

## 第Ⅱ章 講座の沿革と研究活動

### Ⅱ-1 原子力工学科第一講座（システム量子工学領域）

## II-2-1 原子力工学第二講座

本研究室の源流は1958年4月に原子核工学専攻第二講座として核燃料、原子力材料に関する教育研究を目的として設置されたことに始まる。同年9月に佐野忠雄教授が着任、井本正介助教授、三宅正宣助手の陣容で教育研究を開始した。ウラン炭化物を中心とするセラミックス核燃料の熱力学、軽水炉被覆管材のジルコニウムの酸化反応、液体金属の反応性が開設当時の研究テーマであった。1960年には三宅千枝助手が着任し水溶液の放射線化学の研究を始めた。1965年井本が原子力工学科第六講座（核燃料工学講座）担当の教授に昇任、三宅千枝も助教授として移籍した。その後1982年に佐野教授が停年退官するまでの17年間、第二講座は、佐野教授・三宅正宣助教授・桂正弘助手・孫鳳根助手の体制で運営された。この間、熱電子放出現象、高温材料の表面特性、高速炉用材料、核融合炉材料開発、セラミックス核燃料の熱力学、金属炭化物中の炭素の拡散、などに関する研究を精力的に進め、日本の原子力燃料材料の黎明期を牽引した。1983年に三宅正宣教授、桂正弘助教授、孫鳳根助手、山中伸介助手（新任）の陣容となった。1979年の米国TMI事故、1986年の旧ソ連のチェルノブイリ原発事故が契機となって安全性の研究が重視される中、 $UO_2$ とジルカロイの高温化学反応、 $U-Zr-O$ 三元系の状態図の研究が開始された。その他、高速炉被覆管の内面腐食、ガラス中のトリチウムの挙動、トリウムを含めた金属窒化物の生成と熱力学、遷移金属への水素同位体の吸収・放出挙動および溶解度、IVA-VIIA族の高融点金属の合金や炭化物の作成とその表面物性、炭素材料の熱衝撃、など核融合炉材料をも視野に入れて多様な研究が展開された。

1994年三宅教授が退官、同年12月に桂が教授に、山中が助教授に昇任した。1995年4月には孫が助教授に昇任、同年6月に中川貴が助手に着任し、1996年には孫が停年退官した。1996年度からは大学院重点化により、第二、第四、第六の三つの講座が合体し原子力



1986年3月 卒業謝恩会

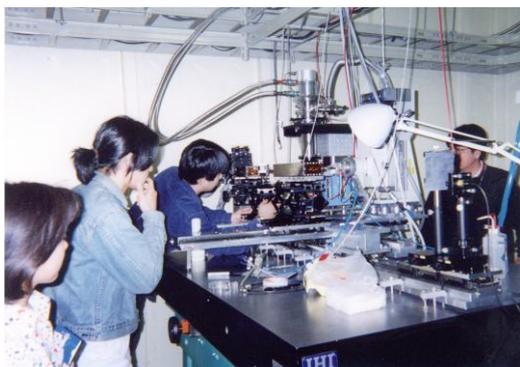
工学専攻の原子力材料工学講座という大講座となり、旧第二講座はその中の原子力材料学領域として運営された。研究面では、アンモニア気流を用いたウラン等の金属の窒化とその熱力学的研究、希土類炭化物や窒化物の生成と熱力学的・結晶学的研究、といった基礎的物性研究が進められた。また、原子力材料の高性能・超寿命化、並びに安全性向上を目的とした高温化学反応の研究が、被覆管の水素脆化、燃料材料の微細構造の非破壊評価、高温 X 線・超音波・分子動力学を用いた燃料熱物性評価、などの新たな側面で展開された。さらに、水素エネルギー材料の研究が、金属や酸化物などの種々の物資中での水素溶解度測定や統計熱力学的手法で進められた。1996 年 8 月に大阪府大から山本孝夫が助教授として着任し、ナノ構造材料などの新物質の原子力応用の観点を導入した研究を開始した。ナノ粒子の放射線誘起触媒反応による水素ガス等の有用物質生産や有害物質の分解、などである。また、金属窒化物の研究には、磁気特性の研究とシンクロトロン放射光を用いた XAFS 法による構造解析という新たな側面が加わった。1999 年 5 月に山中が原子力材料講座核燃料工学領域（旧第六講座）の担当教授に昇任し、高温化学反応・燃料熱物性・水素溶解度などに研究はそちらに引き継がれた。この期間、日本の原子力は 90 年代前半の安定期から、阪神大震災、もんじゅのナトリウム漏れ事故、再処理工場での爆発、JCO 臨海事故と大きく揺れ、国政レベルの構造改革路線から始まる大学の組織変革期に突入し、難しい期間であった。

2001 年には桂教授が停年退官した。2004 年 4 月には阪大は国立大学法人となったが、これと次期を同じくして工学研究科に新設されたビジネスエンジニアリング専攻に山本と中川が移籍すると同時に、それぞれ教授と助教授に昇進した。この新専攻は経営もわかる技術者・研究者を育成する新たな教育に特徴を持った新しいものであるが、追求する研究



1997 年夏 卒業記念集合写真

の内容および居室・実験室などはそれまでのものを継承した。また、学部生への講義の分担や卒業研究生の配属に関しても、原子力工学科（科目）→エネルギー量子工学科目→環境エネルギー工学科と変遷した現在も継続されている。2006年4月に中川が東京工業大学理工学研究科電子物理専攻の准教授に転出したが、これは阪大・東工大・名大の連携事業として始動した3年期限の教員交換プログラムに基づくものであり、これと同期して2006年1月に清野智史が講師として着任した。2009年4月に中川が東工大から帰任し、山本教授・中川准教授・清野講師の陣容で教育に携わっている。研究内容としては、原子力材料研究での材料科学的な蓄積を基盤とした継続性を保ちながら、磁性、ナノ粒子、放射線、といった要素を取り入れ、実用材料開発をめざす研究を展開している。具体的には、 $\gamma$ 線や電子線などの放射線を用いた機能性複合ナノ粒子の合成、放射光や中性子ビームを利用した多元系ナノ粒子の内部構造やフェライトなどの機能性磁性材料の磁気構造解析、希土類窒化物の磁気冷凍材料への実用化、高周波磁界発生装置の開発とその医療応用などの研究を行っている。特に放射線イオン還元による機能性ナノ粒子の合成法は、医療診断用金担持磁性ナノビーズ、燃料電池用電極触媒、銀ナノ粒子担持抗菌繊維の製造など幅広い応用可能性が見えており、2009年5月にこの技術を基に清野講師がその代表取締役を務めるベンチャーを起業している。



