

各部研究室の研究概要

第 1 部 応用物理・応用力学・応用数学など基礎関係

岡本・田村研究室 (昭和24年度～)

教授 岡本 舜三 (昭和45年3月停年退官)

教授 田村 重四郎 (昭和41年度～)

動的材料強弱学

当研究室では構造物特に土木工学の分野における耐震工学上の問題を主課題として不断の研究を進めると共に、動力学に関連した問題の解明につとめている。岡田研究室とは協力関係にあり、また耐震構造学研究センター(ERS)のメンバー研究室として、関連諸研究室と連絡を保ちつつ活動を続けている。

研究室メンバーは昭和44年には岡本教授、田村助教授、加藤助手、森地助手、小野技官、大多和(現塚田)技官、田沼(現小笠原)事務官であったが、昭和45年岡本教授は停年で退官、埼玉大学教授に就任し、同年小野、大多和両技官が退職、昭和47年には田沼事務官が退職、代わって同年安田技官が加わった。昭和50年森地助手は退職して理科大学講師になり、同年田村助教授は教授に昇任した。昭和51年安田技官が退職し、昭和52年から昭和53年まで中村技官が在任した。昭和53年12月現在田村教授、加藤助手のほか、受託研究員2名、事務補助員1名、大学院学生3名である。岡本名誉教授は、ときどき来室され、研究上の問題で貴重な示唆を与えられている。

耐震工学の問題はその解決に長期間を要するものが殆んどで、継続的に研究が進められるが、この10年間は、ダム特にフィルダムの地震時の安定、地下構造物の地震時の挙動、各種地盤の地震応答、その他構造物の耐震性に関する研究および地下鉄道等地中の発振源によって生ずる震動に関する、いわゆる生活環境に関連する課題の研究にとり組み、実構造物の測定、模型実験および理論解析の3方向から現象の究明をはかり、実際の評価方法の確立につとめてきた。

岩盤における地震動観測では、東京電力(株)鬼怒川自動制御所において昭和38年より継続している地下67mまでの観測と、本四連絡橋建設に関わり鳴門海峡両側で約1.5kmはなれた架橋地点での同時観測がある。後者については昭和51年2月、徳島県より計測機器が移管され、そのまま観測をつづけている。沖積地盤では東北本線荒川橋梁付近(地下28m)および東京電力(株)江東変電所内(地下51m)(昭和41年～43年)で地震観測を行い、中規模地震以上で、表層沖積層の卓越振動があらわれる

ことを確認した。

アーチダムの模型試験は昭和31年より続けられ、試験方法は開発・改良され、湛水も考慮して実験できるようになり、この方法を適用して抛物線アーチ、円弧アーチのダムの耐震性の比較を行い、ダムの耐震設計の為の資料を得た。山王海アースダムについては昭和37年より継続して地震観測を行っている。ゼラチンを材料としたダムの小型模型の振動実験方法を発展させ、洪積地盤上に建設されるロックフィルダムの動特性、堤体表面の歪分布を調べた。一方、千葉実験所の大型振動台を使用して、ロックフィルダムの大型模型の振動破壊実験を実施して(昭和41年～)、数値解析と併せて地震時の破壊機構を研究し、第6回世界地震工学会議に発表した。コンクリート重力ダムについては地震記録の解析を続けると共に、小型模型の振動実験を実施して、コイナダムの震害調査と修復に寄与した(昭和43年)。

地下構造物については地中埋設管の模型の振動実験を昭和41年に実施し、昭和42年～45年には江東地区の沖積地盤中の電力線用シールドトンネルで地震観測を行った。さらに昭和44年より沈埋トンネルの三次元模型振動実験を始め、同45年より国鉄京葉線多摩川(沈埋)トンネルで地震観測を開始した。この観測にあたりトンネルの地震時の動歪を測定するための動歪計を開発した。これらの研究成果をまとめ、沈埋トンネルの耐震性の評価のための基本的考え方を明らかにし、かつ実際の解析方法を提案した生研報告第24巻5号に対し田村は土木学会論文賞を与えられた。また昭和50年および52年より東京都内の地下鉄道線でそれぞれ2地点を選んで地震観測を始めると共に、各種地盤条件の下での模型の振動実験を実施した。

このような構造上の研究を進めているほか、地中埋設管網の耐震性を、システムとしての機能の面からも検討している。

一方ERSのメンバー研究室と連繋を取りながら、震害の調査を進めている。昭和45年秋田県南東部の地震、昭和46年サンフェルナンド地震、昭和47年2月八丈島東

方沖の地震, 1974年伊豆半島沖地震, 1978年伊豆大島近海地震, 1978年宮城県沖地震では現地調査を行った。

地下鉄道による騒音, 地盤の振動については昭和20年代より検討を行ってきたものであるが, 特にこの10年間は実測, 模型振動実験, 現地の落錘実験によって, 構築および地盤の振動性状の調査を進めると共に, 波動論に基づいた数値解析手法を開発するなど, この種類の問題

参 考 文 献

- 1) 岡本, 加藤, 小野: 電磁力加振方式によるアーチダム模型振動試験方法について, 土木学会論文集, No. 173, 1970
- 2) 岡本, 田村: Behavior of Subaqueous Tunnels during Earthquakes, Earthquakes Engineering and Structural Dynamics, Vol. 1, No. 3, 1973
- 3) 田村, 森地: 発振源移動による地盤内の波動伝播状況に関する実験的研究, 生産研究, 26巻7号
- 4) 田村, 岡本, 加藤, 大町: ロックフィルダムの模型の振

の解明に努めた。

前述の諸研究を進める上に, 大型レンズと偏光子を用いた光弾性装置と高光弾性感度をもつゼラチンを材料とした模型振動実験の手法の開発は大きく貢献した。軟質地盤上を超高速で車輛が走行する場合の地盤の歪の実験解析の方法はこの一つの成果である。

動破壊実験による動的破壊機構の研究, 第4回日本地震工学シンポジウム, 1975

- 5) 田村, 岡本, 浜田: Dynamic Behavior of a Submerged Tunnel during Earthquakes, 生研報告, 24巻5号, 1975
- 6) 田村, 川上: ライフラインのネットワークシステムの耐震性の一評価方法について, 生産研究, 30巻7号, 1978
- 7) 田村, 中村, 加藤: 地中坑道に発振源がある場合の周辺地盤の震動の解析方法, 土木学会論文集第281号, 1979

一色・本間研究室 (昭和24年度～)

教授 一色 貞文 (昭和49年4月停年退官)

助教授 本間 禎一 (昭和41年度～)

放射線工学

主として X 線と電子線の工学的応用について, とくに金属工学的応用について, 研究を進めている。

研究室発足当初から進められてきた, X線の非破壊検査への応用研究に関連して, 昭和39年度から, X線透過異常像の発生原因の究明研究が行われ, これと並行して金属の凝固機構に関する研究も進められてきた。凝固組織の制御の研究に続いて, 一方向凝固の研究が継続して進められている。

一方, 金属材料の高温腐食に関する研究も行われており, これに関連する基礎的研究として, 表面形態の変化と表面反応の初期過程への影響の研究が進められている。また, 酸化皮膜に発生するひずみの測定への高温 X 線回折法の応用に関する研究も行われている。

高温腐食の実用研究として, 炭酸ガス冷却原子炉の鋼材腐食の機構解明の研究が, 昭和45年度から継続して進められている。また, 超高真空用材料の表面処理に関する研究と関連して, 合金の低酸素ポテンシャル中酸化の研究も継続して進められている。

これらの研究は, 助手片岡邦郎, 山沢富雄, 技官米岡俊明 (現原子力工学科助手) 細井祥子 (昭和49年度退官), 平林美子 (昭和51年度退官), 田中彰博, および大学院学生, 研究生の協力で行われている。

1. X線透過写真に関する研究^{1,2)} (昭和36年度～45年度)

X線透過写真における, 被写体散乱線のフィルムコントラストに与える影響のうち, 粗大結晶粒を含む試片にしばしば現れる X 線透過異常像を, Al 合金鋳物試片を

使用して, その主成因が試片内の粗大結晶粒による回折現象に基づくものであるとして, 金属組織との関係, とくに鑄造組織において異常像が強調される理由を, 結晶の完全性と回折強度との関連のもとに解明した。

また, X線透過法を, 主として, 金属の凝固組織におけるマイクロ偏析, および微細欠陥の研究に利用する目的で, X線マイクロラジオグラフィの理論および応用を検討した。そして, 2元合金の溶質元素量と X 線透過写真の濃度コントラストの関係を与える計算式を導き, 最大濃度差を得るための X 線線質について求めた。

2. X線回折法を応用した金属凝固組織の研究³⁾ (昭和44年度～48年度)

アルミニウム単結晶の成長条件(凝固速度, 不純物等)による不完全構造, とくに Striation について, 長隙ラウエ法および検鏡組織観察法により比較観察を行い, 発生機構の考察を行った。次いで, 長隙ラウエ法の理論的検討と測定法の確立を計った。さらに, この方法を単結晶の塑性変形挙動の研究に応用した。

3. 一方向凝固組織制御の研究⁴⁻⁶⁾ (昭和46年度～)

一方向凝固現象とこれに影響する因子を検討し, この現象を利用した単結晶の製法, さらに熱処理を加え, 高温で安定で強度の大きい複合組織の製法を目的とした研究を行った。Al-Cu 合金について凝固組織制御のために, 母相柱状晶と晶出共晶相のエピタキシャルな方位関係の知見を得た。昭和47年度には, 科学研究費の補助を受けて, X線トポグラフィカメラおよび極点図形測定装置を設置し, 結晶学的研究を行い, 共晶の核生成, 成

長に関する知見を得た。昭和52年度からは、凝固に際して発生する固相界面の残留応力による硬化と加熱サイクルに伴う変形の問題を研究しており、X線単結晶振動法による測定を行っている。

4. 金属表面微細構造の研究⁷⁻¹²⁾ (昭和45年度～)

金属表面の形態的微細構造が、高温における固体表面—気体反応に及ぼす影響を明らかにする目的で、異なる表面浄化処理を施した単結晶表面について、微細構造の形態観察を行い、反応性との関係について研究を行った。昭和46年度に、特別研究費の補助を受けて、超高真空系による、中・高速電子線回折装置を試作した。

昭和47年度から、Cu 単結晶を用いて、特定方位をもつ表面上に規則的な縞状 Thermal Facets を導入する方法を検討して、Facet 形成に際しては表面からの正味の蒸発速度が一つの重要な因子であることを見出した。さらに、Off Angle 効果を利用して、Facet 形成機構の研究を行い、表面微細構造と初期酸化に関する研究を進めた。

昭和48年度には特別研究費の補助を受けて、超高真空系をもつマイクロバランスを試作して kinetics の研究を行った。一方、電子顕微鏡レプリカ観察によって、線形ファセット近傍の複雑指数面が微細構造をもつことを見出し、Herring 式から導かれるトルク項の物理的意味の再検討を行った。これらの成果に基づいて、昭和52年度に特別研究費と文部省特定研究補助金を受けて、残留ガスモニター用として質量分析計を組み込んだ、簡易形オージェ分析装置を試作して、金属、合金のほかに化合物半導体についても研究を始めた。

5. 加圧炭酸ガスによる軟鋼の腐食¹³⁻¹⁶⁾ (昭和45年度～)

日本原子力発電(株)からの受託研究として、昭和45年度から始められた。炭酸ガスを冷却媒とする原子炉(コールドーホール型)において軟鋼材料が示す異常腐食の機構解明と Break away 予知の可能性を確かめるために行われたものである。従来、知られていた酸化機構のほかに、新しい反応機構も加わっていることが明らかにされた。49年度から、東海の原子炉に接続したオートクレーブによる腐食量測定実験が開始された。この腐食試料について、X線回折法による、ひずみ発生挙動の調査が行われた。52年には、オートクレーブ実験が35,000時間に達したが、その間の非弾性的格子定数の変化から、Break away 開始前後における、金属酸化物界面での金属の状態変化を示す実験的証拠が得られた。

6. 金属の高温酸化における短回路拡散現象¹⁷⁻²⁰⁾ (昭和50年度～52年度)

短回路拡散現象が酸化速度に影響する因子として、果

たず役割を定量的に明らかにしようとして行った研究である。とくに、(1)酸化皮膜構造を制御することによって粒界構造を変化せしめて短回路拡散の寄与を定量的に評価し、(2)酸化物の結晶粒径分布を考慮すると共に、複数の粒界幅を考慮し、粒径の時間変化を2次則に従うとして一般化し、(3)単相多層および多相多層構造をもつ酸化層形成の場合を含めて、より一般的な皮膜構造にも拡張して定式化した。さらに、この一般的な皮膜構造モデルに基づく取り扱い方の妥当性を証明する実験的証拠を得た。

7. 合金の熱酸化に関する研究^{21,22)} (昭和51年度～)

合金の熱酸化に関する基礎的および応用的両面からの研究が進められ、現在、次の研究、(1)合金の酸化薄膜形成機構と気体の吸脱着、および(2)合金の低酸素ポテンシャル雰囲気中酸化、が継続して行われている。

(1)については、銅ニッケル合金に関する研究に続いて、鉄クロム合金の酸化の研究が始められた。低酸素圧(5×10^{-6} Torr)で Fe-18Cr 合金を酸化させると、500°と650°Cで酸化挙動が異なり、オージェ分析によると、低温側で形成する酸化薄膜は、最表面が鉄酸化物で、深さ方向に Cr 富化を示し、高温側では最表面がクロム酸化物で、深さ方向の組成変化が少ないなどの知見が得られた。

(2)については、ニッケルコバルト合金を用いて基礎的研究が進められている。

8. 高温酸化皮膜内の応力発生挙動^{23,24)} (昭和52年度～)

金属材料の耐酸化性の改善を目的として、皮膜内に発生する応力と剝離挙動に関する基礎的知見を得るために、文部省科学研究費の補助を受けて、高温 X 線ひずみ測定装置を設置し、現在、次の研究を行っている。

(1)高温酸化皮膜内の応力発生機構、(2)多相組織材料の酸化に伴う応力発生と緩和挙動、(3)等温および温度変動下の高温酸化皮膜内の応力発生と緩和挙動、および剝離挙動。

