

研究概要

第 1 部

応用物理・応用力学・応用数学

第1部で進められている研究は大別すると応用物理、応用力学、応用数学系で、工学における一般的基礎分野の研究とその応用研究である。境界は明瞭ではなく重複している部分がある。また研究領域は非常に広いが、基礎部分を対象としていることから、共通の認識があつて、有機的な係を保っている。したがって、研究対象は比較的変わらないが、工学研究の発展と社会の要請を反映して研究内容は変化していて、全体に研究は先鋭化したといふことができる。昭和54年と63年の研究分野は下表のようである。

多次元数値情報処理工学は、昭和61年4月に新設された客員部門で、黒川研究室で多次元数値情報処理工学、竹光研究室で数値流体力学の各分野を分担し、吉澤研究室と協力して研究を進めている。

センター関連では、複合材料技術センター(昭和51年~60年)の創設に尽力し、センター長を併任した山田教授と渡辺(勝)助教授がこれにあつている。

工学の基礎となる研究を進めているため、共通の研究対象を持つ他部の研究室と研究活動で協力することも行われており、特に最近盛んである。レーザー関連分野、表面物理学、乱流など流体関連分野耐震工学、計算力学等の各研究で共同研究を行ったり、セミナー、生研講習会、基礎講座、イブニングセミナーを共同開催するなど横断的な活動を進めている。昭和54年から63年まで10回の生研講習会のうちの6回に参加し、耐震構造学研究グループ

(ERS)では、昭和42年より5部、2部、3部と共同して継続的に研究活動を行っている。

以下異動を中心に10年間の流れを簡略に記す。

1980年 鳥飼教授停年をまたずに鬼籍へ。岡田教授昇任。菊田助教授、工学部へ転出。

1981年 高木助教授昇任。併任の富永教授、森教授退任。

1982年 山田教授停年により退官。渡辺(勝)助教授第1部より複合材料技術センターに配置換。結城助教授昇任。

1983年 北川教授、小瀬教授停年により退職。中桐教授昇任。黒田助教授、岡野助教授昇任。

1984年 成瀬教授停年により退官。

1985年 渡辺(勝)助教授複合材料技術センターより第1部へ配置換。

1986年 黒川教授着任。竹光助教授着任。本間教授昇任。

1987年 小長井助教授、長岡技術科学大学工学部より転任。鈴木(敬)教授昇任。

1988年 辻教授、根岸教授停年により退職。芳野助教授昇任。群馬大学工学部へ転出。吉澤教授昇任。

大学院学生については昭和54年4月および63年4月でおのおの33名、32名でそう変わらないが、外国人学生が2名から8名に増し、国際化を反映している。

研究分野の変遷

昭和 54 年 12 月	昭和 63 年 12 月
応 用 光 学 : 小瀬, 小倉, 芳野	応用光学・量子工学 : 小倉, 黒田
超 音 波 工 学 : 鳥飼, 根岸, 高木	超 音 波 工 学 : 高木
真 空 物 理 学 : (併任)富永, 辻, 菊田	真 空 物 理 学 : 岡野
応 用 数 学 : 成瀬, 吉澤	数 理 流 体 力 学 : 吉澤
	多 次 元 数 値 情 報 処 理 工 学 : 黒川, 竹光
放 射 線 工 学 : 本間	材 料 表 面 工 学 : 本間
結 晶 塑 性 学 : 鈴木(敬)	材 料 強 度 物 性 : 鈴木(敬)
材 料 強 度 機 構 学 : 北川, 結城	材 料 強 度 機 構 学 : 結城
固 体 材 料 強 度 学 : 山田, 渡辺(勝)	固 体 材 料 強 度 学 : 渡辺(勝)
構 造 強 度 解 析 学 : 中桐	構 造 強 度 解 析 学 : 中桐
機 械 震 動 学 : (併任) 森	
耐 震 構 造 学 : 田村, 岡田	耐 震 構 造 学 : 田村, 岡田, 小長井

田村 研究室 (耐震構造学)

教授 田村 重四郎 (昭和41年度~)

当研究室は動的材料強弱学部門に属し、耐震構造学特に土木工学分野の構造物を対象とした耐震構造の研究を進めていて、岡田研究室と協力関係にあり、62年4月に発足した小長井研究室と協同して研究活動を進めている。また、耐震構造学研究グループ(ERS)のメンバー研究室として関係研究室と強い関連を保ちつつ、総合的な斯学の研究の促進に努めている。

研究室のメンバーは昭和54年には田村教授、加藤助手、森地研究員(東京理科大学)と中村技官の転出(昭和53年9月)に伴い昭和54年4月に着任した酒井技官の4名であった。昭和58年4月新たに荒井技官が着任したが同年10月退職、代わって昭和59年4月より片桐技官が着任、昭和60年4月より大町研究員(東京工業大学)が加わって6名になった。昭和62年3月、45年間の多くの業績を残して加藤助手が停年退職した。昭和63年12月現在田村教授、酒井、片桐両技官、森地、大町各研究員、大学院学生6名(博士3名、修士3名、内外国人留学生3名)、受託研究員1名、研究生2名であり、研究、教育両面で小長井助教授と共同活動しており、岡本名誉教授からは適時研究上の助言を受けている。

この10年間は、前より続けてきている地震観測、フィルダムの耐震強度、地中構造物の地震時挙動と地震応答解析手法等に関する研究を更に深く掘り下げると共に震害調査を行う一方、耐震工学に関する日中共同研究を積極的に推進した。

震害調査 鹿島学術振興財団の助成を受けて1981年から3年間実施した“唐山地震を含む最近の中国の地震被害の耐震工学的解釈に関する日中共同研究”で、1981年8月に海域地震(1975年、 $M=7.4$)および唐山地震(1976年、 $M=7.8$)の震災地を岡本名誉教授、久保教授、田村教授(団長)、片山、龍岡各助教授、韓副教授ほか2名で踏査した(職名は当時のもの)。1983年日本海中部地震($M=7.7$)では3回現地調査を行い、当該地震の震害調査報告書(土木学会)の作成に尽力した。続いて8月8日の神奈川・山梨県境地震($M=6$)、1984年5月30日の兵庫県北部の山崎断層で発生した地震($M=5.6$)、1984年長野県西部地震($M=$

6.8)では主に牧尾ダム(ロックフィルダム)の震害調査を行った。1985年9月19日に発生したメキシコ地震($M=8.1$)では鈴木、桑原各受託研究員と共にメキシコ市ならびに震源域を踏査し、1987年千葉県東方沖地震($M=6.7$)では3度激震地を踏査した。

地震観測 岩盤における地震観測としては以前より続けている東京電力(株)鬼怒川自動制御所および大鳴門橋両端部での観測の継続、更に昭和55年度 of 自然災害特別研究の助成をうけて始めた三保ダム(神奈川県)下流の岩盤内での観測のほか山王海ダムの岩盤上の観測がある。これらを整理してマグニチュードをパラメータとした最大加速度と震源距離の関係式を導いた。

表層地震の地震観測では観測を進める一方、複雑な3次元の地盤条件をもつ地盤の地震応答解析モデルとして擬似3次元モデルを提案した。

フィルダム フィルダムの耐震性については特に破壊機構の研究に重点を置いて、模型の振動破壊実験の解析をもとに研究を進めている。円柱体を積んだ梯形体の振動破壊実験(1955)、砂模型の振動破壊実験(1982)、更に2次元振動台の設置に伴い、鉛直、水平2方向から加振して破壊させる実験を行っている。これよりフィルダムの斜面のすべりに対し鉛直方向加速度は水平方向にくらべてその影響が小さいことを明らかにした。更に小長井研究室と共同してArレーザー光を用い浸潤法を利用した粒状体構造の動的挙動の研究を始めている。

トンネル 昭和45年より行っている多摩川(沈埋)トンネル、帝都高速度交通営団からの受託による都内6ヶ所における地震観測を継続しているほか昭和58年より東京電力(株)より助成を受けて横浜市北部の送電用シールドトンネルにおいて観測を開始し、地盤ならびにトンネルの地震応答を解析している。

耐震工学に関する日中共同研究 1980年大連工学院水利系の邢主任の来訪、前述の鹿島学術振興財団の助成を受けて行った日中共同研究を機に、本所の耐震工学者と中国の大学を含めた関連諸機関の研究者との間の学術交流、共同研究が行われるようになったが、田村教授は主導的役割を果たした。

小倉・黒田 研究室 (応用光学, 量子光学)

教授 小倉 肇 夫 (昭和40年度~)

助教授 黒田 和 男 (昭和58年度~)

1. 研究部門「応用光学」の来歴

研究部門名「応用光学」は昭和24年本所創設時の命名であるが、当時この名称の使用例は未だ少なかったはずである。ところがその後、特許庁の審査部名にも「応用光学」が用いられるなど一般に広まるに至り、あたかも現在の「光の時代」を先取りした感がある。「応用」を冠した理由は多分当時理学部に存在した講座名「光学」を意識したものであろう。当部門の初代教授久保田は位相差顕微鏡、干渉フィルター、MTF (当時の呼称でいえばレスポンス関数) と干渉回折現象の応用面で多彩な研究を残し、昭和34年に学士院賞を受賞したが昭和43年在任中に逝去された。つづく小瀬教授の時代の研究ではMTFとホログラフィーに力点がおかれるが、これは久保田路線の継承でもあり、また当時のわが国の応用光学研究の主潮でもあった。小倉は昭和42年に日立製作所より本所に転じた後、主要研究テーマとして気体レーザーを選んだ。その理由はテーマに内在するアカデミックな可能性ならびに応用面の広さとともに研究室の主として財政的な力量を考えたからである。結果としてこの路線は20年以上の長きにわたって継続され、この間大学院生諸君の博士論文ならびに修士論文のテーマを供給し続けたことを考えると、それなりの歴史的意義はあったといえる。しかし他方で伝統的応用光学のテーマを引き継いだ部分もかなりあって、限られた研究室の戦力を分散し、研究が発散し過ぎたという反省は残る。現在、専門分野としては小倉が応用光学を継承し、黒田が昭和58年助教授に昇任し量子光学を担当している。研究の中軸として活躍している職員としては1988年現在、伊藤雅英助手、志村努助手および千原正男技官が在籍している。

2. 1979年から1988年までの研究概要

以下主として学位論文として結実したものを中心に述べる。

2.1 固体撮像素子を用いた光学収差測定装置²⁾

固体撮像素子はそのビット間隔が正確に刻まれていることを利用してアスカニアタイプの光学ベンチの受光部に組み込み自動化された測定機を開発した。その後各所でこの種の研究が行われるようになった

が、本研究はそれらのさきがけと言ってよいだろう。

(鈴木謙二学位論文)

2.2 多モード気体レーザーのダイナミクス¹⁾⁶⁾⁹⁾

いわゆるラムの半古典論と呼ばれるレーザーの動作理論は単一モードレーザーでは顕著な成功を見せたが多モードレーザーでは実験の定量的説明において無力化する。これは多モードレーザーの場合、外見上の出力の大小を問わず電場に関しほとんど大信号領域に入るためである。これに対し新しく高出力域で良好な近似となる有理式近似を開発し、多モードレーザーにおいて実験と満足のゆく一致を見た。

(黒田和男学位論文ほか)

