

## 研究概要 第2部

## 中川 研究室 (先端素材製造学)

教授 中川 威雄 (昭和45年度~平成10年度)

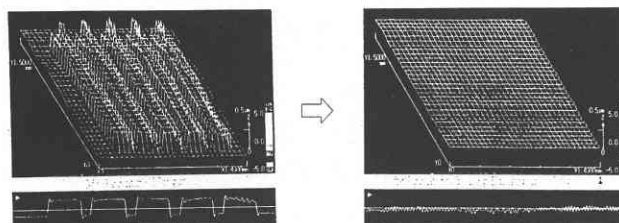
中川研究室は1970年に発足したが、1977年より8年間は複合材料技術センターに、また1985年より10年間は先端素材開発研究センター(その間中川教授はセンター長を兼ねる)に属した。1995年からは第二部化学機械学部門を担当し、主たる研究場所を千葉実験所に移し、引き続き先端素材製造学の研究を行ってきたが、中川教授停年退官に伴い1999年3月末をもって中川研究室は閉室する。最近の室の構成員は、中川威雄(教授)、野口裕之(助手)、鈴木美佐子(主任)である。

過去の10年間の研究活動は、前半は上記センター所属研究室として先端素材製造に関する研究を行った。具体的なテーマとしては、新素材開発に欠かせない粉末成形法の研究と、新素材や電子材料の精密加工の研究を行った。この中でCNC粉末成形機(粉末冶金協会進歩賞)、粉末の圧縮流動成形法、ELID研削(大河内記念技術賞)、デバイスウエハのCMP研磨等に成果を得た。

また、後半は主として型技術および樹脂成形技術の研究に取り組み、光造形、積層金型、転写によるラピッドツーリング、磁気研磨、ブロー成形FEシミュレーションおよび高導電性プラスチックの研究を行った。この中でセラミックのラピッドプロトタイプング、磁気研磨、導電性プラスチックについては実用化に成功した。

この間助手として在籍した安斎正博博士は理化学研究所に転出し、また大森整(理研)、張黎紅(HOYA)、鶴英明(ホンダ)、朴圭烈(韓国蔚山大学)、丁海島(韓国釜山大学)、徐毅(NTTデータシーメット)、王松(理研)、守安精(理研)の8名が大学院学生として在籍し博士の学位を取得した。さらに、この間の共同研究を行った論文博士は大上哲郎(日鐵テクノリサーチ)、兼子正生(日工大)、張海鷗(中国華中理工大学)、高橋清造(日大)、Kai Loose(理研)、高橋一郎(理研)、松岡甫篁(理研)の7名である。

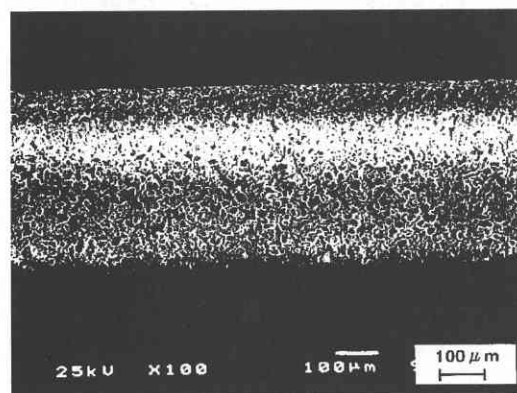
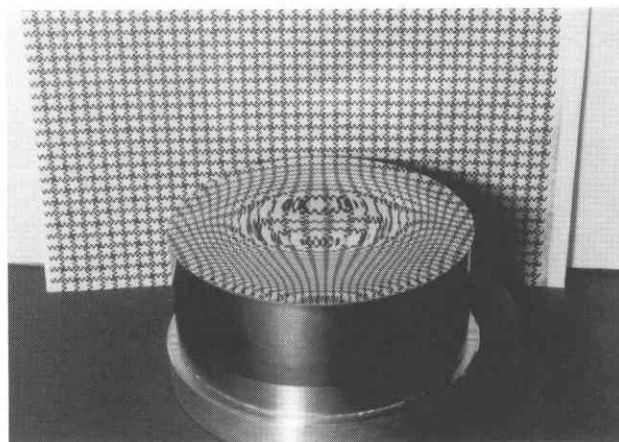
中川教授は1985年より理化学研究所主任研究員、また1994年より研究基盤技術部長を兼務しており、そのため理化学研究所との密接な協力関係をもって研究を進めてきた。また、1995年より豊田工大客員教授となり大学院学生の研究指導も行った。



CMP前(段差500nm)

CMP後(段差15nm)

デバイスウエハの平坦化研磨

体積固有抵抗 $10^{-5}$ オーダを示した高導電性プラスチック (ABS45, Sn40, Cu15 vol%)

ELID研削によるX線非球面ミラー

## 木内 研究室 (変形加工学)

教授 木内 学 (昭和 43 年度～)

本研究室は昭和 43 年 4 月に開設され、以後一貫して変形加工学特に塑性加工学の基礎研究・応用研究を行っている。過去 10 年間の研究室構成員は、木内 学教授 (昭和 43～)、新谷 賢助手 (昭和 44～)、杉山澄雄助手 (昭和 50～現、柳本研究室助手)、田辺明三 技術官 (平成 6～8)、その他企業よりの受託研究員延べ 30 名、外国人研究員延べ 4 名、大学院学生延べ 10 名、留学生延べ 6 名が在籍した。

### 1. 溶融・半溶融金属の成形加工に関する研究

アルミ合金・銅合金等の小径・異形の棒・線材、同じく小径・薄肉の管材、各種機械部品あるいは自動車部品・電気部品等を半溶融状態のピレットから直接的に製造する技術およびプロセスの開発研究を推進している。具体的には、押出し・引抜き・圧延等の機能を複合的に実現できる加工試験機を製作し、これを用いて、半溶融金属材料の直接加工を安定的に実現するのに要する加工上の諸元の解明、得られた製品特性の検討などを進めている。更に、ダイカスト加工と半溶融鍛造・熱間鍛造を複合化したダイカストフオージング加工の開発も進めている。

### 2. ロールフォーミング加工に関する総合的研究

ロールフォーミング加工の技術的体系化および応用技術・関連技術の開発を目指して広範な研究を行っている。素材の変形特性並びに製品の形状不良問題の解明をはじめ、パススケジュールの最適化法の開発、ロール設計の自動化技術の開発、あるいはまたそれらの中核となる汎用シミュレーションシステムの開発、製品品質の評価技術の開発などを進めている。その他、実際加工時の各種問題につき調査・分析・モデル試験などを行い、技術的改善や新技術の開発研究も進め、多くの成果を得ている。

### 3. 高機能管材の製造・加工技術に関する研究

丸管・構造用角管・その他の異形管あるいはフィン付管等のロール成形加工並びに圧延加工を中心とする製造技術、各種管材の押出し・引抜き・曲げ・絞り・バルジング等の二次加工技術について広範な研究を進めている。特に円管を母材とする各種管製品の製造について、理論的・実験的研究を進め、この分野の技術的体系化を目指すとともに、実加工技術の改善ならびに新製品や新加工技術の開発についても研究を進め、多くの成果を得ている。

### 4. 半溶融加工法の新素材開発への応用に関する研究

半溶融状態にある金属材料の変形抵抗・変形能・接合性・攪拌性・混合性などの諸特性を系統的に明らかにするとともに、これらの特性を利用した新素材の製造プロセスの開発を進め、特にアルミニウム合金・銅合金を基材とする各種複合材料の棒・線・管・板材や各種複合素形材を効率的に製造する半溶融押し出し法、半溶融圧延法、半溶融鍛造法の開発と応用について研究を進めている。高強度・高品質の粒子または繊維強化複合材料の他に、粒子強化積層型複合材料の半溶融製造法等の開発も進めている。

### 5. 塑性加工の複合数値解析法に関する研究

上界法・有限要素法・スラブ法等を複合的に活用し、各種塑性加工プロセスの中で従来解析が困難とされていた問題の解明、例えば各種組み合わせ材の圧延・鍛造・押し出し・引抜き加工時の構成素材の変形挙動の解明、各種塑性加工時の母材の内部欠陥の発生メカニズムの解明、粒子強化・繊維強化複合材料の加工限界の解明、各種塑性加工時の製品の形状不良の発生機構の解明、などを簡便且つ効率的に行い得る手法の開発を進め、多くの成果を得ている。併せて、本解析手法を活用して各加工技術の改善と拡張を進めている。

### 6. 鍛造加工汎用シミュレータの開発に関する研究

UBET (Upper Bound Elemental Technique) 法に基く解析モデルを組み合わせ、非軸対称・異形・中空を含む多様な形状を有する製品の鍛造加工について、加工力・被加工材の流動状態・工具面圧力・型キャビティーへの被加工材の充填過程・加工限界などの総合的解析を可能とするシミュレータの開発を進めている。すでにその中核となる幾つかの解析モデル・解析プログラムの開発を行い、実際加工への適用を図るとともに、解析モデルの一層の拡張を目指している。

### 7. 押し出し・引抜き加工汎用シミュレータの開発に関する研究

任意の断面形状・寸法を持つ棒・線・管・形材の押し出し加工・引抜き加工について、加工力、被加工材の流動状況、ダイキャビティーへの被加工材の充填挙動と充填限界、製品の寸法精度、最適工具形状、等を一般的に解析し予測できるシミュレータの開発を進めている。すでに上記目的を

十分に達成し得る理論の構成およびコンピュータプログラムの開発に成功し、現在、様々な角度から実際加工への適用を行っている。

### 8. 複合板材の圧着圧延製造法に関する研究

非対称圧延技術を応用してクラッド板・サンドイッチ板等の複合板材を製造する方法について一連の研究を進めている。特に、この複合化圧着圧延プロセスを総合的に解析しうる数学的モデルの開発に成功し、これを用いて、所要の複合板材を製造するのに要する圧延条件のあり方について系統的な検討を行い、多くの有用な知見を得ている。

### 9. 半凝固処理金属の製造技術に関する研究

金属溶湯にせん断かくはんおよび急速冷却を加えて半凝固スラリーを連続的に製造する新しい方法として、せん断冷却ロール法 (SCR 法) を提案し、各種条件下での製造実験を繰り返しつつ、プロセスの特性解明を進め、所要の半凝固スラリーを得るのに要する加工条件を探索している。併せて、得られた半凝固スラリーの内部構造や凝固終了後の機械的特性について調査を進めている。

### 10. 半溶融接合技術の応用に関する研究

半溶融金属の優れた接合特性を利用した各種金属素材の接合技術の開発を進めている。特に、基材表層に線状素片、板状素片、球状素片を挿入、圧接、埋込み法などにより接合し、高性能ヒートシンク、高耐摩耗性摺動材をはじめとする各種機能性部品あるいは表層機能改質材の開発を進めている。

### 11. 人機能支援工学に関する研究

工学・技術の成果を活用して人間の諸機能を高め、補完して、人間の活動能力と活動範囲を拡大し、人間の生存・

生活の質を高めるための諸方策について研究を進めている。特に介護のための人機能支援システム、生産活動の高度化を目指す人機能支援システムの開発に重点を置いて研究している。

### 主 要 文 献

- 1) ロールフォーミング加工のシミュレーションモデルの開発：学術雑誌 塑性と加工 27/306 1986 年。
- 2) 偏芯クラッド棒・線材の引抜き加工後の形状・寸法と加工限界の予測：学術雑誌 塑性と加工 30/346 1989 年。
- 3) 半溶融状態での加圧溶浸および接合による金属—セラミック複合材の製造：学術雑誌 塑性と加工 36/416, 960-966 1996 年。
- 4) ロールフォーミング加工の解析的研究、各種変形態に対応する応力分布：学術雑誌 塑性と加工 10/104 1969 年。
- 5) 正方形・矩形・六角形その他異形材の押し出し・引抜き加工の上界法による解析：学術雑誌 塑性と加工 24/266 1983 年。
- 6) アルミ合金および鋼合金の半溶融変形抵抗・変形挙動に関する検討：学術雑誌 塑性と加工 20/223 1979 年。
- 7) 半溶融鍛造法による粒子強化複合材料の製造および加工：学術雑誌 塑性と加工 24/272 1983 年。
- 8) 孔型圧延加工の複合数値解析：学術雑誌 塑性と加工 30/336 1989 年。
- 9) 異形材の押し出し加工における非定常変形の解析：学術雑誌 塑性と加工 30/336 1989 年。
- 10) 非軸対称複合鍛造の解析：学術雑誌 塑性と加工 30/342 1989 年。
- 11) 非対称複合圧延の解析と実験：学術雑誌 塑性と加工 30/344 1989 年。
- 12) 形材圧延の汎用シミュレータの開発 I：学術雑誌 塑性と加工 36/408, 41-46 1995 年。
- 13) 多軸押し出し法による複合材の製造 I：学術雑誌 塑性と加工 36/410, 224-229 1995 年。
- 14) プラネタリーローラーレデューサーによる管材の絞り成形：木内 学, 新谷 賢・塑性と加工, 38/433, 177-182 1997 年。

## 前田 (久) 研究室 (浮体工学)

教授 前田 久 明 (昭和44年度～)

講師 宮 島 省 吾 (昭和62年度～平成9年度)

本研究室は昭和44年度に工学部に転出された田宮真教授の研究室を引き継いで発足した。過去10年間の研究室職員は、前田久明教授(昭和44～)、増田光一研究員(昭和57～)、宮島省吾講師(昭和62～平成9)、鈴木文博技術官(昭和44～)、鈴木す江子(昭和61～)、居駒知樹機関研究員(平成9～10)が在籍した。研究室発足以来、風、波、潮流の自然環境下での船舶、海洋構造物等の浮体の運動学に関する研究を進めている。