9. 共同研究²⁵⁻²⁷⁾

所外の研究者との共同研究も進められている。その一つとして、昭和51年から、NiAl 金属間化合物の高温酸化に関する研究がカナダの McMaster 大学の Smeltzer 教授と行われている。高温酸化挙動への凝固微細組織の影響を明らかにするため、X線回折顕微鏡法の応用による組織観察を分担している。

昭和53年度からは、文部省総合研究「超高真空用材料の材質と表面処理に関する研究」に参加して、金属材料の酸化に関する研究を分担して行っている。

発 表 論 文

1) 片岡、一色、高、山沢：アルミニウム—銅低濃度合金凝

固組織のマイクロ偏析観察，生産研究，21，642 (1969)

- 2) 片岡, 一色, 高, 山沢: X線ミクロラジオグラフィの基礎計算について, 生産研究, **23**, 104 (1971)
- 3) J. Kō, K. Kataoka, S. Issiki: Modified Technique for X-ray Topography of Large Metal Crystals, Abstract 9th Internal. Cong. Crystallography, 246 (1972)
- 4) 片岡: 一方向凝固させたアルミニウム—銅合金薄板の凝固組織, 生産研究, **23** (1971) 453
- 5) 片岡, 一色, 高, 山沢, 平林: 一方向凝固させたアルミニウム—銅合金薄板の結晶方位について, 生産研究, **25**, 118 (1973)
- 6) 片岡: 一方向凝固させた Al-Cu 合金中の共晶相の結晶方位について, 生産研究, **29**, 22 (1977)
- 7) T. Homma, W. W. Smeltzer: The Influence of Surface Preparation on the Structures of the Nickel Oxide Formed on the (100) Face of Nickel, Oxidation of Metals, **3**, 463 (1971)
- 8) T. Homma, T. Yoneoka: Nucleation and Growth Behavior of Cuprous Oxide on Near the (100) Face of Copper, Collected Abstract of IXth International Congress of Crystallography, S. 147 (1972)
- 9) T. Homma, T. Yoneoka, S. Matsunaga: Nucleation and Growth Behavior of Oxide on Copper Single Crystals—Their Roles in Kinetics, Jap. J. Appl. Phys., Supplement 2, Part 2, 101 (1974)
- 10) 本間: 金属表面の形態的微小構造と初期酸化, 真空, **16**, 392 (1973)
- 11) T. Homma, T. Yoneoka: Electron Diffraction Study of the Epitaxy of Cu_2O on the (001) Face of Copper, J. Appl. Phys., **46**, 1459 (1975)
- 12) 本間, 中島, 片, 田中: 線形フラット近傍の形態的微小構造, 生産研究, **28**, 284 (1976)
- 13) 本間, 一色: 炭酸ガスによる軟鋼の酸化, 生産研究, **24**, 513 (1972)
- 14) 細井, 本間: 炭酸ガスによる軟鋼の酸化, 硫化物の影響, 生産研究, **25**, 532 (1973)
- 15) T. Homma: A Stochastic Process in the Oxidation of Mild Steel in Carbon Dioxide: Proc. 6th Internal. Cong. on Metallic Corrosion, Sydney, Section 6 (1975)
- 16) 本間, 石川, 山沢: 軟鋼の炭酸ガス中酸化はおける界面の状態変化の影響, 生産研究, **27**, 110 (1975)
- 17) R. Herchl, N. N. Khoi, T. Homma, W. W. Smeltzer: Short-Circuit Diffusion in the Growth of Nickel Oxide Scales on Nickel Crystal Faces, Oxidation of Metals, **4**, 35 (1972)
- 18) 松永, 本間: 金属上の二相酸化層の成長, 生産研究, **28**, 327 (1976)
- 19) 松永, 本間: 皮膜構造と酸化速度-n型酸化物の場合, 生産研究, **28**, 369 (1976)
- 20) S. Matsunaga, T. Homma: Influence on the Oxidation Kinetics of Metals by Control of the Structure of Oxide Scales, Oxidation of Metals, **10**, 361 (1976)
- 21) 石黒, 本間: Fe-18Cr 合金の選択酸化—オーージェ電子分光法による酸化薄膜の分析, 生産研究, **30**, 383 (1978)
- 22) 本間, 石黒, 松永: オーージェ電子分光法による Ni-Co 合金酸化皮膜の深さ方向分析, 生産研究, **30**, 452 (1978)
- 23) 本間: 酸化皮膜の機械的性質と金属の酸化, 防食技術, **25**, 251 (1976)
- 24) 本間: 高温酸化皮膜の機械的性質, 日本金属学会会報, **15**, 763 (1976)
- 25) 本間, 片, スメルツァー: 亜境界組織をもつ NiAl 合金の酸化, 第79回日本金属学会講演予稿, 219 (1976)
- 26) 本間, 片, スメルツァー: NiAl 合金の高温酸化における界面の状態変化, 第83回日本金属学会講演予稿, 273 (1978)
- 27) 石黒, 本間, 田中: Fe-Cr 合金の真空中酸化に関する研究, 第19回真空に関する連合講演会予稿集, 45 (1978)

大井研究室 (昭和24年度~50年度)

教授 大井 光四郎 (昭和51年4月停年退官)
材料力学 (弾性理論, 実験応力解析)

本研究室は主として機械工学関係の材料力学の研究に従事していた。

粘弾性体の応力解析 (昭和41年~昭和45年)

ロケットの固体燃料の強度に関する研究で, 燃料が保存中にクリープを起し, きれつが発生することがあるが, これは異状燃焼の原因となるので極めて危険である。この点に関して知見を与えたものである。

新しいパタンのはくゲージ (昭和43年~昭和49年)

はくゲージのパタンに改良を加え, ゲージ率のばらつき, クリープ特性, 疲労特性等に関する性能の向上をは

発 表 論 文

大井ほか: 有限要素法による線粘弾性体の応力解析, 材料 **19**, 314, 1970

大井ほか: 新しいパタンのはくゲージについて, 機械学会

誌, **77**, 703, 1974

誌, **77**, 703, 1974
大井ほか: 有限要素法によるはくひずみゲージの弾性解析, 機械学会論文集, **43**, 376, 4409, 1977

誌, **77**, 703, 1974
大井ほか: 有限要素法によるはくひずみゲージの弾性解析, 機械学会論文集, **43**, 376, 4409, 1977

鳥飼研究室 (昭和24年度~)

教授 鳥飼 安生
超音波工学

超音波工学の基礎から応用までわたる研究を進めている。藤森聰雄助手、李孝雄技官、小久保旭技官は引きつづいて研究を分担して現在にいたっている。

この10年間の主要研究題目は下記のとおりである。

1. 超音波音場に関する研究^{1, 3, 10-12, 14, 17)} (昭和44年度～)

円形ピストン音源 (平面, 凹面) を初めとし, 帯状音源, 楕円形音源, 長方形音源, 環状音源等の呈する超音波音場を連続波の場合およびパルス波の場合について計算し, 図示し, その構造を説明した。また音場の Integrated Optical Effect についての計算を行い, 音場の強さの精密測定法としての可能性を述べた。

フーリエ変換法による固体中の弾性波の場の計算を行い, その構造と流体中の音圧の場との類似性について述べた。Lommel 関数に関する詳しい数表を作製し, また図形化した。パルス超音波の平面波における反射と透過の計算を行った。パルス超音波計測における回折の効果調べた。

2. 超音波の作用とその応用に関する研究^{4, 5, 9)} (昭和44年度～)

金属を塑性変形させる際に, 加工応力に超音波振動応力を重畳させると, その金属材料のみかけの変形抵抗が減少する効果 (Blach Effect) に関する研究を行った。昭和43年度までの手製の装置による圧縮・引張り試験に引きつづいて, 昭和43年度文部省申請研究費によって新たに購入した“超音波材料試験設備”によって, さらに詳細な圧縮・引張り試験を行って Brach 効果の機構の解明のための基礎的研究を行うとともに, この効果を線引き加工に適用した場合の諸特性に関する研究を行った。

また高分子に対する超音波の解重合作用について研究を進めた。

文 献

- 1) 鳥飼: 円形ピストン音源による音場, 生産研究, **21**, 46, 1969-2
- 2) 李, 鳥飼: 超音波による応力測定について, 生産研究, **21**, 379, 1969-6
- 3) 鳥飼: ピストン音源による音場について, 超音波研究会資料, US 69-20, 1969-10
- 4) 藤森, 山本, 山田, 鳥飼: 超音波線引き加工の基礎的研究(I), 生産研究, **22**, 294, 1970-6
- 5) 藤森, 山本, 山田, 鳥飼: 超音波線引き加工の基礎的研究(II), 生産研究, **22**, 325, 1970-7
- 6) 能本, 鳥飼: 超音波による光の回折: 逐次回折による計算法, 日本音響学会誌, **26**, 406, 1970-9
- 7) O. Nomoto and Y. Torikai: Intensity Distribution of the Ultrasonic Light-Diffraction Spectrum: Calculation by the Method of Successive Diffraction, ACUSTICA, **24**, 284, 1971
- 8) 李, 鳥飼: Acousto-elastic Effect による応力および異方性の測定について, 日本音響学会誌, **27**, 348, 1971
- 9) 桜井, 鳥飼, 根岸: 超音波による高分子の解重合, 生産研究, **23**, 272, 1971-7
- 10) 鳥飼: フーリエ変換法による超音波音場の計算, 超音波

3. 超音波計測の研究 (昭和44年度～)

1) 応力ならびに異方性の測定に関する研究^{2, 8)}

超音波横波の複屈折を利用した光弾性と全く同様の原理により固体中の応力を測定する Acousto-elasticity 法に関する研究を行った。この方法はまた金属の圧延材料における微小な弾性的異方性を検出することができ, 各種圧延材料の異方性の測定と, 熱処理および表面を電解研磨することによる異方性の変化について解明した。また焼結金属の圧延にともなう異方性の導入とその変化について研究を行った。

2) 疲労の超音波計測の研究¹³⁾

金属材料の疲労がその表面より発展することに着目して, 疲労の進行過程を弾性表面波を用いて計測するための研究を行っている。表面波の周波数は 2 MHz を用い, 疲労の進行による音速の変化をシングアラウンド法を用いて計測している。

3) Acoustic Emission に関する研究^{15, 16, 18)}

昭和47年度以降金属材料の塑性変形にともなって発生する Acoustic Emission に関する研究を開始し, 各種金属材料の AE 特性とその発生機構に関する研究を行った。その後第5部小林研究室と共同でコンクリート材料の荷重変形特性と AE との関係を探る研究を進めている。これと並行して第1部北川研究室, 第3部尾上研究室と共同で溶接構造用圧延鋼と Al-Mg 合金の低応力高サイクル疲労実験を行い, き裂の発生, 成長にともなう AE の計測を行った。

4. 超音波による光の回折に関する研究^{6, 7)} (昭和44年度～)

超音波による光の回折に関する理論的な研究を行い, 逐次回折による数値計算を進めて多大の成果をおさめた。

研究会資料, US 72-9, 1972-7

- 11) 鳥飼: 環状音源による音場, 超音波研究会資料, US 72-37, 1973-2
- 12) 鳥飼: パルス超音波音場の計算, 超音波研究会資料, US 74-30, 1974-11
- 13) 鳥飼, 藤森, 李, 小久保: 日本音響学会講演論文集, 437, 1975-5
- 14) 鳥飼: 超音波音場と Lommel 関数, 東京大学生産技術研究所報告, **25**, 1976
- 15) 鳥飼, 李: 金属材料の AE 特性に関する研究, 生産研究, **29**, 149, 1977-3
- 16) 李, 趙, 鳥飼, 小林: コンクリート材料における AE の計測, 生産研究, **29**, 608, 1977-12
- 17) 鳥飼: パルス超音波計測における回折効果, 超音波研究会資料, US 77-55, 1978
- 18) H. Kitagawa, M. Onoe, Y. Torikai, H. Yamada, T. Ohira and H. Li: Measurement of Fatigue Crack Growth by Means of Acoustic Emission (AE of Fatigue Crack Growth in Low Strength Materials), 4th Acoustic Emission Symposium, Tokyo, 3-1, 1978-9

山田研究室 (昭和24年度～)

教授 山田 嘉 昭
固体材料強度学

山田研究室の活動は、塑性力学、薄板のプレス成形性、摩擦と潤滑、高速試験等を中心とする約 20 年の歴史の後、有限要素法に基礎をおく数値解析法の分野に大きな展開をみせた。これは、20周年誌において、弾塑性問題の研究としてその端緒が述べられているものの発展である。輪竹千三郎助手、山本昌孝技官、昭和42年度からは高橋治道技官、同51年度からは奥村秀人助手が研究に協力し、また山田教授を指導教官として修士または博士課程を修めた大学院学生が、研究遂行の大きな原動力となった。

昭和 50 年に複合材料技術センターが設置されるに及び、山田教授はセンターの専任となり、初めの 2 年間、センター長に任ぜられるとともに、有限要素法の数値解法を複合材料の力学的特性のシミュレーション解析に応用し、関連する計算機プログラムの開発を推進した。

30 周年にいたる 10 年間において特記すべき活動として、研究の国際協力および人物交流に対する貢献がある。国際的会合として組織し、あるいはその組織に協力したのものには、U. S.-Japan Seminar on Matrix Methods of Structural Analysis and Design (第 1 回 昭和 44 年、第 2 回 同 47 年)、1973 Tokyo Seminar on Finite Element Analysis (昭和 48 年)、SAP Conference Tokyo (昭和 53 年)がある。人物交流では、日本学術振興会外国人流動研究員あるいは招へい研究者として申請し、受け入れた学者に R. H. Gallagher 教授 (アメリカ合衆国)、S. Valliapan 博士 (オーストラリア)、同特定国派遣研究者に W. Gambin 博士 (ポーランド) がある。また、the COLOMBO plan による留学生として李沢淳博士 (韓国)、大学院外国人学生には、文部省奨学金留学生として来日し、工学系研究科、博士課程を学位を取得して修了した A. S. Wifi 博士 (エジプト) がある。一方、研究の交流を目的とする山田教授の外国出張は、国際会議への出席、研究発表、討論等を目的として 17 回を数えた。