2.3 干渉カロリメトリー法によるレーザー光学材料の微小吸収測定⁴⁾⁵⁾¹²⁾

レーザーに用いられる光学材料は十分に吸収の少ないことが要求されている。しかしなお残存する微小吸収はレーザーが高出力化するにともない、光学材料自体に発熱をもたらす、さらには変形から場合によっては破壊さえも生じせしめる。しかし、このような微小吸収は絶対値が小さく、通常の分光光度計では測定不能である。これに対しわれわれは新しく考案した干渉カロリメトリー法は、レーザー光照射時に生ずる試料の温度上昇にともなう光路長の変化を波長の異なるプローブ光によって干渉計的に測定する。本方法により表面および薄膜で $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 、バルクの吸収で $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{cm}^{-1}$ の測定が実現した。

(伊藤雅英学位論文)

2.4 パルス励起金属蒸気レーザー³⁾⁷⁾

当初は動作温度の比較的低いCuCl, CuBr等のハロゲン化銅レーザーから研究を開始したが、ついで動作温度1500度に耐える高純度アルミナ放電管の開発に成功してから、純粋金属の銅、金、ストロンチウム蒸気レーザーに移行した。それらの主要発振線波長は銅が510.6および578.2nm, 金が627.8nm, ストロンチウムが430.5nmで色度図上広い範囲をカバーする。出力は銅レーザーの場合平均で7Wに達した。

2.5 画像の輝度増幅投射装置¹³⁾

大画面ディスプレイの画面照度を向上するためにレーザー自体を投射光学系の光路中に組み込み光束

の輝度を増幅する装置を開発した。光源および増幅段は共に銅レーザーを用いた。倍率300~1000に達する大画面を1平方メートル当り10ワットの放射照度で投影しながら物体面上で1ミクロンの分解能を得た。(志村努学位論文)

2.6 ランドサット衛星データによる地球表面の粗さの測定⁸⁾¹⁰⁾

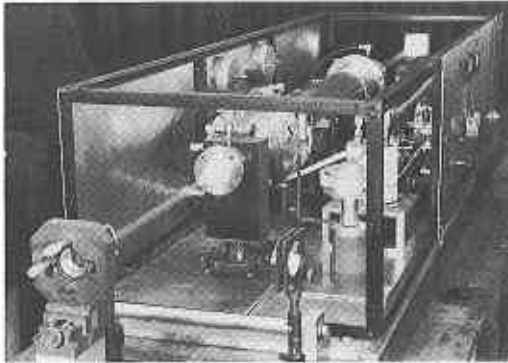
地表を衛星から見た場合一つの光学的粗面となるがこの粗さを、衛星高度の季節的変動を変角光度計として利用し計測し、いままで用いられなかった新しい情報を提供する。

2.7 銅蒸気レーザー空間的コヒーレンスの測定¹¹⁾

銅蒸気レーザーはその増幅利得が極めて大きいため共振器内の光線往復回数が少なく、空間的コヒーレンスが著しく低い。これを測定するため、機械的制約のともなう従来のダブルスリットに代わる、二重回折格子をホログラフィックに作製し、近接した二点間のコヒーレンス測定を容易にした。

2.8 レーザー溶解ベルヌイ法による酸化物高温超伝導体の作製¹⁴⁾

炭酸ガスレーザービームを用いたベルヌイ法を開発し、坩堝を用いないため不純物の混入しない結晶の作製に成功した。



銅蒸気レーザー

主要論文

- 1) K.Kuroda ; Theory of a high-intensity multimode laser : Phys. Rev. A, 19, 1, 1979. 1
- 2) K.Suzuki, I.Ogura and T.Ose ; Measurement of spherical aberrations using a solid-state image sensor : Appl. Opt 22 (1979) 3866-3871
- 3) K.Kuroda, H.Takahasi, M.Chihara and I.Ogura ; Radial distribution of the gain of a CuBr laser : J. Appl. Phys. 52 (1981) 1.
- 4) M.Itoh and I.Ogura ; Absorption measurement of the optical materials by real time holographic interferometry : Opt. Comun., 33 (1981) 183-187.
- 5) M.Itoh and I.Ogura ; Absorption measurement of laser optical materials by interferometric calorimetry : J. Appl. Phys. 53 (1982) 5140-5145
- 6) K.Kuroda and I.Ogura ; Comparison of the experimental results of inverted Lamb dip in a 633 nm He-Ne laser with the theory based on the strong signal formulation : J. Appl. Phys. 53 (1982) 130-134.
- 7) K.Kuroda, M.Takeda, M.Chihara and I.Ogura ; Temporal measurement of the gain of a CuCl laser : J. Appl. Phys. 54 (1983) 1670-1674.
- 8) H.Okayama and I.Ogura ; Indicatrices of the earth's surface reflection from Landsat MSS data ; Appl. Opt. 22 (1983) 3652-3656.
- 9) K.Kuroda, Y.Kawase and I.Ogura ; Magnetic field dip and the lifetime of the spherical tensor element of the density matrix in a He-Ne laser : J. Quant. Spectro. Rad. Trans. 31 (1984) 259263.
- 10) H.Okayama and I.Ogura ; Experimental verification of nonreciprocal response in light scattering from rough surfaces : Appl. Opt. 23 (1984) 3349-3352.
- 11) 黒田和男, 謝建平, 劉中本, 小倉磐夫 ; 用全息剪切干涉法測定銅激光束の空間相干性, 中国科学技術大学学报, 14 (1984) 347-351.
- 12) M.Itoh and I.Ogura ; Low optical absorption measurement of laser optical materials by interferometric calorimetry : NBS Spec. Publ. 669 (1984) 75-85.
- 13) T.Shimura, T.Omatu, M. Chihara, K.Kuroda, I.Ogura ; Influence of the gain saturation on the propagation of the coherence function in the laser amplifier : Technical digest, IQEC (1988) 422-433.
- 14) I.Nakada, M.Itoh, K.Koga and I. Ogura ; Preparation of Bi-Sr-Ca-Cu-O System High Transition Temperature Superconductor by Laser-Melting without Crucible : "SEISAN-KEN-KYU" (J. Inst. Indust. Sci., Univ. Tokyo) 40 (1988) 237-240.

岡田 研究室 (耐震構造学)

教授 岡田 恒男 (昭和41年度~)

岡田研究室の発足は、昭和41年度に岡田が講師として岡本舜三教授 (現名誉教授) の研究室に参加したときに始まる。その後、徐々に研究室としての体制がととのい、現在では田村研究室とともに動的材料強弱学部門 (耐震構造学) を担当している。田村研究室が土木構造物の耐震を担当しているのに対し、岡田研究室では建築構造物の耐震をテーマとしており、現在、教授、助手 (隈澤)、技官 (堀内) のほか、大学院学生5名、研究生2名、秘書1名である。

最近10年の研究内容は次のとおりである。

電算機—アクチュエータ・オンライン・システムによる地震応答実験 本実験システムは、振動実験をシミュレートする目的で田中・高梨研究室との共同研究により確立されたもので、振動破壊実験および材料の非線形性状に立脚した地震応答解析との比較により、鉄筋コンクリート造建物の非線形地震応答をシミュレートするのに有力な手段であることを確認した。本システムによる地震応答実験には以下のものが挙げられる。

- 1) 1層骨組の地震応答実験
- 2) 2方向入力による1層骨組の地震応答実験
- 3) 2層骨組の地震応答実験
- 4) 機器構造物の地震応答実験

鉄筋コンクリート造建物の耐震診断に関する研究 建物の老朽化、耐震設計基準の改訂等に伴い、既存建物の耐震性能を評価することは重要な課題であった。そこで鉄筋コンクリート造建物を対象とし耐震診断基準の開発およびプログラム化を行った。この診断基準による診断結果を用いて既存建物の耐震性能分布、建物群の被害率推定、補強効果の推定等について確率論的立場から検討を行い、既存建物をより効率的に耐震補強するための基礎資料を得た。

鉄筋コンクリート造建物弱小モデルによる地震応答観測 本研究は、『自然地震による地盤・構造物系の応答および破壊機構に関する研究』の一環として昭和58年8月より行われている。建物の大変形領域での応答性状の把握を目的とし、実物の約1/3~1/4の5階建の鉄筋コンクリート造建物弱小モデルを2体製作し、地震応答観測を行っている。モデル

は地震時に柱に曲げ降伏ヒンジが発生する柱崩壊型、梁にヒンジが発生する梁崩壊型の2体で、いずれも設計上の耐震強度を通常の建物の約1/2としている。試験体の各層3方向絶対加速度・層間変位、主要鉄筋の歪等を計測している。観測開始以来、5年間で気象庁震度階Ⅲ、Ⅳ、Ⅴをそれぞれ26、5、1回含む、総計150余の地震動を記録した。千葉市で震度階Ⅴを記録した“千葉県東方沖地震” (昭和63年12月17日) では、地上で400gal、屋上で700gal以上の加速度を記録、曲げ降伏点を越えた弾塑性応答が記録され、地震時に卓越した振動形および亀裂性状は、設計の際意図した崩壊形から予測されるものと一致していた。

組積造建築の耐震性に関する研究 補強コンクリート・ブロック造は、第二次世界大戦後米国より導入された構造形式であるが、近年、建物の老朽化および耐震設計基準の改訂等に伴い、既存建物の耐震診断・耐震補強の重要性が認識されるようになった。そこで、既存補強コンクリート・ブロック造校舎を対象とした破壊実験などを行い、その耐震性を調査し耐震診断法の開発を行った。

また、これまでの補強コンクリート・ブロック造に比較し耐震性の高い新しいタイプの組積造建築構法を開発するため新しいタイプのコンクリート・ブロックを用いた梁部材の耐震実験を行っている。本研究は『日米共同大型耐震共同研究』の一環として行われているものである。

鉄筋コンクリート造超小型立体模型による耐震振動実験 最近の建築物の耐震実験の大型化の傾向は、実物の性状に近いデータの収集を可能とする反面、実験によるパラメトリックな研究を困難にしている。本研究は、鉄筋コンクリート造超小型立体模型による実験手法を確立することを目的としている。そこでまず、極細異形鉄筋、マイクロ・コンクリートを用いた1/15スケールの11階建鉄筋コンクリート造壁式ラーメン構造物の耐震振動実験を行った。この実験によりこの程度のスケールの鉄筋コンクリート造立体模型による振動破壊実験が十分可能であることが立証された。今後、こうした実験によるデータの蓄積により、実験手法を確立していく予定である。

中桐 研究室 (構造強度解析学)

教授 中桐 滋 (昭和42年度～)

本研究室は材料強度機構学部門にあつて計算力学を中心として構造強度解析学の研究に従事している。過去10年間において志向している研究課題は確率過程の数値構造解析への導入と構造のシンセシスである。これまで機械構造物の設計・解析では構造に関与する条件・諸元を確定的に取り扱っていた。したがって、確定的入力に対する確定的出力を計算機を用いて解析すれば事足りるとされていた。入力が確定的であるとするのは自然現象のあまりに簡単に過ぎるモデル化である。また、構造解析はそれ自身が究極の目的ではなく、工学においては構造設計への一入力に過ぎず、解析結果は適当な評価基準に照らして判定され、判定結果に応じて構造諸元はより高い機能達成のため変更されるべきものである。叙上の観点から計算力学においては諸元の変動を考慮すべきものと考えられる。