1998年 SPring8での実験風景



1999年頃の実験室風景

当研究室は、この約50年間で約240人の卒業生を社会に送り出しており、これらの人材は原子力業界はもちろん広く産業界の成長期を指導し、今の難しい時期での展開を第一線で支えている。さらに、非常に数多くの教育研究者が当研究者から輩出され、後進をさらに育て続けている。紙面の限りがあるため大学教員に限って挙げると次のとおりの多数である（敬称略）。なお、肩書きは退職時あるいは現在のものである。

姜 文圭（近大教授）、難波慎吾（阪府大教授）、森 隆資（姫路工大教授）、井関道夫（愛知学泉大学教授）、桂 正弘（阪大教授）、亀頭直樹（豊橋技科大教授）、松永勝彦（北大教授）、中安文男（福井工大教授）、今中哲二（京大助教）、廣岡慶彦（核融合研准教授）、山

中伸介（阪大教授）、山本孝夫（阪大教授）、渥美寿雄（近大教授）、北野利夫（阪市大講師）、宇埜正美（福井大教授）、廣田正行（産業技術短大講師）、山内知也（神戸大教授）、高垣昌和（東大准教授）、中川 貴（阪大准教授）、清野智史（阪大講師）、木下卓也（阪府大助教）、仁谷浩明（高エネ研助教）

このような優れた人材育成の場となった研究室の立ち上げと運営に奮闘され、教育と研究に大きな業績を残された佐野忠雄先生と三宅正宣先生は最近相次いで逝去された（それぞれ、2006年1月20日、2007年10月21日）ことは誠に残念極まりない。

## II-2-2 量子ビーム応用工学領域

本領域は、平成 17 年 4 月、専攻再編に伴う環境・エネルギー工学専攻の発足と同時に、栗津邦男教授の着任により発足した。栗津教授前任の工学研究科自由電子レーザー研究施設(電子情報エネルギー工学専攻光量子プロセス工学寄附講座,平成 17 年 3 月終了.)の流れをくむ研究室である。

平成 17 年 4 月の領域立ち上げは、教授、助手 1 名、秘書 1 名、特任研究員 1 名、技術補佐員 1 名、博士後期課程学生 3 名、博士前期課程学生 1 名の計 9 名であった。4 月末に最初の学部 4 回生(卒業研究生)を 4 人迎え、教育研究活動がスタートした。平成 17~20 年度の 4 年間で 19 名の学生を輩出した。平成 21 年度はスタッフ 9 名、博士後期課程 2 名、博士前期課程 9 名、学部 6 名の計 26 名で領域を運営している。

本領域は、医用光学、光生物学、保健物理学などを基礎とし、量子ビームと生体(分子・細胞・組織)との相互作用、これら生体物質の分析など、ライフサイエンス分野における診断(計測)と治療(制御)に関する教育と研究を行う研究室である。これらの基礎(光生体相互作用)から応用(臨床に利用できる技術開発)および装置開発(開発技術のシステム化)に至る医工融合研究を推進し、新しい医療光技術の産業・臨床応用を目指しており、工学と医学の両分野を高度に理解する人材の育成を一貫して行っている。

本領域の研究の三本柱の一つは、レーザーをはじめとする量子ビームを用いた新規な診断・治療技術の開発である。中赤外波長域の分子振動励起による反応選択性を生かした治療技術や近赤外波長域の組織透過性を生かした低侵襲な診断技術の開発を行っている。治療分野では、レーザー血管形成術(動脈硬化治療)、歯牙硬組織治療、内視鏡的粘膜下層剥離術(消化器がん治療)、胆石破碎治療、経皮的椎間板レーザー減圧術(椎間板ヘルニア治療)、光線力学治療、加速器とドラッグデリバリーシステムを利用したホウ素中性子捕捉療法などに取り組んでいる。診断分野では、中空光ファイバーを利用した赤外全反射分光、近赤外ハイパースペクトラルイメージングなどに取り組んでいる。平成 20 年度より内閣府先端医療開発特区(スーパー特区)に参画し、内視鏡下レーザー診断治療研究の実用化を目指し、研究開発を進めている。



2005 年度 B4 歓迎会・栗津教授宅にて 2006 年度 講座旅行(浜松ホトニクス株式会社)

二つ目は、レーザーイオン化を用いたタンパク質分析システムの開発である。中赤外波長域のレーザーを用いたマトリックス支援レーザー脱離イオン化法の開発、機序解明および装置開発を行っており、文部科学省・知的クラスター創生事業「光量子プロセスによる生体分子制御技術の創生」(平成14～18年度)で成果を挙げ、文部科学省と科学研究費補助金特定領域研究「低エネルギーフォトンによる生体分子の修飾・代謝の計測」(平成19～23年度)で引き続き研究展開している。また近年は、細胞や組織内に発現するタンパク質の局在情報を得るためのイメージング質量分析装置の開発および先端的な利用研究を行っており、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業「超高分解能高速イメージング質量分析技術(質量顕微鏡)」(平成17～22年度)で積極的に推進している。



2007年度 講座旅行

(高速増殖炉研究開発センター(もんじゅ))



2007年度 卒業生・修了生送別会

最後の柱は、光学特性値算出システムの開発である。物理学に裏打ちされた安全なレーザー診断・治療を実現するためには、細胞・生体組織の広帯域波長における光学特性値(吸収係数、散乱係数他)の情報は必須であり、光学特性値を算出するシステムおよび計算手法の開発を行っている。科学技術振興機構先端計測分析技術・機器開発事業「高度光診断治療に向けた生体組織の光学定数計測技術開発」(平成20～23年度)で研究推進している。

また、光技術の再生医療分野への応用に関して精力的に取り組んでおり、文部科学省21世紀COEプログラム(革新的な学術分野)「細胞・組織の統合制御に向けた総合拠点形成」(平成16～20年度)にも参画を果たし、光化学効果・光線力学効果による細胞分化の制御技術の開発や、振動分光学的手法による細胞分化や組織再生の非標識評価といった独創的な研究も展開している。

近年は、光技術の環境分析・食品分析への応用などチャレンジングな分野への研究展開も模索しており、量子ビームのライフサイエンス分野での新規シーズ発掘と積極的実用化を今後も推進していく所存である。



2008年度 第20回記念大会  
日本レーザー歯学会総会・学術大会を主催(打ち上げにて)



2008年度 卒業生・修了生送別会にて

人事は以下のとおりである。

鈴木 幸子 助教

(平成17年4月着任. 平成21年1月, 同専攻同講座システム量子工学領域へ異動.)