以下は、山田研究室において進められた主要な研究の課題とその概要である。

1. 非弾性問題の数値解析^{1,2)}

塑性変形から始めて、粘弾性体を含めた一般的な力学

主要発表論文

- 1) Y. Yamada, et al., Plastic stress-strain matrix and its application for the solution of elastic-plastic problems by the finite element method, *Int. J. Mech. Sci.*, **10**, 343~354 (1968)
- 2) Y. Yamada, Constitutive modelling of inelastic behavior and numerical solution of nonlinear prob-

lem of the finite element method, *Computers and Structures*, **8**, 533~543 (1978)

2. 大変形および不安定問題^{3~7)}

軸対称殻の差分法による解析から、柱および板殻構造、塑性不安定問題、塑性加工における大変形問題の有限要素法による解析に進み、幾何学的非線形性を統一的に扱った一連の研究である。

3. 特殊要素の開発^{8,9)}

曲りはり要素、および応力やひずみに特異性のある問題、あるいは接触問題の解析などに適した特殊有限要素の開発に係わる研究である。

4. 動的問題^{10~13)}

塑性および粘弾性波の特性曲線法による初期の研究から、有限要素法による過渡応答解析に進んだ。さらに、複素減衰を有する材料について、周期的入力に対する周波数応答を求める方法を開発している。

5. 複合材料の特性発現機構^{14,15)}

一方向繊維強化材の力学的特性の計算機によるシミュレーション解析、およびその積層材への応用を目的とした研究である。関連して、昭和 48~51 年に実施された特定研究「複合材料」では、研究分担者として、シミュレーション解析の汎用プログラム COMPOSITE-I~III の開発にあたった。

6. 非構造分野への応用¹⁶⁾

粘性流体の Navier-Stokes 方程式を、圧力および速度の原始変数による表現のままに取扱う数値解析法の研究である。

7. モアレ法によるひずみ測定¹⁷⁾

モアレ法を塑性ひずみの測定に応用し、一方ではしま次数拡大法の適用により、弾性範囲における微小ひずみ測定の精度を高めた。

以上の研究に従事し、あるいは協力して工学博士の学位を取得したものは、この 10 年間に課程および論文博士を合わせて計 8 名である。なお、同じ期間における所外活動では、日本機械学会研究部会内に設けられた「非弾性解析プログラムの調査と試用」および「非弾性構造解析法の実用化に関する研究」の二研究分科会への寄与¹⁸⁾が最も大きいものであった。

- lems by the finite element method, *Computers and Structures*, **8**, 533~543 (1978)
- 3) Y. Yamada and Y. Yokouchi, Incremental solution of axisymmetric plate and shell finite deformation, *High Speed Computing of Elastic Structures*, Univ. of Liege, 663~682 (1971)

- 4) 岩田耕司, 山田嘉昭, 有限要素法による構造物の非線形安定性解析, 機械学会論文集, **42**, 444~452 (1976)
- 5) Y. Yamada, K. Takatsuka, et al., Nonlinear analysis by the finite element method and some expository examples, Theory and Practice in Finite Element Structural Analysis, Univ. Tokyo Press, 125~138 (1973)
- 6) Y. Yamada, T. Hirakawa and A. S. Wif, Analysis of large deformation and bifurcation in plasticity problem by the finite element method, Proc. Conf. Finite Elements Nonlinear Solid Struc. Mech., Tapir Publishers (1977)
- 7) Y. Yamada and T. Hirakawa, Large deformation and bifurcation analysis in metal forming process, Applications of Numerical Methods to Forming Processes, AMD-28, 27~38, ASME (1978)
- 8) Y. Yamada and Y. Ezawa, On curved finite elements for the analysis of circular arches, Int. J. Num. Meth. Engng., **11**, 1635~1651 (1977)
- 9) Y. Yamada, I. Nishiguchi et al., Reconsiderations on singularity or crack tip elements, to appear in Int. J. Num. Meth. Engng., **14** (1979)
- 10) 山田嘉昭, 沢田孚夫, 高速変形における一次元粘弾性波の伝ば, 塑性と加工, **11**, 876~881 (1970)
- 11) 山田嘉昭, 永井吉彦, Analysis of one dimensional stress wave by the finite element method, 生産研究, **23**, 186~189 (1971)
- 12) Y. Yamada, H. Takabatake and T. Sato, Effect of time-dependent material properties on dynamic response, Int. J. Num. Meth. Engng., **8**, 403~414 (1974)
- 13) 山田嘉昭, 奥村秀人, ほか, 粘弾性はりの周波数応答解析, 機械の研究, **30**, 475~480 (1978)
- 14) 山田嘉昭, 山本昌孝, 有限要素法による複合材料特性の解析, 複合材料学会誌, **3**, 91~96 (1977)
- 15) 山田嘉昭, 複合材料と有限要素法, 塑性と加工, **18**, 779~786 (1977)
- 16) Y. Yamada, K. Ito, et al., Finite element analysis of steady fluid and metal flow, Finite Elements in Fluids, vol. 1, John Wiley, 73~94 (1975)
- 17) 山田嘉昭, モアレひずみ測定法の原理と応用, 塑性と加工, **13**, 68~78 (1972)
- 18) Y. Yamada, Research and development of inelastic analysis procedures for reactor component design in Japan, Nuclear Engineering and Design, **51**, 85~96 (1978)

主要著書および編書

- 1) マトリックス法材料力学, 培風館, 1970
- 2) 粘性・粘弾性, 培風館, 1972
- 3) Recent Advances in Matrix Methods of Structural Analysis and Design, Univ. of Alabama Press, 1971
- 4) マトリックス法の応用, 東京大学出版会, 1972
- 5) Theory and Practice in Finite Element Structural Analysis, Univ. of Tokyo Press, 1973

北川・結城研究室 (昭和33年度~)

教授 北川 英 夫

講師 結 城 良 治 (昭和52年度~)

材料強度機構学

1. 研究室の特色・沿革, 組織の経緯

機械・構造物とその構成材料の破壊と強度に関する材料力学的研究を行ってきたが, これは社会的には材料強度論的側面からの安全と保全の追求でもあった。

S33の北川研究室発足以来, 多くの破壊事故の解析とその中で進めてきた腐食疲労の研究の中で, 強度低下と破壊の解析におけるき裂の役割が着目され, 以後23年間特にこのき裂の観点から強度と破壊と安全の問題が追求されてきた,

特にS42年以來のこの約10年間は, 現在のいわゆる破壊力学を主なる方法論として, 従来からの弾性学, 実験応力解析学, 材料強度論, 信頼性工学, 腐食工学を統一的に運用して強度と安全・保全の問題を追求しようとしてきたのである。

この10年は日本では強度設計, 保全・安全における考え方や方法に大きな変化のあった時期であり, き裂を考慮して安全を考えようとする方法論である破壊力学 (FM) が急速に進歩・普及した時代であって, 本研究室からもFM分野での多くの研究者を輩出した。

この10年間の職員構成は, 北川教授のほか, 松本年男助手(昭和49年度まで), 相良博文技官(昭和46年度まで)と大平壽昭助手が当初から, 渡辺勝彦講師(現助教)

が昭和49, 50年度に, 結城講師が昭和52年度より, 上里和美技官が昭和46年度から49年度に, 古田慈子技官が昭和49年度より, 辻恒平技官が昭和51年度より加わった。したがって昭和49, 50年度は当時の渡辺講師と北川・渡辺研を構成し, 現在は, 結城講師とともに北川・結城研究室を構成して活動しており, 原子炉压力容器の耐震強度については中桐研究室と, き裂の3次元光弾性解析と複合材料の破壊力学については渡辺(勝彦)研究室と緊密に協力して研究している。また, 北川教授は第1部材料実験室の管理に当たっていて, 大井教授退官後この管理に協力している小倉公達助手も上記諸研究に参加している。昭和47年度には石田誠現九大教授が研究員としてき裂の弾性解析について指導協力した。

2. 研究テーマ

当研究室のこの10年間の研究の大多数は破壊力学となんらかの意味で関連するものであるが, 便宜上分類列記すれば次のごとくである。

(1) き裂体の理論的・実験的解析 (昭和45年度より現在まで)

(a) 等角写像法を使った弾性理論解析による分岐・屈折き裂の解析, (b) 変分法による精度よいき裂解析法の開発, (c) 同じく変分法と, 電気抵抗ひずみゲージによる

ひずみ測定または変位測定とから、実物き裂の応力拡大係数を決定する方法、(d) 2次元および3次元光弾性による精度よいき裂の解析法、(e) 体積力法やハイブリッド法を用いての異材境界き裂の解析、(f) 有限要素法による各種3次元き裂や弾塑性き裂の解析、(g) くさびを含んだ不静定き裂の解析、(h) 新しく準備した応力関数を使っての十字形板中のき裂の解析、(i) コンプライアンス法による偏心き裂の解析などを達成した。この系列の研究を推進したのは、渡辺勝彦(現生研助教授)、結城良治(現生研講師)、石川晴雄(現電通大講師)、福田収一(現阪大助教授)、尾崎真三(現東海大助教授)、山崎淳一(九工試)、神原静夫(東芝)、久田俊明(大学院学生)、高橋進(大学院学生)、小島之夫(大学院学生)、東郷敬一郎(大学院学生)、吉岡純夫(三菱電機)の諸氏である。

(2) 疲労き裂と疲労破壊の破壊力学的研究 (昭和41年度より現在まで)

(a) 広い範囲の平均応力、残留応力の影響を入れた疲労き裂成長速度式、(b) $da/dN = C(\Delta K)^m$ 関係における C と m の普遍的法則性、(c) ランダム荷重下でのき裂成長、(d) 互に干渉状態にある複数き裂の成長による疲労破壊、(e) 異材境界でのき裂成長(一般研究A、特別研究)、(f) 面外曲げ荷重によるき裂の成長の下限界条件 ΔK_{TH} の材料依存性、(g) 平滑材疲労限と分岐点条件よりの ΔK_{TH} の誘導、(h) 表面き裂の3次元成長、(i) 疲労き裂成長実験における K 関数制御システムの確立(一般研究A)、(j) 荷重急変による疲労き裂の減速効果、(k) 微小欠陥から発生した微小き裂の成長速度の ΔK 依存性と ΔK_{TH} 、(l) 平滑表面より発生したき裂の ΔK 依存性、(m) 非線形ひずみ拡大係数 ΔK_e によるき裂成長速度の広域整理法、(n) き裂の発生と成長を考慮した自動車部品の寿命推定と強度評価、(o) 人工くさびによるき裂成長速度の制御法、(p) 2軸荷重下での疲労き裂成長とこの実験に必要な大容量、高サイクル2軸疲労試験機の開発(一般研究A)、(q) 各種熱処理、表面処理がき裂成長に与える影響、(r) 疲労破壊破面よりの事故解析を目的とした X 線フラクトグラフィの提案と開発、(s) 疲労き裂成長と AE の関係(三菱研究財団奨学金)、等について研究成果を公表した。この系列の研究を担当したのは、大平壽昭(現生研助手)、松本年男(当時生研助手、現在神戸製鋼)、相良博文(当時生研技官、現在東亜電波工業)、三角正明(現成蹊大助教授)、福田収一(現阪大助教授)、西山辰人(東洋工業)、崔鎔混(現成均館大学校教授)、結城良治、黒田道生(東洋エンジニアリング)、高橋進(大学院学生)、池田健(日大)、豊平重孝(日大)、小野健(電機大)、志垣和幸(トピー工業)、徐昌敏(大学院学生)、宮下信(トピー工業)、山崎淳一(九工試)、角田義秋(航技研)、飯田厚(北海鋼機)の諸氏である。

(3) き裂成長に着目した環境破壊の研究 (昭和32年度より現在まで)

(a) き裂材特性を用いての平滑材腐食疲労特性の統一的理解、(b) 腐食疲労における広領域 $\Delta K \sim da/dN$ 特性、(c) 腐食疲労における ΔK_{TH} 、(d) 腐食生成物のくさび作用による疲労き裂成長の実効 ΔK の軽減効果、(e) 強腐食による腐食疲労、(f) 高ニッケル合金での腐食疲労き裂成長、(g) ステンレス鋼の応力腐食われき裂成長における $K \sim da/dt$ 関係の実証、(h) 高強度鋼の水素われによるき裂成長、(i) 弾塑性き裂端近傍での水素拡散の解析、(j) 分布き裂と分布ピットを考慮した腐食疲労機構の解明と環境の評価(一般研究B)、(k) 石油タンクの腐食と腐食による強度低下、(l) 高温純水中での K_{Isc} (共同研究)、(m) 船用機械の環境破壊、等について研究がなされたが、このうち(j)(k)(l)は未完了部分を含み今なお進行中である。この系列の研究の担当者は、大平壽昭(現生研助手)、辻恒平(現生研技官)、高橋進(大学院学生)、小島之夫(大学院学生)、坂詰修(三井造船)、中曾根祐司(大学院学生)、藤田高弘(日本鋼管)、方時恒(崇田大学校教授、現生研客員研究員)、小長井博(巴工業)の諸氏である。

(4) 破壊力学によるぜい性破壊と延性破壊の研究 (昭和47年度より)

(a) コンクリート、岩石、プラスチック等非金属ぜい性材料の破壊靱性、(b) き裂円板の圧縮によるぜい性材料の破壊靱性決定法の開発と混合モードき裂による破壊、(c) 薄板延性材料の延性破壊、(d) ロールの破壊等が研究された。その担当者は金相哲(現仁荷大学校教授)、陶山正憲(九林試)、木須博行(大学院学生)、結城良治、下々村修(日立)、船崎敏(大学院学生)の諸氏である。

(5) 破壊力学への確率論の導入と信頼性評価 (昭和41年度より)

(a) 非破壊検査と疲労き裂成長を考慮した信頼性解析、(b) 非破壊検査とき裂成長を考慮した原子力プラントの耐震安全解析、(c) 分散分析によるき裂成長の影響因子の抽出、(d) 不規則分布き裂の干渉合体による破壊過程の統計的シミュレーション解析法の開発、(e) 疲労破面のストライエーションの統計的考察、(f) 平滑材の腐食疲労でのピットとき裂の統計的画像処理などについて研究された。これは主として、久田俊明(大学院学生)、山田正治(米国 TESSATEK 社)、薄一平(航技研)、藤田高弘(日本鋼管)、中曾根祐司(大学院学生)、豊平重孝(日大)の諸氏により進められてきた。

