこなっている。そこで、下水中の化学エネルギーを電力としてとりだす微生物燃料電池を試作し、水質浄化とエネルギー生産を共役させることを試みている。下水処理施設の水は、処理の段階に応じて、様々な組成の溶存物や浮遊固形物を含んでおり、その微生物学的、電気化学的、流体工学的な特性も様々である。上記の目的のために最適な条件をみいだすことをめざして研究を進めている。

⑨教授：水沼 博，助教：小原 弘道

研究分野：流体工学

研究内容：流動抵抗低減化，生体関連流動，臓器移植と細胞移植，電場によるマイクロ流動・粒動制御

(1) 流動制御による省エネルギー

添加剤による抵抗低減…流体へある種の添加剤を投与すると抵抗低減が生ずる。添加剤としては界面活性剤や直鎖状水溶性高分子を用い、これらは地域冷暖房の冷温水循環動力を低減する目的で使用される。添加剤溶液はウナギ体表の粘液のような感触を持ち、乱流において生ずる渦運動を抑制する効果を示す。その渦抑制効果を評価するための新たな物性値を定義すると共に、その測定方法及び抵抗低減の応用について研究している。

(2) 生体関連流動

嚥下流動に関する研究…現在、介護食として高粘度の液状食品が利用されている。この理由は、①咀嚼する力が衰えて弱くなっても容易に飲み込むことができ、かつ②食塊の気管への流入を防ぐ動作が加齢などにより遅れても、高粘度により食塊が喉頭部に到達するまでの時間が遅れ、その動作の遅れを補えるからである。介護食の流動挙動を計測や数値シミュレーションにより調べている。

乳幼児揺さぶられ症候群の発生機構の解析…乳幼児揺さぶられ症候群とは、揺さぶられっ児症候群ともよばれ、育児者が乳幼児を激しく揺さぶってしまうことによって引き起こされる一連の傷害である。多様な症状の中でも眼底出血は、この症候群にある程度特徴的にみられるものとされ、問題の早期発見と予防のために重要な所見であるとされているが、その生体力学的な発生機構は解明されていない。まずは、激しい揺さぶりにともなって硝子体が眼底の組織を牽引することによって出血に至るという仮説を検証するため、有限要素法によるシミュレーションと、模型を用いた模擬実験によって解析を進めている。

(3) 臓器移植と細胞移植に関する研究

移植医療への期待が広がる中、臓器不足は世界的な大きな課題である。この課題解決手段として、

臓器の積極的な保存技術の確立，再生医療技術の展開にも重要な細胞移植技術の革新が求められている。研究室では，移植適用可能臓器の拡大を目指し，臓器内血管網への灌流により臓器機能蘇生可能な次世代型臓器灌流保存装置開発を肝臓に着目し，CT 画像を援用した数値流体解析による肝臓流動評価システムの開発，保存条件を積極的制御した次世代型臓器機能保存・蘇生装置開発を実施している。さらに医療機関と共同で細胞移植技術の革新を目指し，力学的な視点から肝細胞に着目した基礎研究ならびに，細胞分離のための応用研究に取り組んでいる。

#### (4) 電場によるマイクロ流動・粒動制御

医療用デバイス，バイオ計測・分析デバイス，極微細加工デバイスなどのためにはマイクロ領域での流動の形成・制御ならびにマイクロ・ナノスケールの粒子の制御・操作が必要不可欠である。たとえば，マイクロ・ナノスケールでの手術技術の確立のためには，マイクロスケールの細胞を補足し，必要な薬剤などを細胞内に挿入するなどの操作が必要不可欠となる。一方，CNT やナノダイヤモンドなどを用いたナノスケールでのもの作りにおいては，これらの粒子状物質を，任意に，動的に制御することが求められている。本研究ではこれらの要請に応えるために，電場印加によって誘起される配向・分離制御技術と電極近傍に形成される電場誘起流動を積極的に利用する手法を開発し，QOL の高い次世代型医療技術の確立，環境に優しいグリーンプロセッシングの確立を目指して研究を進めている。