櫛引 俊宏 特任講師

(平成17年4月, 特任研究員. 平成18年4月, 特任助手. 平成18年10月より現職)

間 久直 特任研究員(平成18年6月より現職)

石井 克典 助教(平成20年4月, 特任研究員. 平成21年2月より現職.)

寺田 隆哉 特任研究員(平成21年4月より現職)

## II-3-1 原子力工学第三講座（原子核機器学領域）

本領域は、加速器や放射線計測など、原子力関連の機器を研究する講座として 1959 年 4 月に設置された。その黎明期の様子については、原子力工学教室 25 年のあゆみ(付録参照)に詳しく記載されている。以下、1980 年代を外観し、それ以降のあゆみについて詳しく見ていく。

### (1) 1980 年代

1980 年代には、住田教授、山田助教授、高橋助教授、飯田助手、山本助手が中心となり、他の研究室の協力を得て「大阪大学強力 14MeV 中性子工学実験装置オクタビアン」を建設した。それ以降、約 20 年に亘りオクタビアン装置を用いて、核融合炉設計用の最新核データが多数測定された。その詳細については、1996 年まで刊行されたオクタビアンレポートに詳しい。これらの測定データの内、微分断面積データ（2 次粒子（中性子、 $\gamma$ 線、荷電粒子）放出二重微分断面積(Double Differential Cross Section(DDX))については、日本の評価済核データファイルである JENDL シリーズの基本実験データになっている他、EXFOR データベースに収録され、世界中で広く利用されている。また、平板や球体系を用いた様々な元素に対する積分ベンチマーク実験データも、核データの検証に広く用いられてきた。その多くのデータは、SINBAD データベースに収録され、やはり世界中の研究者に公開されている。この他にも多数の実験的研究が行われたが、特筆すべきこととしては、トリチウム生成率(Tritium Production Rate(TPR))測定を様々な反射体を持つ体系で実施したことであり、その結果、核融合炉において、トリチウム増殖比（Tritium Breeding Ratio(TBR))  $> 1$  が可能であることを実験的に世界で初めて実証している。1985 年には一連のオクタビアン研究に対し、日本原子力学会から学会賞特賞が授与されるなど、1980 年代は、オクタビアン装置を用いた研究活動の全盛期だったと言える。

### (2) 常温核融合研究

このことについては特にページを割いて記載しておく必要がある。良く知られている通り 1989 年に「常温核融合現象」なるものが報告された。それが事実なら、高温プラズマを要しない核融合が実現するのではないかと期待されていた時期もある。この基礎研究を他に先駆けて高橋助教授が中心となり実施した。1990 年以降、研究室のかなりのエフォートがその研究につき込まれた。多くの学生がこの研究に携わり、一連の研究は高橋助教授(後に教授に昇任)が退官するまで続けられた。高橋助教授は、このとき以降、核融合中性子工学分野から身を引いている。常温核融合現象の説明のために、多くの理論的、実験的なアプローチが試されたが、残念ながら特筆すべき結果は得られなかった。現在も世界的には研究が続けられているが、未だ新現象・原理の発見には至っていない。

### (3) 1990 年代前半

1990 年に入ると、住田教授が旧 5 講座に転出、高橋助教授が教授に昇任した。また、炉雑音解析など原子炉の異常診断に関する研究を担当していた山田助教授が摂南大学工学部教授として昇任転出し、照射損傷や放射線計測に関する研究を担当していた飯田助手が助

教授に昇任した。1992年には、常温核融合研究のため、理学部物理学科から宮丸助手が赴任した。これらの人事異動により研究室の軸足は本格的に常温核融合研究に移ることになり、その解明のための基礎研究を NEDO 等の援助により多角的に進めることとなった。1994年には、核融合中性子工学研究を主導的に行っていた山本助手が摂南大学工学部に助教として昇任転出したため、オクタビアン装置を用いた核融合中性子工学研究のアクティビティーはいよいよ低下した。その最中 1995年には村田助手が核融合中性子工学研究のため旧日本原子力研究所から赴任した。以上の結果、当時の研究室は、高橋教授、飯田助教、吉田助手、村田助手、宮丸助手、杉本技官、伊達道技官の 7 人体制となった。オクタビアン装置を用いた核融合中性子工学研究は数年のブランクを経て、再び始められることとなった。

#### (4) 核融合中性子工学研究

村田助手及び吉田助手による核融合中性子工学研究は、1995年以降オクタビアン装置のほか、旧日本原子力研究所の核融合中性子源施設(Fusion Neutronics Source(FNS))でも共同研究のかたちで実施されるようになった。原研側窓口は、やはり本研究室を修了した前川藤夫氏(現日本原子力研究開発機構 J-PARC センター研究主幹)だった。これまでは、FNS とオクタビアンは分野の住み分けを行い別々の道を歩んできたが、これを機に両者は深い協力関係を築いて行くこととなった。これは、1996年以降オクタビアン装置の維持費が段階的に削減されたためでもある。また、トリチウムターゲットの高騰も遠因である。

主要な研究としては、村田助手による 14MeV 中性子核反応断面積測定及び積分ベンチマーク実験、並びに吉田助手による放射線スカイシャイン研究があった。前者については、これまでの中性子 DDX 以外に、2次ガンマ線の生成断面積、2次荷電粒子放出 DDX、(n,2n) 反応における 2次中性子放出角度相関スペクトルの測定等が行われた。ガンマ線測定は、連続成分と離散成分の分離測定を実現させた新しいものだった。荷電粒子測定では、CsI による粒子弁別測定を実施し多数の元素に対するデータを取得した。後に、Si 検出器による  $\Delta E-E$  カウンターテレスコープによる高精度測定を実現しており、ベリリウムや炭素などブレークアップ反応を含む軽核の核反応について重要な DDX データを得ている。いる。そして(n,2n)測定では、2台の NE213 による同時計測を実現し、ベリリウムに対する世界初の角度相関スペクトルデータを得た。また、積分ベンチマーク実験としては、主として FNS 施設で平板体系を用いた飛行時間法(Time of Flight(TOF))による漏洩中性子及び漏洩 2次 $\gamma$ 線スペクトル測定を多くの元素について実施した。特に中性子については、50keV ~14MeV という幅広いエネルギー範囲をカバーする高エネルギー分解能データとして注目された。吉田助手によるスカイシャイン測定では、中性子源施設の建家外における中性子及び2次ガンマ線スペクトル測定を進めた。オクタビアン施設、近大炉、やよい炉、FNS 施設などの中性子源施設で系統的に測定を進め、それらの結果から線量の距離に対する経験式の導出に成功している。以上の核融合中性子工学研究の成果は、Symposium on Fusion Technology (SOFT)、International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT)、