3. 受賞

(1) 既述の研究テーマの(1)の(a)と(5)の(d)に対し昭和50年度日本機械学会論文賞。受賞者、北川英夫、結城良治、薄一平

(2) 研究テーマの(4)の(b)と(1)の(d)

に対し昭和52年度日本非破壊検査協会論文賞・受賞者、

発表論文

- 疲れき裂への破壊力学の適用：日本機械学会誌，75，642，1068～1080，1972.7
- 疲れき裂の成長速度に関する実験的法則とその関連理論，材料，21，227，710～719，1972.8
- フラクチャ・メカニクス（破壊力学）の体系とその現段階（1），機械の研究，24，11，1427～1434，1972.11
- 同上（2），機械の研究，24，12，1561～1566，1972.12
- 同上（3），機械の研究，25，1，15～18，1973.1
- 腐食疲労の破壊力学と問題点（I）：防食技術 24，1，1975.1
- 腐食疲労の破壊力学と問題点（II）：防食技術 24，2，1975.2
- 疲れき裂成長についての X 線の研究（“X線フラクグラフィ”による破面研究の一方法について）：機械学会論文集，41，341，22，1975-1
- Some Reliability Approaches in Fracture Mechanics (coauthor I. Suzuki): Reliability Approach in Structural Engineering, Maruzen Co. Ltd., 217, 1975.6
- Various Refinements for Subcritical Crack Growth: International Journal of Fracture Mechanics, 11, 683, 1975.11
- 二次元応力状態における分岐き裂の応力拡大係数（結城良治と共著）：日本機械学会論文集，41～346，1941，1975.6.
- 疲労き裂成長の下限界応力拡大係数 ΔK_{TH} とき裂材・切欠材の疲労限度との関係について（西谷弘信，松本年男

北川英夫，金相哲。

- と共著）：日本機械学会論文集，42，356，996，1976.4
- き裂の応力拡大係数と破壊条件との光弾性解析（金相哲と共著）：非破壊検査，25，8，466，1976.8
- Reliability Analysis of Structures Under Periodic Non-destructive Inspection (coauthor: T. Hisada): Proceedings of Third International Conference on Pressure Vessel Technology, Part-1 Analysis, Design and Inspection, 475, 1977.4
- Determination of Stress Intensities of Through-Cracks in a Plate Structure Under Uncertain Boundary Conditions by Means of Strain Gages (coauthor: H. Ishikawa): Flaw Growth and Fracture, ASTM STP 631, 232, 1977
- フラクグラフィ，破壊力学と材料強度講座 15(小寺沢良一と共編)：培風館，1977.4
- 疲労き裂進展の破壊力学解析(I)：材料，26，284，482，1977.5
- 疲労き裂進展の破壊力学の解析(II)：材料，26，285，590，1977.6
- 金属材料における面外曲げ疲労き裂成長の下限界応力拡大係数(松本年男と共著)：日本機械学会論文集，43，371，2421，1977.7
- 環境強度問題への破壊力学の適用：日本機械学会誌，77，670，959，1979.9
- 回転体の破壊力学：日本機械学会誌，81，718，977，1978.9

小瀬研究室（昭和24年度～）

教授 小瀬輝次

応用光学

応用光学部門は光学の理論を研究し，光学上の新しい技術の開発を目的としている。昭和24年本所開設以来久保田研究室，小瀬研究室で担当していたが昭和43年久保田広元教授没後，小瀬研究室，小倉研究室，芳野研究室の密接な連繋のもとに研究を進めている。

小瀬研究室は昭和27年ごろより開始した OTF の研究，昭和40年ごろより開始したホログラフィの研究を引続き中心的なテーマとして研究を進めている。

1. OTF の研究

光学系の結像性能の客観的評価量である OTF は光学系の点像あるいは線像のフーリエ変換で定義される。当研究室では昭和30年代には正弦波格子を用いたアナログフーリエ変換方式による測定法の開発研究を進め，昭和40年代以後フーリエ変換を電子計算機で行うデジタルフーリエ変換方式の研究を進めた。

デジタル方式はサンプリング定理を満足するようなサンプル点の取り方，微弱光の測定となるので光電変換の際のノイズの問題，また線像を走査するときのトランケイション誤差の問題がある¹⁾。武田はノイズを減少するためアダマール変換を用いた多重スリット走査方式を提唱し²⁾，朝枝らと協力して測定機の試作を行った³⁾。また武田はトランケイション誤差を解析⁴⁾するとともに，デジタル法のノイズの OTF に与える影響を誤差行列

を用いて一般的に議論し，各種走査開口の OTF 誤差をシュミレートし，スリット走査が最もよいことを明らかにした⁵⁾。これはエッジ走査がよいか，スリット走査がよいかという多年の論争に終止符を打ったものである。

FFT を用いた OTF 計算法は 2 重変換法と呼ばれている。武田⁶⁾はラジアル，タンジェンシャルの 2 方向だけの OTF に限ることになると計算方式も単純化でき，演算速度，計算精度も格段に向上できることを示し，また収差との関連を理論的に解明した。

実際のレンズ評価は一般に白色光照明下の物体について行われる。OTF の計算，測定もこの条件に近づけることが望ましい。小瀬は白色光 OTF について色彩論的な考察を行い，新しい提言をしたが⁷⁾，この白色光 OTF の問題は OTF の規格化⁸⁾の動向とあいまって今後の重要な研究テーマであろう。

2. ホログラフィの研究

ホログラフィの研究は昭和40年頃より基礎研究を開始し，ホログラムの結像性能，ホログラフィー干渉の応用研究を行った。昭和44年以後はホログラフィーの性能向上を目的とした収差の研究，三次元カラー像再生のためのリップマン型ホログラムの研究，回折効率の高いポリウムホログラムの性能向上の研究を進めた。

野口，久保田（敏弘）⁹⁾はレンズレスフーリエ変換ホロ

グラフィの原理を利用したレンズ収差補正の研究をさらに拡張し、擾乱のある媒質中のホログラフィックな画像伝送の方式を試みた。

久保田はまたホログラムの収差の研究¹⁰⁾、乾板の変形の研究¹¹⁾を行った。さらに久保田は昭和49年以後、ポリウムホログラムの結像性能の研究¹²⁾に従事している、感光したホログラム乳剤層の断面の観察に成功し、記録した干渉縞のコントラストが乳剤の厚みと共に指数関数的に減少してゆくことを明らかにし、これによる回折効率、角度選択性への影響を理論と実験から解析している¹³⁾。また久保田は乳剤内部歪による記録した干渉縞の彎曲の影響を理論と実験から研究した¹⁴⁾。

ホログラフィの最大の特徴は三次元画像ディスプレイである。白色光再生が可能であるリップマン型ホログラフィの結像性能の研究を行い、我が国で初めて白色再生カラーホログラムの製作に成功している¹⁵⁾。さらにホログラフィックステレオグラムを仲介とする新しいリップ

マンホログラムの記録法を考案した¹⁶⁾。

記録材料の研究も重要なテーマであり、色素増感した重クロム酸ゼラチンのホログラフィへの応用を第4部本多研究室(現東大工学部)との協同研究で行った¹⁷⁾。

3. 光学情報処理の研究

光学系の情報伝送能力はその開口の大きさでまざる。物体を格子を用いて変調し、その最低次周波数のみを光学系を通すようにして像空間で復調すると見かけの光学系の伝送能力は元の数倍に拡大できる、これを超解像という。久保田¹⁸⁾はこの理論をオートコリメーターに応用し、格子幅を適当に選ぶとオートコリメーターの開口を見かけ上4倍に広げられ、かつコントラストもよくなることを示した。鈴木、武田¹⁹⁾はこの原理をホログラムに応用した。また立田²⁰⁾は画像信号を格子幅で変調する新しい変調方式を開発し、等濃度線を得る研究を行った。坂本²¹⁾は炭酸ガスレーザの電流制御による変調で熱感紙による画像伝送の方式の基礎研究を行った。

発 表 論 文

- 1) 小瀬: OTF のデジタル化, 生産研究 25, 9 (1973)
- 2) 武田, 小瀬: 多重スリットによる OTF 測定, 光学 1, 85 (1972)
- 3) 武田, 朝枝, 山口, 小瀬: 多重スリット走査方式 MTF 測定機の試作, 光学 3, 347 (1974)
- 4) M. Takeda, T. Ose: Effect of truncation of noisy line spread function on the computed optical transfer function, Optica Acta 21, 477 (1974)
- 5) M. Takeda, T. Ose: Influence of noise in the measurement of optical transfer function by the digital Fourier-transform method, J. Opt. Soc. Am. 65, 502 (1975)
M. Takeda, T. Ose: Statistical-error analysis of optical transfer functions obtained by the digital Fourier-transform method, 東京大学生産技術研究所報告 vol. 24, No. 7 (1975)
- 6) 武田, 川淵, 小瀬: 二重変換法による簡便な OTF 計算, 光学 3, 373 (1974)
- 7) 小瀬: Boundary color と多色光 OTF, 光学 5, 215 (1976)
- 8) T. Ose, K. Murata: Standard of OTF in Japan, Optical Engineering 14, 161 (1975)
T. Nakamura, T. Ose: OTF standard in Japan, SPIE 98, Proc. International Symposium on Assessment of Image System 120 (1977)
- 9) 野口, 小瀬: ホログラフィによるレンズ収差の補正, 光学ニュース No. 103, 1 (1969)
T. Ose, M. Noguchi, T. Kubota: Correction of lens aberration by holography B. Barrekkette: Application of Holography 57 (Plenum Press (1971))
- 10) 久保田, 小瀬: ホログラム収差の干渉図形, 光学ニュース No. 114, 19 (1971), 光学 1, 307 (1972)
- T. Kubota, T. Ose: Interference patterns of hologram aberrations, J. Opt. Soc. Am. 61, 1539 (1971)
- 11) 久保田, 石井: 露光中の乾板の変形, 応用物理 40, 623 (1971)
- 12) 久保田: 感光材料の厚み変化を考慮したホログラムの再生特性, 光学 4, 278 (1975)
- 13) T. Kubota: The diffraction efficiency of hologram grating in an absorption medium, Optics Communications 16, 347 (1976)
T. Kubota: Characteristics of thick hologram grating recorded in absorptive medium, Optica Acta 25, 1035 (1978)
- 14) T. Kubota: Bending of interference fringes inside the hologram, to be published in Optica Acta 26 (1979)
- 15) 有本, 久保田, 小瀬: リップマンホログラムの回折効率 (I) 第31回応物講演会予稿集 3 (1969), (II) 第17回応物連合講演会予稿集 202 (1970)
- 16) 久保田, 小瀬: リップマンホログラムの新しい記録法, 生産研究 30, 326 (1978)
- 17) T. Kubota, T. Ose, M. Sasaki, K. Honda: Hologram formation with red light in methylene blue sensitized dichromated gelatin, Appl. Optics 15, 556 (1976)
- 18) 久保田, 小瀬: 超解像の実験——オートコリメーターへの応用, 応用物理 38, 890 (1969)
- 19) 鈴木, 武田, 久保田: 超解像ホログラフィ, 光学 2, 213 (1973)
- 20) 立田, 久保田, 小瀬: 格子変調法による等濃度線画像の作成, 生産研究 26, 138 (1974)
- 21) 坂本, 千原, 住友, 小瀬: 電流変調 CO₂ レーザによる熱感記録, 第36回応物講演会予稿集 185 (1975)

成瀬・吉沢研究室 (昭和39年度~)

教授 成瀬 文雄

助教授 吉沢 徹 (昭和50年度~)

応用数学

工学・物理学への数学的方法の応用を研究対象とし、

これまで流体力学に現れる偏微分方程式の解析および数

値解法の研究を金子幸臣助手・西島勝一技官と共同して進めてきたが、昭和49年に関根孝司助手、昭和50年に吉沢徹助教授が加わり研究を推進させている。なお金子幸臣助手は昭和49年に他大学へ助教授として赴任された。

1. 低レイノルズ数の流れの研究¹⁻⁶⁾(昭和47年度～)

物体のまわりの流れを解析的に解こうとすると、解ける問題は流れのレイノルズ数 Re が大きい場合か小さい場合に限られてくる。いま任意の形の物体のまわりの流れすなわち任意物体理論に注目するとき、 Re が大きい場合には完全流体の理論で古くからその研究がなされてきたが、 Re が小さい場合には基礎方程式の複雑さのため発展がおくれていた。ここでは Re が小さいときの任意物体理論に重点をおき、きりつなぎ法を用いて研究を進めている。

a. 3次元物体： 一様流中に点対称性をもつ任意の形の3次元物体がおかれ、かつこの物体に対するストークス近似の解が既知であるとき、物体に働く力を $O(Re^2 \log Re)$ までストークス近似の解のみを用いて決定した。

b. 2次元物体： 任意の形の断面をもつ2次元物体が一様流中を運動するときの流れを解析し物体に働く力の式を得た。この理論は1枚または2枚の平行平板を壁としてもつとき、あるいは多くの異なる物体が異なる速度で運動するとき拡張された。得られた力の式は断面の形によってきまる断面係数を含む形で与えられている。これら断面係数は、断面形の円への写像関数の簡単な関数を被積分項とする積分形で与えられ、楕円・矩形・正多角形・対称な星形状、円弧・レンズ・二等辺三角形・2平板の作る楔などの断面形に対し計算されている。他の断面形に対しても写像関数が既知であるときは容易に計算できる。

c. 細長い物体： 任意の形の断面をもち、その形も任意である細長い物体が運動するときの流れをきめる積分方程式をストークス方程式を基礎方程式として導出し、リング、螺旋状物体の運動に対してはその厳密解を、円弧状・直線状物体の運動に対しては近似解を求め物体に働く力やトルクの式を得た。さらにこの積分方程式は3次元物体と細長い物体または二つの細長い物体の干渉問題あるいは壁効果の問題に拡張され、その厳密解としてリングと軸対称物体または二つのリングが運動する場合あるいは1枚の無限平板を壁としてリングが運動する場合が解かれた。力やトルクの式は2次元の場合と同一の断面係数を含む形で表示され、2次元物体のものがそのまま使用できる。

上記理論は微小な生物の平面波動運動の解析に応用され、波動運動部分(べん毛など)の断面が運動時円から変形していると考えた方が、解析による前進速度と観測値のよい一致が得られることが示された。