⑩准教授：小方 聡

研究分野：流体力学

研究内容：マイクロ・ナノ流体流動，層・乱流における抵抗減少，大気圧プラズマ流動の応用

#### (1) マイクロ・ナノ流体流動

固体と液体の界面である固体壁近傍の流体挙動を実験的・解析的に研究している。具体的には，エバネッセント光を用いて，壁面から 300 ナノメートル以内の領域の流体の速度を PTV や PIV を用い測定している。混入した蛍光粒子の運動に壁面が及ぼす影響や，それらが流れ場でどのように変化するかを調べている。また，生体分子，高分子などを添加した場合に壁面近傍で流動がどのように変化するか調査している。これまで，ニュートン流体の管内流れで壁面から 30 ナノメートル以上の領域ではポアズイユの分布に従うことが示された。一方，高分子などが数 ppm 添加されると，その流れがまったく異なることが明らかになった。これら差異が生じるメカニズムを明らかにしている。

#### (2) 層流における抵抗減少

層流域の圧力損失はマイクロチャンネルなど微小な流れ場で重要となる。このことに関連し，微細構造と濡れ性を組み合わせた壁面を用いることで，層流域における抵抗減少が実現可能であることを示してきた。具体的には，様々な形状の疎水性微細構造を有する壁面をダクトの一面に設置し圧力損失測定を行い，12×12mm ダクトで 3.7%，0.5×5mm ダクトで 15.6%の抵抗減少を明らかにした。さらに，有限要素法によるシミュレーションにより，上記壁面は最大 35%抵抗低減する可能性があることを示した。現在は，抵抗低減に最適な壁面微細構造を壁面極近傍の固体・気体・液体の三相の界面現象の観察から明らかにしようとしている。これにより抵抗減少割合の増加を目指している。実用に向けた耐久性試験，供試壁面の乱流への適用法などの研究も行っている。

#### (3) 乱流における抵抗減少

省エネルギーにも関連し，抵抗低減添加剤を溶媒に添加し配管の圧力損失の低減化を実現させることは，近年非常に注目されている。これら抵抗低減添加剤は，ただ単に抵抗低減を発揮させるだけでなく，それ自身の環境負荷抵抗が少ないこと，省資源であることが必要であることは言うまでもない。

しかしながら、現時点でそのような要求を満たす添加剤は存在しない。本研究は、これらの要求をすべて満たす可能性のある添加剤に着目したものである。管内流における圧力損失測定により評価した結果、最大 20%の抵抗低減効果を有する天然繊維が存在することを明らかにした。今後はこれら抵抗低減メカニズムに関するさらに詳細な研究を行う予定である。さらに、新たな抵抗低減添加剤の可能性も敢闘している。

#### (4)大気圧プラズマ流動の応用

プラズマアクチュエータを用いた新しいアプリケーションの開発の研究を行っている。プラズマアクチュエータは大気圧で発生するプラズマにより誘起される流動を利用している。さらに、構造が簡単で小型軽量という特徴を有する。現在までの研究で、このアクチュエータが剥離制御に応用出来ること、印加する電圧によって方向や速度を変化させることが可能であることを示した。今後は、プラズマアクチュエータの特徴を生かした新たなアプリケーションの開発、自動車や飛行機などの抗力低減への応用も考えている。

①准教授：角田 直人

研究分野：熱工学

研究内容：マイクロ熱流体の可視化、熱と物質の協働作用の解明、逆問題解法による温度場推定、マイクロプラズマと液体との相互作用に関する研究 など

#### (1) マイクロ熱流体の可視化

マイクロ流路内の流体は微量で且つ密閉されているため、従来の温度測定法としては蛍光物質を混入させる方法などの煩雑で且つ定量性に欠ける方法しか存在しなかった。本テーマでは、水の近赤外分光特性に基づく温度イメージング法を開発し、世界で初めてマイクロ流体の温度分布を完全非接触で可視化することを目指す。局所加熱もしくは発熱により温度勾配が形成されたマイクロ流体を測定し、流れによる温度場形成をイメージングによって明らかにする。

#### (2) 熱と物質の協働作用の解明

マイクロ領域においては温度差で駆動される物質移動現象が顕著に表れる。例えば、ソレー効果と呼ばれる液体中で温度勾配を与えたときに濃度勾配が形成される現象が知られている。このような熱と物質の協働作用は化学反応や生体内物質移動では重要な意味を持つ。しかし、これまで可視化もしくは定量化する測定技術がなかったため、現象解明には至っていない。本テーマでは、本研究室で独自に開発した温度・水分量同時イメージング法を用いて、マイクロ流路内の温度勾配生成時および化学反応時における協働作用を可視化する。この方法は、近赤外域における温度感度波長 1412 nm と水分量のみ反映する非温度依存波長 1440 nm を利用する高速分光イメージング法である。