International Conference on Fusion Reactor Material (ICFRM)、International Conference on Radiation Shielding (ICRS)、International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND)など多数の国際会議で発表されている。

#### (5) その他の研究

宮丸助手は、1992年から3年間の常温核融合研究を経て、CdTe検出器の基礎研究を幅広く手がけた。また、荷電粒子を用いた材料の表面分析法の開発、Qマスをを用いた微量ヘリウム測定に関する研究などで成果を上げてきた。飯田助教授は、核融合炉材料や電子部品などの核融合中性子による照射効果や、メモリーチップのソフトウェアなどの研究を進めた。吉田助手は、放射線ホルミシス効果の解明のため、カイワレ大根の種子を種々の放射線で照射し、その後播種・育成し成長の度合いの違いを調べた。14MeV中性子照射の場合、ある線量範囲で、成長が助長される、という注目すべき結果を得ている。村田助手は、核融合・核分裂ハイブリッド炉の理論研究及びモンテカルロ輸送計算法における分散低減法の研究を行った。以上の詳細については紙面の制約もあり、割愛せざるを得ない。

#### (6) 2000年台前半

1996年から段階的に減らされてきたオクタビアン装置の維持費は、2001年以降ゼロ査定となった。従って、その間、上でも述べたとおり、核融合中性子工学研究はオクタビアン施設から、旧日本原子力研究所の核融合中性子源であるFNS施設を用いた共同研究にゆっくりと移行していった。一方、飯田助教授は1996年、電子情報エネルギー工学専攻核融合工学講座に転出し、翌年教授に昇任した。その後飯田研究室は、2005年には電気電子情報工学専攻先進電磁エネルギー工学講座ビームシステム工学領域に改称し現在に至っている。2001年には村田助手が助教授に昇任し、高橋教授、村田助教授、吉田助手、宮丸助手、杉本技官、伊達道技官の体制となった。この年から2003年まで、村田助教授はAlexander von Humboldt財団の援助により独国Juelich研究所(Forschungszentrum Juelich(FZJ))の核物理研究所(Institut fuer Kernphysik(IKP))の客員研究員として、大型陽子加速器(European Spallation Source(ESS))加速器のターゲット周りの設計研究に従事した。また、放射線ホルミシス現象と放射線スカイシャイン現象を主導的に研究してきた吉田助手も2002年に東海大学に転出した。この結果、2002年から2年間は4人体制となった。2003年、村田助教授が帰国したが、その翌年以降、大変革期を迎えることとなった。

2004年3月高橋教授が定年退官し、同時に大学は法人化元年を迎えた。その直前、高橋教授の希望から、当時の馬越工学研究科長及び電子情報エネルギー工学専攻堀池教授等の調整により、原子核機器学領域(旧第3講座)を電子情報エネルギー工学専攻電磁流体工学講座(堀池研)に移し、電磁流体工学講座を原子力工学専攻旧第1講座に異動させるバーターが行われた。このバーターには以下の理由がある。まず背景には、高橋教授に、退官後旧高橋研に核融合中性子工学ではなく常温核融合研究を続けてもらいたいとの考えがあった。そして同時に、原子力工学専攻は生き残りのため、環境工学専攻と統合し環境エネルギー工学専攻になる準備が進められていたため、原子力研究が出来なくなると考えたことも大

きい。原子核機器学領域はこうして事実上の終焉を迎えた。2004年4月、村田助教授と宮丸助手は、電磁流体工学講座（旧堀池研）に移り、翌年、研究室を電磁エネルギー工学講座高エネルギー粒子工学領域と改称した。旧3講座はその時点で全てのポストが空席となり、後に日本原子力研究開発機構(旧日本原子力研究所)から山口教授が赴任し、量子システムデザイン工学領域が立ち上がった。山口教授は熱流動計算が専門であったため、放射線計測分野など放射線を直接取り扱う研究領域が環境エネルギー工学専攻(旧原子力工学専攻)からなくなることとなった。一方旧3講座が運営管理していたオクタビアン装置については、当時の馬越研究科長の判断により、工学研究科の一施設とする、ということが認められた。安直に巨大装置を専攻間で移動させることは望ましくないと判断されたからであるが、元々原子力工学専攻の所有する装置であり（つまり、環境エネルギー工学専攻が所有する装置）、異動した村田助教授と宮丸助手が使用できるようにするというのも大きな理由の一つだったと思われる。しかしこれ以降、この装置の運営、管理等について長く議論が続けられることとなった。装置は工学研究科のものであったとしても、そこにいる研究スタッフは電気系の職員であり、技術スタッフは旧原子力工学専攻に所属していたからである。オクタビアン装置本体の維持費は既にゼロ査定だったが、それ以外の機器についていた少額の維持費は旧原子力工学専攻に配分されていたことも状況を複雑化していた。

(7)でもう少し詳しく述べるが、度重なる議論の結果、電気系で面倒を見ることは技術的には難しいと判断され、結局、環境エネルギー工学専攻が将来にわたって面倒をみるということで決着したように見えている。ただ、これは現在も完全にオーソライズされたとは言えない。上記した通り、実態は、電気系に所属する村田助教授、宮丸助手が二人の技術専門職員とともにその面倒を見ていることは確かだからである。なお、オクタビアン施設付きの技術専門職員である杉本、伊達道両技術専門職員は、戸籍は環境エネルギー工学専攻（旧原子力工学専攻）であるが、住民票は電気電子情報工学専攻にある、という歪な状態が続いていたが、2008年からは技術部に異動となり落ちついた。