当研究室の研究の特色は構造諸元の変動を2方面から考慮していることである。第一に諸元変動が制御不能である場合には変動を確率論的に取り扱う。この方面の研究成果は確率有限要素法としてまとめられている。第二に諸元変動が制御可能である場合には意図的に変化させるものとして、構造のシンセシスならびに最適設計の研究としてまとめられつつある。以下に、その研究内容を略述する。

(1) 確率有限要素法 (昭和54年～)

適切に選択された確率変数に関する有限要素解の変動率を摂動法により求め、これと確率変数の2次モーメントとを組み合わせることで構造応答の分散を評価するものである。確率変数の密度関数を用いていないこと、また計算効率がすこぶる高いことが特長である。演算時間が長大になる有限要素法・境界要素法の数値解析への確率過程の導入に成功し、この分野の研究で突破口を拓いた点が評価され、確率有限要素法の地歩が築かれた。これまでの研究課題の一部を以下に列記する。

- ・ 輪郭形状が不確定な構造の応力分布
- ・ 材料定数が不確定な構造の固有値問題
- ・ 初期不整が不確定な組立構造の残留応力
- ・ 減衰が不確定な塔状構造の時刻歴応答

- ・ 剛性分布が不確定な建屋床応答のパワー・スペクトル
- ・ 積層パラメータが不確定なFRP積層平板・シェル
の固有振動数、熱変形
- ・ 取付位置が不確定なレストレイントを有する立体配管の固有振動

このほか、不規則路面をフィルタード・ポアソン過程として表現して走行車両の不規則振動についても研究が行われた。また、確率有限要素解を利用して構造安全性・信頼性の研究も行われている。

(2) 構造のシンセシス (昭和59年～)

適切に選択された設計変数に関する有限要素解・境界要素解の感度解析結果を利用し、設計変更最小の概念に基づく構想シンセシスの手法を開拓した。従来の最適設計手法で用いられていた偏差最小の概念と異なり、目標設計が得られるまでの反復回数が少ないのが特長である。以下の研究がこれまでに行われてきた。

- ・ 応力低減を目的とする孔形状・歯形の変更
- ・ 目標応力低減量が不確定である場合の平板開口コーナ部の形状変更
- ・ 固有値・モード形状を所定値にするためのシャシー形状の変更
- ・ コンプライアンス伝達関数を所定値にするための配管形状の変更
- ・ コンプライアンス伝達関数に着目したレストレイント付配管の剛性・減衰のシステム同定
- ・ 繊維配向角を設計変数とするFRP積層平板の座屈応力最大化

主要論文

- 中桐・久田・糸谷：確率有限要素法による形状に不確かさを有する構造の解析，日本機械学会論文集，48巻，427号 (昭57年)，339～346。
NAKAGIRI, TAKABATAKE, TANI, Uncertain Eigenvalue Analysis of Composite Laminated Plates by the Stochastic Finite Element Method, Trans. ASME, J. of Engineering for Industry, Vol. 109, No. 1 (1987), 9～12.

本間 研究室 (材料表面工学)

教授 本間 禎一 (昭和41年度～)

放射線の工学的応用に関する研究を旧一色研究室との共同で行い、その展開の成果として「高温酸化皮膜内の応力発生挙動に関する研究—昭和53年度」、 「表面の定量電子分光法に関する試作研究—昭和60年度」、 「ガス放出における表層構造の影響と照射効果—昭和63年度」が文部省科学研究費(一般研究B)の補助を受けてまとめられた。

昭和61年からは、材料表面工学への応用研究が活発に進められている。

これらの研究は、助手片岡邦郎(昭和60年退官)、山沢富雄(昭和59年退官)、田中彰博(現アルバック・ファイ)、藤田大介(昭和61年より)、技官後藤克己(昭和59年より)および大学院学生、受託研究員、研究生、卒研究生(芝浦工大、千葉工大)の協力で行われた。

1. X線応力測定法の不均一系材料への応用(昭和44年～)

X線透過検査の基礎研究に端を発し、被写体散乱線の影響を定量的に解析・評価する過程で、異常像成因の究明と関連して金属組織の影響とその制御の研究が行われた。更に、不均一系材料のひずみ発生挙動のX線的研究へと進展し、一つは、測定精度の向上を目指して $\sin^2\psi$ 積分法による3次元解析へ向かい、もう一つは、高温測定法の開発へと向かった。

2. 電子分光法の定量化と応用(昭和54年～)

固体表層構造解析研究の一環として設置された(昭和54年)AESとSIMSによる応用研究に加えて、定量分析に関する研究、表面分析の高速・高分解能化とその応用、オージェスペクトルの実用的解析手法の開発、阻止電位式一段型円筒鏡分光器の試作研究などのソフト・ハードの両面の研究が行われている。とくに定量分析に関しては国際共同研究VAMAS-SCA(オージェ定量WG)に参加して、装置特性、最適測定条件の研究などが進められた。応用研究として電子線損失スペクトル解析による動径分布関数情報を利用する表面偏析、初期酸化の研究へと進んでいる。

3. 固体表面での気体の吸着・脱離の理論・実験研究と超高真空技術への応用(昭和55～)

超高真空領域における固体表面からのガス放出の

制御に関する研究の基礎として、微量固溶元素の表面平衡偏析および表面3次元析出、気体分子の吸着および熱脱離の研究が行われている。ガス放出における表層構造の影響と照射効果の研究が高エネルギー物理学研究所との共同研究として進められ、これと並行して極高真空技術の開発基礎研究も進められ、両者に関係して、六方晶、c軸配向のBNのガス放出特性の研究が行われている。

4. 金属の高温酸化の理論・実験研究と腐食科学への応用(昭和45年～)

加圧炭酸ガスによる軟鋼の酸化に関する委託研究が契機となって、合金の低酸素ポテンシャル条件における酸化の研究が行われた。減圧低酸素ポテンシャルと複合雰囲気低酸素ポテンシャル条件の相関について関連研究が進められた。昭和57年から鉄鋼基礎共同研究として、鋼材の表面物性と微量元素の影響に関する研究が行われている。また、超高真空用材料表面の評価と制御に関連して表面酸化層のガス放出における役割の研究も進められている。

主要論文

- 1) 石黒, 本間: 遷移金属酸化物におけるオージェスペクトルの化学効果とその相対感度係数に及ぼす影響, 日本金属学会誌, 45, 360, 1981
- 2) 竹森, 前田, 石黒, 田中: Ni-Co合金上の酸化薄膜形成に見られる非等方性, 日本金属学会講演概要, 212, 1981-4
- 3) 高橋, 本間: $\text{Fe}_{1-x}\text{O} \rightarrow \text{Fe}_{1-y}\text{O}$ 分解における配位状態, 日本金属学会講演概要, 356, 1982
- 4) 大島, 本間, 田中: Fe-18Cr単結晶の熱酸化におけるエビタクシー効果, 日本金属学会講演概要, 367, 1982
- 5) 片, 本間, 高桑: 熱酸化に伴う Cu_2O 皮膜内の応力発生挙動, 日本金属学会誌, 47, 663, 1983
- 6) 田中, 本間: 定量オージェ電子分光のための装置特性の評価, 真空, 26, 846, 1983
- 7) 片岡, 山沢, 片, 本間: An X-ray Study of Strain Generation Behavior of a Steel-Scale System During High Temperature Oxidation in Air, Trans ISIJ, 24, 365, 1984
- 8) 藤田, 本間: Characterization and Thermal Desorption Spectroscopy Study on a New, Low Outgassing Material Surface for Improved Ultra-high Vacuum Uses, J. Vac. Sci. Technol., A6(2), 230, 1988

鈴木(敬) 研究室 (材料強度物性)

教授 鈴木 敬 愛 (昭和44年度~)

鈴木(敬)研究室では、セラミックスを中心とする固体材料の強度に関する研究を結晶の格子欠陥の観点から行ってきた。とくに、結晶の塑性変形機構の研究を系統的に行ってきたが、それは超音波を用いた内部摩擦の研究と結晶の破壊機構に関する研究へ発展し、最近では放射線照射損傷の研究と放射光を用いたX線トポグラフィーによる格子欠陥の研究が加わっている。今後の5~10年の間に力を入れたいと考えている研究について簡単に紹介する。

(1) セラミックスの強度と格子欠陥

結晶の塑性変形に関して最も基本的な量は転位のパイエルス応力である。それは純粋な結晶を絶対0度で変形するのに必要な力である。低温変形の実験を種々のイオン結晶において行い、パイエルス応力の決定を行い、転位の運動と変形機構を明らかにしてきた。その結果、パイエルス応力と結晶構造の間にある相関があり、金属は延性に富むがセラミックスは硬くてもろいことが説明できるようになった。このパイエルス応力と結晶構造の関係を理論的に理解し、さらに同じ構造の結晶でもパイエルス応力が少しずつ異なることの理由を明らかにしたい。

(2) 超音波を用いた格子欠陥や非晶質の研究

固体中を伝わる超音波の音速や減衰を測定することによって、構造緩和や格子欠陥の性質を調べることができる。小泉大一助手が中心となって、超音波の音速・吸収を広い温度範囲で自動的に測定する装置を製作し、これによって結晶転位の動的挙動を知る実験が行われてきた。最近では、高木(堅)研究室と共同でセラミックス系超伝導体の音速測定を行い、遷移温度における音速の異常と熱的ヒステリシスを見いだした。また、近年バルク状の試料が得られるようになった非晶質合金や準結晶の弾性定数の決定と構造緩和の研究を行い、超音波を使ってこれら非周期構造の物質の性質を明らかにしていきたい。

(3) 固体の破壊機構の研究

固体の破壊は原子間結合が解離して、それが巨視的に伝播する現象である。き裂の進展を連続体近似で扱う破壊力学が、主として鋼材の破壊じん性を整理するのに役立つってきたが、延性材料やセラミックスのようなもろい材料の破壊を記述することは困難

であり、固体の破壊を原子レベルにまで掘下げた理解が必要である。一般に、き裂の発生と伝播の過程では転位の発生と運動すなわち塑性変形をとともなう。すでに、我々はイオン結晶中のへき開き裂の進展に際して転位の運動がどのような役割りを果たすかを調べる実験を行ってきた。この方向の研究を進展させて、破壊の機構を研究する方法を確立し、固体物理学の一分野として位置づけたいと考えている。

(4) 固体材料の放射線照射損傷の研究

固体が電子、中性子、重イオン等の放射線によって照射されると多量の欠陥が導入され、強度を始めとする物理的性質が損われるので、原子炉や核融合炉の材料を開発するうえで照射損傷の研究がとくに重要である。太田丈児(院生)が中心となって本学の重イオン照射施設(HIT)を用いたセラミックスの照射実験を行い、損傷組織とその回復過程の観察を行っている。一方、米国の研究用原子炉FFTFによる中性子照射の研究グループにも参加して、核融合炉に近い条件で金属およびセラミックスの照射の実験を行いつつある。

