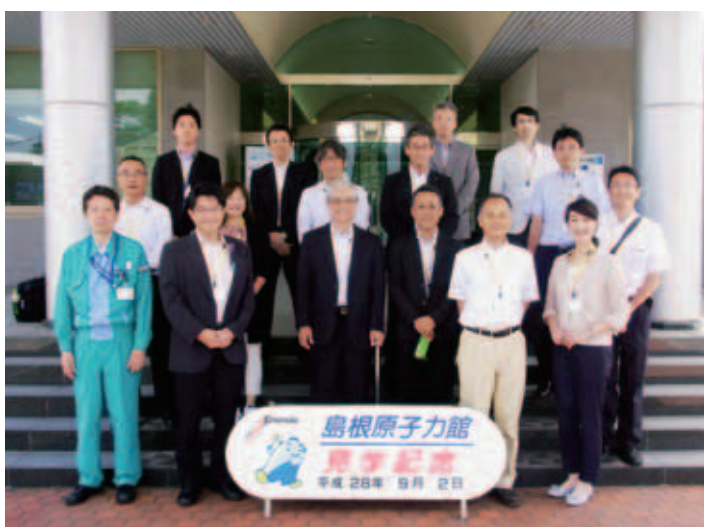




●核融合科学研究会ニュース 59●



平成28年度 総研大・核融合科学専攻「夏の体験入学」



核融合科学研究会 第26回 見学会

CONTENTS

平成28年度 総研大・核融合科学専攻 「夏の体験入学」	2
核融合科学研究会 第26回 見学会	4

平成28年度 総研大・核融合科学専攻「夏の体験入学」

核融合科学研究所（以下、NIFS）に併設されている総合研究大学院大学（以下、総研大）物理科学研究科 核融合科学専攻では、核融合科学分野の研究を意欲ある学生に広く周知し、将来の核融合研究を担う人材の発掘を目的として、平成16年度から毎年「夏の体験入学」を開催しています。第13回目となる今年度の体験入学は、8月22日から26日までの5日間の日程で開催され、全国の大学や高等専門学校から31名（内訳：大学生18名、高専生12名、社会人1名）が参加しました（写真1）。参加学生は全員、核融合科学研究所にある共同研究者用宿泊施設『ヘリコンクラブ』に合宿して、1週間の体験入学に臨みました。

総研大は、大学共同利用機関の最大の特長である優れた研究環境を活用して博士課程の教育を行い、世界に通用する研究者を養成することを目的に設立された大学院大学です。核融合研究は、プラズマ物理学、原子物理学、電気工学、低温・超伝導工学、材料工学、シミュレーション科学などの複合分野から成り立っていることから、本専攻には幅広い専門分野の教員が在籍しています。今回の夏の体験入学では、プラズマ実験・加熱・計測系、核融合工学系、解析・理論シミュレーション系から12課題が用意され（表1）、参加学生の希望に基づき、各課題に2～3名の学生が配属されました。課題は実際に行われている研究から選ばれており、教員の研究の進展に伴い毎年度内容が見直されているので、研究の最前線を体験することができます。

課題名	担当者
プラズマ実験・加熱・計測系	
放射線計測技術を用いたプラズマ中における高エネルギー粒子の閉じ込め研究	磯部光孝、西谷健夫、小川国大
HYPER-I 装置を用いたプラズマ計測実験	吉村信次
プラズマ加熱のための水素ビーム生成実験	中野治久、木崎雅志
プラズマ発生装置をつくる	徳沢季彦
プラズマ加熱用高周波パワー合成器の制御および応用	神尾修治、齋藤健二、吉村泰夫、辻村亨、牧野良平
真空蒸着によるイメージングボロメータ用薄膜検出器の開発	向井清史
プラズマ計測のための重イオンビーム生成実験	清水昭博、井戸毅
核融合工学系・自然科学系	
核融合液体増殖材中金属微粉末の高周波加熱による水素挙動制御実験	高山定次、八木重郎
核融合プラズマと壁の相互作用基礎実験	廣岡慶彦、芦川直子
解析、理論・シミュレーション系	
Python 言語を使ったイメージングデータ解析入門	大館暁、武村勇樹、成嶋吉朗
粒子シミュレーションで調べる運動論的プラズマ現象	大谷寛明、宇佐見俊介、長谷川裕記、森高外征雄
プラズマの平衡・安定性解析入門	鈴木康浩、渡邊清政