#### (7) そして中性子科学研究グループへ

旧第3講座を構成するオクタビアン装置、村田助教授、宮丸助教、杉本技術専門職員、伊達道技術専門職員は、この後2008年までに中性子科学研究グループ、という研究組織に落ち着いて行く。その過程は複雑であるが、以下に概要を記す。

2004年に入り、電子情報エネルギー工学専攻電磁流体工学講座の教授公募があった。公募中から、オクタビアン施設の今後(運営、維持、管理、利用など)をどのように進めていくかということについて再び関係者間で議論が行われた。それが教授選の主たる論点ともなった。しかし、公募要領に、オクタビアン施設の運営・管理や核融合炉中性子工学研究の継続をあからさまには謳っておらず、また、電気系での公募であったため、レーザーや電気系の研究を意識したものだったこともあり、状況を悪化させた。オクタビアン施設をどうするのか、という議論が公募終了後も教授会で何度か行われたが、結局、時間切れで棚上げされ、レーザーに関する研究を専門とするレーザーエネルギー学研究センターの兒玉

助教授が昇任し教授として就任した。2005年4月以降、兒玉教授、村田助教授、宮丸助手体制となり、2006年には高エネルギー密度工学領域と改称した。研究室としてはオクタビアン装置を実態として所有しているが(形式上は環境エネルギーが管理)、その内容は高強度レーザーを用いた基礎研究に様変わりした。オクタビアン施設問題は棚上げされていたが、オクタビアン装置が設置されている未臨界実験棟を再利用する希望が兒玉教授にあったため、オクタビアン装置をシャットダウンも視野に入れどのように処理するかという検討が開始された。オクタビアン施設の維持・管理及び核融合中性子工学研究は、研究室のスコープには含まれていなかったため、これは当然の措置とも言えるが、オクタビアン施設が工学研究科の一施設であり、その管理はこれまで旧原子力工学専攻により行われてきた経緯もあったため、議論は遅々として進まなかった。最大の問題は、オクタビアン施設に保管管理されている、2トンを超える核燃料と数千Ciのトリチウムをどうするかであり、その適切な処置は電気系では事実上不可能だった。これがシャットダウンの大きな抑止力となったことは事実である。以上の結果、オクタビアン施設、村田助教授及び宮丸助教は、次第に電気電子情報工学専攻内で孤立するようになった。2004年の高エネルギー粒子工学領域時には14名の学生を抱えていたが、2008年には3名にまで減じた。公費も減額されたため、研究・教育を進めることに支障を来し始めた。環境エネルギー工学専攻は、オクタビアン施設の適切な維持の重要性を認識していたため、山中教授等が中心となりサポートを行ったことから、オクタビアン装置を用いた実験は細々とながら存続した。このようにして多少安定に見える状況に移行したが、結局、オクタビアン装置を含む未臨界実験棟の処置問題は教授人事以来、事実上完全に棚上げされるに至った。2005年から2006年にかけて、以上のことを憂慮した豊田工学研究科長の指導により、オクタビアン施設を核燃料関連の管理を同時に行うセンターとすることで、オクタビアン装置の運営等をスムーズにしなが、研究・技術スタッフの孤立を緩和しようとする努力がなされた。数回の会合が持たれたが、研究科長の主導する提案は、結局当時電磁エネルギー工学講座から改称された先進電磁エネルギー工学講座の教授会でその受け入れが拒否された。またその頃、学校教育法が改正され、教授、助教授、助手の垣根は取り除かれ、すべて対等で独立する、という重要な指導が文科省により始められた。ここから助教授は准教授に、助手は助教と改称された。工学研究科では文科省の指導を受け、准教授の独立を認めることを決め、准教授からアンケートを取った。村田准教授は、オクタビアン装置をシャットダウンさせずに核融合中性子工学研究を存続させるため独立を希望したが、工学研究科内で独立を希望する准教授が少なすぎる等の理由により独立は実現しなかった。また、2007年3月には、村田准教授が豊田研究科長と直接問題点を議論し、研究環境の改善と独立に向けた検討を、辻評議員、河崎電気電子情報工学専攻長、山中環境エネルギー工学専攻教授が中心となり進めることが決定された。2006年と2007年、村田准教授と宮丸助教に運営交付金の配分がなく、学生の配分数も0だった事実がその原動力となった。しかし、研究科長によるポストの異動を伴う提案は再び電気電子情報工学専攻により拒否された。専攻間のポストの

移動（純減）は受け入れられない、という理由だった。2008年1月には、上田先進電磁エネルギー工学コース長により折衷案が提示され、村田准教授は最終的にそれを受け入れた。それは、コース内措置により独立を許可する、というものであり、実態的には学生の配分等は協力講座相当扱い、となった。運営交付金は准教授相当分が認められた。現在は、「先進電磁エネルギー工学講座中性子科学研究グループ」という研究グループがコース内でのみ認められている（部門内、専攻内では認められていない）。グループ員は、村田准教授のみであるが、事実上は宮丸助教との二人体制である。宮丸助教は、運営交付金の配分を辞退し、その代わりに兒玉研究室から離れ中性子科学研究グループとして活動することを事実上黙認されている。杉本、伊達道技術専門職員は、2008年度から正式に技術部に異動しており、村田准教授からの派遣依頼申請によりオクタビアン施設に派遣されている。両技術専門職員は結果的に以前と変わっていないことになる。現在は、この4人体制で研究及びオクタビアンの運営管理を行っている。状況は少しでも改善されたものの依然厳しいと言える。なお、2007年からは、山中教授、篠原理学部教授等のサポートの結果、教育研究等重点推進経費によるオクタビアンの改修が25年ぶりに少しずつ進み始めている。