### 1. 多方向不規則波中の係留浮体の挙動解析に関する研究 (平成2～)

浮体の係留システムを設計するには、入射不規則波の成分波の差周波数と和周波数の非線形流体力を精度よく推定することが重要である。しかも入射波の方向性まで考慮すると、周波数の違いに方向性の違いを同時に考慮しなければならなくなりその組合せは急激に増大する。現在、差周波数の流体力に基づく長周期動揺の解析プログラムを開発し、2方向波中の水槽試験によりその有効性を確認した。さらに和周波数流体力についても計算プログラムを開発中である。

### 2. 超大型弾性浮体に関する研究 (平成7～)

海上空港を想定した超大型浮体は相対的に剛性が下がるため流力弾性が重要な課題となる。ポンツーン型浮体の波浪中挙動、係留システム挙動それぞれのシミュレーターを開発した。現在、多方向波中時間領域の解析法を開発中である。また超大型浮体まわりの生態系を含めた環境影響の解析法も開発中である。

### 3. 海洋構造物の安全性評価に関する研究 (平成5～)

海洋構造物の事故データを解析し、リスクスペクトルを作成した。さらに各種事故の関連を明らかにし、事故対策の最適化アルゴリズムを構築した。さらに海洋構造物の合

理的安全性評価のために、シミュレーションに基づくリスク解析についての研究を進めている。

昭和63年以降上記の研究の他に、波浪エネルギー利用に関する研究(昭和52～)、多方向不規則水波に関する研究(昭和61～)、潜水艇の運動性能に関する研究(昭和61～)、ライザー管の挙動解析に関する研究(昭和64～)、養殖いけすの動力学(平成元年～)、多方向波中での船体に加わる波浪荷重に関する研究(平成6年～)を進めている。

### 主 要 文 献

- 1) H. Maeda, Zhi Yu: On the Modeling of a OWC Wave Power System, 関西造船協会誌, 215 (1991).
- 2) 前田, 増田ほか: 多方向不規則水波の数値生成法に関する研究, 関西造船協会誌, 221 (1994).
- 3) E. A. Barros, H. Maeda et al: Local Path Planning for an AUV using a Cooperative Control System, OCEANS'93, vol. 2 (1993).
- 4) H. S. Shin, H. Maeda, S. Miyajima: Dynamics of Moored Structure with an Attached Underwater Line Structure, BOSS'94, vol. 2 (1994).
- 5) 前田, 横山, 牧田: 潮流中における一点係留浮沈網いけすの抵抗力と傾斜角推定法, 日本沿岸域会議論文集, 2 (1990).
- 6) 宮島, 趙, 前田: 浮遊海洋構造物の長周期動揺特性に対する方向波の影響について (第1報), 日本造船学会論文集, 173 (1993).
- 7) 前田, 林ほか: 多方向不規則波中を航行する船舶の応答の実用的時間領域解析法 (第1報), 日本造船学会論文集, 180 (1996).
- 8) 前田, 増田ほか: ポンツーン型超大型浮体式海洋構造物の波良中弾性応答に関する研究, 日本造船学会論文集, 178 (1995).
- 9) 前田, 山崎: 遺伝アルゴリズムによる浮遊式海洋構造物の最適な安全対策の決定法, 日本造船学会論文集, 173 (1993).

## 増沢 研究室 (微細加工学, マイクロプロセッシング)

教授 増 沢 隆 久 (昭和46年度~)

当研究室では昭和46年(1971年)開設以来,生産加工技術を中心とした研究が行われている。主要な分野は各種の微細・精密加工技術,および微細形状測定技術である。

微細加工については数 $\mu\text{m}$ から数百 $\mu\text{m}$ の寸法形状の加工,いわゆるマイクロ加工の領域について,総合的な加工技術体系づくりを行っており,任意の材料に任意の形状の加工が生産レベルで行えるようにすることが最終目的である。また,こうして加工された微細な製品の評価技術として微細形状の測定手法の開発を行っている。

研究成果のうち,いくつかはすでに実用化され,加工機,測定機等の製品となって生産現場に導入されている。以下に最近の研究成果のうち主なものを掲げる。

### 1. 放電加工による3次元的形状のマイクロ加工

マイクロ放電加工では電極消耗のため,電極形状を工作物に精密に転写するのが困難である。そこで,円断面,正方形断面等の単純形状電極を用いて浅い切込みの層状加工を行うことで電極消耗を簡単に補正できる,均一電極消耗法を開発した。これにより,任意の微細3次元的形状を単純工具の軌跡制御により精度良く加工できるようになった。(図1:微細金型加工例とモールドされた製品)

### 2. 超音波加工による硬脆材料のマイクロ加工

機上での工具成形と,超音波振動を工具ではなく工作物に与えることにより,超音波加工の高精度化を実現し,従来直径100 $\mu\text{m}$ 程度までと言われた微細加工限界を5 $\mu\text{m}$ 程度まで向上させた。(図2:石英ガラスへの加工例)

### 3. 複合的加工によるマイクロノズルの製作

精密に作成したコアの囲りに電鍍により本体を生成する複合的手法を用いて,数 $\mu\text{m}$ までの微小径のノズルを作成するプロセスを開発した。異形の開口や,アスペクト比が50以上のノズル作成が可能である。(図3:加工例)

### 4. マイクロ加工・アセンブリ統合システムの開発

微細な部品は把持が困難で,後続工程に多くの問題を生ずる。これに対する一つのアプローチとして,加工から部分的組立てまでをチャック替えなしに行うシステムを検討し,有効性を確認した。

### 5. ダブルワイヤ方式によるワイヤ放電加工の高精度化

ワイヤ放電加工において,ワイヤのたわみは加工精度低

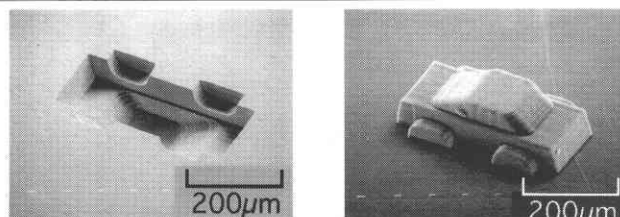


図1

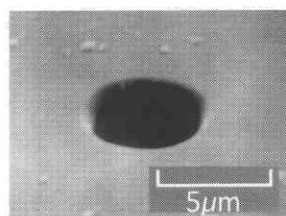


図2



図3

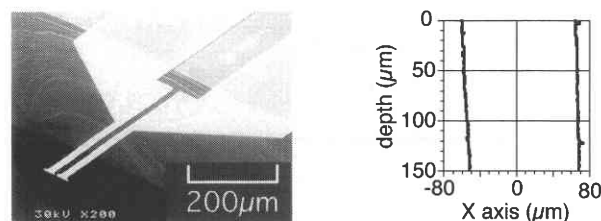


図4

下要因の主要なものの一つである。そこで,2本のワイヤを密着させて平行に走行させることで,振動,たわみを大幅に減少させることに成功した。

### 6. バイブロスキャニング法による細穴の内部形状測定

細穴加工技術の発展に対し,加工された穴の三次元的形状,寸法評価技術は大幅に遅れている。当研究室では,間欠的な電氣的接触により表面位置を検出する新しい手法としてバイブロスキャニング法(VS法)を開発し,直径数十 $\mu\text{m}$ までの,アスペクト比の大きい穴の内部形状の非破壊測定に成功した。さらに,電氣的な絶縁体に対しても適用可能とするツインプローブ方式のVS法へと発展させている。(図4:プローブ外観と穴形状測定例)

## 小林 研究室 (流動予測工学)

教授 小林 敏 雄 (昭和45年度～)

10年の経緯：本研究室では1970年の発足当初から大型コンピュータを利用した流動解析・予測に研究の中心をおいている。1985年頃、乱流 Large Eddy Simulation (LES) を中心とする数値流体力学の実用化、および、Particle Imaging Velocimetry (PIV) を柱とする流れの可視化計測技術の開発に本格的に着手し、現在の研究基盤となっている。1989年に谷口助教授が、1998年に大島まり講師が加わり、数値流体力学の研究は燃焼や生体分野などにも拡張されつつある。1999年3月の陣容は、小林敏雄教授、佐賀徹雄助手、瀬川茂樹技術官の教職員とポスドク3名、大学院学生9名(博士5、修士4)および企業などからの研究員数名である。

最近の研究：乱流 LES に関する研究は文部省重点領域研究「数値流体力学」(1987～90)、「乱流の数値モデル」(1993～95)に参画すること、さらに、NEDO最先端分野研究(1996～98)に採択されたことで大きく進展した。乱流 LES の設計には、乱流モデルの開発、境界条件モデルの設定、流れ場形状の適切な記述法と高精度な計算手法の開発が必要である。最近において、乱流モデルに関してダイナミック・サブグリッド・モデルの開発が達成されるなど実用化も近い。これまで、剥離を伴う乱流場、乱流噴流、壁衝突噴流、振動する物体周りの乱流場、円管旋回流についての数値検証を行った。これらの成果に基づき、非定常・複雑乱流に対応する LES 法を確立し、乱流を軸に燃焼、化学反応、混相流との相互干渉を含むモデルの構築による複合現象の解明・制御を目指している。

乱流 LES および可視化計測技術の主要ターゲットとしてガスタービン燃焼器などの燃焼流れの設計・制御を取り上げている。高効率の燃焼器設計を行うためには乱流混合の予測が鍵となる。まず、流れ場の基本要素として、2次

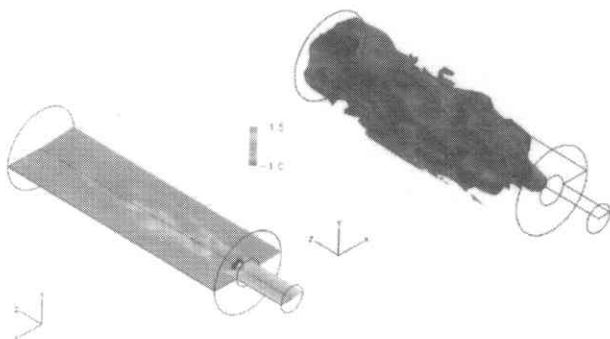


図1 燃焼器内流れと火炎のシミュレーション

元自由噴流、円管流れ、壁衝突流れ、剥離流に対して LES の有効性を PIV 計測データなどに基づき検証し、その成果に基づき、ガスタービン予混合燃焼器の数値シミュレーションを試みた。予混合された燃料空気が保炎器に衝突する際の瞬時速度分布と火炎伝播が LES により予測される。この種の計算により、保炎器形状が乱流混合に与える影響や火炎安定限界などが明らかになると期待される。

一方、PIV に関しては、トレーサー粒子追跡法 (Particle Tracking Velocimetry) を中心に、流れ計測法としての高精度化と同時に、高速流への適用性、3次元計測への応用を図り、広く理工学へ適用できるシステムを提供した。現在、トルクコンバータ翼列やエンジンシリンダなど実用的な流れ場設計へ応用されている。さらに次の段階として、液晶マイクロカプセル、あるいは、レーザー誘起蛍光法 (Laser Induced Fluorescence) を用いた可視化画像による温度・速度同時計測システムを開発し、乱流モデル検証のための高温噴流の詳細構造に関わる学術的データから、空調設計など実用的な流れ場データ取得まで、広範囲の応用を試みている。最近、これら可視化計測システムの精度評価の標準化とデータベースの共有が世界的規模で進められ、流れの複雑現象、特に非定常問題の解明への利用が注目されている。その一例として本研究室において行った水槽内で液面が揺動するスロッシング現象の PIV 計測結果を示す。水槽に流入する噴流が液面変動と干渉して揺動する様子が瞬時温度分布として捕らえられた。

### PIV result of an unsteady flow field

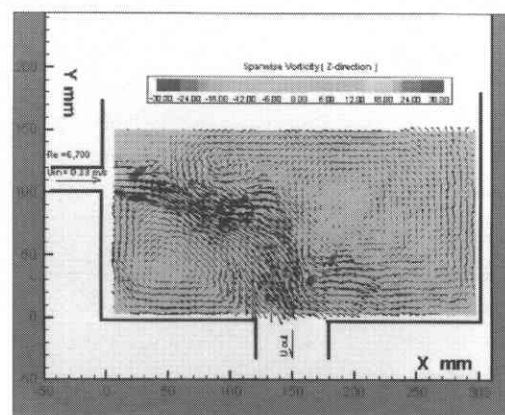


図2 噴流と水槽液面スロッシング干渉の PIV 計測

## 藤田(隆)研究室(構造物制御工学)

教授 藤田 隆 史(昭和49年度~)

講師 田川 泰 敬(平成3年度)

当研究室は、1979年より免震構造に関する研究・開発を実施し、我が国における免震構造技術のパイオニアとして、その啓蒙、実用化、体系化に貢献できたと自負している。この10年間は、「構造物制御工学」(Structural Control)という専門分野を標榜して、免震構造からアクティブ振動制御システムへ、さらにスマート構造へと、研究の重心を移しながら現在に至っている。これらの研究は、田川泰敬元講師(89年4月助手, 91年10月講師, 92年4月より東京農工大学講師, 現在同助教授), 鎌田崇義元助手(94年4月助手, 98年4月より東京農工大学助教授), 大堀真敬助手(97年4月~), 嶋崎 守技術官(88年4月~), 大学院学生, 民間等共同研究員, 受託研究員, 研究生の諸氏の協力によるものである。