2. 体積力がある流れの研究^{3,7-10)}(昭和44年度～)

電磁・成層・回転流体は体積力としてローレンツ力、浮力、コリオリの力をもつ。これら体積力をもつため一層複雑になった流体方程式を解く研究が進められている。

まず体積力のある流体中で、2次元および3次元の任意物体が緩慢な運動をする場合が、きりつなぎ法およびフーリエ変換を用いて解析された。すなわち電磁流体では、一様な磁場をもつ電導性流体中を磁場に斜めに運動する場合について、 Re , R_m , $M < 1$, $0 < R_m/Re < \infty$, $0 < M/Re < \infty$ (R_m : 磁気レイノルズ数, M : ハルトマン数)を仮定し物体に働く力が決定された。成層流体では重力方向に密度がわずかに線形変化している流体中を斜めに動く場合が、ブシネスク近似, $Ri < 1/Re$ (Ri : リチャードソン数)を仮定して解析され、物体に働く力および物体の回転数が求められた。これらの解析で、2次元物体の場合には**1. b**のときと同一の断面係数が力の表示に含まれた形で、また3次元物体の場合には体積力がないときのストークス近似の解が既知であるとして解かれている。成層回転流体では前述の成層流体が重力方向の軸のまわりにゆっくり回転し、かつ軸対称物体が回転軸に沿って運動しているときの流れを、ブシネスク近似および体積力の小さい影響を仮定し、物体に働く力および物体の回転数を決定した。

また R_m が小さく、 Re が大きいときの電離気体のホール効果の問題として、一様磁場中を磁場の方向に進む軸対称物体の回転方向の流れが調べられ、物体(球・円板)に働くトルクが求められた。このほか R_m が大きいときの電離気体の問題として、一對の円環電流の作る軸対称ミラー磁場またはカスプ磁場によって、完全導電性のプラズマを閉じ込めたときの形態が調べられた。

3. 乱流の統計的研究¹¹⁻¹⁵⁾(昭和50年度～)

流体方程式に支配される乱流現象の統計力学的研究であるが、確率微分方程式に強い関心をもちながら研究を進めている。

a. 一様等方性乱流： 一様等方性乱流という理想化された乱流の研究は、非線形確率微分方程式の方法論的研究という観点から重要であるばかりでなく、乱流のエネルギー散逸機構を支配する小さな乱れの解明にも大きな役割を演じている。この課題においては次元解析より発見されたコルモゴロフ・スペクトルの理論的導出がとりわけ重要であるため、小さな乱れを支配する方程式を導き、くりこみ展開の方法で調べ、コルモゴロフ定数に対して1.48という実験とよい一致を示す結果を得た。

b. 非一様乱流： 管内流等の工学的に重要な乱流現象を一様乱流の研究と同程度に精密な理論に基づき調べている。流れの平均量と変動量の時間的・空間的スケールの差異に着目すると、くりこみ展開の手法が適用できることを示し、乱流の平均量の計算で重要な役割を演ずるレイノルズ・ストレスに対する一般公式を導いた。こ

れを用いてチャンネル乱流に対して実験と良い一致を示す結果を得、さらに磁気ダイナモ問題でも有用であることを示した。

4. ナビエ・ストークス方程式の数値解法の研究¹⁶⁻¹⁸⁾ (昭和44年度～)

ナビエ・ストークス方程式はその非線形性のため、数値解法に頼らざるを得ない場合が多い。種々ある数値解法の内、差分法や解析的手法との結合による数値解法に興味をもちながら研究を進めている。

非圧縮流体の一様流中に物体がおかれたときの定常流の問題に適用できる、局所安定・精度2次の差分法を導出し、この方法で流れに平行におかれた半無限平板の問題や $Re < 200$ の円柱の問題などの数値実験を試み、有効

であることを確かめた。また多角形(無限)領域のストークス問題に対し、解の局所的なべき級数展開およびそれら局所一般解の未定係数のシュワルツの反復法による決定によって、高速・高精度の解法を得た。このような解析解の未定係数を数値的に決定する方法は、非線形問題に対しても高精度の解が期待されるから、このような方法の非線形問題に対する適用が試みられた。

このほか管の中の流れの問題として、非圧縮の粘性流体が螺旋管の中を定常的に流れる様子を調べ、レイノルズ数と螺旋のピッチ角を組み合わせたパラメータによる摂動展開で得た解から、2次流の性質を明らかにすると共に、抵抗係数を数値計算によって相当高次の項まで求めた。

発 表 論 文

- 1) 成瀬: 流体力学における Matched Expansion 法, 生産研究 26, 230 (1973)
- 2) H. Naruse: Low Reynolds Number Flow past a Body with Point Symmetry, J. Phys. Soc. Japan 38, 1501 (1975)
- 3) 成瀬: 2次元任意物体を過ぎるおそい流れ, 数理解析研講究録234号, 4 (1975)
- 4) 成瀬: きりつなぎ法とその応用, 日本物理学会誌 31, 803 (1976)
- 5) 成瀬: 細長い物体のまわりのおそい流れ, 数理解析研講究録302号, 58 (1977)
- 6) 成瀬: 細長い物体のおそい運動に対する壁の影響, 数理解析研講究録333号, 42 (1978)
- 7) H. Naruse: The Hall Effect on the Magnetogasdynamical Flow past an Axi-Symmetric Body. I. Inviscid Flow, J. Phys. Soc. Japan, 28, 238 (1970)
- 8) H. Naruse and S. Nishijima: The Hall Effect on the Magnetogasdynamical Flow past an Axi-Symmetric Body. II. Boundary Layer Flow, J. Phys. Soc. Japan, 28, 758 (1970)
- 9) 成瀬: 成層流体中の球のおそい運動と特異摂動法, 数理解析研講究録163号, 146 (1972)
- 10) 成瀬・西島: 成層回転流体中の球のおそい運動, 数理解析研講究録187号, 49 (1973)
- 11) A. Yoshizawa: Kolmogorov's spectrum and a scaling law in stationary homogeneous turbulence, J. Phys. Soc. Japan 42, 2033 (1977)
- 12) A. Yoshizawa and M. Sakiyama: A governing equation for the small-scale turbulence, J. Phys. Soc. Japan 45, 1977 (1978)
- 13) A. Yoshizawa: Statistical derivation of Kolmogorov's $-5/3$ power law by turbulent-viscosity approach, 45, 1019 (1978)
- 14) A. Yoshizawa: A governing equation for the small-scale turbulence. II. Modified DIA approach and Kolmogorov's $-5/3$ power law, J. Phys. Soc. Japan 45, 1734 (1978)
- 15) A. Yoshizawa: Statistical approach to inhomogeneous turbulence with unidirectional mean flow: Evaluation of Reynolds stress, J. Phys. Soc. Japan 46, 669 (1979)
- 16) 金子: 多角形領域の Stokes 問題の数値解法: 数理解析研講究録187号, 26 (1973)
- 17) 金子: 断片的に解析的な境界値問題に関する高速高精度の数値解法, 生産研究 26, 29 (1974)
- 18) 関根: 螺旋管内の流れの定常解: 日本物理学会第31回年会予稿集 4, 166 (1976)

富永・辻研究室 (昭和24年度～)

教授 富 永 五 郎 (昭和46年4月工学部,
併任)

教授 辻 泰 (昭和40年度～)
真空物理学

高真空, 超高真空の作成と測定的基础研究を行っている。この問題には多くの物理的・化学的過程が含まれているが、特に表面物理学に関係の深い素過程が重要である。そのため、研究題目の選定に際しては真空工学的背景を重視しつつ、表面物理学的に処理し得るものを重点的に取り上げてきた。中心となって研究を推進してきたのは小林正典助手、三浦忠男助手(昭和48年3月退職)、金文沢技官、浅尾薫技官(昭和53年8月退職)および荒川一郎受託研究員である。また、菊田研究室とは全面的な協

力関係にあり、富永研究室岡野達雄助手の協力も得ている。

1. 低エネルギー電子回折と二次電子分光による表面解析法の研究 (昭和44年度～昭和48年度)

オージェ電子分光法が表面の成分分析の有力な手段であることが再確認され、急速に発展しはじめた初期の段階で、オージェ電子のみでなくイオン化損失電子、プラズモン損失電子等の表面解析への応用を検討した。また、低エネルギー電子回折とオージェ電子分光を併用して、電子衝撃による吸着気体の分解に伴う炭素の表面への偏析現象、同一エネルギーのオージェ電子を持

つ元素の分離法, モリブデン単結晶表面の初期酸化などを研究した。

2. 低温ガラス表面における混合気体吸着の研究 (昭和44年度～昭和48年度)

液体窒素で冷却したバイレックス・ガラス表面における窒素, 一酸化炭素, クリプトン, キセノン等の混合気体の吸着を研究した。一般的には脱離の活性化エネルギーの小さい気体が大きい気体に置換されてゆくことを確かめた。また, 水銀蒸気と窒素の組み合わせについても研究し, 水銀蒸気が窒素を置換することを明らかにした。

3. 超高真空の作成に関する基礎研究 (昭和44年度～)

超高真空作成のための基礎研究として, 分子線的手法による拡散ポンプ油分子の吸着の研究と, 電子衝撃を利用したタンタル・ゲッター・ポンプの開発研究を行った。ガラス表面に対しても, 油分子は吸着に多様性があることが確かめられた。また, タンタル・ゲッター・ポンプは, チタン・ゲッター・ポンプに比べて不純物の発生量が少なく, 超高真空ポンプとして優れていることが明らかにされた。現在, 数台のタンタル・ゲッター・ポンプが稼動しており好成績を示している。

4. シリコン単結晶表面と活性気体との相互作用の研究 (昭和49年度～昭和53年度)

タンデム・シリンドリカルミラー型電子エネルギー分析器を使用し, シリコン(111)面と水蒸気および原子状水素との相互作用を研究した。水蒸気については表面に衝突する前後の平均速度の比により熱的適応係数を求めた。また, 昇温脱離法により脱離の活性化エネルギーを求めた。水素の付着確率は分子状の場合には極めて小さいが原子状の場合には大きく, 表面のシリコン原子1個当たり1個の水素が吸着すると飽和に達する。昇温脱

離スペクトルによれば吸着状態は1種類で, 脱離反応は二次反応である。原子状水素の吸着に伴うシリコンの表面状態の変化をエネルギー損失電子分光により研究した。

5. 単一指向性真空計の開発研究 (昭和49年度～)

加速器, 核融合研究装置などの大型真空系, 特に大型で非定常状態にある真空系の特性解析を行うための基礎的測定技術として, 単一指向性真空計を開発し, その特性を調べた。指向性は液体窒素冷却のチタン・ゲッター膜を有するコリメーターまたは平行細管により持たせるようにした。この真空計の応用の1例として, 真空材料の気体放出を直接的に測定する装置を試作し, 種々の材料についての測定と測定値の校正法に関し研究している。

6. 昇温脱離気体の方向分布の研究 (昭和49年度～)

単一指向性真空計を使用して昇温脱離気体の方向分布を測定した。試料はモリブデン多結晶および単結晶(110)面, (100)面と窒素, 一酸化窒素, シリコン単結晶(111)面と水素の組み合わせで, 表面の清浄性は低エネルギー電子回折とオージェ電子分光により検討した。窒素と水素の方向分布は余弦法則をみたさないことが明らかであり, 方向分布の解析により吸着の活性化エネルギーに関する情報が得られるものと考えられている。

7. 低温凝縮気体層によるクライオソープション・ポンプの基礎研究 (昭和51年度～)

低温(4～20 k)における一酸化炭素凝縮層の生成過程と, 凝縮層への水素とヘリウムの吸着現象を研究している。凝縮層生成時に相変化に起因すると思われる熱パルスの発生があり, その発生状態および凝縮層生成温度が水素とヘリウムの吸着等温線に著しい影響を与えることが明らかとなった。

発表論文

- 辻, 小林: 極低圧における混合気体の物理吸着, 真空14 (1971) 83
- 三浦, 浅尾, 辻: 電子衝撃により析出する炭素の観察, 生産研究 23 (1971) 226
- Y. Tuzi, M. Kobayashi, K. Asao: Adsorption of mixed gases on a Pyrex glass surface at very low pressures, J. Vac. Sci. Technol. 9 (1972) 248
- 三浦, 辻: モリブデン(110)面から散乱した低速電子線エネルギー損失の微細構造, 生産研究 24 (1972) 449
- 三浦, 辻: モリブデン(110)面の清浄化, 真空 16(1973) 28
- T. Miura, Y. Tuzi: Initial oxidation of molybdenum (110) surface observed by AES and LEED, Japan. J. appl. Phys., Supp. 2, Pt. 2 (1974) 85
- M. Kobayashi, Y. Tuzi, K. Asao: Simultaneous adsorption of nitrogen and mercury on a Pyrex glass surface, Japan. J. appl. Phys., Supp. 2, Pt. 2 (1974) 331
- M. Kobayashi, M. Kim, Y. Tuzi: Measurements of the angular distributions of molecules desorbed from molybdenum surfaces, Proc. 7th IVC and 3rd ICSS (1977, Vienna) 1023
- I. Arakawa, M. Kobayashi, Y. Tuzi: Effects of thermal spike on the characteristics of cryosorption pump with condensed carbon dioxide layers, to be published in J. Vac. Sci. Technol.
- K. Shimada, M. Kobayashi, G. Tominaga: Adsorption studies of oil molecules on borosilicate glass surface using molecular beam techniques, Japan. J. appl. Phys., Supp. 2, Pt. 2 (1974) 327
- T. Okano, K. Iimura, G. Tominaga: A tantalum evaporation pump, Proc. 7th IVC and 3rd ICSS (1977, Vienna) 81
- M. Kobayashi, Y. Tuzi: Performance of a directional detector of molecular density, to be published in J. Vac. Sci. Technol.