#### （8）現状と今後

中性子科学研究グループ(旧原子力工学専攻原子核機器学領域)は、いまその軸足を核融合中性子工学研究から中性子科学研究に移しつつある。もちろん中性子科学には核融合中性子工学も含まれており、その研究は、核融合炉実現のためには極めて重要であることに変わりはない。しかし、その実施は次第に難しくなりつつある。最大の理由は、トリチウムターゲットの確保であり、現在すでに市販品として手に入れることは出来ない。これは、原子力機構FNSでも状況は同じであり、自前でターゲットを製作するプロジェクトが進行している。小型ターゲットについては既に製作可能になっていることから、我々は、この研究の灯を絶やさないよう、今はジッと我慢する局面であると判断している。しかし、研究活動はもちろん行っている。いま重点的に取り組んでいる中性子科学研究の一つに、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)がある。このアイデアは古くから知られているが、最近技術的な可能性が高まり、再び脚光を浴びつつある。この治療を原子炉ではなく、加速器により実現する、という研究が世界的に進められており、我々のグループでもその研究に積極的に取り組んでいる。主要な研究テーマは、(1)BNCT用加速器中性子源の開発、(2)放射線を用いたがんの診断技術の開発、(3)BNCT用中性子照射場のキャラクタリゼーション法の開発、そして、(4)BNCTの治療効果のリアルタイム計測法(BNCT-SPECT)の開発、である。我々が持つ、放射線計測技術、とりわけ中性子計測技術がフルに生かせる新たな研究分野であると言え、生き残りをかけた闘いを続けている。

そして最後に、教育について述べる。我々のグループは、大学で唯一の中性子源を持つ単一の研究グループである。日本の高い原子力技術レベルを落とすことのないよう、原子力技術者輩出を目指した放射線取扱技術習得のための教育をこれまで同様実施していく。これまでその方々のサポートがあり、今の我々が存続できていることは周知の事実だから

である。

### 終わりに

多くの卒業生の方々から、原子核機器学領域(旧第 3 講座)の、その実態を大学の中に見つけれない、という指摘を受けています。オクタビアン施設のホームページが既に存在しないからです。これは、文科省が学校教育法の改正に伴い行った、准教授独立の指導がきちんと機能していないためです。我々のグループは独立していますが、暫定的なコース内措置によるものです。このためグループ単独のホームページを持つことができない点に問題があります。村田は、高エネルギー密度工学領域(兒玉研)には既に含まれていないため、結局どこにも見えない状況になっているわけです。現在の 3 講座は、もちろん山口教授のグループとしてきちんと活躍されています。我々のグループは、もうそこにはありません。そして、先進電磁エネルギー工学講座内にも見えないわけです。

しかし、オクタビアンとしての教育・研究活動はこれまでどおり常に変わらず行っています。どうか、皆さんの出身研究室としてこれからも温かく見守って、そして時々手を差し伸べていただきたいと思っています。旧第 3 講座が結果的にこのような状態になっていることについて心からお詫びし、原子核機器学領域の 50 年のあゆみ、の筆をおきます。

(文責：村田 勲)

## II-3-2 量子システムデザイン工学領域

量子システムデザイン工学領域は、2005年(平成17年)4月に山口彰教授を核燃料サイクル開発機構(現日本原子力研究開発機構)から迎え新たにスタートした領域である。本領域の主な研究テーマは、①計算科学、②統計科学的意思決定、③システム工学研究である。①については、主にナトリウム冷却高速炉を対象とした、伝熱流動数値解析や化学反応・多成分と言ったマルチフィジックスを取り扱った数値解析手法の開発および現象評価を行っている。②では、連続マルコフ連鎖モンテカルロ法、階層ベイズや情報量基準といった統計科学を用い、確率論的安全評価(PSA)や稀有事象分析に関する研究を行っている。さらに確率論的破壊力学(PFM)を用いた構造健全性に関する評価や数値解析ツールの入力不確かさの出力結果への伝播評価手法の確立などと言った、システム工学(設計研究)に関する研究を実施している。



山口教授と高田准教授および研究室学生たち、中国西安にて

この間、2005年10月に川崎重工業株式会社から高田孝助手(後に准教授)が着任し、伝熱流動解析手法およびマルチフィジックス数値計算に関する研究を発展させた。また2006年から実施した科学技術振興機構(JST)による原子力システム研究開発事業の特別推進分野公募研究において真鍋勇一郎特任研究員(後助教)が2008年4月より着任し、超ウラン元素(TRU)含有高速炉燃料集合体組み立て時における燃料バンドル冷却評価技術の開発研究を発展させ、現在(2009年4月)の教員体制となった。



(研究室旅行の風景、左：山口教授と将棋を指す学生、右：真鍋助教)

2009年3月現在の領域スタッフの動きを以下に示す。

- |         |  |
|---------|--|
| 山口彰教授   | 平成17年4月、独立行政法人 核燃料サイクル開発機構より着任           |
| 高田孝准教授  | 平成17年10月、川崎重工業株式会社より助手として着任<br>平成19年6月昇進 |
| 真鍋勇一郎助教 | 平成20年4月特任研究員として採用、平成21年3月昇進              |

## II-4-1 原子力工学第四講座（量子線生体材料工学領域）

本講座は、昭和 35 年に原子炉化学工学講座として開設され、昭和 36 年 1 月に品川睦明教授が着任するに及んで正式にスタートした。当初のスタッフ、研究活動については、「原子力工学教室 25 年のあゆみ」(大阪大学工学部原子力工学教室, 昭和 57 年 3 月出版)に詳しく記述されているので、参照頂きたい。この時代の主な研究テーマは、①安定同位体の化学分離法、②焦点クロマトグラフ法の確立とその大型化、③核変換時の化学効果、④ $\gamma$  線照射による有機酸からのアミノ酸の合成、⑤溶融塩中の金属イオンの分離・分析であった。

品川教授が定年退官(昭和 52 年)以後は、柳(助教授, 後に第 6 講座に配置換)、西澤(助手, 後に助教授, 平成 14 年に定年退官)、江間(助手, 後に講師, 退職)に引き継がれ、特に①については質量数の差に依存する同位体効果の他に核スピンによる効果や核の歪みによる効果が化学交換にも現われ、内外の学会でも注目されると共に、この分野の研究者が競って同位体効果に関する理論的記述を修正する動きを見せるなど、学術的な発展を引き起こした。それと並行して、従来にない大きな同位体濃縮係数を与える化学交換系をいくつか見出すなどの成果を出すに到った。

品川教授の退官後は長らく教授不在であったが、昭和 62 年 10 月に山本忠史教授が日本原子力研究所(当時)から赴任し、⑥放射性核種のセメント固化に関する研究や⑦放射化分析による FP の挙動と存在状態に関する研究がスタートした。京都大学原子炉実験所や原子燃料工業、大阪大学 RI センターなどとの共同研究を進めると共に、江間のグループは日本原子力研究所高崎研究所や大阪支所との共同研究を開始したのもこの頃である。



平成 3 年 4 月に日本原子力研究所高崎研究所から、本研究室の卒業生でもある泉佳伸(助手, 後に助教授(准教授), 平成 21 年 4 月に福井大学教授に転出)が着任し、江間グループが進めていた放射線効果に関する研究を発展させ、⑧耐放射線性高分子の研究、⑨レーザー光化学反応の研究を進めると共に、産業科学研究所との共同で、L バンドライナックを利用して⑩放射線化学初期過程に関する研究をスタートさせた。これらの流れが、後に西嶋教授の体制となってからの量子線生体効果の研究へと結びついていくことになる。

平成 11 年に山本教授が退官した後は、平成 13 年に西嶋茂宏教授が産業科学研究所から赴任し、現体制がスタートした。尚、専攻再編により環境・エネルギー工学専攻の発足に伴い、講座名

称も変更となっている(大講座制により現在は環境資源・材料工学講座 量子線生体材料工学領域である).