(5) 放射光X線による格子欠陥の研究

格子欠陥の直接観察手段としては電子顕微鏡が最も分解能が高いが、薄膜を用いなければならず、電子線照射によって欠陥を生成する場合もある等の欠点もある。バルク中の格子欠陥の運動や集団的性質を調べるために、高エネルギー物理学研究所の軌道放射光を用いたX線トポグラフ観察装置を目下建設中で、固体ヘリウムやイオン結晶中の格子欠陥の挙動について従来得られなかった知見が得られると期待している。なお、この研究の一部は文部省科学研究費の特別推進研究(代表者・鈴木秀次)である。

材料の基礎研究というものは、さまざまな測定手段を必要とする。幸い、我々は第一部に属しているので応用物理系の研究室の方々の知恵と協力を容易に得ることができる。さらに、材料強度の研究では力学系研究室の方々の協力も期待している。

現在、研究室の構成は、教授・鈴木敬愛、助手・小泉大一、技官・片倉智、大学院学生3名、受託研究員1名である。

吉澤 研究室 (数理流体力学)

教授 吉澤 徹 (昭和50年度~)

本研究室は応用数学部門を担当し、流体现象を流体物理学的観点から研究している。現在の構成員は教授吉澤徹、助手堀内潔、技官西島勝一、大学院学生下村裕、半場藤弘 (共に博士課程) からなっている。主要研究対象は強い揺らぎを持つ乱流現象であり、プラズマに関しても流体模型によってその強い非線形性・非一様性を研究している。なお、昭和58年度までは層流を主要研究対象とした成瀬研究室と共同研究体制を取ってきた。

本研究室の研究題目は、乱流の統計理論的研究、乱流モデルの開発、乱流の数値計算、乱流ダイナモによる核融合プラズマおよび天体・地球磁場維持機構の研究に分類される。以下それらについて概略する。

1. 乱流の統計理論的研究¹⁻⁷⁾ (昭和54年度~)

平均量が時間・空間的に変動する乱流は非一様乱流と総称されるが、これらの数学的取り扱いは極めて複雑である。この困難を解消するために平均部分と揺らぎ部分に異なる時間・空間スケールを導入することによって、2スケール繰り込み理論を開発した。この理論を流体運動、温度拡散、回転系乱流、電磁流体现象等に適用し、種々の輸送量に対する数学的表現を与えた。

2. 乱流モデルの開発^{6,8,9)} (昭和57年度~)

乱流の平均部分のみに関連した支配方程式系を得ることは理工学の研究において重要であるが、反面信頼性の高いモデルを構成することはむずかしい。この点を改良するために、工学研究において広く利用されている $k-\epsilon$ モデルの非等方化、一般化を統計理論からの結論を用いて行った。その結果、溝乱流における揺らぎの非等方性、矩形管内乱流の2次流等従来の $k-\epsilon$ モデルでは再現できない諸量が計算できることを示した。また、MHD発電等で重要な低磁気レイノルズ数乱流モデルの開発も行った。

3. 乱流の数値計算¹⁰⁻¹²⁾ (昭和59年度~)

理工学上重要な乱流を基礎方程式の直接的数値解として求めることは、極めて特殊な簡単な場合を除

いて不可能である。そこで、数値的手法の高精度性を残し、計算格子に埋没する乱れにのみモデル化を行うラージ・エディ・シミュレーション (LES) の開発のために、溝乱流、混合層のLESを実行し、実験結果との詳細な比較検討を行った。その結果、モデルの選択と結果の精度の相関関係、秩序構造を持つ流れへのLESの適用性等が明らかにされた。また、これらのLES数値データ・ベースが乱流モデルのモデル定数の決定に際しても示唆を与えることを明らかにした。

4. MHD乱流の研究、核融合プラズマ乱流、天体・地球磁場研究への応用¹³⁾ (昭和59年度~)

MHD現象においてもっとも重要であるアルファ、ベータ効果に関して、統計理論からの結果を用いて3方程式MHD乱流モデル系を構成した。このモデルを逆転磁場ピンチによる核融合プラズマ閉じ込めの研究に適用して、その有用性を示した。本モデルはわずかな変更を行うことによって天体・地球磁場研究においても利用することが可能である。逆転磁場ピンチに関しては、LESの観点からも数値計算を行っている。

主要論文

- 1) A. Yoshizawa: Phys. Fluids 27, 1377 (1984)
- 2) A. Yoshizawa: ibid. 28, 3313 (1985)
- 3) A. Yoshizawa: ibid. 30, 628 (1987)
- 4) A. Yoshizawa: J. Fluid Mech. 195, 541 (1988)
- 5) Y. Shimomura, J. Phys. Soc. Jpn. 55, 3388 (1986)
- 6) Y. Shimomura, ibid. 57, 2365 (1988)
- 7) F. Hamba, ibid. 56, 3771 (1987)
- 8) S. Nisizima and A. Yoshizawa: AIAA J. 25, 414 (1987)
- 9) 西島勝一: 機械学会論文集B編投稿中
- 10) K. Horiuti: J. Comp. Phys. 71, 343 (1987)
- 11) K. Horiuti: submitted to Phys. Fluids
- 12) F. Hamba, J. Phys. Soc. Jpn. 56, 2721 (1987)
- 13) A. Yoshizawa and F. Hamba: Phys. Fluids 31, 2276 (1988)

渡辺(勝) 研究室 (固体材料強度学)

助教授 渡辺 勝彦 (昭和49年度～)

材料の強度と破壊に関する研究を、主に破壊力学の立場から行ってきている。特に昭和55年におけるき裂エネルギー密度概念の提唱以来、それを中心とした新しい破壊力学体系の展開と確立が一貫した課題となっている。昭和51年以来平野八州男教務職員が、昭和62年度より佐藤裕助手が在籍している。また昭和57年～59年に奥村秀人助手が、昭和60年には畔上秀幸助手が在籍した。

1. き裂問題の光弾性解析法に関する研究

(昭和51年度～56年度)

実用上十分な精度で応力拡大係数の解を得るための、光弾性による実験手法から実験データよりの応力拡大係数決定法に至る一連のき裂解析法を開発し、破壊力学を実構造物に適用していくうえで不可欠な主要3次元き裂問題の解析を行った。

2. き裂エネルギー密度概念による破壊力学の構築 (昭和55年度～)

現実のき裂端近傍における現象はほぼ例外なく非弾性現象である。従来までの破壊力学はこの非弾性現象を弾性き裂の力学により評価しようとしてきたものであるとはいえ、そのため種々の限界、矛盾が生じている。本研究は、き裂エネルギー密度概念を中心とした非弾性き裂の力学とも呼ぶべきものを構成し、その種々の破壊問題における有用性の実証を通じて従来の破壊力学における限界、矛盾を克服し、現象にこだわらずき裂挙動の統一的記述を可能とする破壊力学体系の構築を目指すものであり、破壊力学が対象とするほとんどすべての課題が研究対象となる。

2.1 非弾性き裂力学の確立

主に連続体モデルと物体内の一部に変位の非連続を許す非連続モデルを用いてき裂エネルギー密度概念の確立をはかり基本的性質を明らかにすると共に、き裂問題におけるエネルギー保存則、き裂エネルギー密度と径路独立積分、荷重一変位曲線との関係等についての研究を行い、またき裂エネルギー密度の評価法に関する研究を進めている(3次元問題を含む)。

2.2 き裂エネルギー密度概念の有用性に関する研究

課題2.1で得られつつある成果を各種破壊現象に適用し、き裂エネルギー密度の各現象に固有な性質を

説明すると共に、き裂エネルギー密度による各種き裂挙動の統一的記述の可能性を実証しつつある。これまでに、(i)弾塑性破壊(混合モードを含む)、(ii)クリープ破壊、(iii)疲労破壊、(iv)動的破壊を対象に研究を進めており、現在特に(i)、(ii)において従来法では行うことができないき裂強度評価が可能となることを示すデータが得られつつある。

3. 非連続固体挙動解析モデルの開発とその適用性に関する研究 (昭和61年度～)

固体の挙動にはき裂端近傍での変形、固体中の転位の存在、発生等連続体モデルになじまない現象がある。本研究はこのような非連続現象の有限要素法による解析を可能とするモデルの開発を行うものである。これまでに任意の連続分布転位き裂モデルの解析がこれにより可能となることを示しており、さらに種々の非連続現象への適用性を研究している。

主要論文

- 1) 渡辺, 久田, 平野, 北川, 3次元き裂問題の光弾性実験による解析(第2, 3報), 機論, 46-404A, 387 (1980).
- 2) 渡辺, 破壊力学パラメータとしてのき裂エネルギー密度概念の提唱と考え方, 機論, 47-416A, 406 (1981).
- 3) K. Watanabe, The Conservation Law Related to Path Independent Integral and Expression of Crack Energy Density by Path Independent Integral, Bull. of the JSME, 28-235, 26 (1985).
- 4) K. Watanabe and Y. Kurashige, Path Independent Integral to Creep Crack and Crack Energy Density, Bull of the JSME, 28-235, 26 (1985).
- 5) K. Watanabe, Fatigue Crack Growth from the Standpoint of Crack Energy Density, Bull of the JSME, 28-245, 2511 (1985).
- 6) K. Watanabe and H. Azegami, An Evaluation of the Fracture Resistance of a Stably Growing Crack by Crack Energy Density, Bull. of the JSME, 29-257, 3685 (1986).
- 7) K. Watanabe and Y. Sato, A Fundamental Study on a Discontinuous Crack Model, JSME Int. J., 30-267, 1391 (1987).
- 8) 渡辺, 宇都宮, 平野, 任意方向き裂エネルギー密度と荷重一変位曲線, 機論, 54-503A, 1383 (1988).

結城 研究室 (材料強度機構学)

助教授 結城良治 (昭和52年度～)

本研究室は、材料力学および材料強度学の研究分野、中でも破壊力学を主に研究している。すなわち、多様な破壊現象の解明と各種機器・構造物の安全性確保・健全性評価・予寿命推定を目的として、破壊力学の基礎から応用にわたる広範囲な研究を行っている。

本研究室は、昭和52年に発足し、当初は北川研究室と一体となって運営していたが、昭和58年北川教授の定年退官に伴い独立して研究にあっている。現在の構成員は、助教授 結城良治、助手 大平寿昭であるが、この10年間で技官 辻恒平 (昭和51年～58年)、岸成人 (昭和59年～63年)、事務官 田中はるみ (昭和54年～58年) が在籍した。以下に本研究室の研究の概要を紹介する。

1. 破壊力学の基礎研究 (き裂の解析・破壊靱性)

実際の破壊現象で見られる複雑なき裂形態に着目して、分岐や屈折したき裂モデルの理論的解析法を開発し、その応力拡大係数の解を世界に先駆けて示したのが本研究室の初期のころの研究である。本研究により、き裂の分岐・屈折・曲折などの現象の力学的解明が可能となり、これをき裂形態論と名づけた。この研究の流れとして、体積法による異材境界き裂の解析や有限要素法による2次元・3次元き裂の弾性および弾塑性解析などの各種の研究があるが、最近では新たな数値解析法として注目される境界要素法 (BEM) によるき裂の解析に重点を置いた研究を進めており、汎用・効率的かつ高精度の境界要素法き裂解析システムが完成しつつある。また熱弾性・弾塑性BEMの開発も進めている。

また、き裂材の静的強度の試験法・評価法の確立に関連して、薄板延性材の破壊靱性や厚板表面き裂材の破壊靱性の評価法、AEによる弾塑性破壊靱性評価法などの研究を行い、いずれも試験法が現在確立していない重要な課題であるが、多くの新たな知見が得られた。