表1. 夏の体験入学実施課題



写真1. 竹入専攻長を中心に参加学生と課題担当教員・在校生との集合写真

第1日目は、午後から開校式を行い、各研究課題担当教員による課題概要紹介、参加学生の自己紹介が行われました。その後、大型ヘリカル装置（LHD）とシミュレーション施設の見学を行いました。夜には研究所の食堂『土岐っ子』において懇親会を行い、参加学生同士の親睦を深めるとともに、教員や総研大在校生との交流を行いました。

第2日目は朝礼後、『文明を1万年続けるために』と題した竹入康彦専攻長による特別講義がありました（写真2）。地球上における環境やエネルギーの問題やそれを背景とする核融合研究の必要性、核融合発電の原理や最新の研究成果から今後の研究への展望まで、核融合研究全般について学びました。その後は、各課題に分かれてそれぞれの研究課題に取り組みました。夕食後は、ヘリコンクラブの交流サロンにて、研究者になるためのキャリアビルディングに興味がある学生を対象にインフォーマルな座談会を行いました。自由参加にもかかわらず全参加者が集まり、異なるキャリアパスを持つ3人の核融合科学専攻の教員をパネリストとして、どのようにして研究者になったのかについての話を聞いてから、研究内容から私生活まで、関心のあることについて、さまざまな質問が出されていました。

第3日目と4日目は、終日研究課題に取り組みました（写真3）。研究室での研究課題が終わってヘリコンクラブへ戻った後も、多くの学生が交流サロンに集って、夜遅くま

で、データ解析や成果のまとめ方について熱心に議論していたことがとても印象的でした。

最終日は、各研究課題の成果報告会が行われました。まず、課題ごとに1分間で研究概要を説明した後、ポスター形式の研究成果報告を行いました。ポスター発表へは、夏の体験入学に参加した指導教員だけでなく、多くの教員や総研大在校生も参加して、学生たちの研究成果について議論が行われ、大変活気のある発表会となりました（写真4）。報告会での感想や体験入学後のアンケートからは、本事業への満足度が大変高いことがうかがえました。夏の体験入学における経験が、学生たちの今後の進路決定に役立つことを願うと同時に、将来、ともに核融合研究を行う若手研究者が現れることを期待しています。なお、これまでの体験入学の課題概要や参加学生の体験談などを、総研大ホームページ（<http://soken.nifs.ac.jp/open/index.html>）で公開していますので、ご参照ください。

最後に、本体験入学は、総研大の「新入生確保のための広報的的事业」および「コース別教育プログラム」、ならびに、核融合科学研究会からのご支援により実施することができました。ここに厚く御礼申し上げます。

（文責 坂本隆一
核融合科学研究所 ヘリカル研究部 教授
総合研究大学院大学 物理科学研究科 核融合科学専攻/併任）



写真2. 竹入専攻長による特別講義



写真3. 研究体験の様子



写真4. 最終日のポスター形式による研究成果発表

核融合科学研究会 第26回 見学会

平成28年9月1日から2日にかけて、島根県松江市の中国電力島根原子力発電所を訪問する見学会が開催されました。総勢15名の参加でした。

前日に松江市に入った一行は、翌日9月2日に中国電力島根原子力発電所へ向かいました。松江市内からはバスで30分程度の距離に位置しており、周囲を山と海に囲まれた自然あふれる環境です。島根原子力発電所は3基の原子炉を有しています。1号機は昭和49年3月29日の営業運転開始から40年を超える営業運転を終え、平成27年4月30日に営業運転を終了しました。国産第一号の沸騰水型原子力発電炉で、その定格電気出力は46万キロワットでした。平成元年2月10日に営業運転を開始した2号機は1号機同様の沸騰水型で定格電気出力は82万キロワット、1号機に比べて燃料取り換えの自動化や制御棒駆動の高速化が図られています。建設中の3号機は改良型沸騰水型を採用し、定格電気出力は1号機と2号機を合わせた出力を上回る137.3万キロワットです。