2003年 万博記念公園自然文化園での研究室花見

西嶋研究室スタート当初の研究テーマは、①機能性ハイドロゲルの量子線制御、②生体高分子の制御とその生体補填材料への適用、③核融合炉用超電導磁石の安定性に関する研究、④超電導磁気分離による環境浄化技術である。スタッフの体制はまとめて後述する。研究室の方針としては、応用福祉工学への展開・開拓を目指し、エネルギーや環境、および高齢社会における問題解決によって、人々の生活の質(QOL:Quality of Life)の向上を図ることを目的としている。QOLの構成要素としては、まず生活者周辺の環境の質、すなわち環境・エネルギー工学分野と生活者自身の質、すなわち生体医工学分野との二つに分けられる。

環境・エネルギー工学分野では、超電導磁石を用いた高勾配磁気分離法(HGMS)による水の浄化や、湿式・乾式磁気分離による工業材料からの有害物質の除去や有用物質の回収とリサイクルなど、多岐にわたる応用を目指してシステム設計を行っている。また次世代型のクリーンエネルギーとして注目されている燃料電池の性能向上のため、陽電子消滅法を用いた高分子電解質膜のナノ空間構造や電子状態の解析を行っている。

生体医工学分野では、活性酸素が生体に与える影響について遺伝子・細胞レベルで調査するとともに、電気化学的手法を用いた新たな生体の酸化損傷メカニズムの解析手法の開発を行っている。また上記の超電導磁石技術を用いた磁気ドラッグデリバリーシステム(MDDS)の開発を行っている。

尚、西嶋研究室体制となつてからのスタッフの動きは以下の通りである。

西澤嘉寿成助教授 平成14年定年退官

江間喜美子講師 平成17年3月退職

武田真一助手 平成14年12月岡山大学助手より異動、平成19年1月退職

泉佳伸准教授 平成21年4月福井大学附属国際原子力工学研究所教授に転出

秋山庸子講師(平成 19 年 2 月助手(特任研究員より), 平成 21 年 4 月昇任)

三島史人助教 平成 21 年 4 月採用(特任研究員より)



2003 年大学院試打ち上げ



2004 年 8 月

研究室主催・運営の中高生のための環境シンポジウム



2004 年 8 月夏の BBQ パーティー



2005 年 3 月 21 世紀 COE 国際シンポジウム



2008 年 1 月 西嶋研 OB 会



## II-5-1 原子力工学第五講座（核エネルギー工学領域）

これまで第5講座を担当されてきた関谷全教授が平成元年3月に定年退官し吉備国際大学に移動したあと、錦織毅夫助手、酒井勝久助手も相次いでそれぞれ吉備国際大学、埼玉大学に移動した。関谷全教授の後任として第3講座の教授であった住田健二教授が第5講座の教授となり、スタッフとしては住田健二教授および竹田敏一助教授の2名による研究室運営となった。平成6年3月には住田健二教授が定年退官したが、同時に北田孝典助手がスタッフに加わり、平成6年9月には竹田敏一助教授が教授に昇任、相前後して旧動燃より山本敏久氏が助手として赴任し、その後助教授へと昇任した。また非常勤職員として橋本牧子氏が加わり、橋本牧子氏が他学科へ移動された後は星山志織氏が加わり、竹田敏一教授、山本敏久助教授、北田孝典助手と非常勤職員1名の4名体制での研究室運営が十数年続けられた。平成18年度からは平田美江氏も非常勤職員として加わったものの、平成19年3月に山本敏久准教授が退任、さらに平成20年3月には竹田敏一教授が定年退官し、福井大学附属国際原子力工学研究所の初代所長として移動したため、平成21年4月現在では北田孝典准教授と平田美江非常勤職員の2名での研究室運営となっている。

以上の間、研究活動としては、計算機性能や技術の大幅な進歩を反映し、大型計算機センターでの計算機利用から研究室所有のEWSまたはPCクラスターでの計算機利用へと変化し、研究内容としては感度解析・原子炉不安定性・MA消滅処理・新型炉開発・計算コード開発（ノード法、MOC、動特性など）・モンテカルロなど、KUCAでの実験も進めながら主にシミュレーションによる研究開発が進められてきた。

また大学の組織が大きく変更されてきたことに伴い、旧来の1研究室1講座体制から3～4研究室で1講座の体制となり、平成21年4月現在では、量子エネルギー工学講座・核エネルギー工学領域が旧第5講座を表す名称となっている。



関谷全先生叙勲(瑞宝章(中綬章))記念祝賀会にて(平成19年1月)



竹田敏一教授還暦記念パーティーにて(平成 17 年 12 月)

## II-6-1 原子力工学第六講座（環境エネルギー材料工学領域）

平成 8 年に大講座制となって以降、平成 10 年、柳助教授が退官したあと在籍する教官は宇埜正美助手のみであったが、平成 10 年 4 月に、原子炉材料学領域（旧二講座）から、山中伸介助教授が移動して教授となり、8 月には、宇埜助教授、黒崎健助手を加えた 3 名の体制になった。