2. 疲労破壊と疲労強度の研究

破壊事故の大半は、人為的なものを除いて、疲労および後述の環境に起因するものと言われている。本研究室では、K関数制御疲労試験機や高サイクル二軸荷重疲労試験機などユニークな大型の疲労試験

機を開発するとともに、疲労き裂の発生・伝播挙動、疲労き裂の開閉口挙動と下限条件に関する多くの研究を実施してきた。なかでも、微小き裂の疲労き裂成長特性と下限条件に関する研究や二軸応力下の疲労き裂成長特性に関する一連の先駆的研究は、通常行われてきた単軸荷重負荷の大きなき裂の疲労き裂成長特性とは著しく異なることを明らかにし、小さな欠陥が問題となり、また二軸・多軸の複雑な負荷を受ける構造物の寿命評価・健全性評価に際し、重大な知見が得られた。これらの問題は、疲労の研究分野の最近の重要なトピックスとなっている。また表面き裂の疲労進展、干渉・合体・貫通挙動をパソコンで予測・解析するシステム“Mi-CRACK”を三井造船(株)と共同開発した。

最近では、自動車など薄板構造物のスポット溶接継手の疲労強度評価に破壊力学を適用する研究を進めている。また、これまで金属疲労の研究が中心であったが、プラスチック、FRP、GRPなどの複合材、接着継手などの疲労の研究も進めている。

3. 環境破壊・高温破壊の研究

化学プラント、海洋構造物、原子炉圧力容器など苛酷な環境にさらされる機器・構造物の安全性の確保は社会的にも重要な問題である。本研究室では、腐食環境下および高温下の各種の破壊実験、理論的解析を行っている。たとえば、海洋構造物を想定した、海水中の腐食疲労試験を二軸荷重疲労試験機を用いて実施した。また、高速増殖炉 (FBR) を想定した、高温下のクリープ・疲労き裂伝播試験なども行っている。

受賞 昭和62年度自動車技術会論文賞 「破壊力学によるスポット溶接継手の疲労強度の解析」
結城良治、大平寿昭、中務晴啓

主要著書

- 1) 結城・木須共著 「境界要素法による弾性解析」培風館 1987
- 2) 結城分担執筆 「破壊力学—理論・解析から工学的応用まで」培風館 1988
- 3) 結城分担執筆 「破壊力学実験法」朝倉書店 1984
- 4) 結城分担執筆 「安全工学講座3 破壊」海文堂 1984

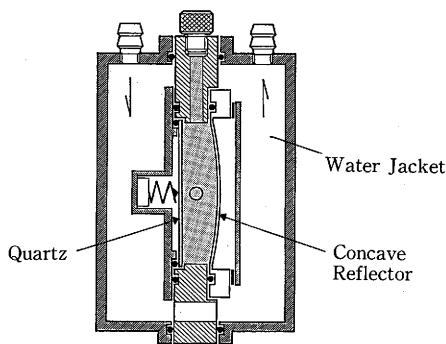
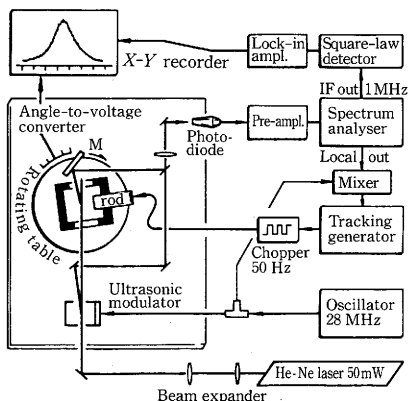
高木(堅) 研究室 (超音波工学)

助教授 高木 堅志郎 (昭和55年度～)

研究室が始まって以来、超音波スペクトロスコピーと音波物性を二本の大きな柱として研究を行ってきた。前者は、液体や固体中の超音波の速度と吸収を100kHzから10GHzまでの広い周波数域で精度よく測る技術を開発する仕事であり、後者はその応用として、あらゆる材料工学の基礎となる物性研究を超音波を用いて行うことである。この二種の研究が左右の車輪のようにバランスよく回転しているとき研究は順調に進んできた。例えば、ある物質の分子的性質を知るために超高周波の測定が必要になり、新しい技術を開発する。すると、その基礎を使って別のマイクロな物性研究が可能となる、という具合に正帰還ループが構成され、研究が発展する。

◆高分解能ブラッグ反射法の開発：興味の対象が分子、原子とマイクロになるにつれて、一般に高周波の超音波測定が要求される。ブリュアン散乱など光学的な超音波測定法を手がけてきたが、中でも高分解能ブラッグ反射法 (HRB法) は、当研究室が開発した新しい原理に基づく測定法である。数10MHz～2 GHz域の高周波音波を ZnO 薄膜トランスジューサで励起し、それによるレーザーの反射光を光ヘテログイン系で検出し、音速と吸収を高い精度で求める。図1にそのブロック図を示す。光学的な方法としてはこのほかに、光偏向を利用した超音波パルスの検出法なども開発している。

◆プラノコンケーブ型超音波共鳴器の開発：生体系高分子や二成分溶液臨界現象などの遅い現象の研究では、1 MHz以下の低周波測定が必要となる。



当研究室では大型の水晶板をわずかな曲率をもつ凹面反射板と対向させた新しい型の超音波共鳴器を開発し、これまで有効な測定法のなかった100kHz～1 MHz帯の測定技術を確立した。図2にプラノコンケーブ共鳴器を示す。このほか、特に減衰の大きい試料の音速を求めるためのパルス・エコー・オーバーラップ法、高周波で高い感度をもつ光音響セルなどの開発も行っている。

◆生体高分子溶液の研究：タンパク質の研究は超音波の医用診断への応用の基礎となる。卵白、牛血清アルブミンの0.1から1000MHzにわたる広帯域吸収スペクトルを明らかにし、緩和機構を解明した。また、卵白のゲル化を調べるのに超音波を用いると他の方法では得られない貴重な知見が得られる。

◆固体ガラス、結晶の研究：上記HRB法をSiO₂ガラス、GeOガラス、サファイヤなどの固体に応用し、超高周波領域のデータを初めて得た。吸収データはガラス特有の構造と関係づけて説明される。

主要論文

- 1) K. Takagi and K. Negishi: J. Phys. D. 15 (1982) 757-765.
- 2) K. Takagi: J. Acoust. Soc. Am. 71 (1982) 74-77.
- 3) P.-K. Choi, Y. Naito and K. Takagi: J. Acoust. Soc. Am. 74 (1983) 1801-1804.
- 4) 根岸, 高木, “超音波技術” (物理工学実験14) 東大出版会, 1984.
- 5) 高木堅志郎: 金属学会誌 26 (1987) 396-403.

岡野 研究室 (真空物理学)

助教授 岡野 達雄 (昭和56年度～)

真空雰囲気のもとで、気体分子・固体表面・電磁波などの関与する現象の研究を行っている。新しい測定機器と技術の開発を基礎とした、物理現象の計測に力点をおいて研究を進めている。また、真空の発生と計測に関する基礎的な問題も重要な研究課題と考えている。

(1)電界電子放射雑音の研究 (昭和56年度～)

針状陰極からの電界放射電流の揺らぎを解析することにより、陰極表面上に吸着した分子の表面拡散係数を決定することができる。当研究室では、電界放射電子のパルス計数をもとにした計数相関法を開発することにより、従来不可能であった半導体表面上での金属原子の表面拡散現象の研究にこの測定法を適用することに成功した。これまでに測定を行った対象は、タングステン表面上の希ガス分子とゲルマニウム表面上のガリウム原子についてであり、おのおのについて、表面拡散過程の吸着分子密度依存性と温度依存性を明らかにした。この研究は、主として本田融助手の努力によるものである。

(2)高分解能低速電子分光法による単分子凝縮層の研究 (昭和56年度～)

この研究課題の前半部は、高分解能低速電子分光装置の開発に関するものであり、半球型静電偏向器に電子銃と静電レンズシステムを組み合わせて、エネルギー分解能一定で電子エネルギーを変化させることが可能な分光装置を実現した。この開発は、大学院学生浦井孝彦・大崎明彦・首藤啓樹らの諸氏によるところが大きい。この装置を用いた研究は桜井誠助手の手で推進され、ヘリウムガス冷却クライオシステムをベースにした試料冷却機構の開発により6K以下に冷却された銀の単結晶表面に凝縮した単分子層を試料とした測定が可能となった。二酸化炭素の分子振動の共鳴励起過程・メタン単分子層における表面共鳴回折過程・吸着水素分子のオルソパラ転換過程などに関する成果を得ている。

(3)水素原子線による表面研究 (昭和60年度～)

水素原子の固体表面での散乱過程は核融合におけるプラズマ壁相互作用の基礎データとして重要であるが、付着確率や適応係数などの実験データは著しく不足している。本研究課題で取り上げてきたのは、

数eV以下の低エネルギー水素原子線を用いた実験技術の開発である。研究は、受託研究員であった小泉幹夫・前原一俊・新川修司らの諸氏により行われ、高周波放電解離型原子状水素線源の開発と水素原子検出法の研究がなされた。

(4)ピコ秒低速電子線源の開発 (昭和61年度～)

材料界面等の極微小領域の構造や局在励起過程を解明するプローブとして高い将来性を有すると思われる新型電子線源の開発を行い、ガリウム砒素単結晶表面にセシウム活性層を形成したパルス光電子源において50ps以下の時間分解能を持つ高輝度ピコ秒電子源を実現した。これは大学院学生であった石塚啓樹氏によるものである。またこれに並行して電子線源と同程度の時間分解能を持つ電子直射型ストリークカメラの開発を行った。

(5)真空工学に関する研究 (昭和56年度～)

真空ポンプを極高真空領域で有効に使用するためには、ポンプそれ自身からのガス放出を低減することが不可欠である。この目的でタンタルゲッタポンプと複合陰極スパッタイオンポンプの開発を行った。また真空装置内の自由分子流の解析を、東京理科大学大学院学生であった中山光康氏と共に行い、モンテカルロ法によるJIS規格排気速度測定用テストドームの解析やレーザー昇温脱離ガスの時間応答解析などを進めた。

主要論文

- 1) Field-emission current fluctuations from a (110) vicinal plane of tungsten with adsorbed xenon molecules: Jpn. J. Appl. Phys. 22 (1983) 1496.
- 2) Vibrational excitation of physisorbed CO₂ on a Ag(111) surface: J. Vac. Sci. Technol. A5 (1987) 431.
- 3) Ortho-para conversion of n-H₂ physisorbed on Ag(111) near two-dimensional condensation conditions: Appl. Surface Sci. 33/34 (1988) 245.
- 4) A Zr-Al composite-cathode sputter-ion pump: J. Vac. Sci. Technol. A2 (1984) 191.
- 5) Measurement of field-emission current-fluctuations by digital autocorrelation of electron counting: Jpn. J. Appl. Phys. 24 (1985) L764.