根岸研究室 (昭和40年度～)

教授 根岸 勝雄
超音波工学

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中心としており、とくに、超音波の伝搬、液体の音波物性およびこれらに関連する測定技術の開発に力が注がれている。最近の記録すべき成果としては、高分解能ブラッグ反射法の開発と、これを用いた液体の振動緩和に関する一連の業績がある。山崎正之助手が転出したあと、昭和47年から高木堅志郎助手が、また、昭和52年から小沢春江技官が加わった。当研究室は鳥飼研究室と密接な協力のもとに運営されている。

1. 超音波の可視化と測定に関する研究 (昭和43年度～)

超音波の光学的映像法を用いて、超音波の音場や平板における超音波の反射や透過などの解析を行っている。初期には超音波の多色映像法の研究を行い、鳥飼教授による積分光学効果の計算結果と組み合わせて、映像の色から音圧の絶対値を求める方法を確立した。またコレステリック液晶による音場分布の可視化、ブラッグ映像法、開口合成ソナーの模型実験などの研究も行った。昭和47年から液面レリーフ法の研究を行い、簡単な光学系で、超音波による液面変形を測定する方法を見出し、数 mW/cm^2 程度の音場の強度分布の絶対測定が可能となった。最近では、シュリーレン装置によるパルス超音波の可視化を行っており、パルスと連続波との相異などについて理論、実験の両面から明らかにしてきた。また、この過程で、板波の位相速度と群速度が逆向きになる、すなわち負の群速度が現れる領域があることを見出した。

2. 高分解能ブラッグ反射法の開発 (昭和47年度～)

液体の超音波緩和の研究には、なるべく広い周波数範囲において音速と吸収を知ることが必要であるが、数百 MHz の領域はパルス法とブリュアン散乱法の間隙にあ

り、少数の吸収測定例があるだけで、ほとんどデータの空白域となっており、特にこの領域で重要な音速については測定法さえない状態であった。そこで、光散乱を用いた測定法の開発を始めた。原理は、超音波によってブラッグ反射されたレーザ光の角度分布を高い角度分解能を持つ光ヘテロダインによって検出するのであるが、参照光の周波数をわずかにずらすることにより、散乱過程で混入する不要成分を除くことに成功し、昭和49年には100～450MHzで音速と吸収の同時測定が可能になった。その後、装置の改良を続け、現在では60MHzから950MHzまで測定可能であるが、なお、上限を1.5GHzまで広げるように努力中である。この方法は数百MHzにおける音速測定法としては唯一のものであり、海外からも強い関心と反響を呼んでいる。

3. 液体の高周波音波物性 (昭和40年度～)

当初はブリュアン散乱法でGHz域の音速測定を行っていたが、高分解能ブラッグ反射法の開発で、60MHzから7GHzの広範囲にわたる測定値が得られるようになり、液体のこの領域における緩和について、続々と新しい知見が得られるようになった。環状化合物の振動緩和については、フラン、チオフェンの単一緩和、ピリジン、ベンゼンなどの二段緩和が確認され、実験的に得られた振動緩和比熱は分子内振動レベルから得られた理論値と良く一致した。また、ベンゼン-ジクロロメタン混合系などの二段緩和の測定は、両分子の振動モードのエネルギー移動(V-V過程)を実証したものとして注目された。会合性液体についても、エタノール水溶液、シクロヘキサノールなどの二段緩和が観測され、その機構について説明した。これらの結果は数回の国際会議で発表され、注目を集めた。

発 表 論 文

- 1) 山崎, 根岸: 光学的方法による超音波音場の断面と指向性の可視化, 生産研究, **23**, 140 (1971)
- 2) K. Negishi: Measurement of Ultrasonic Fields by the Method of Liquid-Surface-Relief, Jpn. J. Appl. Phys. **11**, 1235 (1972)
- 3) K. Takagi, K. Negishi: Measurement of UHF Ultrasonic Attenuation in Liquids by Optical Heterodyne Method, Jpn. J. Appl. Phys. **14**, 29(1975)
- 4) 高木, 根岸: 高分解能ブラッグ反射法による液体中の高周波超音波の測定, 生産研究, **27**, 212 (1975)
- 5) K. Takagi, K. Negishi: Ultrasonic and Hypersonic Studies of Relaxation in Ethanol-Water Mixtures, Jpn. J. Appl. Phys. **14**, 953 (1975)
- 6) K. Takagi, P.-K. Choi, K. Negishi: Ultrasonic and Hypersonic Studies of Relaxation in Liquid Benzene, *Acustica*, **34**, 336 (1976)
- 7) K. Takagi, K. Negishi: Measurements of High Frequency Ultrasonic Velocity and Absorption in Liquid Thiophene with High-Resolution Bragg Reflection Method, Jpn. J. Appl. Phys. **15**, 1029 (1976)
- 8) K. Takagi, P.-K. Choi, K. Negishi: Ultrasonic Studies of Relaxation in Dichloromethane and Dibromomethane with High-Resolution Bragg Reflection Method, J. Acoust. Soc. Am. **62**, 354(1977)
- 9) P.-K. Choi, K. Takagi, K. Negishi: Viscoelastic and Structural Relaxations in Liquid Cyclohexanol, Jpn. J. Appl. Phys. **17**, 97 (1978)
- 10) K. Negishi: Deformation of Ultrasonic Pulse upon Reflection and Transmission, 9th Int. Congr. Aco-

- ustics (Madrid) (1977.7)
- 11) K. Takagi, K. Negishi: Study of Vibrational Relaxation in Liquid Pyridine by High-Resolution Bragg Reflection Method, 2nd Congr. Fed. Acoust. Soc. Europe (Warsaw) (1978.9)
- 12) K. Negishi: Negative Group Velocities of Lamb Waves, Acoust. Soc. Am., Acoust. Soc. Jap. Joint Meeting (Honolulu) (1978.11)
- 13) K. Takagi, K. Negishi: Measurement of High-Frequency Ultrasound in Liquids using High-Resolution Bragg Reflection Technique, Ultrasonics, 259 (Nov. 1978)

小倉研究室 (昭和40年度～)

教授 小倉 馨 夫

応用光学

近年いちじるしい変貌をとげた応用光学の原動力となったものは言うまでもなくレーザーの発明である。当研究室では特に気体レーザーの励起・輻射過程の研究に少なからぬ努力を傾けた。この分野は物理学的な問題と実用とを結ぶ線上に多くの興味深いテーマが見出されたからである。また一部古典光学的な研究にも手をそめた。特に幾何光学自体は完成した学問であるといわれているが現実の産業の各分野には重要にして興味深い応用上の問題が少なからず存在する。しかし産業人はその忙しさから、また学者は現場に疎遠なことから看過されていることは残念であると考える。

研究室の運営は小瀬教授と共同で行われている。

1. 金属蒸気レーザーの研究 (昭和44年～)

金属蒸気の放電は可視域から紫外部にかけて数多くの輝線スペクトルを有する。これを利用する金属蒸気レーザーの開発とその励起機構の研究を続けた。特に金属原子スペクトル線の減衰定数はレーザー解析の際の基本的定数であるが従来より知られているデータは極めて少ない。これに対しレーザーの外部磁場を交流掃引する際、得られる零磁場くぼみを解析することによりレーザー上準位の減衰定数を求める手法を開発し、Ca II, Se II, Te II の各レーザーについて実測し、レーザー動作の定量的解析を行った。この一連の研究より渡部俊太郎君 (電総研) の学位論文が生まれた。現在は Cu レーザーの研究を進めている。

2. 稀ガスイオンレーザーの研究 (昭和44年～49年)

クリプトン II レーザーはその強力な赤色および黄色の発振線のために有名であるが、これ等の遷移に個々のアインシュタイン A 係数は強い自己吸収のために従来から測定不能とされていた。これに対する打開策として、レーザー光を共振器内で継続させる際の自然放射光から逆にレーザー準位の A 係数を求める、いわゆる摂動分光法を開発しクリプトンレーザーに適用し初めて、赤黄色レーザー遷移の A 係数の実測に成功した。これにもとづいてクリプトンイオンレーザーの複雑な挙動の定量的解析と最適設計条件が求められた。この研究の主要部分は唐津修君 (通研武蔵野) の学位論文となっている。

3. 高出力多モードレーザーのダイナミックスの研究

(昭45年～)

気体レーザーの動作理論としてはすでに古典とされている Lamb の self-consistent theory をはじめ媒質の分極を電場のべき級数に展開する方式がもっぱら行われていた。しかしこれを定量的に考察すると現実のレーザーはその共振器内電場が極めて弱い場合しか適用出来ず、実用性に乏しい。この欠陥を救うべく新しい有理式タイプのレーザー動作方程式を開発し高出力多モード領域において良好な近似を得ることが出来た。これより黒田助手の学位論文が生まれた。

4. レーザー増幅率の空間分布の測定と解析

(昭47年～53走)

従来のレーザー理論は population inversion の空間分布を一様と仮定する所から出発したが、現実はこの大きき異なる。そこで気体レーザー放電管の側方光を分光光学系で走査した後、積分方程式を数値的に解くいわゆる Abel 変換方式を初めて適用し、He-Ne レーザーの利得の空間分布を測定し、現実に応じた解析を行うことが出来た。これは主に飯島俊幸君 (富士電) の学位論文となっている。

5. カラーブラウン管露光用レンズの開発 (昭45年～)

カラーブラウン管の製造工程中その螢光面にシャドウマスクを焼き付ける際、特殊な非球面レンズを用いて電子線と等価なランディングを与えるのはほぼ世界共通の手法である。従来この種レンズの開発はコンピュータによる自動設計と精密研磨を導入すれば解決できるという考えが行われていた。

ところが特に3色の電子銃配列がデルタガン方式をとっているとき、管が広角化するとともに、どのような非球面レンズを設計しても画面周辺の色むらが除去出来ないという経験的事実があった。

これに対し筆者は微分幾何学という所のマリウス・デュパンの定理 (波面の存在) は光学では自明のことと思われるが、電磁偏向系を含む電子光学系では一般に成立しない点を指摘し、特にデルタガン方式のコンバーゼンス磁界では従来の光線光学理論が著しい破綻を呈し、いかに高精度の非球面レンズを研磨してもこれを補正することは原理的に不可能なことを証明した。解決策として2次元的 cut を有する新しい概念のレンズ (マルチレンズと呼ぶ) とその具体的製法を提案した。

この方式は周辺技術を含め広範な特許群に発展して行ったが中心思想は 1971 年に成立した U. S. Patent 3,628,850 につける。特長は効果の完全性のみならず在来技術と容易に融合でき量産性の高いことである。

この特許は米国 G. T. E. International (Sylvania division), Westinghouse Electric Corp. および RCA Corporation の 3 社に技術供与された。

6. 写真レンズの収差測定とその解析(昭50年～)

平面を平面に写像する、という定義に従うと最近の写

森研究室 (昭和24年度～)

教授 森 大吉郎 (昭和 39 年 6 月宇宙研,
併任)

材料力学 (機械振動学)

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てきた。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年にその仕事为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、なお現在まで引きつづき当所で併任教授として連繫を保ちつつロケットの構造関係の研究に従事している。

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、矩形棒の振動、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～)

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

中桐研究室 (昭和42年度～)

助教授 中 桐 滋
固体材料学

構造強度の解析に関する基礎的研究を数値解析と応力測定との両面から行っている。構造物の静荷重に対する応答についての研究から初めて、現在では動的な挙動と破壊に至るまでの過程を主として取り上げている。昭和42年以來、田辺勇吉、福嶋博技官が在籍し、現在は鈴木敬子技官が在職している。

1. 薄肉構造物の耐荷力に関する研究(昭和42年度～)

薄肉湾曲管が面内曲げを受けるとき断面変化に応じて剛性低下と局部応力の増加が生ずる。面内曲げと面外曲げを受ける場合の挙動を古典的な級数解法で明らかにしたのは10年以上も過去のことであるが、この問題は原子力関係の配管にも付随するものである。今後は欠陥のあ

真レンズは非常に性能が向上している。ところが現実のカメラマンはむしろ立体的被写体を撮ることの方が一般的であり、この際生ずるボケの性質について設計者との間にしばしば議論があった。この問題を解析し火面の重要性を指適した。さらに実際に製作されたレンズの収差を測定する近代的測定機の欠如という大きな問題に対し固体撮像素子とアスカニアタイプのベンチの結合を考えマイクロプロセッサ処理を含め一部実用化に成功した。

離し等に伴う縦衝撃等の解明をし、構造設計の資料をえてきている。

3. 大型ロケットの構造要素 (昭和38年～)

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てきた。

4. 発射設備と環境試験装置 (昭和38年～)

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・ランチャー一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てきた。

これらの結果は主として生産研究・宇宙航空研究所報告・機械学会誌・航空宇宙学会誌等に発表している。

る場合の解析と Brazier 座屈を最近の数値計算技術を採用して取り上げる計画である。一方、薄板構造、特にせん断荷重を受ける平板の弾性座屈について、長方形板の座屈後の挙動、初期たわみの影響、高次波との連成座屈について Galerkin 法により解析を行った。曲面板等に生ずる動的飛移り座屈の時刻歴解析は準備がととのった段階である。

2. 有限要素法に関する研究 (昭和43年度～昭和50年度)

エネルギー原理に基礎を置き汎用性の高い数値計算法として定評の高い有限要素法については山田嘉昭教授の示唆で研究を開始した。変位法では限界のある St. Venant

振りの問題を Hybrid 法により解決する方法、弾塑性問題では不可欠な塑性要素の剛性マトリックスを作成するとき、どのようにして構成方程式をマトリックス表示するか等を学んだことは、現在有限要素法を日常の研究手段として用いる上で大きな糧となっている。

3. 波動伝ばに関する実験的研究 (昭和47年度～)

動的現象に関する実験技術として、固体内の弾性波伝ば測定をひずみゲージによる電気的方法とモアレおよび光弾性縞による光学的方法により行っている。平面内の疎密波伝ば、衝撃によりはりに生ずる応力波伝ばをストロボフラッシュ法と高速度カメラ撮影で明らかにした。衝撃を受ける均質平板の弾塑性曲げ、CFRP 積層異方性板の弾性曲げおよび曲げ波の伝ば速度については電気的ひずみ測定を行い、有限要素または差分表示された運動方程式の直接時間積分解に現れる薄板近似理論と厚板理論の結果の異同と実験値との比較を行っている。

4. 高速変形に関する研究 (昭和49年度～)

金属材料の降伏点と塑性域の構成方程式はひずみ速度依存性を示すことがあり、このひずみ速度は、材料内の伝ば波頭における値と同じオーダーである。したがって実験的にひずみ速度依存性構成方程式を求めようとするれば応力波伝ば解析が必要となり、伝ば解析を行うには構成方程式を求めておくことが要求される点で高速変形問