### 1. 高層建物のアクティブ制振システムの研究(1985年度~)

本研究では、独創的なアクティブ・パッシブ切換え型マスタダンパを提案し、油圧アクチュエータを用いたタイプ, ACサーボモータを用いたタイプ(図1), リニアモータを用いたタイプを開発し, それらすべてを実用化させている。また, 当研究室が提案・開発した, 風や地震などの外乱の強さに応じて制御の強さを変化させるゲインスケジューリング制御則は, その有効性が広く認められ, 今やアクティブマスタダンパの標準的な制御則になっている。



図1 ACサーボモータを用いたアクティブ・パッシブ切換え型マスタダンパの実用例

### 2. 精密機器のアクティブ微振動制御システムの研究(1987年度~)

半導体製造設備を主対象としたアクティブ微振動制御システムの開発を行っており, リニアモータ, ピエゾアクチュエータ, 超磁歪アクチュエータを用いた3タイプを開発し, 後の2タイプを実用化させている。また, 大型のアクティブ微振動制御装置(図2)のために, 機器・テーブル系の弾性振動を考慮した制御則を開発し, 実用化させている。

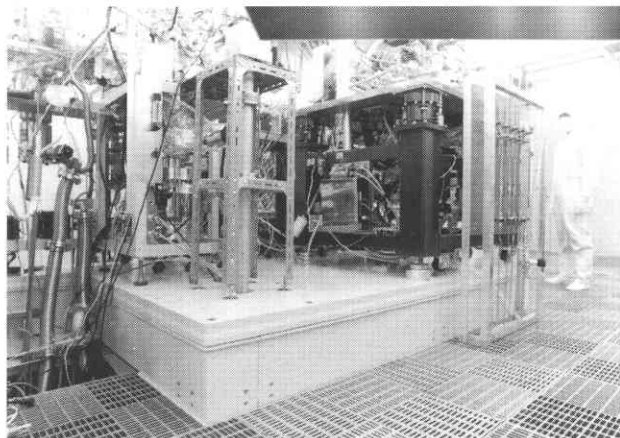


図2 ピエゾアクチュエータを用いた大型アクティブ微振動制御装置の実用例

### 3. スマート構造の研究(1992年度~)

スマート構造(構造部材に圧電素子や光ファイバーなどのアクチュエータ/センサを組み込んで, 構造物に筋肉/神経の機能を持たせた構造)が, 現在のメインテーマである。圧電素子を用いたアクティブ/パッシブ・スマート構造によって精密機器本体の微振動減衰能力を増加させる研究や, 圧電/超磁歪アクチュエータを用いたアクティブ・スマート構造によって半導体工場など精密生産施設建物の微振動減衰能力を高める研究を行っている。また, 土木・建築構造物の基礎杭などの構造健全性モニタリング・システムの研究も行っている。

## 吉識 研究室 (熱エネルギー変換工学)

教授 吉 識 晴 夫 (昭和45年度～)

本研究室では、発足以来エネルギー関連機器、特にガスタービンに関連する研究を行ってきた。この10年間に在籍した者は、職員では、教授吉識晴夫、助手遠藤敏彦、西村勝彦、技術官高間信行である。その他、研究員1名、協力研究員2名、外国人客員研究員1名、大学院学生20名、外国人研究生7名である。

現在、エネルギー消費の抑制と地球環境の保全の重要性が益々増大している。しかし、人類が生存してゆくためには、エネルギーの消費を避けることはできない。本研究室では、これらの問題を解決するため、エネルギーの有効利用システムを確立するための基礎研究として、以下のようなエネルギー機器の要素技術及びエネルギーシステムの研究を行っている

### 1. ディーゼル機関のターボ過給システムの最適化

燃料経済性、排気対策のため、車両用ディーゼル機関のターボ過給化が進められている。この容積型のディーゼル機関と速度型のタービンの組み合わせを最適化するため、(a) 往復動機関の吸排気管路内の流体力学的特性、(b) ディーゼル機関の脈動排気で駆動されるラジアルタービンの非常常流特性、の研究を行っている。また、ディーゼル機関の出力向上、燃費改善、排気浄化のため、燃焼制御が重要な役割を果たす (c) ディーゼル機関の吸気スワール特性等の研究を行い、定常状態の吸気スワールの基礎データを求め、機関設計指針を提示してきた。

### 2. ガスタービンの流体力学的研究

小型で高性能なラジアルタービンの設計法を確立するための基礎研究として、(a) 小型ラジアルガスタービンの3次元圧縮性流体の数値解法の開発を、(b) 円形翼列に誘起される不安定流れについて、流動状況の把握、原因の追求、発生の防止を目的として、研究を進めている。(c) 円錐ディフューザの旋回流特性等の研究を行い、旋回流の持つ遠心力を利用することにより、小型で高性能なディフューザの設計指針を明らかにしてきた。また、部分負荷で運転される蒸気タービン翼列の作動条件に対応する (d) 周期的変動流の下で作動する翼及び翼列の非常常流特性に関する研究を行っている。

### 3. スターリング機関の基礎的研究

理想的にはカルノーサイクルの熱効率を達成でき、多種燃料に対応可能なスターリング機関の特性を明らかにする研究を行っている。これまでに、多くのパラメータの最適な組み合わせを容易に精度良く推定する方法を開発し、各因子が性能に与える影響を明らかにしてきた。現在は、この機関に特有の往復流動時の管内流動状況と熱伝達について基礎的な研究を行い、夢の機関の実現を目指している。

### 4. ガスタービンを利用する発電システムの熱力学的研究

人類の生活に不可欠な電力の発生が、地球環境問題やエネルギー問題に大きく関与している。最近のガスタービン技術の進展に伴い、ガスタービンと蒸気タービンによるコンバインドサイクル発電が火力発電の主流になりつつある。しかし、現在は化石燃料焚きを行っているため、熱効率の向上や排ガス浄化装置により、これらの問題に対処しているにすぎない。このため、今後のエネルギー問題や環境問題を解決する一方策として、メタノール利用ガスタービンや水素酸素燃焼ガスタービン等の発電システムについて、熱力学的サイクルの面から研究を行っている。

### 研究論文

- 1) Performance of Radial Inflow-Turbines for Exhaust Gas Turbochargers under Nonsteady Flow Conditions: K. Konishi · H. Yoshiki & S. Tashiro, Proc. of 1991 Yokohama Int. Gas Turbine Cong., Vol. III, 157-164, 1991.10.
- 2) 旋回流円錐ディフューザに関する研究 (静圧回復と乱れ特性について): 鄭・吉識・他3名, 機論 (B), 58-554, 3074-3080, 1992.10.
- 3) Characteristics of an Airfoil in Low Reynolds Number Flow with Strong Turbulence: H. Abe · Y. Tsutsui & H. Yoshiki, Proc. of CSPE-JSME-ASME Int. Conf. on Power Engineering - 95, Vol.2, 552-557, 1995.5.
- 4) ノズルウェークを考慮したラジアルタービンの空力励振力と動翼流入特性: 松尾・吉識・他4名, 機論 (B), 62-602, 3635-3641, 1996.10.
- 5) メタノール利用発電システムとその実用化: 吉識, ガスタービン学会誌, 24-95, 37-41, 1996.12.
- 6) 発達チャンネル乱流の乱れ特性に対するレイノルズ数の影響: 金・吉識, 機論 (B), 64-620, 986-991, 1998.4.



## 浦 研究室 (海洋環境機器工学)

教 授 浦 環 (昭和53年度～)

自律型海中ロボットの研究を中心テーマとして、海で使う機器類の研究を幅広くおこなっている。また、海難事故を防ぐために日本を代表して基礎研究から国際基準の策定までをおこなっている。昭和53年度より能勢義昭助手、昭和55年度より坂巻隆技術官が加わった。この10年間に受け入れた大学院生は、修士課程13名、博士課程9名である。

### 1. 自律型海中ロボットの研究開発 (昭和59年～)

深海の高い水圧環境は人類を容易には寄せつけない。これを克服するために、新しい観測プラットフォームとして自律型海中ロボットの研究を、自律性の基礎研究から実用大型ロボットの海域潜航試験までおこなっている。ロボットに与えられるミッションによってロボット形式は異なる。ここに着目して、様々な形式のロボットを設計製作し、これを用いて自律性の研究、ロボット構造の研究などをおこなっている。1989年の本格的なロボット「プテロア150」の建造に始まり、1998年6月には閉鎖式ディーゼルエンジンを搭載したアールワン・ロボットを太平洋で連続12時間以上潜航させることに成功している。また、琵琶湖研究所と共同で湖水環境調査のための潜水ロボット開発をおこなっている。

- 1) “航行型海中ロボット「アールワン・ロボット」の田辺市沖の自律潜航と海水観測”, 海洋調査技術, 9-1, 15-22 (1997).
- 2) “Development of an Autonomous Underwater Robot “Twin-Burger” for Testing Intelligent Behaviors in Realistic Environments”, Autonomous Robots, 3-2 & 3, 285-296 (1996).
- 3) “An On-line Adaptation Method in a Neural Network Based Control System for AUVs”, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 20-3, 221-228 (1995).
- 4) “無索海中ロボットの遠隔操作に関する研究 (その1: 時間遅れに対応するシステム構築)”, 日本造船学会論文集, 182, 499-506 (1997).
- 5) “Vision Based Object Following for Underwater Vehicles”, 日本造船学会論文集, 183, 455-461 (1998).

### 2. ニューラルネットワーク利用に関する研究 (平成元年～)

ニューラルネットワークを使うと、多入力多出力非線型系の取り扱いが簡便になる。これを利用して、運動体のダイナミックスのモデルの作成、コントローラの自動生成、知識の拡大、船舶基本設計データベースへと応用している。熟練者のノウハウを数学モデルを使わずに表す手法は、技術の伝承手法として注目されている。

- 1) “ニューラルネットワークによる自律型海中ロボットの自

己診断システム”, 日本造船学会論文集, 180, 685-693 (1996).

- 2) “ニューラルネットワークを利用した船型初期計画 (第1報) —中高速船の造波抵抗推定ツールの構築—”, 日本造船学会論文集, 183, 91-100 (1998).
- 3) “ER Fluid Applications to Vibration Control Devices and an Adaptive Neural-Net Controller”, Advances in Intelligent Material Systems and Structures, 1, 83-89 (1994).

### 3. 粉体貨物の輸送に関する研究 (昭和53年～)

微粉精鉱や微粉炭などの安全な船舶輸送のためには、それに含まれる水分値を規制しなければならない。このクライテリアを求めるための各種手法を開発し、国際海事機関へ提案し、国際基準として導入した。

- 1) “ばら積みニッケル鉱の水分値上限の決定法”, 日本航海学会誌, 123, 5-8 (1995).

### 4. 船舶のライフサイクルアセスメントの研究 (平成8年～)

船舶はNO<sub>x</sub>を大量に放出する。また、燃料消費も莫大である。地球環境の中で、船舶輸送がどのように影響を与えているかを、ライフサイクル・アセスメントの手法により研究している。

- 1) “環境ライフサイクルアセスメント”, Techno Marine, 825, 193-198 (1998).

### 5. 海難における人的要因の研究 (平成7年～)

海難事故は、当事者のみならず、第三者にも多きな影響を及ぼす。タンカーの衝突、座礁による原油の流出はその代表である。船舶輸送のような大きなシステムを健全に維持するには旧態然とした考え方ではできることが限られる。そこで、人的な要素の究明と除去、あるいは旗国の管理を含めた新しい海事秩序の構築について研究している。

- 1) “深海沈没船調査・作業用ROVの仕様について”, Techno Marine, 818, 560-565 (1997).



## 木下 研究室 (海事流体力学)

教授 木下 健 (昭和53年度～)

本研究室は、船体運動学部門を担当し、前田久明研究室と協力して、船舶および海洋構造物の運動と、それに関連する流体力学の研究を行っている。構成は高岩千人助手 (昭和58年～平成2年、現在 (財) エンジニアリング振興協会)、鮑偉光助手 (平成3年～)、市川本浩技官 (昭和60年～昭和62年)、板倉博技官 (昭和62年～) および大学院学生、外国人協力研究員である。木下教授は平成9年～11年に24ヶ月日本学術振興会ロンドン研究連絡事務所長を兼務するため、ロンドンに滞在した。

### 1. 不規則波中の係留浮体の非線形応答の確率論的解析 (昭和59年～平成4年)

浮遊式海洋構造物は位置保持のため係留されるが、その水平面内運動の固有周期は一般的に非常に長い。この運動に対しては減衰力が大変小さいため、たとえ外力が小さくても大きな変位が生じ、構造物や係留系の設計に問題を生じさせる。2次の非線形波力を外力とするこの長周期運動と線形運動との組み合わせの全応答の確率密度を、ラゲール展開により近似する新しい理論を導き、水槽実験や数値シミュレーションと比較し、実用的な統計値の理論的推定法を確立した。

### 2. 海洋波集波レンズの研究 (昭和63年～平成3年)

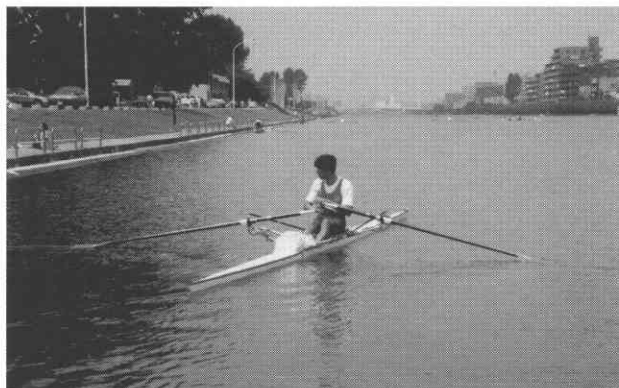
波パワーを屈折させ、集中させたり、静音域を作る海中構造物を海洋波レンズと呼ぶ。高周波の細長船理論を用いた幾何光学に対応する線形理論を導き、各断面に必要な位相差を得る形状について調べた結果、没水円柱列が規則波のみならず、不規則波でも反射波が無く最適であることが分かった。20mの長さの模型により水槽実験を実施し線形理論結果を検証するとともに、非線形影響を調べ弱非線形の理論計算と比較し良い一致を得ることを確認し、設計法を確立した。