#### (3) 逆問題解法による温度場推定

液体のマイクロ領域における温度測定と制御は現在様々な分野で要請されているが、特に、局所的な加熱や発熱体が存在する場合、その周りの温度分布が重要である。しかし、内部の温度分布を測定することは既存の技術では不可能である。そこで本研究室では、近赤外吸収画像に逆問題解法を適用する方法を開発してきた。一例として、微小発熱体が水中に存在し軸対称の温度分布が形成される場合は、Abel 逆変換を用いて断面の吸収係数分布を推定して、温度分布を求めることに世界で初めて成功した。さらに、吸光度分布はガウス関数の線形和によって近似し、解析的に逆変換する方法を試みている。

#### (4) マイクロプラズマと液体との相互作用に関する研究

プラズマ発光分析では、試料量を従来よりも大幅に低減させ、on-site（その場）で簡便に分析で

きる技術が求められている。本テーマでは、マイクロキャピラリ電極に生成されるグローコロナを利用する。グローコロナとは、電極先端の局所強電界によって生成される最も安定したマイクロプラズマの一種であり、これまで実用された例はない。マイクロキャピラリ電極とは、先端径  $1\mu\text{m}$  の中空針電極を指し、10 フェムトリットル以下の微量溶液の保持と放出が可能な電極である。最適な溶液とグローコロナの界面を形成させる必要があるため、実験と理論計算によって最適条件を探索し、微量溶液成分を発光分析する独創的技術を開発する。

### 3) 機械システム工学コース

⑫教授：吉村 卓也，助教：玉置 元

研究分野：振動工学，機械力学

研究内容：構造解析，振動騒音解析，振動騒音の予測及び低減，構造最適化，人体振動

#### (1) 構造解析に関する研究

1) 実験モード解析の精度向上に関する研究 実験モード解析とは、振動実験により周波数応答を計測し、それに基づいてモード特性を推定するものである。例えば、自動車開発においては、完成車の振動実験結果に基づいて、効果的な現象対策を検討することが重要である。本研究では、乗用車（完成車）、ステアリングシステム、車室内を含めた構造音響連成系等の振動実験を行い、モード解析の精度検証、解析アルゴリズム開発や、実験計測法の開発を行っている。

2) 振動伝達経路解析 振動騒音の事象解析とその対策立案のためには、振動がどこからどのように伝わっているかを機械の稼働状態に基づいて特定する必要がある。これを振動伝達経路解析というが、高精度な振動伝達経路解析は一般に困難であり、多大な工数も要する。これに対して、現在、以下のような取組を実施している。現状の振動伝達経路解析法についての適用性評価、入力同定の精度を向上させるためのアルゴリズム開発、入力同定を行わない振動伝達経路解析法の開発等である。

#### (2) 構造最適化に関する研究

1) 感度解析を用いた構造最適化に関する研究 機械構造物の設計開発においては、振動騒音を考慮した種々の対策を講ずる必要があり、振動対策のための有効な対策方法を見出すのは容易ではない。本研究では、周波数応答関数（FRF）のレベル低減を目標とした感度解析に着目し、設計者に有意な情報を提示できる新たな方法を検討している。特に振動-音響の連成モデルにおいては、その連成状態を定量的に判断する方法を提案し、それに基づいた音圧低減法の開発を進めている。また、機械の実稼働状態における振動騒音の低減を達成させるための方法として、入力同定を必要とせず、直接振動騒音の評価値を低減させるための感度解析法を開発しその適用性を検討している。

2) パネルと周辺骨格を対象とした構造設計指針の検討 自動車のこもり音低減を目標として、パネル構造物からの放射音低減のために必要な周辺支持構造の動特性についての検討を行っている。具体的には、パネル振動による排除体積を低減させるために必要な周辺構造の動特性を検討しており、パネル放射音低減を達成させるような周辺構造の設計指針を得ることを目標としている。

3) 音響放射音の予測に基づいた構造設計手法の検討 CAE 技術の進展に伴い、構造物の振動特性だけでなく音響放射特性も予測可能になりつつある。本研究では、有限要素法と境界要素法を合わせた音響放射予測を行ない、音響放射パワーモードを求め、これに基づいて着目した周波数領域で放射パワーを最小化する構造変更方法の検討を進めている。同時に CIP 法に代表されるような波動解析法に基づいた時間領域シミュレーション法の検討も進めている。