題は静的問題と異なる。この点に関してひずみ速度依存性構成方程式に従う材料内の弾塑性波の有限要素解法を案出した。現在では高速材料試験に用いられる試験片形状と大きさが測定結果に与える影響を数値的に予見できるようになり、組合せ応力波また副次的所産として Voigt 体等の粘弾性波の伝ば解析も可能となっている。さらに高速変形能に及ぼす低温の影響を各種鋼材について実験データを集積中である。

5. プラント機器類の安全性に関する研究 (昭和52年度～)

原子力発電プラントの安全性確保に関する研究の一環として、地震時過荷重下の欠陥部材の強度と破壊を北川英夫教授と共同研究している。やや高速の一過性荷重に対する欠陥部材の延性破壊、荷重繰返しとプラント使用時温度、重畳曲げ荷重の強度に及ぼす影響を破壊力学の立場から研究を進めている。石油貯槽に関しては側板と底板接合部の強度と変形解析を行っている。鋼製貯槽模型の破壊実験によれば、かなりの人工切欠を付した個所から AE の放出は顕著であるが破壊は開始しない事例もある。破壊現象を取り組むには定常状態を大前提として決定論に凝り固まった頭脳ではなく、柔軟な思考が必要であることを今更ながら痛感している(一部受託研究費、奨学寄付金)

発 表 論 文

- 1) マトリックス法の応用, 山田嘉昭編, 東大出版会, 1972
- 2) 基礎工学におけるマトリックス有限要素法, 培風館, 1975
- 3) 鶴戸口, 中桐, 加納: 薄肉湾曲管の応力と変形について, 高圧力, **6**, 1328 (1968)
- 4) Y. Yamada, S. Nakagiri, K. Takatsuka: Analysis of St. Venant Torsion Problem by a Hybrid Stress Model, Japan-U. S. Seminar (1969)
- 5) Y. Yamada, S. Nakagiri, K. Takatsuka: Elastic-Plastic Analysis of Saint-Venant Torsion Problem by a Hybrid Stress Model, Int. J. num. Meth. Engng, **5**, 193 (1972)
- 6) S. Nakagiri: A Note on the Coupled Buckling Mode of an Elastic Plate with Initial Deflection, Proc. 21st NCTAM, 391 (1973)
- 7) 中桐, 山田: 衝撃をうけるはりの弾塑性変形, 第26回塑性加工連合講演会講演論文集, 277 (1975)
- 8) S. Nakagiri: Finite Element Analysis of The Transient Response of Elastic Plate Subjected to Impulsive Loading, Theor. and Appl. Mech., **24**, 133 (1976), Univ. of Tokyo Press
- 9) 中桐, 鈴木, 下岡: 波動伝ば解析における構成方程式の積分に関する一考察, 日本機械学会講演論文集, No. 770-11, 205 (1977)
- 10) 中桐: 衝撃と塑性変形, 塑性と加工, **18**, 725 (1977)
- 11) S. Nakagiri et al: A Comprehensive Study on the Safety Limit of Oil Storage Tanks under Extreme Condition Foreseeable in Service, JSME HOPE Symposium, 85 (1977)

岡田研究室 (昭和41年度～)

助教授 岡田 恒 男

動的材料強弱学 (耐震構造学)

岡田研究室の発足は、昭和42年1月に岡田が、岡本舜三教授(現東大名誉教授、埼玉大学学長)の主宰していた研究室に参加したときに始まる。研究室としての体制がととのったのは、昭和43年ごろからで、現在では田村研究室とともに動的材料強弱学部門を担当している。研究室で手がけている研究分野は耐震構造学で、特に建築構造物の耐震に研究の重点をおいた運営がなされている。発足以来の研究室員は矢島秋彦技官(昭和42年～43年、

現大成建設)、伊藤秀夫技官(昭和43年～48年、現東京建築研究所)、関松太郎助手(昭和47年～現在)、岡田健良技官(昭和50年～現在)であり、この間に、受託研究員3名、大学院学生7名(内2名は在学中)も研究に参画してきた。

1. 建築物の地震被害の調査・解析

地震被害の調査・解析は耐震構造学の研究の第一歩として重要な役割をもっている。研究室ではこれまで、

1968年十勝沖地震, 1978年伊豆大島近海地震, 1978年宮城県沖地震などの際に被害調査・解析を行ってきた。

2. 繰返し応力をうける鉄筋コンクリート部材の非線形復元力に関する実験・解析 (昭和44年～)

鉄筋コンクリート造建物が地震動をうけた際の崩壊までの過程を調べるために, 地震時に建物部材に生じる種々の応力履歴 (変位履歴) を理想化して部材に強制する破壊実験・解析を行ってきた。最近では特に地震時の建物の振動の平面2方向成分を考慮するために, 2方向繰返し曲げ・せん断力と軸方向力をうける柱の破壊実験を重点的に進めている。解析の面では, 材料の非線形応力・歪関係に立脚して鉄筋コンクリート断面のモーメント・曲率関係を求める電算プログラム OS-1S, OS-2S などを開発した。

3. 電算機・アクチュエータオンラインシステムによる鉄筋コンクリート骨組の地震応答実験 (昭和48年～)

昭和46年に発足した臨時事業「都市における災害・公害の防除に関する研究」の一環として第5部田中・高梨研と共同開発した電算機制御による破壊実験システムを用いて, 鉄筋コンクリート造柱崩壊形1層骨組の地震応答実験を行ってきた。昭和51年度には, このシステムを

2自由度系に拡張する事に成功し, 地震動の2方向成分を考慮した応答実験に応用した。また, 前項で述べた電算プログラムを1層建物の1方向および2方向地震入力時の非線形応答解析用に拡張し, プログラム OS-1D, OS-2D を開発した。

4. 耐震壁の耐震効果に関する研究 (昭和48年～52年)

耐震壁の量・配置が建物の耐震性状に及ぼす影響を, パラメトリックな非線形地震応答解析および, 鉄筋コンクリート小型立体骨組模型の振動破壊実験により調べた。

5. 合成構造の耐震性状に関する研究 (昭和42年～48年および昭和52年～)

鉄筋コンクリート造と鉄骨造の合成構造に関して, 合成梁の耐震実験・解析を行った。また, 最近では, 鉄骨柱脚の鉄筋コンクリート造床スラブへの定着部の耐震性状に関する実験を進めている。

6. 鉄筋コンクリート造建物の耐震設計法および耐震診断法の開発 (昭和43年～)

前述の基礎研究を基に中・低層鉄筋コンクリート造建物の耐震設計法および既存建物の耐震診断法の提案を行ってきた。また, 耐震診断法については, 電算プログラム SCREEN-Edition 1 の開発を最近行った。

発 表 論 文

- 岡田恒男, 村上雅也, 宇田川邦明, 西川孝夫, 大沢胖, 田中尚「1968年十勝沖地震による八戸市立図書館の被害に関する考察」日本建築学会論文報告集, 第167号, 1970.1
- 岡田恒男, 関松太郎, 伊藤秀夫「鉄筋コンクリート部材の復元力特性」東京大学・生産研究25巻2号, 1973.2
- 岡田恒男, 関松太郎, 浅井敏司, 岡田健良「定軸力と繰返し2方向曲げ・せん断力を受ける鉄筋コンクリート柱の復元力」その1およびその2 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1976.10
- T. Okada and M. Seki "A Simulation of Earthquake Response of Reinforced Concrete Buildings" Proceedings of the 6-WCEE, New Delhi, India, 1977.1, 他関連論文
- 岡田恒男, 関松太郎, 浅井敏司, 朴永周, 岡田健良「2方向地震入力に対する鉄筋コンクリート建物の応答」その1~4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1977.10, 1978.10
- 久野雅祥, 岡田恒男「耐震壁をもつ低層鉄筋コンクリート建物の地震応答—1 質点壁・フレーム並列系の応答」日本建築学会関東支部研究報告集, 1975.5, 他関連論文
- T. Okada, B. Bresler: "Strength and Ductility Evaluation of Existing Low-rise Reinforced Buildings-Screening Method" EERC Report, 76-1, Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkeley, California, U.S.A., 1976
- 日本特殊建築安全センター「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」1977.4

鈴木研究室 (昭和44年度～)

助教授 鈴木 敬 愛
結晶塑性学

第1部鈴木研究室は, 昭和44年の発足以来, 固体材料の強度に関して物性論的立場からの研究を行っている。助教授・鈴木敬愛, 技官・中村和夫に加え, 昭和53年3月から新たに小泉大一が技官として加わった。大井研究室から種々のご助力をいただきつつ研究を行っていたが, 昭和52年からは本間研究室との協力のもとに研究活動を進めている。

研究室における現在の主要な研究テーマは, 結晶の塑性変形機構と, その主たる担い手である結晶転位の諸性質に関するものである。結晶中には線状に伸びた原子配

列の狂い目, すなわち転位が存在し, それらが迂り運動することにより巨視的な塑性変形を生ずる。例えば, 普通の金属材料中には, 1 cm^3 当たり 10 万 km 以上の転位線が絡み合いながら曇りこまれていて, 普通の変形実験ではそれらの一部ないし大部分が1秒間に数μから音速の間の速さで運動すると考えられている。結晶中には転位のほかに, 点欠陥, 不純物, 結晶粒界等, 種々の欠陥が存在し, それらが複雑に絡み合いながら実際の強度が決まっている。そこでできるだけ単純化したところから出発して理解を深めていこうとの立場から, 以下

のような実験や計算を行っている。

1. イオン結晶の低温塑性と転位速度(昭和47年度～)

不純物が少なく、転位密度も低い、すなわち完全度の高い結晶を絶対0度で塑性変形させるにはどれだけの力が必要であろうか。それは結晶の周期構造に基づいて決まる固有の大きさの力でパイエルス力と呼ばれ、結晶の塑性変形抵抗としては最も原始的なものと考えられる。このような変形機構を調べるためには、イオン結晶が適している。NaCl 型イオン結晶で実際にこの機構が働くかどうかを調べ、パイエルス力を測定するために、低温での変形実験と転位速度の測定を系統的にくり返した。純度のよい単結晶を、室温から1.5K 付近の極低温までの温度で塑性変形して、降伏応力の温度依存性や歪速度依存性を測定した。低温ではパイエルス機構が働いていることが確かめられ、絶対0度まで外挿してパイエルス応力が求められた。転位速度の測定は、パルス状の応力を加えている間に1本1本の転位が運動する速さを腐蝕孔で追跡する。このような実験をLiF 等で行い、転位速度の応力、温度依存を測って巨視的な変形との対応を調べ、低温では刃状転位が巨視的変形を支配しているとの結論を得た。

また、イオン結晶の降伏応力はMg, Ca 等の2価の不純物の存在に敏感なことが知られているが、その硬化機構として従来考えられているモデルには疑問の点が多い。そこで、この問題に関する実験と計算も行っている。

2. 転位の原子配列とパイエルス力の計算(昭和49年度～)

転位のまわりの原子の配列、その安定構造、エネルギー等は結晶の構造と原子間相互作用によって決まるはずのものであるから、電子計算機の中でそれらをシミュレ

ートすることができる。とくに、上記1の実験とも関連して、絶対0度で転位を動かすのに必要な力(パイエルス力)を求める計算を行っている。この種の計算では、転位のまわりのひずみが遠距離まで及んでいるため、本来非常に多くの原子の位置を考慮しなければならないものであるが、小数の自由度で精度よく計算する方法を工夫して実際の計算は行われている。イオン結晶についての計算結果は、上記1の実験から求められた種々のNaCl 型イオン結晶のパイエルス力の傾向をよく再現している。

3. 転位を含む結晶の熱的性質(昭和44年度～)

結晶が転位を含むと、熱振動の波(フォノン)がそれらによって散乱されるために熱伝導度が減少する。これはとくに低温で顕著な効果を現す。そこで単結晶を塑性変形して転位を導入し、熱伝導度の変化、温度依存性を測定することによって結晶転位のさまざまな性質を調べることができる。主として、半導体やイオン結晶等の絶縁体の結晶について、0.3~300K の温度範囲で実験を行い、フォノンの散乱機構の結晶による違いや、転位配列の影響、点欠陥による振動状態の変化等を調べている。

また、転位を含む結晶中ではフォノンのスペクトル分布が完全結晶のそれと比べて変化すると考えられる。その変化は比熱の変化として測定される可能性がある。この方面の実験は目下準備中である。

以上は、当研究室においてほぼ定期的に行われている研究で、材料強度に関する基礎的研究としての性格が強いが、より実用的な方面、例えば破壊と転位の関係、高速変形時の塑性変形の進行、アコースティック・エミッション等へも研究の方向を向けていきたいと希望している。

発表論文

- 1) T. Suzuki and H. Kim: Low Temperature Deformation and Dislocation Mechanism in LiF, J. Phys. Soc. Japan **39**, 1566 (1975)
- 2) T. Suzuki and H. Kim: Low Temperature Deformation and Peierls Mechanism in NaCl, J. Phys. Soc. Japan **40**, 1703 (1976)
- 3) 鈴木敬愛: イオン結晶の低温塑性とパイエルス力, 応用物理 **45**, 447 (1976)
- 4) 鈴木敬愛, 中村和夫, 鈴木敬子: Si 中の転位によるフォノン散乱と熱伝導, 生産研究 **26**, 2 (1974)

菊田研究室(昭和46年度～)

助教授 菊田 惺志
表面物理学

当研究室はX線, 電子線, 中性子線, イオン線などを用いて表面物理学および回折結晶学の研究を行っている。高橋敏男助手と寺田啓子技官が研究を分担している。昭和47年~48年に塚本和明技官が, 昭和49年~51年に柳田博司技官が在籍した。辻 泰教授とその研究室には特に真空工学の分野の指導協力を仰いでいる。

1. X線回折過程におけるX線励起電子放射の研究(昭和46年～)

高真空中で駆動する高精度X線二結晶回折装置を製作し、完全性の高い単結晶を対象にX線励起光電子やオーージェ電子の収量の回折条件による変化を結晶表面近傍に形成されるX線波動場と対応させて研究している。異常な収量変化をはじめて観測し、動力学的回折理論によって解析した。Si単結晶で非対称反射の場合、非対称度のちがいによって収量が非常に大きく変わることを見出した。またGaP単結晶の場合、極性による収量の変