### 3. 非線形波力と波漂流減衰力の研究 (平成元年～)

海洋に係留された浮体は係留系との同調により長周期運動、それとスプリングングやリングングとよばれる非線形振動をする。その起振力となる流体力を波傾斜と、浮体運動速度を微小量とする摂動法により精度良く計算する研究を行っている。無限領域での離散化の必要性を回避するため外部領域では、できるだけ積分を解析的に行い、内部領域では境界要素法を用いて任意形状に対応できるようにしている。規則波中の2倍、3倍周波数非線形波力、並進運動のみならず、回転運動に対する波漂流減衰力の理論計算を可能にし、水槽試験結果と比較し実用性を確認している。

### 4. 競漕艇と帆走艇の性能向上の研究 (平成5年～)

ボート競技に用いられる用具の改良と開発を行っている。既存優秀艇の曳航試験、空気抵抗試験により、新型リガー、舵、フィン、ボディーフェアリングを開発した。さらに小型検力計を開発し、シングルスカルの実艇試験を行い、ローイングの機械効率の計測システムを開発した。帆走艇については1995年と2000年のアメリカズ杯艇の運動性能の解析を理論と実艇実験の両面から行っている。



## 西尾・白樫 研究室 (応用熱事象学 (西尾), 相変化熱工学 (白樫))

教授 西尾 茂文 (昭和52年度～)

講師 白樫 了 (平成9年度～)

当研究室は、昭和53年に高温熱工学を専門分野として設立され、その後、研究内容の拡大あるいは変化に伴いはほぼ10年ごとに専門分野名を変更してきた。即ち、研究室設立後10年ほどの間に研究が超伝導磁石や電子素子などを含む広い温度範囲の冷却制御工学へと拡大したため、昭和61年に専門分野名を冷却工学と改め、その後さらに熱輸送デバイスやエネルギー機器へと研究範囲が拡大したため、平成5年に専門分野名を応用熱事象学と改めた。現在は、西尾教授、白樫講師 (平成9年4月～、専門分野：相変化熱工学)、永田助手、高野助手、上村技官をスタッフとして研究を行っている。以下に記すここ10年間の研究は、大久保講師 (昭和57年3月助手、平成5年8月講師、平成7年4月より玉川大学助教授)、大学院生、協力研究員、受託研究員、研究生の諸氏の協力によるものである。

### 1. 熱事象に関する研究Ⅰ：液相の相変化現象に関わる素過程と伝熱 (昭和53年度～)

本テーマは、当研究室の基幹をなす学術的かつ継続的基礎研究である。ここ10年間は、素過程については固液接触界面近傍の現象に注目し、凝固シェル形成に起因した移動接触界面線の不安定性、高熱流束沸騰時に現れる固液接触構造のパターンなどについて先駆的報告を行った。前者は、薄板直接製板や非晶質リボン製造などのロール冷却鑄造法における表面性状向上を目指したものである。後者は、高熱流束沸騰における伝熱を代表する特性量の同定を目指したものであり、重要な特性量として画像処理計測に基づき接触界面線長さ密度の概念を提案した。また、気液界面安定性が重要な影響を及ぼす膜沸騰伝熱を総合的に表現する蒸気膜ユニットモデルの提案を行った。これらの業績に対して、日本伝熱研究会学術賞、日本機械学会論文賞が授与されている。なお、最近、相変化現象における重要な素過程である核形成について、特に凝固核生成は過冷却とあいまって生成される固相の性質を左右する重要な概念であることから、水を例にとって核形成や融解の能動制御に関する研究を開始した。

### 2. 熱事象に関する研究Ⅱ：振動励起熱輸送現象 (平成3年度～)

軸方向に温度勾配を有する管の内部に封入された流体を軸方向振動させると、拡散促進効果とヒートポンプ効果とが現れる。こうした効果を積極的に利用すると、(相変化に基づかない)熱輸送デバイスや(固体摺動部を排除した)ヒートポンプなどが開発できる。当研究室では、振動励起

熱輸送現象における拡散促進効果に関する基礎的解析を管内液体振動流およびシリンダ内固体円柱往復動 (シャトル伝熱) について行い、後述する FOC-HTD の開発及び高効率冷凍機の開発の学術的基礎を築いた。

### 3. 熱制御工学に関する研究Ⅰ：熱輸送デバイス (平成2年度～)

小温度差で高密度の熱を輸送する熱輸送デバイス HTD としてはサーモサイフォンやヒートパイプがあるが、熱輸送限界の存在など弱点も存在する。当研究室では、これらの弱点を補う HTD として、前項の拡散促進効果を顕在化させた (非相変化型) 強制振動制御型熱輸送デバイス FOC-HTD について研究を行ってきた。その結果、標準型 FOC-HTD の性能を遥かに凌駕する逆位相型 FOC-HTD の開発に成功するとともに、FOC-HTD に熱輸送限界をもたらすと懸念された振動流の乱流遷移が逆に熱輸送性能を向上させることを実証し、さらに FOC-HTD 設計法を開発し、FOC-HTD の技術的基礎をほぼ完成させた。この研究は、逆位相型 FOC-HTD の蛇行流路内の液体封入率を下げることにより形成されるプラグ状気泡とスラグ状液柱との自励振動を利用したスラグ流型 HTD の研究に発展し、その作動原理を解析するとともに、これが極めて高い実効熱伝導率を有することを立証した。

### 4. 熱制御工学に関する研究Ⅱ：ヒートシンクに関する研究 (平成3年度～)

情報および電力用半導体素子冷却を主眼として、沸騰および蒸発を利用したヒートシンクの研究を進めている。沸騰型については、実用時に問題となる温度超過の発生機構を解明するとともに、IGBT 用のサーモサイフォン型ヒートシンクを開発した。蒸発型については微細な溝に毛管力により液体を供給するグループ式ヒートシンクを提案し、高い冷却能力があることを実証した。

### 5. 熱制御工学に関する研究Ⅲ：超電導体の冷却安定化に関する研究 (昭和61年度～平成2年度)

酸化物超電導体のクエンチに関する熱的評価を行うとともに、研究室設立当初に研究した断熱層のパラドクス (断熱層を付加すると逆に冷却速度が顕著に増大する現象) を超電導体のクエンチ抑制に適用する研究を行い、超電導体の電気絶縁層を熱絶縁層として適切に設計するとクエンチ抑制に有効であることを実証した。

## 6. 熱制御工学に関する研究Ⅳ：素材製造過程における熱制御技術に関する研究 (昭和 57 年度～)

非晶質材料や鋼材および強化ガラスなどの製造過程における冷却制御に関する研究を継続的に行っている。ここ 10 年間では、小規模蒸気爆発を積極的に利用して非晶質粉末を融液急冷のみにより省工程製造することに成功した。鋼材の加工熱処理過程については、希薄噴霧冷却の熱伝達モデルを提案するとともに、多段噴霧冷却ステージの模擬試験を含む実験的検討を行い、均一冷却のための指導原理を提示した。

## 7. エネルギー工学に関する研究Ⅰ：高性能凝縮管の開発 (平成 8 年度～)

凝縮管はパワープラントや空調機器における重要な要素である。高性能凝縮管としてローフィン付凝縮管が知られているが、表面張力の大きな流体についてはフィン間の凝縮液滞留のために十分な性能が発揮できないことに注目し、不均一電場を印加することにより凝縮液滞留を抑制して凝縮性能を向上させる方法を提案・実証した。

## 8. エネルギー工学に関する研究Ⅱ：LNG 利用 (平成元年度～)

導入促進が急がれてきた LNG については、貯槽およびその冷熱利用に関する研究を行ってきた。LNG 貯槽におけるロールオーバーについて実験的研究を行い、ロールオーバーの発生機構の一因を指摘した。一方、ガス事業所における LNG 冷熱を有効利用するためには、冷熱発生時間帯と冷熱需要時間帯との時間差の問題を克服する必要がある。これについて、流動性のあるエタノール水溶液マッシークリスタルによる冷熱蓄熱法を提案しマッシークリスタル化が可能であることを実証した。

## 9. エネルギー工学に関する研究Ⅲ：ソフトマシン (平成 4 年度～)

摩擦に抗して、また慣性力に依拠して動作するピストンなど固体運動部を有するマシンは、低温排熱の利用、マイクロマシン、あるいは長寿命を要求される宇宙機器には適していない。当研究室では、こうした固体運動部を除去したマシンをシンプル構造マシン SSM としてソフトマシンの一つに位置づけて研究を行っている。現在は、スターリング冷凍機における低温側ピストンを除去した冷凍機であるパルス管冷凍機について、パルス管の幾何学的諸元が性能に与える影響を調べている。また、上述のスラグ流型 HTD において発生する自励振動液柱を磁界中に置いた低温排熱動力化装置などについても研究を進めている。なお、ピストン型冷凍機については、先述したシャトル伝熱に基づく熱損失の低減法を提案した。

## 10. 生体凍結保存に関する研究：(平成 9 年度～)

生物個体から分離された、あるいは活性を失った生体組織・器官などは常温下では腐敗、劣化を速やかにおこし、その本来の機能を期待できない。そこで、これらを極低温にして凍結させると生体内水溶液中の分子の移動が極度に小さくなることを利用して、鮮度を維持したまま医用臓器や食物の長期間保存を実現する方法についての研究を行っている。具体的には、冷却速度に依存しないガラス化と呼ばれる氷核形成を伴わない方法の開発を目指して、高粘性水溶液の細胞内への導入法の開発や導入プロセスの設計、細胞状態の予測等を実験・解析的に研究している。

また、最近ではハイブリッド型 (またはカートリッジ型) 人工臓器に用いる材料としての自己細胞の長期保存法を念頭においた取り組みを始めている。

## 都井 研究室 (計算力学)

教授 都井 裕 (昭和54年度~)

講師 弓削 康平 (平成2年度)

当研究室は昭和54年に都井の着任とともに発足し15年が経過した。専門分野は「計算力学」、すなわち数値計算による応用力学である。特に、構造工学における非線形問題、材料の損傷と破壊の問題、工業の現場における実際的な問題を研究対象としている。平成元年度からの10年間に助手として、小畑和彦(平成3年定年退官)、弓削康平(成蹊大学)、諸正信(MSC)、磯部大吾郎(筑波大学)、宮村倫史(工学部)の各氏が在籍した(括弧内は現在の所属)。またこの間の修士課程修了者(船舶海洋工学専攻)は7名、博士の学位取得者も7名(内3名は外国人)を数える。これらの諸氏の協力を得て実施した、各分野における最近10年間の研究成果の概要を以下に述べる。

### 1. 計算構造力学の研究

有限要素法と不連続体力学手法を融合した新しい骨組構造解析手法である順応型 Shifted Integration 法<sup>1),2)</sup>(略称 ASI 法)の開発研究を実施した。この方法では、有限要素法におけるはり要素内の数値積分点を塑性化・亀裂の発生などに伴い順応的にシフトすることにより、塑性ヒンジ・破断などが正確に表現され、最高度の計算効率が達成される。静的・動的塑性崩壊問題、座屈崩壊問題、亀裂崩壊問題、爆破解体問題、クラッシュ問題などの解析例を通じ、この方法の有用性を立証するとともに、機械・建設構造物に関わる様々な実際問題に応用し、強度設計の合理化に貢献した。この方面の研究論文に対し、平成3年に日本造船学会賞などが授与された。

### 2. 計算材料学の研究

セラミックスなどに代表されるマイクロクラッキング脆性固体を主たる対象として、連続体損傷力学に基づく非線形有限要素解析法を展開し、続いてメソスケール(結晶粒スケール)の計算力学手法である二次元および三次元メソ解析法<sup>3),4)</sup>(図を参照)を開発した。メソ解析法による構成式および破壊挙動に関するシミュレーション結果は、損傷力学モデルを介してマクロ有限要素解析に取り込むことが可能である。すなわち本研究は、メソスケールからマクロスケールに跨がる材料損傷・破壊問題のマルチスケール解析手法の確立を志向しており、材料強度評価および設計手法としての実用化が期待されている。この分野の研究論文に対し、平成7年に日本機械学会賞が授与された。

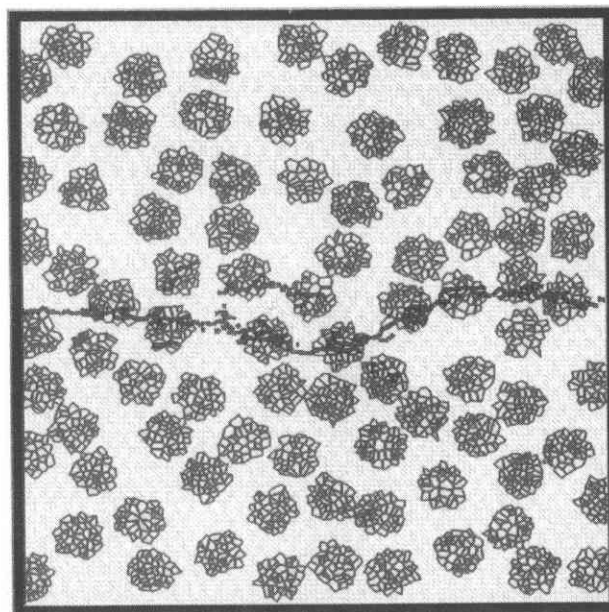
### 3. 実際問題への応用

これらの基礎的研究成果に基づいて開発された、非線形有限要素法あるいは計算不連続体力学手法などのソフトウェアは、鋼管柱・H型はり接合部の終局強度、カラー複写機内誘電体フィルムの接触変形、発泡スチロールブロック集合体の動的安定性、自動車はり部材の横衝突崩壊挙動、空間骨組建造物の耐震強度、溶融亜鉛めっき時における橋梁部材・送電鉄塔部材の熱弾塑性損傷挙動、住宅屋根材の踏割れ、高温煉瓦構造体解析モデル、自動車用アルミ材の軸圧縮特性、免震構造用環状棒鋼ダンパーの弾塑性性状など、様々な実際の工業問題に応用され、力学現象の解明あるいは設計の改善などに活用されてきた。

今後も、構造崩壊および材料破壊問題を中心として、理工学における固体力学諸問題に対し、新しい計算力学解析手法の開発、物理現象の計算力学的解明、計算力学を援用した構造および材料設計などに関する研究を推進していく予定である。

### 関連文献

- 1) Y. Toi, Int. J. Numer. Meth. Engng., Vol.31 (1991), 1537-1552.
- 2) Y. Toi and D. Isobe, *ibid.*, Vol.36 (1993), 2323-2339.
- 3) Y. Toi and J. -S. Che, Engineering Fracture Mechanics, Vol.48 (1994), 483-498.
- 4) Y. Toi and T. Kiyosue, *ibid.*, Vol.50 (1995), 11-27.