### (3) ヒューマンダイナミクスに関する研究

- 1) 人体上体系のダイナミクスとモデリング 人体各部の振動応答予測をより詳細にするために、座位人体の頭部を含む人体脊椎系のマルチボディダイナミクスによるモデル化を行っている。これにより各腰椎の振動負荷評価を行い、振動暴露による腰痛やヘルニアなどの疾病の発生原因を探る手がかりになると期待できる。
- 2) 振動ダミーの作製 人体の振動負荷を評価するもう一つの方法として、人体の振動特性を有する脊椎系を含んだ人体振動ダミーを用いる方法が考えられる。本研究では、骨格標本を用いた人体振動ダミーの作製を進めている。
- 3) 自動車シート着座時の人体-シート連成モデルの作製 安全性・乗り心地等の観点から、シートには効果的な乗員サポートが期待されている。そこで、設計段階においてシートに着座した人体の振動特性が評価ができる様な、主に乗り物酔いや乗り心地に関係する低周波域での人体-シート連成モデルの構築を進めている。
- 4) 人体の振動特性と疲労 運転など長時間の振動暴露により人体の振動特性が変化するのであれば、その変化を把握することで、疲労を定量的に評価できるのではないかと考えられる。そこで長時間の振動暴露により人体の振動特性がどのように変化するかに着目し、長時間の実験室加振実験や実車走行実験を行い研究を進めている。

⑬教授：長谷 和徳

研究分野：人間機械システム工学

研究内容：福祉工学，リハビリテーション工学，生体力学，人間工学，人間中心設計，マルチボディダイナミクス

本研究グループでは多自由度動力学系のモデリング技術（マルチボディダイナミクス）を核とし、人間生活にとって真に役立つ機械システム工学技術（人間中心設計，人間機械共生）の開発研究に取り組んでいる。福祉工学，リハビリテーション工学関連の研究では医療関係者との共同研究も多い。

#### (1) デジタルヒューマン技術の開発

人間の筋骨格系の力学特性や脳神経系による運動制御特性をデジタル化（モデル化）し、人の身体運動をコンピュータ上で再現、分析可能とするデジタルヒューマン技術の開発に取り組んでいる。特に歩行運動を生成する歩行シミュレーションの研究に多くの実績を有しており、この歩行モデルはヒューマノイドロボットにも応用可能な二足歩行の運動学原理の解明、高齢者歩行の分析、義足の設計支援などの研究に利用されつつある。さらに呼吸循環器系、筋疲労や力の知覚などの筋肉の感覚系のモデル化研究にも取り組んでいる。

人間の快・不快，安心・不安などの感性，情動などは高次の認知心理特性であり，これをデジタル化，モデル化することはデジタルヒューマン技術の中でも最も困難な研究課題である。このような認知心理特性についても実用的な視点からの研究を行っている。すなわち，自動車などの運転操作性，居住性の評価，さらには発達障害児の教育プログラム開発などへの応用を想定した研究を行っている。

#### (2) 身体動作を支援する機器・用具の開発と評価

車いす，義足などの福祉用具，あるいは自動車の運転操作系など人間の身体動作と深い関連のある機器用具の開発のためには，人間と身体運動特性を知り，かつ，その特性と機器用具の動力学特性との力学的相互関係を理解することが重要である。ここでは前述のデジタルヒューマン技術に基づき，身体の運動制御性を把握した上で，人間の動作に関連する機器用具の評価開発の研究を行っている。具体的には，歩行用ポール，足部サポータ，義足などの歩行支援用具，自動車のステアリングなどを

対象として研究を行っている。これらの研究では、モーションキャプチャ装置や筋電計などの計測装置を利用した身体動作計測を行い、そこから得られたデータを直接的に評価することも行うが、身体筋骨格モデルなどのモデル解析手法により、筋力など直接計測が困難な生体内負荷を推定し、それに基づいた評価を行う。