黒川・竹光 研究室 (多次元数値情報処理工学・数値流体工学)

客員 教授 黒川 兼行 (昭和61年度~63年度)

客員助教授 竹光 信正 (昭和61年度~63年度)

本客員部門は、大規模科学技術計算に関連した数値情報処理工学を研究する目的で昭和61年度に設置された。現在、客員教授として黒川兼行が、客員助教授として竹光信正がその任にあっている。その研究分野は多次元数値情報処理工学、および数値流体工学であり、客員助教授竹光信正は第5部教授村上周三、第2部教授小林敏雄、第1部教授吉澤徹、第5部助教授加藤信介によって構成されている本所のNST (Numerical Simulation for Turbulence) グループと共同研究をおこなっている。

1. 多次元数値情報処理工学

工学の研究は社会的要請と密接に関係し、企業の果たす役割はきわめて大きい。この傾向は現在の最先端科学技術の一つであり、かつ日本の主要産業でもあるエレクトロニクス分野において顕著である。黒川はベル研究所、富士通研究所と日米両国における長年の経験をもとに、

(1) 企業における開発研究の様相と大学における研究との相違

(2) 日本のエレクトロニクス産業におけるイノベーションの成功理由

について詳細な分析をおこなった。

2. 数値流体工学

(a) 層流および乱流に対する数値計算法の開発

流体力学の分野に数値解析の手法が導入されたのは電子計算機の出現以前であり、数値流体力学としての出発点は1933年の英国のThomをもって始まったと言える。電子計算機の出現以後は、数値流体力学の進歩は特に目覚ましく、日進月歩の進展を見せており、今や数値流体力学 (工学) における大計算はスーパーコンピュータなしでは実行できない。こうした状況にあって竹光は、数値流体力学の標準問題としてよく使われているCavity流れに対し、動壁と静止壁の交じわる角が数学的な特異点であるために、角のまわりの流れはどんなに格子を細くしても流れを正しく表現できないことを明らかにした。現在、応用上の観点から適切な流出 (入) 境界条件について自然な流れを実験できる条件を検討中である。

(b) 乱流のモデル方程式の解析的研究

乱流は一般に細いスケールの変動を含むので、何らかのモデルを使ってこれを粗視化する必要がある。このようなモデルのうち工学的観点からよく使われるモデルとして、標準 $k-\epsilon$ モデルをあげることができる。竹光は、このような乱流モデルに対して始めて代数的な解析手法を導入し、乱流のモデル方程式を解析的に研究した。その結果、標準 $k-\epsilon$ モデルはこれを2次元平行平板間の乱流場に適用したとき、2次の漸近解が発散項をもつため数学的に適正でないことを見だし、数学的に適正で物理的にも適切な代替モデルとして吉澤の統計理論の結果を利用した改定 $k-\epsilon$ モデルを提案した。このような解析的手法導入の効果は、モデル方程式の漸近解の導出、モデル方程式の構造、適正な境界条件の導出、モデル定数の決定等にその威力を発揮している。現在、工学的観点から改定 $k-\epsilon$ モデルを実用に供する形にするためにもっとモデル定数の幅を狭める研究をおこなっている。

主要論文

- 1) 黒川兼行：生産研究, vol. 39 (1987), No.3, 77~82.
- 2) 黒川兼行：生産研究, vol. 40 (1988), No.11, 541~547.
- 3) 竹光信正：生産研究, vol. 38 (1986), No.12, 534~542.
- 4) 竹光信正：生産研究, vol. 38 (1986), No.12, 600~603.
- 5) 竹光信正：生産研究, vol. 39 (1987), No.7, 302~305.
- 6) 竹光信正：生産研究, vol. 40 (1988), No.1, 35~38.
- 7) 竹光信正：生産研究, vol. 41 (1989), No.1, 24~27.
- 8) 竹光信正：日本機械学会論文集 (B編), vol. 53, No.494 (昭62), 2921~2927, 2928~2936.
- 9) 竹光信正：日本機械学会論文集 (B編), vol. 53, No.496 (昭62), 3629~3638.
- 10) 竹光信正：第1回数値流体力学シンポジウム講演論文集, (1987), 39~42.
- 11) 竹光信正：日本機械学会論文集 (B編), 投稿中.
- 12) N. Takemitsu: Comput. Methods in Flow Analysis (1988), 860~867.
- 13) N. Takemitsu: J. Fluids Eng., submitted.
- 14) N. Takemitsu: J. Fluids Eng., submitted.
- 15) N. Takemitsu: J. Fluids Eng., submitted.
- 16) N. Takemitsu: J. Fluids Eng., submitted.
- 17) N. Takemitsu: J. Fluids Eng., submitted.

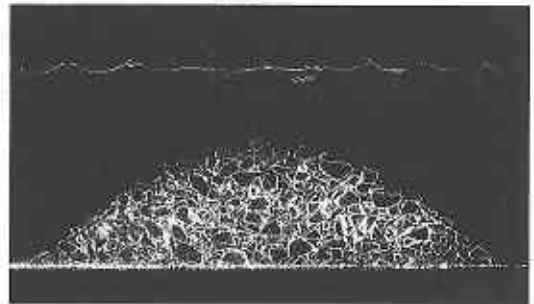
小長井 研究室 (耐震構造学)

助教授 小長井 一 男 (昭和62年度~)

本研究室は小長井が田村教授の研究活動に参加した昭和62年4月に発足した。これまで押尾有吾技官が在籍し (昭和63年退職)、現在田村研究室の協力のもとに土木構造の分野で耐震工学上の諸問題について研究を進めている。また耐震構造学研究センター (ERS) のメンバーとして関連諸研究室と連携をとりながら活動している。

本研究室の中心的な研究テーマは基礎構造物と地盤の動的相互作用の解明であり、田村研究室で開発されたゲル状材料による地盤模型の動的弾性実験手法を地中内部の任意断面の波頭の可視化に発展させ、構造物から地盤内に放射される波動の伝播のパターンを類別し、相互作用を簡便な力学モデルで評価する手法を提案するにいたっている。また碎石を主体とする大規模構造物等の粒状体模型をガラス粒で作製し、これを屈折率の等しい液中に浸漬し、ここにレーザー光シートを透過させ、ガラス表面での

散乱光を粒子の動的挙動の可視化に利用する手法を開発した (写真)。これは、これまで得難い粒状体模型内部で進行する破壊過程を直接観測することを可能にしたもので、これらの構造の耐震性の研究に大きく寄与するものと期待される。



論文 小長井一男, 田村重四郎: 粒状体構造模型の動的挙動の可視化, 生産研究, 40巻, 11号, pp. 41-45, 1988.

山田 研究室 (固体材料強度学)

教授 山田 嘉 昭 (昭和24年度~56年度)

山田研究室は、30周年誌が刊行された昭和54年から、昭和57年4月1日、主宰者の停年退官にいたるまで、生産技術研究所における棟尾、3年間の研究にあたった。また、山田は昭和55年4月からふたたび複合材料技術センター長に併任され、センターの運営にあたっている。

山田研究室における重点は、昭和42年から進めてきた有限要素法の開発を推進することであり、定常塑性加工問題の取り扱いに初めて成功を収めたこと、接合要素と特異要素に関する研究、塑性力学における変形理論の増分形構成方程式の誘導、サブスペース法による複素固有値問題、非線形の固体力学問題解法の一般的な定式化、パラメトリック要素の概念による有限要素の統一、有限要素法のリンク機構への応用、ベンチマーク問題の解など、この期間においても、広範囲の課題の研究に成果を収めた。

複合材料の分野では、特異性を含む3次元問題の

ソリッド要素による解析、亀裂先端の特異場の固有値問題の研究等を実施し、後に複合材料におけるサン・ブナンの原理の研究に発展する基礎を構築した。複合材料に関しては、昭和54年12月に開催された第19回生研セミナーにおいて、強度設計のマイクロコンピュータ化について、先駆的な成果を発表している。現在にいたるまで続いている構造解析におけるマイクロコンピュータの応用に関する研究は、このときに始まったといえることができる。

そのほか永年にわたる有限要素法についての研究のまとめとして、昭和40年代に出版された「マトリックス法材料力学」および「塑性・粘弾性」の改訂に着手し、昭和55年末までにその仕事を完了した。

昭和57年に研究室を閉じるにあたり、永年、山田研究室の活動を支えてきた山本昌孝、高橋治道技官は相前後して転職し、奥村秀人助手はその後、昭和59年6月まで、第一部渡辺研究室に所属した。

鳥飼・根岸 研究室 (超音波工学)

教授 鳥飼 安生 (昭和24年度～55年度)

教授 根岸 勝雄 (昭和40年度～62年度)

鳥飼研究室は超音波の基礎から応用にわたる研究を鳥飼教授、藤森聰雄助手、李孝雄技官、小久保旭技官の分担により進めていた。特に超音波の音場および光学作用の理論、強力超音波の作用、複合材料のAEなどに関して顕著な成果をあげてきたが、鳥飼教授は定年を8ヶ月後に控えた昭和55年7月に死去された。

根岸研究室は超音波工学の基礎となる物理音響学および分子音響学の分野における研究を根岸教授、高木堅志郎講師、小沢春江技官によって進めてきたが、鳥飼教授の死去により、藤森助手、李技官、小久保技官を構成員に加えた。昭和56年1月に高木講師の助教昇任により、音波物性に関する研究は高木研究室の担当となり、小沢技官が同研究室に移った。以後の研究は超音波の光学作用と光学映像、ラム波、AE波などの波動伝搬、超音波計測など、主として超音波の基礎技術に関連したものとなった。昭和63年3月、根岸教授と藤森助手が停年退官し、李技官、小久保技官は高木研究室に所属した。

1. 超音波計測に関する研究

(昭和44年度～昭和62年度)

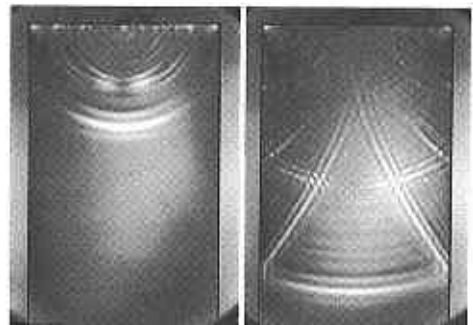
鳥飼研究室と共同または継続のテーマとして、材料のAE特性に関する研究があり、金属材料の破壊靱性試験へのAEの適用、コンクリートやモルタルの硬化、養生過程におけるAE計測や、基礎研究として、板を伝わる擬似AE波の可視化、受波AE信号の微細構造の実験と計算機シミュレーションの比較による解明などがある。これらは李技官が担当した。また、音速吸収の測定技術についても開発が続けられ、変化する音速の追跡測定のために、エコーパルスのゼロクロス追尾による精密自動音速測定装置を開発したほか、共振形送受波器を用いてリングングのない短いパルスの送受波を可能にする新しい音源駆動法を考案し、実験によってその有用性を確かめた。これらは藤森助手、小久保技官が担当した。

2. 超音波の光学映像と波動伝搬の研究

(昭和43年度～昭和62年度)

ストロボ・シュリーレン法による超音波パルスの可視化を応用した研究として、ラム波における負の群速度の研究、医用超音波診断装置のリニア電子走

査探触子からの放射パルスの可視化などがある。ラム波に関してはその後の理論的検討により、負の群速度が存在できる材料と周波数の範囲を明確にした。透明固体中の超音波の可視化にはストロボ光弾性法を用い、反射に伴う超音波パルスのモード変換、板を伝わる多モード超音波パルスの推移、ラム波の振動モードなどに関する研究を進めた。また、超音波顕微鏡における波動伝搬のモデル実験として、シュリーレン法と光弾性法を併用して、水とガラス中の超音波パルスの同時可視化に成功し、漏洩表面波の存在を映像として示した。これらの研究の一部は李技官が担当した。超音波光回折に関する研究として、短いパルスによる光回折および狭光束による光回折、位相格子と強度格子などについて理論と実験の両面から研究を進め、連続波、広光束によるラマン・ナス回折との相違を明らかにした。



ガラスブロックの上面中央から放射された2 MHz超音波パルスの伝搬と反射によるモード変換

主要論文

- 1) K. Negishi, K. Takagi, H. Ozawa "Observation of phase advance due to diffraction of ultrasonic pulse" J. Acoust. Soc. Jpn (E) 1 (1980) 11.
- 2) K. Negishi "Visualization of ultrasonic waves by schlieren method" Jpn. J. Appl. Phys. 20 (1982) S20-1, 3.
- 3) 小久保, 根岸, "超音波パルスエコーのゼロクロス追尾による自動音速測定" 生産研究36 (1984) 458.
- 4) 根岸, 高木 "超音波技術" 東京大学出版会 (1984)
- 5) K. Negishi, H.U.Li "A model experiment of wave propagation in acoustic microscope" Jpn. J. Appl. Phys. 27 (1988) S27-1, 203.
- 6) 根岸 "超音波と光—この古くて新しきもの—" 生産研究40 (1988) 357.