## 谷 研究室 (超精密加工学)

教授 谷 泰 弘 (昭和56年度~)

講師 池 野 順 一 (平成5年度)

### 1. 研究室の動き

本研究室では、昭和56年の開設以来、機械加工技術、特に固定砥粒加工工具、超精密加工、加工面の評価に関して研究を行っている。本研究室は昭和61年9月より先端素材開発研究センターに所属していたが、センターの時限到来により平成7年度から第2部(機械系)に戻った。この十年間に在籍した研究室員は、谷教授のほか、池野順一助手(昭和61年4月~平成6年3月)、山口ひとみ助手(平成8年4月~平成9年3月)上村康幸技術官(昭和60年4月~)である。

### 2. 研究テーマ

谷研究室のこの十年間の研究テーマは、上記のように以下の三つの分野に大別される。

#### 2.1 固定砥粒加工工具の開発

遊離砥粒加工技術を置換可能な固定砥粒加工工具の開発を行っている。遊離砥粒加工法で作られる加工ダメージの少ない鏡面と同等の面を固定砥粒加工法で加工するために、本研究室では低結合度、高均質結合度、化学的作用の付加等の特徴を持った固定砥粒加工工具の開発を行ってきた。まず高砥粒密度と低結合度の特徴を持ったラッピング用砥石を開発し、硬脆材料を0.1  $\mu\text{mRy}$ 以下の仕上げ面粗さに容易に加工できるようにした<sup>3)</sup>。より平滑な加工面を得るために開発したのが、電気泳動法により作製した結合度が均質な砥石である<sup>1)</sup>。このシリカを砥粒に用いた砥石により、シリコンウェーハを数  $\text{nmRy}$ のダメージのない鏡面に加工している。また、この微細砥粒の電気泳動付着現象を加工中に用いる例として、導電性の切断用薄刃に超微細シリカを付着させて溝切りを行う方法を提案している<sup>4)</sup>。この切断法ではシリカの研磨効果でチップングのない切断面が鏡面の加工を実現している。また、遊離砥粒加工を固定化する試みとして、最近シリコンインゴット切断用のダイヤモンドワイヤソーの開発やエッジ研磨用の研磨テープの開発も行っている。

#### 2.2 超精密切削加工技術

当初超精密切削の対象とされていたアルミニウム磁気ディスクの加工時に工作物を保持する真空チャックの開発を行った<sup>2)</sup>。当時真空チャックとしてはウレタンゴム製の同

心円状溝付のチャックが使用されてきたが、その吸湿性および溝のための剛性変化により工作物の形状精度の劣化が顕著であった。この問題を解決するものとしてフッ素樹脂製の多孔質真空チャックを開発した。

また、超精密切削に関する全世界の研究動向が硬脆材料をクラックフリーで加工する延性モード切削に移行するに呼応して、安定して延性モード切削を実現できる手法の開発に着手した。それが負圧浮上工具方式の切削加工技術である<sup>7)</sup>。この加工法により世界で始めて研削面のような粗面の延性モード鏡面切削を可能にした。

#### 2.3 加工面の評価技術

加工面の形状精度をオンマシンで計測する手法や加工面の加工変質を評価する手法の開発について検討を行っている。形状精度の測定では表面の傾きと変位を同時測定することにより走査軸の運動誤差の影響を取り除く方法を提案し、加工品質の評価では画像観察と異方性検出が同時に可能な音響レンズを開発し、超音波顕微鏡による高精度の非破壊測定を可能にしている<sup>5)</sup>。

### 主要論文

- 1) 池野・谷：電気泳動現象を利用した超微粒砥石の開発とその応用，日本機械学会論文集（C編），57巻535号，(1991-3)，p.1013-1018.
- 2) 谷・大島・佐藤・上村：磁気ディスクアルミニウム基板加工用プラスチック多孔質真空チャックの開発，日本機械学会論文集（C編），57巻542号，(1991-10)，p.3274-3279.
- 3) 河田・谷：高密度低結合度ラッピング砥石の開発とその硬脆材料の鏡面研磨への応用，日本機械学会論文集（C編），57巻542号，(1991-10)，p.3314-3319.
- 4) 池野・谷・福谷：超微細砥粒の電気泳動現象を利用した研削切断法の開発，日本機械学会論文集（C編），57巻542号，(1991-10)，p.3320-3325.
- 5) 仙波・谷・佐藤：異方性検出音響レンズの開発と加工表面品位の評価，日本機械学会論文集（C編），58巻546号，(1992-2)，p.621-625.
- 6) 池野・谷：超微細砥粒の表面活性を利用した物質移送に関する一考察，砥粒加工学会誌，36巻3号，(1992-7)，p.155-160.
- 7) 上村・谷・佐藤・山口：負圧浮上工具方式による硬脆材料の延性モード切削，日本機械学会論文集（C編），63巻614号，(1997-10)，p.3654-3659.

## 横井 研究室 (プラスチック加工学)

教授 横井 秀 俊 (昭和58年度～)

当研究室は、昭和58年開設時からの加工情報工学を昭和62年にプラスチック加工学に変更した。以後、CAEが広く導入されながら依然として経験と勘に支配されるプラスチック成形加工分野において、成形現象の実験解析を起点とした工学の新たな体系化を目指すべく、既存の計測技術の枠組みを越えた新規可視化・計測手法の開発とそれに基づく加工現象の系統的実験解析を一貫して行ってきた。

この間、新しい産学連携システムの開発を模索して、平成元年に射出成形現象の可視化実験解析を課題としたマルチクライアントプロジェクトを立ち上げ、現在まで9年間にわたり、延べ27社(米国企業1社)、95名の派遣研究員参加による国内最大級の産学連携プロジェクトを主導している。また、研究交流の活性化と研究者環境の整備、地位向上を課題としたプラスチック成形加工学会の設立(昭和63年)と発展、社団法人化達成(平成6年)、国際高分子加工学会日本開催の成功(平成10年、600人規模)等に、主導的な役割を果たしてきた。

過去10年間の研究室在籍職員は、横井教授の他、村田泰彦助手(昭和62年～)、増田範通技術官(平成3年～)、宮下和子事務官(昭和62年～平成6年)である。なお、横井教授は平成10年7月から国際産学・共同研究センター教授になっている。

### 1. 射出成形加熱シリンダ内の可視化解析(昭和62年～)

ガラスブロックをシリンダ内の各部に組み込んだ可視化加熱シリンダ(昭和62年開発)を基礎に、ホッパー下のペレット嚙込み挙動から連続可塑化、計量可塑化過程、スクリュ溝内樹脂挙動、チェックリング挙動、リザーバ内樹脂挙動の各種可視化装置を開発し、実成形条件下でペレット全可塑化プロセスについての可視化解析を行った(図1)。

### 2. 射出成形金型内現象の可視化解析(昭和61年～)

プリズムガラスインサート金型(昭和61年)を軸に、バックライト金型、2方向同時可視化金型、レーザーライト

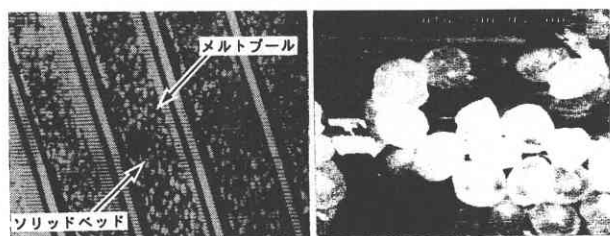


図1 可視化加熱シリンダによる解析例

シート金型、スプルー可視化金型等の動的可視化手法に加え、2色ランナー回転切替え装置、フロント自動追跡撮影装置の開発を行った。さらにテープレコーダの原理を適用したゲート着磁金型、その応用のツインゲート着磁法、ゲート流量計を開発した。これら新規可視化手法に基づき、フローマーク、ウェルドライン等の各種成形不良現象や、繊維配向、3次元流動現象等の型内充填から圧縮・保圧・冷却に至る多種多様な型内成形現象を解析した。

### 3. キャビティ界面現象の可視化解析(平成5年～)

離型過程解析を目的として、集積熱電対センサ・キャビティブロックによる熱流束変化パターン計測および医療用超音波プローブ内蔵キャビティブロックによる離面生成パターン計測法を開発した。また、光ファイバセンサ内蔵のキャビティブロックを用いて型内ひけ生成過程の解析を行ったほか、キャビティ界面での熱抵抗計測、熱抵抗分布変化に基づくバリ生成過程の計測も実施した。

### 4. 流動樹脂内部の温度分布計測(昭和62年～)

めっきによるパターン形成を応用した集積熱電対ポリイミドセンサ(昭和62年)を応用し、セラミックセンサ(平成6年)を開発した。両センサを用いて、型内・ノズル部・シリンダ溝内の熔融流動樹脂内部の温度分布計測法をそれぞれ確立するとともに、計測データに基づく未知の現象解明を行った。

### 5. 応力・トルク分布の計測(平成元年～)

キャビティ面に作用する垂直応力分布とせん断応力分布の計測手法、またスクリュ軸方向トルク分布の計測法を開発し、未知の成形現象の発見ならびに解明を行った。

### 6. 半導体封止過程の可視化・計測(平成7年～)

石英ガラスインサート法を半導体封止過程の可視化に適用し、キャビティ面および横方向可視化解析を行った。ポットの内部流れはカラータブレット法により、さらにパッドの変位はホール素子法により計測し、併せてボイド生成評価と顆粒成形法の検討を行った。

### 7. 共押出成形の可視化(平成10年～)

フィードブロック内部の可視化装置を開発し、レーザーライトシート法と組み合わせることにより速度分布、共押出成形現象の解析に着手した。

## 須田 研究室 (制御動力学)

助教授 須田 義大 (平成2年度～)

本研究室は、車両を主な対象として、運動力学、振動制御、マルチボディ・ダイナミクスさらに、快適性評価など、幅広い研究テーマに取り組んでいる。平成2年度に発足し、平成4年度より小峰久直技術官、平成7年より中代重幸助手(現千葉工業大学専任講師)、平成10年からは鈴木常夫技術官が加わった。発足以来、大学院生は、博士課程3名、修士課程12名を受け入れており、研究員2名、協力研究員3名、受託研究員5名、民間等共同研究員1名、外国人協力研究員・研究生など14名が研究活動を行った。六本木キャンパスの他、千葉実験所にて研究を行っている。

### 1. 車両・軌道システムにおける運動力学と制御に関する研究 (平成2年～)

高速性、安全性、大量輸送性、省エネルギー性で優れている、軌道系交通システムについて、より一層の性能向上を目標に検討している。まず、高速走行安定性を確保しながら、曲線通過性能を大幅に向上させる鉄道車両用自己操舵台車の開発研究を主体に研究を行い、前後非対称方式自己操舵台車を考案、平成6年にJR東海「ワイドビューしなの号」にて実用化した(図1)。独立回転車輪を用いた前後非対称方式自己操舵台車の開発研究、1軸方式台車の基礎的研究なども行っている。

### 2. マルチボディ・ダイナミクスの研究 (平成3年～)

運動方程式の自動生成は、複雑な力学系の解析において有用なツールである。カナダ・クイーンズ大学滞在を契機に開始し、振り車両、非線形な空気ばね特性を持つ鉄道車両への適用などを行った。さらに、弾性支持された梁(レール)上を車輪が弾性接触転動する問題について、フレキシブル・マルチボディとして解析手法の検討、車輪とレールの連成振動の解析を行った。

### 3. コルゲーションの成長機構の研究 (平成2年～)

鉄道レールのような転がり接触面には、繰り返し接触により、周期的な変形、コルゲーションが生じ、原因究明と対策が望まれている。車輪とレールの接触を模擬した実験装置による再現実験を通じて現象の解明を行った。さらに制振合金を用いた対策の検討、ウエーブレット変換を用いた、実際の鉄道レールに発生したコルゲーション(波状摩耗)を検出する手法の研究も行った。