### (3)人間中心設計の概念に基づくパーソナルビークルのコンセプト設計

一人から少数の乗員を想定したパーソナルビークルが次世代の都市交通を考えるうえで重要である。ここでは車両が小型化されるため、相対的に人の身体挙動の影響を車両が大きく受けることになり、むしろ積極的に身体の力学特性を操作系・駆動系に加味する必要が生じる。ここでは機械システムの中心に人間を据えて考える人間中心設計の概念に基づいて、新しいパーソナルビークルのコンセプトを提案することを目的とする。

### ⑭准教授：准教授：小口 俊樹

研究分野：制御工学

研究内容：非線形制御理論，むだ時間システムの制御，ネットワーク結合系の同期と制御，群移動体のフォーメーション制御

「非線形システム」と「むだ時間」をキーワードに、非線形制御理論を中心とした制御理論の開発とその応用に関する研究を行っている。

#### (1)むだ時間非線形システムに対する制御理論に関する研究

機械システムに限らず、我々を取り巻くシステムの大抵のものは非線形性を有しており、さらに情報の遅延などシステム内外におけるむだ時間の存在は、システムの挙動を一層多様で複雑なものとしている。本研究室では、このようなむだ時間を有する非線形システムの制御系設計理論の構築を継続的に研究してきた。特に、線形むだ時間システムにおける有限極配置問題の非線形むだ時間システムへの拡張とその可解条件の導出や、大規模非線形むだ時間システムの安定解析手法や制御系設計手法などについての理論研究を行っている。

#### (2)ネットワーク結合系の同期と制御

近年、生物的集団協調運動は、マクロ的秩序形成の観点から、多様な分野の研究者に注目されている。例えば、心拍運動や概日周期は、細胞集団が協調して生み出すマクロなリズム運動である。本研究では、非線形力学理論の分野における結合カオス系の集団同期の研究を基礎に、サブシステム間の情報伝送遅延を考慮した集団同期現象の解析と、その知見を制御工学へ応用することを目的としている。伝送遅延と結合強度パラメータにより、結合ネットワーク系は完全同期や部分同期といった現象を生じる。この同期パターンの形成は、ロボットの歩容生成や分散協調制御へ応用可能であると考えられる。そこで、本研究では、情報伝送遅延により生じるむだ時間と結合強度をパラメータとした遅延結合ネットワーク系におけるパターン形成の解析とその制御について研究している。さらに、その工学的応用として、海外の大学とのインターネットを用いた遠隔同期制御の共同実験を行っている。

#### (3)群移動体のフォーメーション制御

自然界における幾何学的・空間的秩序形成をなす集団協調運動として、渡り鳥の編隊飛行や魚の群れ行動が挙げられる。今日、これらの行動の研究は、単に現象の理解に留まらず、ロボット工学、通信・センサーネットワークなどへの工学的な応用へと発展している。とりわけ、生物集団に見られる秩序形成は、車両や飛行機などの移動体の編隊（フォーメーション）制御として、人工物世界における実現が試みられている。本研究では、複数の移動ロボットを用いた集団協調運動を、相互の情報伝達の遅延を考慮したうえで制御する手法について研究を行っている。同期理論に基づく状態予測を用

いた長距離遠隔制御による車両ロボットの遠隔制御や、群車両ロボットのフォーメーション制御、渋滞解消問題などを、理論と実験の両面から研究している。

⑮准教授：本田 智

研究分野：設計工学

研究内容：マイクロマシン(MEMS)、マイクロ機械要素、6自由度ミニチュア姿勢デバイス、ワイヤーけん引式球面モータ

本研究室では、大きさが  $100\mu\text{m}$  以下の極小機械部品の製作法を探求し、これを  $1\text{mm}^3$  以下の超小型で、超精密、かつ、超機敏に動くマイクロマシンについて研究している。最終ゴールは、究極の微小機械とは何か、どこまで機械を小さくできるか、かつ、その機械は世の中に何をもたらすか、この問いを学術的・実用的に解き明かし、マイクロマシンの原理・原則を構築したいと考えている。

マイクロマシンの研究は 1980 年台後半に IC 製造装置を用いて超小型歯車が製作されたことから始まり、人類が今までに実現したことがない全く新しい機械を“創出”できるという期待から多くの研究が行われ、超小型高感度センサーや光通信機器への応用が始まっている。しかし、これらは、動的な可動部を持たず、それぞれの寸法を縮小することだけで得られる微小現象を利用した「静的な」マイクロ・デバイスであり、「動的に」動く本来のマイクロマシンではない。