小瀬 研究室 (応用光学)

教授 小瀬 輝次 (昭和24年~57年度)

当研究室は昭和43年7月久保田広教授の後を継いで、昭和58年4月小瀬が定年退職するまで応用光学の研究を行った。昭和52年からの5ヶ年間のスタッフは研究員武田光夫(電通大)、助手久保田敏弘(現京都工芸繊維大)、技官田中堅一(昭和57年定年退職)、只木靖子である。大学院学生、研究生等の研究協力者は文献に共著者として記してある。

久保田研究室は昭和20年代干渉薄膜、位相差顕微鏡、干渉色、昭和30年代光学的空間周波数特性(OTF)、昭和40年代ホログラフィの研究と一貫して光学機械と光の干渉・回折を中心にした研究を進めたが、当研究室もこれを継ぎ、昭和50年代は主にホログラフィックディスプレイの応用研究を久保田助手を中心として進めた。すなわちリップマンホログラム(LPH)の構造が結像性能に及ぼす影響の解析、厚い重クロム酸ゼラチン膜(DCG)を用いたLPHの製作、メチレンブルーによるDCGの色素

増感法を確立してようやくLPHのカラー化に成功した¹⁾。またカラーホログラムはより簡便な膨潤を利用した疑似カラーや銀塩感材とDCGを組み合わせた方式などを試みた。またレインボーホログラムの原理をレンズの色収差と関連づけて解析し²⁾そのの広視域化、カラー化³⁾を試みた。また大日本印刷中央研究所と協力して行ったエンボスホログラムの大量複製⁴⁾はホログラム印刷の始まりであった。また光学素子への応用研究⁵⁾も行った。

主要論文

- 1) 久保田敏弘：生研報告30, 2 (1982. 2)
- 2) 小瀬輝次, 川瀬芳広, 佐藤雅子：第41回応物学会講演会予稿集103 (1980. 10)
- 3) 久保田敏弘, 岸本康, 小瀬輝次：生産研究33, 10, 417 (1981. 10)
- 4) 小寺時男, 山崎哲司, 石原聰, 久保田敏弘：第13回画像コンファレンス論文集199 (1982. 12)
- 5) 劉中本, 久保田敏弘, 小瀬輝次：光学13, 4, 315 (1984. 8)

北川 研究室 (材料強度機構学)

教授 北川 英夫 (昭和33年度~57年度)

耐震工学を中心に広く構造物の強度と安全を扱っておられた岡本舜三先生の研究室から派生して、疲労と環境破壊とき裂の研究を旗印に発足した北川研究室は、昭和57年4月にその任を終えるまで、24年余この三本の旗を守り続けた。昭和40年代始めからは破壊力学と確率統計的手法を、40年代後半からは、理論的・実験的なき裂解析や構造信頼性も加えて、広く強度と破壊と安全の諸問題をとりあげ、主として材料強度論の立場より、理論と実験の両面から追及してきた。この間49・50年度は北川・渡辺研、52~56年度は北川・結城研だった。

54年度から退職までの4年間は、大学院生の新規入室や新規企画の中止などのため研究規模を順次縮小し、4年間通算で研究等発表は年次要覧によれば、邦文115、英文34であった。研究内容とその主なる共同研究者を次に例示する。(1) [き裂体などの理論的・実験的解析] Kゲージと混合モード(石川)、

BIMによるK解析(木須, 結城, 中曾根, 川端, 三木), K_{III} 光弾性(吉岡, 渡辺, 平野) スラブアナロジ(崔), 板構造の弾塑性解析(月森, 方, 大平, 小島, 山岡)(2) [疲労き裂・疲労破壊の破壊力学的研究] 二軸疲労と混合モード(東郷, 結城, 田部), 石油タンクの疲労(大平, 方), 残留応力場(船崎), 高温疲労(結城, 持田, 川端, 徐), スポット溶接(結城, 李)(3) [環境破壊と腐食] 腐食疲労の微小分布き裂(中曾根, 徐, 下平), 不規則表面凹凸(辻, 橋本, 久田, 方, 大平), SCCでの水素挙動と K_{ISCC} 試験法(小島), 隙間腐食(桑原), 2軸腐食疲労(川村, 結城), 電位制御(辻, 阿部)(4) [(ぜい性・延性等)破壊] 混合モードと K_{III} モード(吉岡), すみ肉溶接(大平, 方), 薄板(木須), 破壊とAE(岸, 高橋, 森, 李, 大平), 複合材料(山崎, 神原, 結城, 渡辺), 多孔体(磯辺, 館)

成瀬 研究室 (応用数学)

教授 成瀬 文雄 (昭和39年度~58年度)

流体力学方程式の解析的・数値的研究を吉澤研究室との密接な連携のもとに、金子幸臣助手 (昭和40~48年度)、関根孝司助手 (昭和49~58年度)、西島勝一技官 (昭和39~58年度) と共同して行った。

1. 低レイノルズ数の流れ (昭和49~58年度)

A. 2次元物体に働く力とモーメント^{1,2)}

2次元の任意物体が回転を含む任意の遅い運動をするとき、物体に働く回転モーメントに関する断面係数を用いて回転中心の位置と力のモーメントを求め、一様流中に静止物体が置かれたとき物体に働く力のモーメントは回転中心を通ることを示した。また、物体に働く力および回転モーメントの断面係数はいずれも断面形を円に写像する写像関数の簡単な積分形で表現できることを利用し、断面形の円への写像関数が既知である2次元任意物体 (例えば円柱、円弧形柱) が回転を含む任意の遅い運動をするとき物体に働く力およびモーメントを計算した。

B. 非定常流れ^{3,4)}

円への写像関数が既知の断面形を持つ2次元任意物体またはストークス方程式の解が既知である3次元物体が静止から出発して非定常運動をするとき、その低レイノルズ数流れを切りつなぎ法で空間的・時間的マッチングを行い、静止から定常状態に達する間の物体に働く力を導出した。つぎに、任意の断面および形を持つ細長い物体の非定常運動に関して、速度変化が緩慢あるいは急速なときの任意物体に働く力、また同変化が中間のときのリング状、直線状物体に働く力を決定した。さらに、多くの物体が運動する場合に拡張できることを示した。

C. 二つ以上の物体が運動するときの流れ⁵⁻⁷⁾

任意の断面を持つ細長いリングが、運動する任意の球または静止円筒の内外部あるいは二枚の平行平板間の中央で運動するとき、その低レイノルズ数運動の厳密解を求め、物体間の干渉の性質を明確にした。

2. べん毛による微生物の運動⁸⁻¹⁰⁾

(昭和55~58年度)

微小な生物は壁の近くを運動することが多いが、

本研究ではべん毛の運動波形を正弦波として、べん毛の振動面が壁に平行および垂直であるときに壁の影響、頭部とべん毛の干渉、横断面の変形等を考慮してその運動を解析し、前進速度および壁に接近する速度に対する一般公式を導出した。その結果、精子が壁に沿って進むとき横力を受け壁に接近し、これによって壁の極近くを運動する場合を除いて前進速度が増加すること、べん毛の横断面が平均的にだ円的にへん平していると考えるほうが観測と良く一致すること、精子に働くトルクを考慮するとべん毛が壁に沿って進むほうが安定に前進できること等を示した。

3. 流体方程式の数値解法

非圧縮流体の管内流が十分発達した乱流になっている場合について乱れの異方性、管の曲がりや断面の形状等の影響を考慮して、2方程式モデルによる数値解析を行った。また、流れ場の等角写像を利用した差分法を用いて、周期的な境界条件下で2次元粘性流を数値解析した。

主要論文

- 1) 成瀬文雄：2次元任意物体を過ぎるおそい流れ，京大数理解析研講究録 234, 4 (1975)
- 2) 成瀬文雄：おそい運動をする任意の形の2次元物体に働く力とモーメント，日本物理学会第39回年会講演予稿集 4, 49 (1984)
- 3) 成瀬文雄：細長い物体のまわりのおそい非定常流，日本物理学会分科会講演予稿集 4, 26 (1980)
- 4) 成瀬文雄：任意物体まわりのおそい非定常流，京大数理解析研講究録 449, 2 (1982)
- 5) 成瀬文雄：細長い物体を含む二つの物体のおそい運動，京大数理解析研講究録 360, 88 (1979)
- 6) 成瀬文雄：細長いリングのおそい運動と積分方程式の厳密解，日本物理学会分科会講演予稿集 4, 25 (1983)
- 7) 成瀬文雄：球と細長い物体のおそい運動，京大数理解析研講究録 510, 59 (1984)
- 8) 成瀬文雄：微生物のべん毛運動，京大数理解析研講究録 476, 162 (1983)
- 9) 成瀬文雄：微生物のべん毛運動の流体力学的研究，日本物理学会誌 38, 132 (1983)
- 10) 成瀬文雄：波動運動による微生物の推進，フィジクス 4, 94 (1983)

辻・菊田 研究室(真空物理学)

教授 辻 泰(昭和40年度~62年度)

助教授 菊田 惺志(昭和46年度~54年度)

辻研究室は昭和40年度に発足し、富永研究室、菊田研究室および岡野研究室と協力して真空工学の基礎と表面物理学とを中心とする真空物理学の研究を推進した。菊田研究室は昭和46年度に発足し、54年度に工学部物理工学科に移るまで、主として表面物理学の研究を担当した。

回折結晶学の研究(昭和46年度~昭和54年度)：単結晶を対象に、X線励起光電子やオージェ電子の放射収量の回折条件による変化を、結晶表面近傍におけるX線波動場と対応させて研究し、回折理論にもとづく計算結果と一致することを明らかにした。