この新体制になった直後より、それまでの核燃料・原子炉材料学の研究の中でも、特に被覆管を含む燃料の炉内挙動の研究をより発展させるため、核燃料物質の取り扱いが可能な実験室の整備、レーザーフラッシュ法、超音波音速測定装置をはじめとする燃料物性の評価装置等の整備を進めた。また、原子炉材料学領域と共同で、電子顕微鏡および X 線回折装置の更新も行った。このころの主な研究内容としては、Zr 合金の水素吸収特性、ウラン化合物の熱物性・機械物性評価があげられる。前者ではバルク状の Zr 水素化物を合成し、引張試験等によりヤング率などの物性を測定し、世界ではじめてバルク状 Zr 水素化物の機械的性質を報告した。後者では  $UO_2$  に FP 元素を添加した模擬照射済燃料を合成し、比熱、熱伝導率などの物性を測定した。特に燃料ペレットを中心とする物性研究では、アクチニドや FP の蓄積効果など実験による評価が困難な部分について、分子動力学計算、分子軌道計算、熱力学計算などの計算科学的手法を併用する研究を国内外で先駆けて行った。この計算科学分野での研究成果により、後の平成 18 年に黒崎助手が日本原子力学会奨励賞を受賞することとなる。また、新たなエネルギー変換材料への展開として、光触媒、熱電変換材料の研究も開始した。特に、平成 14 年～18 年にかけて、産業科学研究所と共同で採択された 21 世紀 COE、「新産業創造指向インターナノサイエンス」が始まり、これまでの機能性材料に対してナノ領域での物性測定を行い、またナノ構造を制御した機能性材料の合成研究も行った。このうち陽極酸化アルミナに液相析出法を適用したチタニアナノホールアレイの合成方法は研究室で最初の特許となった。

この 21 世紀 COE では山中教授が教育評価を担当したため、神戸大学・大学教育センター・米谷助教授（当時）、原子力安全システム研究所・社会システム研究所と共同で FD セミナーなど授業のスキルアップに関する COE の様々な取り組みを研究室主体で行った。その成果は平成 17 年「学びに成功する「良い授業」とはなにか」というタイトルで大阪大学出版会から出版されている。また、この COE での実績をもとに、工学研究科で平成 15 年度から運用が開始された携帯電話等を用いた授業評価システムの構築についても、研究室として、ハードウェア、ソフトウェア両面での支援を行った。

なおこの間、平成 13 年に寺杣和子事務員補佐、平成 15 年に傘田浩明助手を採用し、また COE による予算などで小菅厚子、三浦彩美両特任助手を雇用し、一時はスタッフの数が 7 名にまで達した。



平成 17 年時の研究室メンバー

平成 18 年度から大学院が、平成 20 年度からは学部がそれぞれ環境・エネルギー工学専攻、環境・エネルギー工学科と改組されたのにあわせ、原子力材料以外、特に熱電材料の研究にも拍車がかかった。このころの熱電材料としては、タリウム化合物、ハーフホイスター化合物などで様々な成果をあげ、平成 17 年には、 $\text{Ag}_9\text{TlTe}_5$  が、その後、平成 20 年には、Tl 添加  $\text{PbTe}$  が世界トップクラスの成果をあげ、それぞれ国際熱電学会最優秀論文賞受賞および *Science* に掲載と、極めて高い評価を受けた。また平成 15 年に発足した日本熱電学会では、当初より山中教授が役員を勤めていたため様々な運営にかかわり、平成 19 年に大阪大学で行われた大会を運営した。

なお、平成 19 年 4 月より、助教授、助手が、それぞれ准教授、助教となった。



2008 年 7 月 25 日付 *Science* に、我々の熱電材料開発の研究成果が掲載された

この平成 18 および 20 年度の改組は国内の原子力（核）工学科（専攻）の中では最も遅い改組であったため、既に原子炉燃料材料、特にウランを用いた研究が行うことのできる大学がなく、この頃より国内の燃料・材料研究を一気に引き受けることとなる。燃料ペレットの研究としては、平成 14 年度より始まった電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省公募、（平成 17 年度からは JST 公募研究）などで窒化物燃料、MA 含有酸化物燃料

あるいは水素化物中性子制御材料などについて、模擬物質を用いた物性測定と計算科学を組み合わせ、照射にともなう物性予測などを行った。また被覆管の研究では JNES による安全基盤研究事業等で、軽水炉被覆管の水素化物析出に伴うき裂進展挙動評の計算評価などを行い、水素遅れ破壊のメカニズム研究を行った。このように JAEA や JNES などの実 MA 実験や照射試験研究結果の解釈を、模擬物質を用いた実験や計算科学によりバックアップする研究で、国内の燃料安全性研究に寄与した。上記の内、JST 公募研究では、山中教授が PO を勤めていた関係で自身が申請できなかったのにも係わらず、平成 14 年度～20 年度までに、代表・分担で合計 6 件の研究に係わり、他の原子力関連の競争的資金とあわせ、年間の競争的資金獲得額が最大で 1.5 億に達した。またその成果により牟田助教が JST の若手表彰を受賞している。

学内運営に関しては、平成 16 年の国立大学法人化直後より評価室員であった山中教授が、平成 18 年度より工学研究科評価室長となったため、工学研究科の評価システムの改修、個人評価・組織評価事業の確立の他、平成 20 年度の全学暫定評価書の作成などにも関与した。

また、平成 10 年の吹田地区の未登録核燃料物質の受入以降、宇埜准教授がボアランティアとして行ってきた核燃料物質の管理業務が、法律改正の対応等のため平成 20 年度より始まった核燃料物質の全学的な管理組織、安全衛生管理部・核燃料物質管理室の業務に組み込まれることとなった。今後、吹田地区の K 施設の受払の中継や廃棄物の引き取りを RI 実験室で一括して行うため、RI 実験室における許可使用量の増量、作業スペース確保、それにとともなう廃棄物の未臨界実験室への移動等をおこなった。その結果、平成 15 年度からの 6 年間で、総長裁量経費などの総額 2 億円弱の学内予算で RI 実験室、未臨界実験室等が整備された。

平成 10 年の新体制以降の主な研究室行事としては、平成 16 年 2 月 28 日に、井本正介先生の瑞宝章中綬章の叙勲記念祝賀会を行ったほか、旧第二講座に相当する BE 専攻・山本孝夫研究室と共同で、平成 19 年 6 月 16 日に、三宅正宣先生・千枝先生金婚式、平成 20 年 10 月 26 日には三宅正宣先生を偲ぶ会を行っている。



井本先生の叙勲パーティー

なお、宇埜准教授は、平成 21 年 4 月 1 日付で、福井大学に教授として転出した。これにより、若狭湾エネルギー拠点化計画の一環として敦賀に設置予定の附属国際原子力工学研究所と強固な研究教育における連携を進めていく予定である。