研究では、下記に示すマイクロ機械要素と、これらマイクロ機械部品を組立てたマイクロマシンを試作し、各マイクロマシンの性能を理論的・実験的に解明する。

#### (1) 超極細ワイヤーを用いたマイクロねじ/マイクロナットの研究

ワイヤー径が  $10\mu\text{m}$  以下の超極細ワイヤーを 2 本 1 組として極細ピンに密着して巻き付け、この 2 本の超極細ワイヤーをピンに半田付けした後、1 本のワイヤーを取り除くことで、ピッチが  $20\mu\text{m}$  以下のマイクロねじとマイクロナットを試作する。研究では既に、ワイヤー径が  $20\mu\text{m}$  の超極細ワイヤーを用いてピッチ  $40\mu\text{m}$  のマイクロねじ/マイクロナットを試作しているが、ワイヤー径が  $10\mu\text{m}$  以下の超極細ワイヤーでは、ワイヤーがあまりにも細いため、表面張力の作用や溶融した半田の流動抵抗など、様々なマイクロ現象によって試作することが難しく、研究では、ワイヤーの新しい接合方法を考案し、ピッチ  $20\mu\text{m}$  以下のマイクロねじ/マイクロナットの試作を試みる。

#### (2) 超極細ワイヤーを用いたマイクロはすば歯車・マイクロ曲がり歯かさ歯車の研究

ワイヤー径が  $10\mu\text{m}$  以下の超極細ワイヤーを直径  $0.5\text{mm}$  以下の極細ピンの外周に多数本、密着させて配置し、ワイヤーをピンに接合した後、ワイヤーを 1 本おきに取り除くことで、モジュール  $m=6.37\mu\text{m}$  以下のマイクロはすば歯車を試作する。研究では、既に、線径  $50\mu\text{m}$  のステンレス線を用いて、歯数 17、モジュール  $m=31.8\mu\text{m}$ 、刃先円直径  $640\mu\text{m}$  のマイクロはすば歯車の試作に成功している。研究では、線径が  $10\mu\text{m}$  以下の超極細ワイヤーを用いたマイクロはすば歯車を試作し、併せて、これらマイクロはすば歯車を機構学的に解析し、新しい噛み合い理論を構築する。さらに、マイクロかさ歯車/内歯歯車など、様々なマイクロ歯車の試作にも挑戦する。

#### (3) 超極細ワイヤーを用いたマイクロタービンの研究

ワイヤー径が  $30\mu\text{m}$  以下の超極細ワイヤーを直径が  $3\text{mm}$  以下の円錐面に多数本、密着させて配置し、ワイヤーを円錐面に接合した後、ワイヤーを 1 本おきに取り除くことで、翼間距離が  $60\mu\text{m}$  以下のマイクロタービン翼を試作する。研究では、既に、線径  $100\mu\text{m}$  の錫メッキ銅線を用いて、翼数 20、直径  $8\text{mm}$  のマイクロタービン翼を試作している。研究では、さらに小さなタービン翼および静止翼を試作し、マイクロタービンシステムを構築する。また、超極細ワイヤーを 3 次元的に編み込むことで、軸流型マイクロタービン翼の試作にも挑戦する。

マイクロマシンの研究のほかに、新しい機械の創出として、以下の研究を進めている。

(4) パラレルリンクを用いた6自由度ミニチュア姿勢デバイスの研究

この研究では、直径1cm 高さ1cm の円柱ブロックに、6本の弾性伸縮ヒンジと上下2つのステージで構成したパラレルリンクを“透かし彫り”の要領で切削することで、6自由度の位置・姿勢決めが可能なミニチュアデバイスを試作・研究する。既に、直径60mm 高さ50mm の円柱から削り出したステージを試作しているが、さらに小型化したデバイスを目指し、新しい弾性ヒンジを考案し、また、このデバイスの性能を実験的・理論的に明らかにする。

(5) ワイヤード引式球面モータの研究、

直径2cm の円筒状の軸受けの上に、直径3cm の球殻を載せ、この球殻表面に4本のワイヤードを配置し、この4本のワイヤードを引き込み・送り出すことによって、球殻を3方向(回転2軸、旋回1軸)に同時に動かすことができる球面モータの試作する。そして、この球面モータの原理を応用した走行型球面モータの試作を試み、性能を明らかにする。