単一指向性真空計の研究(昭和49年度~昭和58年度)：真空系内の気体分子密度の不均一性を実測するため、指向性を持つ真空計を開発した。方式には、クライオコリメーター型、多重細管型、励起中性粒子型がある。前2者については、設計指針を与える解析を行った。励起中性粒子型は原理的に指向性が優れているのみでなく、気体分子の速度分布を測定することもできるので、小形にまとめたものを製作し、角度分解能、感度、Ar原子の速度分布等を求め性能を評価した。

気体凝縮層を用いるクライオソープション・ポンプの基礎研究(昭和51年度~昭和55年度)：真表面積の大きい凝縮層を生成するCO₂、Xe等の層生成過程を研究した。10K以下のCO₂層は生成中に熱放出を伴う急激な相変化を生じ、H₂、Heに対する吸着容量が減少する。また、H₂吸着層は8K以下で2次元凝縮と考えられる相変化を示す。高感度の低温熱量計により、Ar、Kr、Xe、N₂、CH₄、CO₂が凝縮する際の発生熱量を測定し、熱力学的データと比較した。熱量測定によって、気体分子の入射頻度の測定が可能であり、圧力の測定が可能であることを示した。

分子線法による気体分子の吸着・脱離・放出現象の研究(昭和53年度~昭和56年度)：液体N₂冷却のクライオコリメーターにより、Mo(100)面より昇温脱離するN₂、COの方向分布を測定した。N₂の方向分布が余弦法則から外れる原因を明らかにするため、Si(111)面に原子状として吸着させたHの脱離の方向分布を測定した。この場合には多重細管型

の単一指向性真空計を使用した。

Xe凝縮層の電子励起脱離の研究(昭和56年度~昭和60年度)：気体凝縮層と荷電粒子との相互作用を解明するため、低温のXe凝縮層の電子励起脱離を観測した。飛行時間法と阻止電位法とを併用することにより、脱離したイオンの価数、粒子の収率、エネルギー分布、水素吸着の影響等を高精度で求め、電子励起脱離の機構を解析した。試料として、清浄なAg(111)面上にXe単結晶薄膜を生成させることを試み、等圧吸着によって単原子層ごとに成長してゆく状態を、低エネルギー電子回折を用いて観測することができた。

レーザー照射による気体脱離現象の研究(昭和58年度~昭和62年度)：原子的清浄表面の生成、真空用材料からの気体放出現象の解析、吸着分子の脱離機構の解明等の目的で、Qスイッチ付きルビー・レーザーによりSi(111)面を照射し、急速昇温脱離を観測した。飛行時間法により脱離分子の速度分布を測定し、表面清浄度はオージェ電子分光により調べた。

非定常真空系の排気過程解析の研究(昭和60年度~昭和61年度)：真空容器内の固体表面をQスイッチ付きルビー・レーザーで照射することによって、短い圧力パルスを生成し、4極子型質量分析計で観測した。分析計出力には、表面から直接イオン源に入射する分子による成分と、真空容器内壁で散乱された分子による成分とが現れる。後者の排気過程を計算と比較して解析し、放出気体分子の壁表面への付着確率を求めることができた。

コンダクタンス変調法による真空系の特性解析の研究(昭和61年度~昭和62年度)：真空系の到達圧力は、真空容器内の表面からの気体放出速度、真空ポンプからの気体放出速度、真空ポンプの排気速度の3要素の釣り合いで決まる。真空系の特性解析を目的として、これらを独立に求めることができるコンダクタンス変調法を開発した。この方法をステンレス鋼製の真空容器をスパッター・イオン・ポンプとTiゲッター・ポンプで排気する系に適用し、ポンプの気体吸収量の増加に伴う3要素の到達圧力への寄与の変化を研究した。

芳野 研究室 (応用光学)

助教授 芳野 俊彦 (昭和50年度~63年度)

I. 磁気光学の研究 (昭和53年度~63年度)

超音波光回折光に及ぼす磁界の影響を実験的・理論的に研究した。主な現象として、縦波超音波と横波超音波では、回折光に及ぼす磁界の影響が全く異なりかつ通常のファラデー効果と一致しないことを実験的に見だし、モード結合方程式で理論的にも裏づけた。

わずかに傾いた高反射面をもつ石英エタロンの厚さ方向に磁界をかけ、直線偏光を垂直に入射すると透過光は右回り、左回りの円偏光として空間的に分離し、透過フリンジの位置が磁場の大きさに比例して傾き角方向に平行移動することを発見しフィゾーの干渉理論でその動作特性を説明できることを示した。この原理は、磁場による光ビームの空間変調器 (ビームシフタ) として応用できる。

光ビームの多重反射を利用した高効率のファラデーローテータを開発した。厚さ数mmのガラス板の上、下面を偏光保存多層誘電膜を蒸着したものをファラデーセルとし、光ビームを入射し、20~60回の内部反射をくり返し行わせる。このセルは薄いので、電磁石の小さな空隙に挿入すると、強力な磁界がセルに加わるので極めて大きな偏光面の回転が得られる。典型的な場合として2.8V-0.56Aのコイル電流で光のアイソレーションに必要な45°の偏光面の回転が得られる。

書き換え可能な光メモリとして重要な、光磁気メモリのSN比を向上させる方式として、磁性膜のカー効果のみでなくファラデー効果も同時に有効に利用できる多層膜構成について一般的な理論を与え、最適設計をした。SN比で48dBが得られる膜構成を与えた。

II. レーザの研究 (昭和53年度~63年度)

内部ミラー型のHe-Neレーザ (発振波長633nm) の各モードは直線偏光し、隣接するモードの方位は直交している。この特異な現象を明らかにするために、共振器内に石英板を挿入した実験系を構成し、①ミラーの管軸方位 ②石英板に加えた複屈折性 ③石英板に加えた軸磁界特性 (光ビート発生) の実験から、レーザミラーには1例として 2×10^{-3} の位相異方性が含まれていることを明らかにし

た。内部ミラー型のHe-Neレーザが2~3モードで発振している場合、出力光を開発した高効率ファラデーローテータで偏光変調し、その出力をレーザ管の長さ制御に使う方式でレーザの周波数を10MHz以下に安定した。

高効率ファラデーローテータを2つの偏光子間に入れた光強度変調器を使って、レーザ光の安定化を行い、 3.7×10^{-3} の安定化を達成できた。ポッケルス効果を利用する場合に比べて、極めて低電圧で駆動できる。

III. 光計測の研究

単一モード光ファイバの両端面を高反射膜でコートすることによってファイバファブリーペロー干渉計を世界に先がけて発明した。このデバイスは、単純で安定なファイバセンサとして、温度、圧力、音、電磁界センサとしての応用のほか、高分解能の分光器、波長フィルタとして世界的な発展を遂げた。

光の多重反射を利用した高感度磁界、電界、温度、圧力センサを開発し、特に電力分野の計測に応用した。

偏波面保存光ファイバに周波数安定化横ゼーマンレーザ光を入射し、差動型による高精度、高安定のヘテロダイン型のファイバセンサを種々開発し、磁界、電界、温度、変位、膜厚、回転センサとして応用した。

半導体レーザの周波数同調特性を利用して、能動干渉計を構成し、レーザ干渉計の安定化、変位の簡便な計測、FMレーダ法による距離測定に世界に先がけて応用した。

低コヒーレンス高輝度光源 (SLD) を利用して、地球の自転の10分の1の感度をもつ実用的な光ファイバジャイロシステムを開発した。

以上で代表される成果は、16編の原著論文、43編の解説論文、14編の著書 (分担執筆)、19編の国際会議論文 (招待論文5編) として発表した。

主要論文

- 1) T. Yoshino, JJAP. **19** (1980) 745
- 2) T. Yoshino et al., IEEE, J. **QE-18** (1982) 1624
- 3) T. Yoshino et al., IOSA **A-1** (1984) 809

富永 研究室 (真空物理学)

教授 富永 五郎 (昭和24年度～55年度)
(昭和46年度工学部併任)

当研究室は昭和24年度に発足し、真空工学と表面物理学を中心に研究を進めてきた。昭和46年に本拠を工学部に移したが、本所においては辻研究室と緊密な協力関係を保ち、主として真空系の動的な特性を解析するための研究の理論面を担当した。

非平衡真空系の特性解析に関する研究(昭和46年度～昭和55年度)：高エネルギー粒子加速器、核融合研究装置などの大型物理機器には、荷電粒子、励起中性粒子などを含む非平衡な真空系が多い。圧力変動が急激な非定常真空系も含めて、一般的な解析方法を確立することを目的に辻研究室との共同研究をすすめた。

解析のための計測には、真空装置内の気体分子の密度と運動方向の不均一性を知ることが必要であり、そのため、単一指向性真空計(分子密度計)の開発

が不可欠であることを指摘した。この考えは、クライオコリメーター型、多重細管型、励起中性粒子型などの指向性真空計を開発する原動力となった。特に、励起中性粒子型指向性真空計は、気体分子の飛行方向と分子密度を測定しうるのみでなく、分子の速度分布を測定することができるという特徴を持っているので、広い応用範囲を持つことが期待される。

気体分子の吸着・脱離を含む非平衡真空系の解析には、幅の狭い圧力パルスの生成と、その減衰過程の測定が必要であることを明らかにした。この目的に十分な圧力パルスは、後に、シリコン単結晶面をQスイッチ付きルビー・レーザーにより照射して発生させることが可能となった。その結果、圧力減衰曲線の解析から、ステンレス鋼製真空容器内壁表面における気体分子の付着確率を測定することができた。

森 研究室 (材料力学)

教授 森 大吉郎 (昭和24年度～55年度)
(昭和39年宇宙研併任)

材料力学のうちで特に機械振動に重点を置いて研究が始められ、自動車・航空機等の軽量構造体の弾性振動と衝撃の解明を行った。昭和30年より所のプロジェクトである観測ロケットの研究開発に池田研究室とともに参加し、昭和39年にその仕事が新設の宇宙航空研究所に移管されたのに伴い、研究室も同所に昭和40年に移ったが、宇宙科学研究所発足直前の昭和56年3月まで引きつづき当所と関係を保ちロケットの構造関係の研究に従事した。

1. 軽構造の弾性振動と衝撃 (昭和27年～32年度)

自動車および航空機のような軽構造の構造要素としての梁や板の振動衝撃を研究し、矩形枠の振動、棒および板が横衝撃を受けたときの曲げ波の伝播等について理論計算と実験とを行った。

2. 観測ロケットの振動衝撃 (昭和32年～55年度)

観測用固体ロケットの飛しょう中の振動および衝撃負荷について研究を行い、発射時および上空の横

風による機体の曲げ振動特性、あるいはエンジンの燃焼や段間切離し等に伴う縦衝撃等の解明をし、構造設計資料の充実に寄与した。

3. 大型ロケットの構造要素 (昭和38年～55年度)

ラムダおよびミューロケットのモータケース(チャンバ)、切離し接手、ノーズフェアリング、尾翼等の各構造部分について、新しい材料と機構を入れた軽量構造の試作試験と解析を行い、同ロケット群の開発と性能向上に寄与した。

4. 発射設備と環境試験装置 (昭和38年～55年度)

固体ロケットの発射装置について、小型用と大型用の数種の試作を行い、吊下げ発射方式、整備塔・ランチャー体方式等の特色を出した。また搭載機器の機械的環境実験装置として、加速度・振動・衝撃・真空・熱・動釣合等の各種の宇宙用特殊装置の試作と運用を行った。