化を調べた。

2. 中性子線光学の研究 (昭和46年～)

中性子の完全結晶 (おもにシリコン) による動力学的回折現象の研究とそれを利用した光学系の開発を行っている。たとえば Jamin 型の 2 要素からなる中性子干渉計を考案、作製した。実験は物性研の星埜研究室と共同で、原研・東海研究所の 2 号原子炉に設置されている中性子回折装置を利用している。

3. X 線ホログラフィを用いた X 線顕微鏡の研究 (昭和46年～48年)

軟 X 線によって微細物体のホログラムを作成し、レーザーで拡大再生像を得る X 線ホログラフィの基礎実験を行った。レンズレス・フーリエ変換型とガボア型の撮影方式を試みた。X 線源には軟 X 線管のほかに、原子核研の電子シンクロトロンからの軌道放射を用いた。

4. 低エネルギー電子回折による結晶表面構造の研究 (昭和49年～)

多軸の高精度ゴニオメーターをもつ低エネルギー電子回折・オージェ電子分光装置を製作し、ブラッグ角が

発 表 論 文

- 1) S. Kikuta, S. Aoki, S. Kosaki and K. Kohra: X-Ray Holography of Lensless Fourier-Transform Type, Optics Communications **5**, 86 (1972)
- 2) S. Aoki and S. Kikuta: X-Ray Holographic Microscopy, Japan. J. Appl. Phys. **13**, 1385 (1974)
- 3) S. Kikuta, I. Ishikawa, K. Kohra and S. Hoshino: Studies on Dynamical Diffraction Phenomena of Neutrons Using Wave Fan, J. Phys. Soc. Japan **39**, 471 (1975)
- 4) S. Kikuta, T. Takahashi and Y. Tuji: Variation of the Yield of Electron Emission from a Silicon Single Crystal with the Diffraction Condition of Exciting X-Rays, Phys. Letters **50A**, 453 (1975)
- 5) 菊田惺志: シンクロトロン放射光の発生とその特徴, 日

渡辺研究室 (昭和49年度～)

助教授 渡 辺 勝 彦

固体材料強度学

渡辺研究室は、昭和49年に渡辺が講師として北川教授主宰の研究室に参加したときに始まる。その後昭和51年、渡辺の助教授昇任に伴って独立した研究室となり、現在山田教授と北川教授ならびにその研究室の援助のもとに、材料の強度と破壊に関する研究を、主として破壊力学的手法によって行っている。現員は助教授渡辺勝彦、技官平野八州男ほか大学院学生 1 名、受託研究員 1 名の計 4 名であり、小規模ではあるが、全員の一致協力のもとに研究活動を行っている。

1. コンプライアンスの概念を用いての破壊力学の拡張と応用 (～昭和51年度)

本研究は工学部岡村弘之教授のもとで行われた渡辺の学位論文研究の延長上にあるものであり、破壊力学にお

90° (垂直入射) 付近での回折現象を調べている。この回折条件のもとでは、複雑な現象が単純化され、表面波励起など回折の基礎過程を研究するのに適している。

5. X線の同時反射現象の研究 (昭和49年～)

2種の格子面で同時に回折を起こすとき、その現象に位相の情報が含まれるが、これを擬似コッセル図形における曲線群に現れる微細構造や、三結晶回折計で得られる回折強度曲線のプロファイルの変化から調べている。

6. 低エネルギーイオン散乱による結晶表面の構造解析 (昭和51年～)

0.2～1 keV の低エネルギー稀ガス (おもにヘリウム) イオンの結晶表面による散乱現象を調べるためにイオン散乱装置を製作した。散乱イオンの角度分布、エネルギー分布から散乱に対する表面原子配列の影響とそれに随伴するイオンの中性化過程の研究を進めている。

なお昭和52年に日本結晶学会から「単結晶における動力学的回折現象の実験的研究とその応用」に対して学会賞を受けた。

本結晶学会誌 **18**, 65 (1976)

- 6) T. Takahashi and S. Kikuta: Effect of the Asymmetric Bragg-Case Diffraction of X-Rays on the Yield of X-Ray Photoelectrons from a Silicon Single Crystal, J. Phys. Soc. Japan **42**, 1433 (1977)
- 7) S. Kikuta, T. Takahashi, Y. Tuji and R. Fukudome: Double-Crystal, Vacuum X-Ray Diffractometer, Rev. Sci. Instrum. **48**, 1576 (1977)
- 8) 寺田啓子, 菊田惺志, 福留理一: 結晶表面研究用の超高真空精密ゴニオメーターの試作, 生産研究 **30**, 13 (1978)
- 9) S. Kikuta, T. Takahashi, K. Nakayama, Y. Fujii and S. Hoshino: Construction of Two Crystal Component Neutron Interferometer, **45**, 715 (1978)
- 10) 高良和武, 菊田惺志: X線回折技術, 東大出版会 (1979)

いてコンプライアンス概念の果たし得る役割を確立したものである。なお、本研究の主要部分に対して昭和52年度機械学会論文賞を受賞している。

2. 光弾性亀裂解析法の確立と主要三次元亀裂問題の解析 (昭和51年度～)

現在研究室の主要課題となっているものであり、実用上十分な精度で応力拡大係数の解を与える光弾性によるき裂解析法を新たに開発すると共に、手法として確立して、破壊力学を实在構造物に適用していく上で不可欠な三次元き裂問題の解析を行っている。すなわち、実験データからの応力拡大係数の解析法に対しては、従来この種の研究で行われている方法の欠点を克服した Hybrid 展開法と K 値簡便決定法を開発した。また実験データの

精度向上のためには、任意形状の十分鋭いき裂をもった試験片を作製するための接着法の開発、光弾性実験における精度良いデータ読み取りのための Fringe Multiplication 装置の試作を行い、そのき裂問題への適用手法

を確立した。これら一連の手法を用いて、これまでのところ三次元内部き裂、引張りと曲げを受ける半円、半だ円表面き裂、圧力容器中に生じたき裂などの解析を行い、有用な解が得られつつある。

発 表 論 文

- 1) H. Okamura, K. Watanabe and T. Takano, Applications of the Compliance Concept in Fracture Mechanics, ASTM STP 536, 423 (1973)
- 2) 岡村, 渡辺, コンプライアンス概念による線形破壊力学の拡張と応用 (第1, 2報) 機論, 41-348, 2238(1975)
- 3) 渡辺, 保存法則とエネルギー解放率に対する一考察, 機構論, 760-13, 43 (1976)
- 4) 渡辺, 久田, 平野, 北川, 三次元亀裂の光弾性実験による解析(第1~7報), 機構論, (1977~1978)
- 5) 渡辺, 久田, 平野, 北川, 三次元亀裂問題の光弾性実験による解析(第1報), 機論, 44-388, 4040 (1978)
- 6) K. Watanabe et al., A New Photoelastic Approach to Crack Problems towards Higher Accuracy, Proc. 27th Japan National Congress for Applied Mechanics, 21 (1979)

横内研究室 (昭和46年度~50年度)

講 師 横 内 康 人 (昭和50年10月電気通信
大学助教授)

固体材料強度学

横内講師は山用研究室において大学院課程を修了したのち独立したが、昭和46年4月より昭和50年10月電気通信大学助教授として転出するまで、引きつづき山田研究室に密接に協力して研究を実施した。

1. 軸対称殻の大変形弾塑性解析 (昭和46年度~)

大変形を考慮したつりあい方程式、対数ひずみの適合条件式および塑性を含む応力-ひずみ方程式、これらすべての基礎方程式を増分形で表示し、微分方程式を予測子・修正子法で直接数値積分することにより軸対称殻を解析する手法を確立した。本理論は膜力のみでなく曲げも考慮している。例題として横圧力を受ける円板の弾塑性変形および軸力を受ける円筒の弾性座屈を取り扱った。

差分的な解法を確立したのち、増分形の仮想仕事の原

理に基づく有限要素法のプログラムを開発し、同じ例題を解析した。その過程において、軸対称殻と類似で次元が一つ少ない曲がりはりについて、各種変位関数による要素特性の比較を行った。

2. 平面問題の弾塑性解析プログラムの開発 (昭和46年度~)

山田教授が開発した弾塑性有限要素法の定式化に従い、平面応力/平面ひずみ問題を対象とする計算機プログラムを作成した。本プログラムは教授の著書「塑性・粘弾性」の付録に掲載され、弾塑性問題に対する入門的プログラムとして比較的多くの人々に利用された。また塑性加工における定常流れ問題および複合材料の力学的特性解析の初歩的な計算も本プログラムを基礎としたものによって実施された(山田研究室の項参照)。

発 表 論 文

- 1) Y. Yamada and Y. Yokouchi, Incremental Solution Axisymmetric Plate and Shell Finite Deformation, High Speed Computing of Elastic Structures, Univ. of Liege, 663~682 (1971)
- 2) Y. Yokouchi, Y. Yamada and S. Sanbongi, Finite Difference Solutions for Large Deformations of Cylindrical Shells—A Comparison with Finite Element Solutions—, Advances in Computational Methods in Structural Mechanics and Design, Univ. of Alabama Press, 107~125 (1972)
- 3) 横内康人, 板および殻の軸対称問題の弾塑性解析, 塑性と加工, 14, 153, 779~787 (1973)

芳野研究室 (昭和50年度~)

講 師 芳 野 俊 彦
応用光学

光学全般に幅広く関心を持って、光物理・光工学に関する研究を小瀬教授の下で行っている。最近の10年間では、磁気光学、レーザーを中心にその基礎と応用に関する研究を行い、いくつかの新しい知見を得てきた。小倉研究室とは密接な協力関係にある。

1. 磁性薄膜の磁気光学効果 (昭和43年~45年)

0.4 μ ~2.4 μ 波長域で、縦カー回転と光学定数を精密に測定できる装置を開発し、それを用いて Fe, Ni, Fe-Ni 合金の磁性蒸着薄膜の磁気光学的性質を広い波長範囲にわたって明らかにした。また、磁性薄膜の磁気光学係数の一般式を明らかにし(この研究の一部は、工学部物理工学科において行った)。

2. 超音波磁気光学効果 (昭和50年~52年)

固体の超音波光回折に及ぼす磁場の影響を実験的・理論的に研究した。超音波が縦波の場合、回折光の偏光面の磁場による回転角はファラデー回転と異なること、入射光の偏光方位にも依存することを見出した。また超音波が横波の場合、回折光の偏光面は磁場によって影響されないことを見出した。これらの現象は、波動方程式に基づく理論とよく一致することを示した。

3. エタロンの磁気光学効果 (昭和51年~53年)

高いファイネスを持つエタロン板の磁気光学効果を理論的・実験的に研究した。エタロン板の両反射面に僅かの傾き角を持たせることによって、エタロン板が、a) 磁場によって駆動できるビームスキャナーとして機能すること、b) 高効率の偏光変換率を持つことを見出し、重要な動作パラメーターを解析した。

4. 高効率ファラデーローテーター (昭和51年~)

通常ファラデーローテーターの効率の悪さを改善するために、導光管ファラデーローテーターを考察・試作した。この新しいローテーターではソレノイドの代わりに電磁石や永久磁石を利用するので、極めて大きな偏光面の回転を高効率で得ることができる。

5. レーザー光の偏光 (昭和44年~)

発 表 論 文

- 1) 芳野：強磁性体の磁気光学効果，生産研究 20, 439 (1968)
- 2) T. Yoshino, S. Tanaka: Longitudinal Magneto-Optical Effect in Ni and Nickel Rich Ni-Fe Films in Visible and Near Infrared Regions, Opt. Commun. 1, 149 (1969)
- 3) T. Yoshino, S. Tanaka: Polar and Longitudinal Magneto-Optic Kerr and Faraday Coefficients of Bigyrotropic Thin Films, Jpn. J. Appl. Phys. 9, 1282 (1970)
- 4) T. Yoshino, P. Sumimoto: Polarization Properties of a Triangular Ring Laser Having a Discharge Tube With Brewster Angle Windows, Appl. Opt. 9, 1831 (1970)
- 5) T. Yoshino: Single Frequency Output from an Internal-Mirror He-Ne Laser Utilizing the Polarization Properties, Appl. Opt. 10, 221 (1970)

ガスレーザーの偏光特性を実験と理論の両面から幅広く研究している。特に、特異な偏光特性を示すために注目されている内部鏡ヘリウムネオン 6,328 Å レーザーについては、発振モードの偏光方位はミラーに含まれる僅かの異方性によることを見出し、さらに最近の研究によってミラーの異方性の性質と大きさを初めて明らかにした。現在は主として、ゼーマンレーザーの性質と応用について研究を行っている。

6. 色素レーザー (昭和46年~48年)

昭和45年 Peterson 等によって初めて報告された連続発振色素レーザーの改良研究を行った。特に、超高分解能分光学への応用を目的に、Fox-Smith 型干渉計を用いる方式の単一モード連続発振色素レーザーを製作・研究した。また、窒素レーザーおよびフラッシュランプ励起のパルス色素レーザーの製作と性能向上を行った(この研究は主にハノーバー大学で Steudel 教授等と共同で行った)。

7. レーザービームの光学素子特性に関する研究 (昭和49年~52年)

レーザー発振器のモード選択子として重要な斜入射エタロンのモード選択性、ウォークオフ損失を理論的・実験的に明らかにした。

- 6) T. Yoshino: Effect of Active Medium on the Polarization States of Modes in Anisotropic Resonators, Opt. Commun. 3, 155 (1971)
- 7) T. Yoshino: Polarization Properties of Internal Mirror He-Ne Lasers at 6,328 Å, Jpn. J. Appl. Phys. 11, 263 (1972)
- 8) 芳野：単一モード CW 色素レーザーの製作，生産研究 28, 380 (1976)
- 9) 芳野，武田：エタロンのガウスビーム透過特性の角スペクトル表示による研究，光学 6, 113 (1977)
- 10) 芳野：レーザー光の偏光，応用物理 46, 601 (1977)
- 11) T. Yoshino: Magneto-Optical Properties of Ultrasonic Light Diffraction in Glasses, Jpn. J. Appl. Phys. 17, 1197 (1978)
- 12) T. Yoshino: Magneto-optic Beam Shifter and Polarization Converter Using Wedge Etalons, Jpn. J. Appl. Phys. 18, 99 (1979)