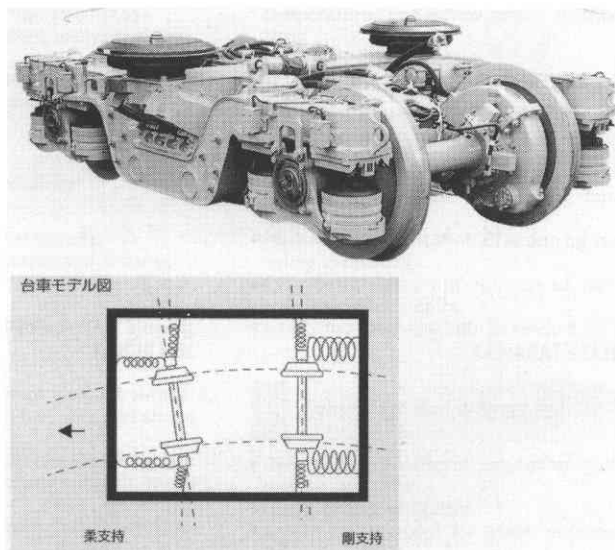


図1 自己操舵台車

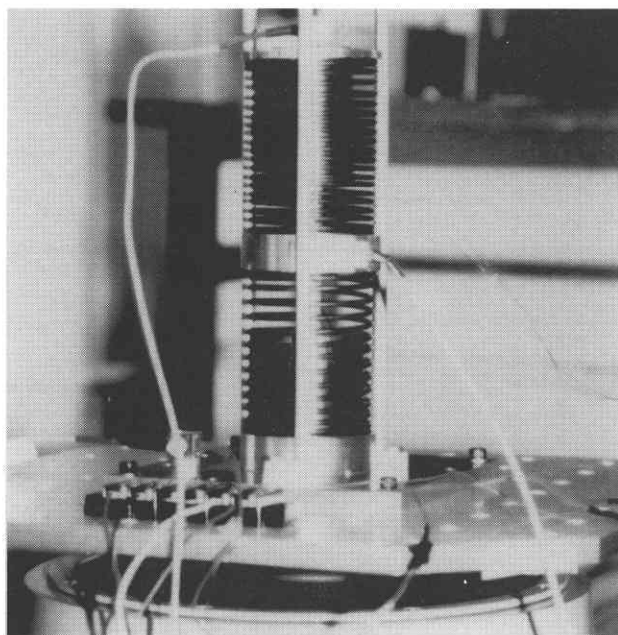


図2 試作したセルフパワーードアクティブ制御装置

### 4. セルフパワーード・アクティブ振動・動揺制御システムに関する研究 (平成5年～)

エネルギー回生ダンパで振動エネルギーを回生し、そのエネルギーのみを利用した外部からエネルギー供給の必要のない、新しいアクティブ制御を実現するための基礎的な研究を進めている。トラックのキャブサスペンション、船



舶の減揺装置などへの応用も検討し、有用性を実証した。

#### 5. 磁気浮上システムの研究 (平成7年～)

磁気浮上系における浮上と振動の制御の問題に焦点を当て、実験および理論検討の両面から研究を進めている。

#### 6. 路面と自動車の連携制御 (平成9年～)

自動車交通の効率化と安全性の向上などを目標に、路面と車両を連携させた運動総合制御の研究を、試験装置を製作して進めている。

#### 7. 快適性・乗降容易性の定量的評価 (平成7年～)

従来客観的な評価手法がない、車内の快適性を定量的に評価する手法を、実物大モックアップや実車両での実験を基に、乗客の着席行動に着目して構築した。快適通勤座席配置の提案、LRVへの適用を行っている。

#### 8. 車輪・レール系の知能化に関する研究 (平成10年～)

運輸施設整備事業団の基礎的研究助成制度により研究を開始し、車両の走行実験装置の製作、知能化車両の構成手法の検討を行っている。



図3 快適通勤座席のモックアップ実験

## 谷口 研究室 (流動予測工学)

助教授 谷 口 伸 行 (平成3年度~)

10年の経緯：乱流数値シミュレーションの高度化，実用化を中心課題とし，最近では乱流ラージ・エディ・シミュレーションの実用化コード開発を重点的に進めている．また，NSTグループに参画し，特に，LESの工学応用と流れ場実験計測に関しては第2部小林研究室と，数値解析手法，混相流や生体流動などの機能流体 (Functional Fluid) に関しては大島研究室と連携し研究を行っている．1999年3月の研究室構成は，谷口伸行助教授，伊藤裕一技術官，大学院学生6名 (博士2，修士4) となっている．

最近の研究：乱流は非定常3次元な複雑な現象であり，これらを直接的に扱う数値シミュレーションが大規模計算の実現を背景に理論，実験に並ぶ第3の手法となった．工学においては，乱流の非定常現象を近似的に扱うことのできるラージ・エディ・シミュレーション (LES) に注目し，その実用化を目指している．数理モデルの開発と要素流れにおける数値検証が基本的な課題となる．そのための各種実証コードが試作され，3次元非定常な乱流渦構造の解析には可視化的手法が活用されている．

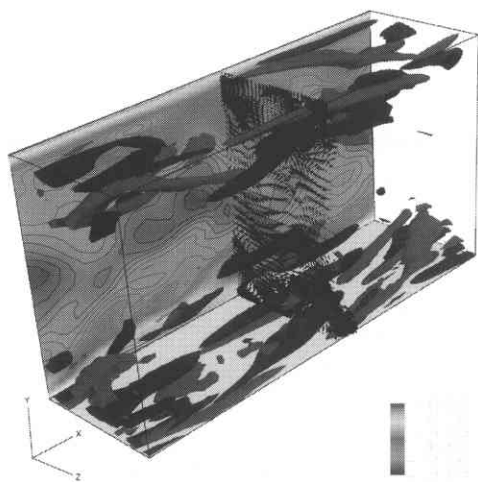


図1 平行チャンネル乱流の速度場，渦構造の可視化表示

[複雑乱流の数値解析モデリング] 工学において乱流は熱・物質輸送や燃焼反応など様々な物理現象と干渉し影響を与える．これらの複雑乱流場への適用性の観点から，乱流燃焼，混相乱流，電磁流体，乱流騒音，流体関連振動などにおける乱流シミュレーションの数理モデルの検討を進めている．最近は特に，乱流LESにおいてモデル定数を動的に与えるダイナミックモデルの工学適用を試みている．

乱流シミュレーションにおけるもう一つの課題が複雑な流路形状，境界条件に対応した数理モデリングである．特に，工学的に重要な対象として噴流や剥離流れに対して，乱流LESによる高精度な非定常解析とともに，それをデータベースとした時間平均乱流モデルの検証を行った．また，乱流非定常解析における計算不安定の問題に関連した数値誤差の影響評価や新たな計算法の提案などを行った．

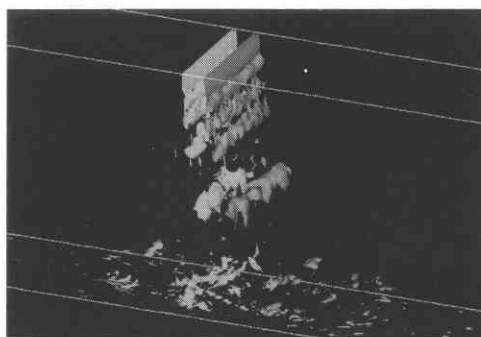


図2 壁衝突噴流の非定常3次元渦構造

[乱流シミュレーションの工学応用] 数値シミュレーションを工学設計へ実用的に展開するには，格子データ生成から可視化CGまで一連技術としての開発，評価が必要である．自動車工学における実証例として，時間平均モデルを用いた乱流解析では，フォーミュラカー周りの空力解析，車室空調の予測，トルクコンバータ翼列の流動解析などを行った．また，乱流LESの本格的な実用化を目指して，1998年に企業などの設計・研究者と連携して次世代乱流解析ソフトウェア研究会を発足した，現在，乱流燃焼，粒子混相流の予測解析を主な対象としたLES実証コードの試作を進めており，今後，電磁流体や乱流騒音，流体関連振動への展開を計画している．

出版物：数値流体力学シリーズ，乱流の数値解析

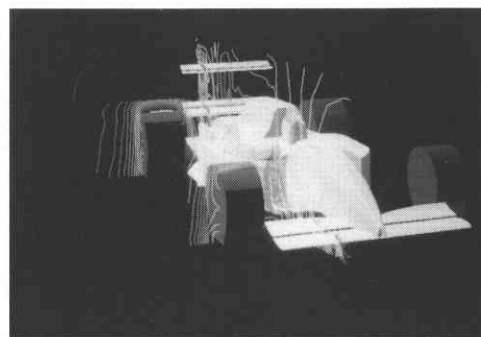


図3 フォーミュラカー空力解析 (圧力予測分布)

## 柳本 研究室 (変形加工学, 高次機能加工学)

助教授 柳 本 潤 (平成元年度~)

本研究室は第2部変形加工学部門に属しており, 平成元年4月に開設された. 開設以来専門分野を塑性加工学 (Technology of Plasticity) としてきたが, 平成9年5月に高次機能加工学 (Hyper-Functional Forming) と変更し, 現在に至っている.

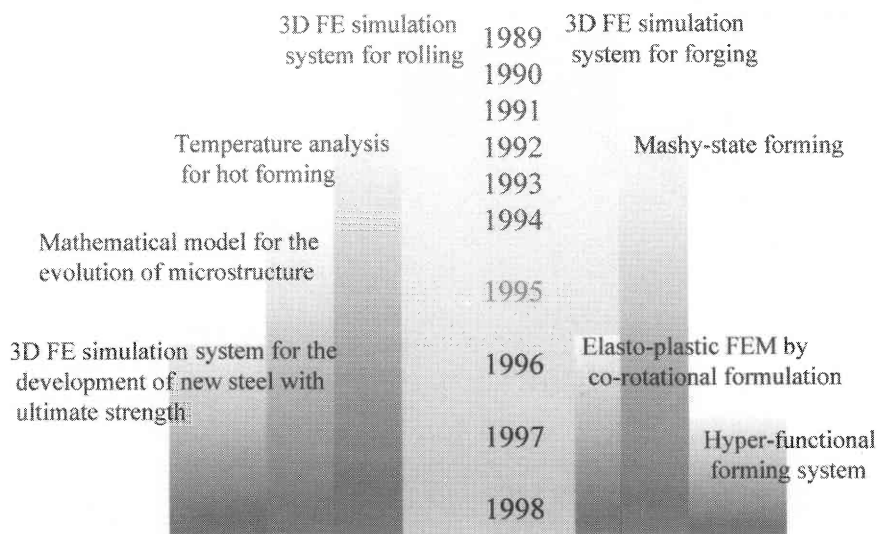
本研究室では, 変形加工 (Forming) の複機能化/高次機能化による新たな塑性加工技術の開発・塑性加工技術の高度化を目指して研究を進めており, 教職員・受託研究員・大学院学生十数名からなる研究スタッフが, 1) 組織制御グループ, 2) FEM解析グループ, 3) 高機能変形加工システムグループ, に分かれて研究を行っている.

研究室設立当初は, 変形加工形状制御のための3次元シミュレーションシステムの開発が重要な課題として位置づけられていた. このプロジェクトのもとで開発されたシミュレーションシステム CORMILL System, COPRESS System は, 現在でも多くの研究機関にて使用されている.

また, 1994年の柳本のドイツ滞在中に提示した, 熱間加工組織変化を対象とした増分形解析モデルは, その後, 変形解析-温度解析との融合による「材料機能創出FEM解析システムの開発」, 「自由鍛造組織制御技術の開発」, 「再結晶過程の総合的検討」などの一連のプロジェクトの基礎となった. 一方, 教職員の採用に伴い, 固液共存加工の研究, 高機能変形加工システム (知的鍛造システム, 直接通電圧延) の研究等のも開始されている.

研究室開設以来, 本研究室では理論, 特に変形加工の基礎的なモデリング技術の開発を主体に研究を進めてきた. 高次機能加工の実現に及ぼす理論の貢献度は今後ますます高まるであろうが, 現在は, ハードウェア・オリエンテッドな研究による新たな現象の発見と解明, さらにこれを制御することによる新たな変形加工技術の開発に力を入れている.

### History of Yanagimoto Laboratory



**川勝 研究室** (応用科学機器学)

助教授 川 勝 英 樹 (平成2年度~)

本研究室では、走査型プローブ顕微鏡の研究を中心に、ナノメートルからサブナノメートルオーダーでの様々な物理量の計測と制御を行っている。

例として、

- 1) 結晶格子を基準とした測長と位置決め
- 2) 結晶格子を用いたリニアエンコーダ
- 3) 微小摺動面の軌跡の原子レベルでの可視化
- 4) ナノメートルオーダーの機械振動子による原子レベルの質量と場の計測

が挙げられる。

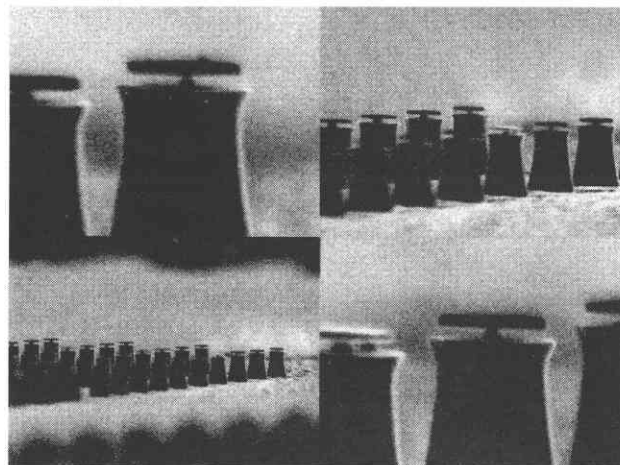


図 ナノメートルオーダーの機械振動子を作製し、それを用いた原子レベルの場や質量の検出を行う。第3部藤田博之教授、年吉洋講師との共同研究である。

## 林 (昌) 研究室 (海洋環境工学)

助教授 林 昌 奎 (平成7年度~)

本研究室は前田 (久) 研究室と緊密な関係を持ちながら、リモートセンシング技術を用いた海洋物理環境の計測、ならびに計測から得られた情報を工学的に活用する研究を行っている。研究室職員は、林昌奎助教授 (平成7年~)、居駒知樹助手 (平成10年~) 岡田和三技術官 (平成9年~) が在籍している。

海洋波浪は時間、空間的に変動が激しいため、その状況を一目瞭然に把握するのは不可能に等しい。そのため波浪の定義には、時空間の海面の高さが用いられるのではなく、波が持つエネルギーを周波数及び方向成分に分け、スペクトラム形式を用いて表す統計的手法が用いられる。衛星によるリモートセンシング技術の発達と共に、マイクロ波高度計、マイクロ波散乱計、合成開口レーダー (SAR) などマイクロ波センサーを用いた海洋波浪の計測に関する研究が盛んに行われている。本研究室で行っている「衛星リモートセンシングによる海洋波浪計測及び数値海面の生成」の研究は、人工衛星に搭載するマイクロ波散乱計を用いた海洋波浪情報の収集、また得られた海洋波浪のスペクトラル情報を時空間の海面の高さとして表す数値海面の生成に関する研究である。マイクロ波散乱計から得られる情報はマイクロ波高度計及び合成開口レーダー (SAR) から得られる情報より空間的分解度は劣るが、得られる情報が広範囲のものであるため広領域の現象を統計的方法を用いて表すための波浪情報特性を得るには最も適した計測手法とも言える。衛星から放射されたマイクロ波は波面より散乱され、その一部はマイクロ波を放出した衛星に戻ってくる (後方散乱)。波浪情報はこの後方散乱するマイクロ波信号から得られるもので、波浪の主方向、平均周期及び有義波高に繋がる情報をそれから抽出し、その情報から海面波浪に関する情報を求めるのが主な研究内容である。研究の基礎となる波面からのマイクロ波後方散乱信号の特性については、風路付き造波回流水槽にて人工的に生成した波面をCバンドマイクロ波散乱計を用いて調査しており、波浪ブイ、観測船などから得られた海洋波浪データのスペクトラル特性に関する研究も行っている。また、波浪情報を船舶の航行、海洋構造物の設計・運用などに利用するため、波浪のスペクトラル特性を時空間の海面の高さとして表す数値海面の生成方法の開発を行っている。ここでは、全ての方向及び周波数の正弦波に対しそれぞれの波成分が持つエ

ネルギーによる加重平均を取る方法を用いて海面を数値的に生成する。

船舶の大型化に伴い、船体水線近傍の船側縦通材の疲労亀裂現象解明など、より局所的な力の精度のよい推定法が求められている。そのためには、実際の海洋波を模擬した多方向不規則波を入力とし、非線形項を考慮した時系列解析を行い、最大値や荷重の繰り返し数などの統計的な解析が必要になる。本研究室で開発している「多方向不規則波中の船体挙動の実用的解析法」は、ポテンシャル理論とストリップ理論に基づく周波数-時間領域変換方法を用いて3次元浮体の非線形挙動解析を行う実用性を重視した船体挙動解析法であり、数値的に生成した多方向不規則波中を航行する船舶の船体応答、鉛直方向と水平方向の剪断応力、曲げ及びねじりモーメントなどの波浪荷重及び波浪変動圧の時間変動を求める。この研究では解析結果を数字や図面にて示すばかりではなく、船体応答や波浪荷重及び波浪変動圧の時間変動をモニタ上で示すため、CG手法を取り入れた可視化手法の開発も行っている。

衛星によるリモートセンシングデータを利用する本研究室で行っているもう1つの研究は、「氷況予測システムの開発」に関する研究である。北極海のような氷海域には文字どおり、海上に流氷が浮かび漂っており、氷海域を航行する船舶ならびに海洋構造物に脅威的な存在になっている。流氷の漂流距離は1日で50 kmを越える場合もあり、氷海域を開発・利用するためには流氷の分布・移動を正確に把握しなければならない。衛星によるリモートセンシング技術の発達によって衛星から毎日、比較的精度の高い海水に関する情報を得られるようになり、氷海域を商業的に利用する日も遠くない。本研究では、氷海域の海水の密接度、氷厚、氷盤の大きさ、氷盤の移動速度、氷丘脈の分布と大きさ、海水の流速などを、衛星によるリモートセンシングデータから得られた氷況情報と気象情報を用いて数値的に予測し、ネットワークなどを通して得られた情報を提供する総合システムの開発を行っている。氷況予測にはマイクロ波放射計センサーであるSSM/Iから得られた海水データ、本研究室で開発した流氷移動の数値シミュレーションモデルであるDMDFモデルが用いられる。現在、研究室の計算機を用いた北極全体の1週間の氷況予測には約3時間を必要とし、十分実用可能なものと見られる。

## 大島 研究室 (数値流体力学)

講師 大島 まり (平成10年度～)

### 1. はじめに

近年のコンピュータ技術の発達により、数値シミュレーションは急速な発展をとげている。数値シミュレーションは今まで主に機械工学の分野に適用されていたが、最近では応用範囲が多岐にわたり、特に医学分野への応用が盛んになってきている。生体系内部では様々な複雑な現象が起っているが、これらを実験によって詳細に観測・測定するには限界があり、また倫理上問題になることが多い。一方、数値解析のモデリング技術の向上やコンピュータ・グラフィックスのハード・ソフトウェアの普及により、患者に傷つけることなしに目に見えない物理現象を数値シミュレーションを用いて観測することが可能となり、数値流体力学の有用性が着目されている。

### 2. 脳動脈内の血流の数値シミュレーション<sup>1), 2)</sup>

くも膜下出血の発生原因の70～80%は脳動脈瘤の破裂によるといわれている。脳動脈瘤は比較的太い脳動脈の血管壁に形成される疾患であり、臨床医学データより血管が急激に湾曲した直後の分岐部に多発することが報告されている。また、U字型の血管形状の多いと思われる40～50歳代の特定の年齢に多発し、部位によっては頭蓋骨の大きさから性別の影響が見られる。このような要因から、血管の曲がりや分岐などの血管形状の影響による流体力学的な因子の変化が関与していると考えられる。本研究ではFig.1に示されているCT画像データより血管形状を抽出し、Fig.2のような有限要素による解析を行っている。このような数値解析を通して血管形状の流れ場や壁応力に与える影響を検証し、脳動脈瘤の形成や破裂のメカニズムを解明していくとともに治療法や予防法を示唆できるような研究を行っていく予定である。



Fig.1 脳動脈のCT画像データ

### 3. 低温治療に関する研究

脳卒中により倒れた患者に対して低温治療を施した場合に快復後の経過が良好である症例が報告されている。しかし、全身を長時間にわたって冷やすことは患者の体力負担を増大する可能もあるため、脳部だけを冷やす低温治療が模索されている。本研究では効率的な局部低温治療法の指針を構築するため、血流による伝熱解析を行っている。

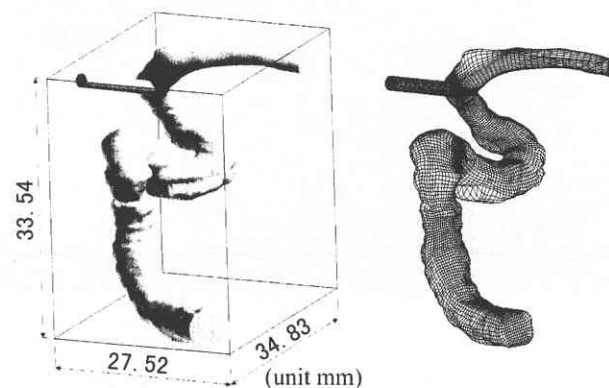
### 4. 今後の計画

今後はCTやMRI画像データより血管形状を自動抽出し、その形状に沿った自動メッシュ生成を行う pre-processing の開発とともに、解析結果を表示する post-processing までの一環した解析シミュレータの開発を行う予定である。一方、医学的に特長のある血管の弾性を考慮した流体-構造連成問題あるいは非ニュートン性の問題に対する数値モデルや数値解析手法の開発も重要な課題である。また、計測実験を行うことにより、数値解析研究へのフィードバックを行っていく。

さらに今後はこのような研究を通して、患者ごとの疾患に応じた治療法や予防法を支援できる手段として発展させていく予定である。

### 参考文献

- 1) 大島まり, 「脳動脈内の血流に関する数値シミュレーション」, 日本機械学会誌, Vol.101, p.838 (1998).
- 2) 小林敏雄, 大島まり, 「血流の数値シミュレーション-脳動脈瘤の発生メカニズムの解明-」, No. 15, pp.13-16 (1998).



a) Analysis Model

b) FEM Mesh

Fig.2 内動脈と後交通動脈の有限要素解析モデル

## 鈴木 研究室 (ロボティクス)

講師 鈴木 高 宏 (平成10年度～)

### 1. はじめに

ロボットは、狭義ではヒューマノイド型のものを指すが、広義にはコンピュータにより制御される機械として考えられ、その要素技術や応用分野も含めれば非常に多岐に渡る分野を網羅する工学分野である。本研究室は、そうしたロボティクスの分野でも特に先鋭的な分野を開拓することを指向して研究を行っている。特に、システムの動力学特性の解析や、系の非線形性に着目し利用する制御法の開発を行っている。また、開発された手法の応用を広い分野に求め行っている。本研究室は担当教官の着任に伴い、平成10年度より藤田(隆)研究室の関連研究室として開設された。現在のところ担当教官以外のスタッフは在籍していない。

### 2. 非ホロノミック多体ロボット系の制御

非ホロノミックとは、系の拘束式が速度や加速度を含む不可積分な方程式であること言うが、その大きな特徴は少ない入力により多い次元の一般化座標を制御できる可能性を持つことである。特に、動力的な拘束が不可積分な2階微分方程式で表されるものは2階非ホロノミック系と呼ばれ、1つのモータでも多くの関節を制御できる大きな特徴を有している。図1はその最も典型的な例である2関節自由関節マニピュレータである。これは第1関節のみがモ

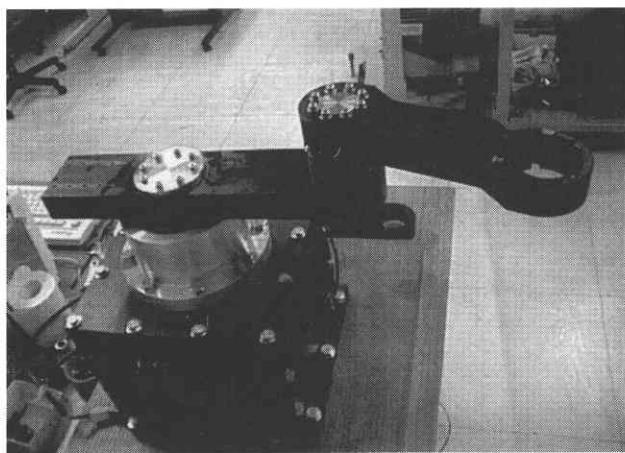


図1 2関節自由関節マニピュレータ

ータで駆動され、第2関節は非駆動な自由関節となっている。第1関節を周期的に駆動することによる第2関節の非線形挙動を利用することで、2つの関節を同時に任意の目標角へ位置制御することができる。

本研究では、そうした非線形挙動の解析を行うとともに、その挙動の性質を利用した制御法の構築を行っている。自由関節における摩擦が理想的に0と仮定した場合においては系の挙動が保存的となることが示されており、一方摩擦の存在を仮定した場合には散逸的となることが示されている。よって、条件によっては摩擦を利用することでより効率的な制御を行うことが可能となる。今後は、そうした非ホロノミック的な制御や機構を応用したロボットシステムの提案を行っていく予定である。

### 3. 人工食道機構の開発

ロボット研究の応用分野として、近年特に医療の分野への応用が盛んになってきている。食道ガンの手術においては、食道は基本的に全摘出される。人工食道は、摘出される食道との置換において手術の低侵襲化と適用の拡張性から、その開発は非常に大きな意義を有している。過去の研究例としては人工血管で代用するなどの試みがなされているが、食道の重要な機能として挙げられる蠕動運動が欠如している問題があった。そこで、この蠕動運動をロボットの機構により実現することを考え、咀嚼物および唾液を喉頭から胃まで移送する機構を持つ人工食道の開発を開始している。

### 4. 今後の計画

上記に挙げた研究の他に、非ホロノミック多体系の応用として、自由関節により周囲の作業者等との衝突時に衝撃を吸収する安全マニピュレータの開発や、非ホロノミック的な制御により少ない入力により多数のロボットを同時に制御できる方法の開発を行っていく予定である。また、自動運転車が一種のロボットと見なせることから、高速道路等で多数の自動運転車が走行している環境下における挙動をシミュレーションによって解析し、複雑な走行環境下で有効に機能する自動運転の方法について研究を行っていくことを考えている。

## 柴田 研究室 (装置機器学)

教授 柴田 碧 (昭和33年度～平成3年度)

本研究室が化学機械部門として発足した時は前任者の桑井助教授(粉体工学)は亡くなられており、空席であって職員も居らずゼロからの出発であった。柴田が着任したこのときは、原子力工業の発足の時期であったので、この分野の研究を行うこととした。この前年に日本原子力発電(株)が発足し、わが国最初の原子力発電所の概念設計の検討が開始された。これまでのこの分野の経験を基に、またそれまでの機械振動の研究によって得た知見を併せ、いわゆる動的耐震設計を行うべきであるとした。これはこの後30年間にわたる研究のきっかけとなり、その後の化学プラントの耐震設計、また原子力分野外での耐震・防災研究へと発展している。

研究項目を最終時点で整理してみると次のようになる。

- (1) プラントの耐震設計基準等工学的要求の基準化に関する研究
- (2) 新型炉など原子力施設の耐震化に関する新方式導入の研究

- (3) 設計等プロセスにおける過誤とその防止に関する研究
- (4) 地震時における人間挙動とプラント挙動についてとその改善に関する研究
- (5) 機器・配管系の耐震性実証法に関する研究
- (6) プラントの地震時信頼性・安全性の総合評価と向上に関する研究

研究室最後の職員は、助手 重田達也(退官)、技官 荻野聡子(退官)、曾根彰、小峰久直(須田研究室)である。またこの間の職員、大学院学生、研究員などの総数は127名(うち故人3)である。

### 主要論文・著書

- 1) 柴田 碧 編著：化学プラントの耐震設計(昭61)丸善、298 pp.

## 佐藤 研究室 (工作システム工学)

教授 佐藤 壽 芳 (昭和38年度～平成元年度)

工作機械の動剛性と動的精度に関する研究を発展的に継続して行った。また、機械構造物系の耐震設計に関する研究について、工作機械の動剛性の問題と共通する構造物の振動特性の観点から研究を継続した。佐藤は平成2年4月に通商産業省工業技術院機械技術研究所長に転任した。その後、平成4年3月まで教授として在籍した。しかし、研究活動は転任時をもって一時停止した。平成6年4月より中央大学理工学部在籍、研究しているが、源流は転任時までの研究に溯る。

- (1) 走査電子顕微鏡(SEM)による表面粗さ測定に関する研究(昭和53年度～)：SEMの反射電子信号を用いて微細表面形状を求める方法を開発、これを利用して非球面形状他を測定することに展開した。
- (2) 逐次二点真直度測定法に関する研究(昭和54年度～)：工具運動、加工物の真直度をその間の相対変位から独立して求める方法として開発された。車両進行方向道路形状の測定に展開することが着

手された。

- (3) 多自由度系非線形系の周波数応答特性推定に関する研究(昭和59年度～)：非線形系の周波数応答特性を等価伝達関数法により推定する方法を提案している。高速主軸系他、機械系の振動設計法への展開を図っている。
- (4) 切削時自励振動における多重再生効果に関する研究(昭和50年度～)：多重再生効果を考慮して自励振動のシミュレーションが可能となることを世界に先駆けて指摘しており、自励振動現象の総合的解明を進めている。

### 主要論文

- 1) 粉川良平、佐藤壽芳：走査電子顕微鏡を用いた非球面形状測定法に関する研究、機論C、55-515、平成-7、pp.1777-1783.
- 2) 村上工成、佐藤壽芳：等価伝達関数法によるガタのある梁系の振動特性解析、機論C、55-519、平成-11、pp.2680-2687.



## 棚澤 研究室 (伝熱工学)

教 授 棚 澤 一 郎 (昭和 38 年度～平成 7 年度)

ここでは、40 周年記念誌以降平成 7 年度までの 7 年間の研究テーマのみについて記す。この間の研究室の構成員は、教授 棚澤一郎、助手 永田真一、技術官 高野清、事務官 重田千恵子および大学院学生・受託研究員であった。

それまで 10 年以上にわたって続いてきたエネルギー関連研究が、若干マンネリズムの傾向に陥りつつあるとの判断から、研究テーマの重心を材料の製造・加工に関わる熱的問題へと移動し、平成元年度には科学研究費・総合研究 (A) 「高レベルの伝熱制御による材料の製造・加工・処理技術の向上に関する研究」、平成 2～3 年度には同様のテーマ名で総合研究 (B)、平成 5～7 年度には重点領域研究「新素材の製造・加工技術に関わるマイクロ伝熱工学の展開」を企画し、研究代表者としてこの分野の推進に尽力した。

また、研究室独自には主に次のようなテーマについて研究を行った。

### 1. ロールオーバーの発生メカニズムに関する基礎研究

密度差によって容器内で成層化していた流体層が、外部

からの入熱および内部での熱・物質移動によって不安定化し、上下層の逆転あるいは急激な混合に至るロールオーバー現象について、その発生メカニズムの解明を行った。

### 2. 電場による液滴の蒸発促進に関する研究

高温固体面上でのスフェロイド状液滴の蒸発を、電場の印加によって大幅に促進できることを確認し、一連の実験と解析によりそのメカニズムを明らかにした。

### 3. 生体組織の凍結保存に関する研究

生きている生体組織を凍結し、液体窒素 (-196℃) 中で長期間保存し、ある時期に解凍し蘇生させる技術について研究した。対象としてミジンコおよび動物の血管を選び、これらの凍結保存にほぼ成功した。

### 4. その他の研究テーマ

マランゴニ対流や、温度勾配・電場勾配のある液体内部の気泡の移動などについて、実験および解析を行った。

## 木村 研究室 (トライボロジー)

教 授 木 村 好 次 (昭和 61 年度～平成 8 年度)

トライボロジーは、摩擦・摩耗・潤滑などを対象とする工学の学際領域である。本学では、故曾田名誉教授によって宇宙航空研究所にその研究室がはじめて開設されたが、本研究室はその活動を引継ぎ、同研究所の改組に伴って生産技術研究所に拠点を移した。さらに担当教官の本学停年により、現在その活動は新設の香川大学工学部に引継がれている。本所 40 周年誌以降における、主な研究は次のようなものである。

### 1. 不均一流体による弾性流体潤滑

それ自体の粘性とは違った挙動を示すエマルション、増稠剤のために強い非ニュートン粘性を示すグリースを、それぞれ潤滑剤に用いた場合の、ころがり接触部の流体潤滑の解析を行った。

### 2. 材料の耐摩耗性

破壊力学を適用した摩耗クラックの伝播解析、摩耗面のフラクタル解析などによる基礎研究の他、高温、水中などにおけるセラミックスの摩擦摩耗特性を通じてその実用の可能性を調べた。

### 3. 摩擦摩耗に及ぼす潤滑の影響

各種潤滑剤の摩擦摩耗に及ぼす影響のほか、きわめて少量の潤滑油を制御して供給した場合の、材料の摩擦摩耗および焼付き特性に関する研究を行った。

### 4. 湿式クラッチ用ペーパー摩擦材の接触機構

自動変速機に用いられているペーパー摩擦材の微視的な接触機構を光反射法によって調べ、各種条件における接触点の形成状態を解析した。

### 5. 液晶潤滑材による摩擦の制御

液晶を潤滑材に用いると、外部から電場を印可することによって、流体潤滑状態、境界潤滑状態ともに摩擦を制御することができる。実験および解析によってその特性を調べた。

### 6. メンテナンス・トライボロジー

潤滑油が使用中に劣化すると、摩耗防止性能が低下する。エンジン油の劣化が摩擦に及ぼす影響を調べるとともに、人工的に劣化させた潤滑油による摩耗粉の粒度の変化を調べた。

## 大野 研究室 (機械振動学)

教授 大野 進 一 (昭和 41 年度～平成 9 年度)

本研究室は、大野の助教着任により昭和 41 年 4 月に開設され、その停年退職により平成 10 年 3 月に解散した。担当部門は機械力学である。昭和 36 年 4 月修士課程学生として故巨理厚教授の御指導を仰ぐことになって以来、停年退職までの 37 年間に恵まれた研究環境の下で過ごせたのは大変幸せであったと思っている。

平成元年度から 9 年度までの在籍者は、大野の他、助手・講師大石久己、助手曄道佳明、技術官鈴木常夫、研究員 3 名、協力研究員 2 名、大学院学生 13 名、受託研究員 4 名、研究生 2 名である。これらが協力して下記の研究を行ってきた。

### 1. 振動放射音の研究

構造物の振動によって放射される騒音の大きさの予測とその低減を目的とした研究であり、本研究室の主要な研究課題である。例示すると、機械を遮音箱に格納した時の空気伝搬音の低減量と振動放射音の発生量の実験的予測法を研究した。また振動と音響が関連し合うこの分野の研究に

は統計的エネルギー法が有効な手法であるので、振動を発生する機械がその支持構造物に与える振動エネルギーの推定方法を研究した。更に振動インテンシティの計測方法について研究し、計測精度の検討を行うほか、可視化も行った。また制振材料の効果的な使用方法についても研究した。

### 2. 再生作用理論の研究

以前実験的に指摘しておいた工作機械の自励振動に関する再生作用理論の問題点について理論的に検討した。

### 3. 駆動系のねじり振動の研究

自動車エンジンのトルク変動により歯車変速機に発生する歯打音の低減を目的として、主として受託研究員によって行われた。

社会的な活動としては、中央環境審議会委員及び東京都環境審議会委員を勤め、特に環境庁の自動車騒音の規制値設定と実施時期評価に携わってきた。

## 樋口 研究室 (機電制御工学)

助教授 樋口 俊 郎 (昭和 53 年度～平成 3 年度)

当研究室は、昭和 53 年度に発足し、大島康次郎教授の専門分野を継承し、主としてメカトロニクスに関する研究を行った。平成 3 年 11 月に樋口が工学部精密機械工学科教授となり、これに伴い研究室は工学部へ移籍した。生産技術研究所で始まり、工学部と(財)神奈川科学技術アカデミー・樋口「極限メカトロニクス」プロジェクト(平成 4 年度～8 年度)で実施した研究課題を列挙する。

圧電素子を利用した精密位置決め機構の開発、圧電セラミックスの電界誘起歪特性に関する研究、インパクト駆動機構の開発、パルスレーザ加熱による熱変形を利用したマイクロ移動機構、弾性表面波モータの開発、弾性表面波を利用した振動ジャイロ、弾性表面波霧化器、細胞操作用マ

イクロマニピュレータの開発、全自動顕微授精装置の開発、圧電素子駆動による精密インジェクターの開発、真空・クリーンルーム用磁気浮上アクチュエータの開発、永久磁石の運動制御による磁気抵抗制御形磁気浮上・磁気軸受の開発、高温超電導材料を利用した磁気浮上機構、強力静電アクチュエータの開発、静電力を利用した紙・布送り機構、静電力を利用した粉体の搬送・ハンドリングの研究、静電力を利用したシリコンウエハ、薄板ガラスの非接触浮上・駆動機構、STM・AFM を利用した原子スケールの位置決め機構と測長器の開発、3次元内部構造顕微鏡の開発、組織観察用自動薄片作成装置の開発、非円形輪郭切削、超精密機械加工による微細形状創成、小径穴加工用自動ボール盤の開発。

## ブロイレル 研究室 [東芝客員研究部門] (メカトロニクス)

客員助教授 ハネス・ブロイレル [Hannes Bleuler] (平成4年度~平成7年度)

本研究室では、各種磁気浮上機構を対象に、様々な浮上制御方法の研究を行っている。磁気浮上機構は、その構造上、機械的摩擦がないため、ミクロンオーダの浮上体から、発電所のタービンの支持まで、幅広い応用分野を持っている。

今までに、DSPを用いたよりインテリジェントな制御や、位置センサのない、センサレス磁気浮上機構、マイクロ磁気浮上モータを実現している。

## 藤井 研究室 (知的海洋探査システム)

助教授 藤井 輝夫 (平成5年度~平成6年度)

平成5年4月から平成6年10月までグローブ・エンジニアリング(トヨタ) 寄附研究部門客員助教授、平成6年11月から平成7年3月まで第2部助教授として、主に海洋探査、作業のための自律海中ロボットの研究開発を行った。

### 1. 海中ロボットの知能化に関する研究<sup>1)</sup> (平成5~6年度)

海中ロボットの知的行動を実現するための諸技術について、独自に設計、建造した高機能テストベッドロボットでの実験を通してハードウェア及びソフトウェアの両面から研究を行った。

### 2. 訓練と学習に基づく運動制御の研究<sup>2)-4)</sup> (平成5~6年度)

一般に正確なダイナミクスを知ることが困難な海中ロボットの運動制御について、自己訓練と学習を通して自律的にコントローラを生成し、適応的な制御を実現する手法について研究を行い、ニューラルネットワークを用いることによって、ロボットのペイロードの変化や、変動する環境条件に対しても対応可能であることを確認した。

### 3. 複数海中ロボット及び人間による協調作業の研究<sup>5)</sup> (平成5~6年度)

海中作業の多様化、広範囲化などに伴って想定される複数のロボットやダイバーによる協調作業について考察し、テストベッドロボットを追加建造すると同時に、ロボットと人間との画像を用いた通信システムによる対話手法について検討を行った。

### 主要論文

- 1) 藤井他, 海中ロボットの知能化に関する研究 (その1: 汎用テストベッドの開発と水槽実験), 日本造船学会論文集, 174, (1993).
- 2) 石井, 浦, 藤井, ニューラルネットワークによる潜水艇の運動の同定 (その2: 学習過程の改良とコントローラ調整への適用), 日本造船学会論文集, 177, (1995).
- 3) Ishii, Fujii, Ura, An On-line Adaptation Method in a Neural Network Based Control System for AUVs, IEEE J. of Oceanic Engineering, 20-3, (1995).
- 4) 藤井他, 自己訓練と学習に基づく海中ロボットの運動制御, 日本ロボット学会誌, 13-7, 1995.
- 5) Balasuriya, Fujii, Ura, A Vision-Based Interactive System for Underwater Robots, Proc. of IROS '95, (1995).
- 6) Fujii and Ura, Development of an Autonomous Underwater Robot 'Twin-Burger' for Testing Intelligent Behaviors in Realistic Environments, J. of Autonomous Robots, 3-2/3, Kluwer Academic, (1996).