島根原子力発電所の広報施設である原子力館に到着した一行は、島根原子力発電所の小川副所長のお出迎えを受けました。会議室に案内され、島根原子力発電所の安全対策に関する説明を受けました(写真1)。平成23年の東日本大震災以降、全国の原子力発電所に要求される安全水準が高まっています。島根原子力発電所においても様々な状況に対応できるように追加の対策がとられていました。福島第一原子力発電所事故の教訓から、巨大地震などの災害における原子力発電所の取るべき対応は、①原子炉の運転を止める、②原子炉を冷やす、③放射性物質を閉じ込める、の三点にまとめられます。福島第一原子力発電所では、「①止める」ことは成功しましたが、外部電源の喪失により「②冷やす」以降の対応ができませんでした。島根原子力発電所では、地震・津波などへの備えを強化し、重要設備を保護するとともに、重要設備が被害を受ける事態も想定し、代替冷却手段を確保する対策がとられていました。さらに、万が一、重大事故が発生しても環境への影響を最小限に抑



写真1. 会議室にて説明を受ける

え、重大事故の進展を止めるための対策も取られていました。

地震に対する備えとしての設計・建設段階の対策は、徹底した活断層調査と地震動評価、および地震動に対する設備の安全性評価にあります。それらは最新の知見が適宜反映され、これらの評価に基づいて原子炉建物は強固な岩盤上に建設されました。運転中の地震対策は、原子炉の自動停止機能ですが、これは福島第一原子力発電所の事故の際も正常に機能しました。さらに安全性を向上させるため、安全上重要な機器や配管の補強が行われました。具体的には、熱交換器の支持構造物の補強や、通信鉄塔の高台での設置などが挙げられます。想定高さ海拔9.5mの津波に対する備えの強化として、海拔15mの防波壁により津波の浸入を防ぎ、万が一、浸入した場合でも建物内外の水密扉で防ぐなど、多重の対策がとられています。また、冷却用海水の取水ポンプの周囲にも防水壁を設置し、さらに、引き波発生時にも海水を取水できるように改造が施されました。津波対策だけでなく、火山、竜巻、火災、建物内部での漏水などについても詳細に検討され、その対策がとられていました。

これらの災害に対する備えだけではなく、被害を受けた場合を想定した対策も施されています。ここで重要な点は、前述の原子炉を「②冷やす」ことです。冷却に必要な要素は、「水」、「電源」、「設備(ポンプ等)」です。福島第一原子力発電所では、地震・津波の影響により「電源」と「設備」を失ったことで冷却機能を喪失し、事故が拡大しました。そこで、多種多様な代替冷却手段を確保するようにしました。電源喪失対策としてはガスタービン発電機の配備や、蓄電池の強化増設などが挙げられます。このうち、ガスタービン発電機は空冷式を採用し、冷却水を不要としました。これにより、従来より備えている電源設備(1系統目)のバックアップとして2系統目の電源が確保され、さらに、3系統目の電源設備を設置する計画であるとのことでした。様々な冷却手段の確保として、海水ポンプが使用不能となった場合においても原子炉の熱を海に逃がすことができる移動式代替熱交換設備の配備が行われました。また、冷却用水の注水手段の冗長化として、専用水槽を備える常設の地下式注水設備の設置や、注水配管の多重化、電源不要の送水車の配備などが行われました。冷却用水源を確保するために、非常用ろ過水タンクの増設や貯水槽の密封化が行われました。さらに、緊急時には海水を直接原子炉等へ導入することを想定した水中ポンプ車や可搬式ポンプの導入も進められました。このように、多種多様な冷却手段を準備することにより、原子炉を「冷やす」体制が整えられています。

さて、このようにして事故を食い止める対策が施されていますが、それでも「事故は起こりうる」との前提に立っ

た対策も取られています。福島第一原子力発電所の事故では、冷却機能を喪失し、格納容器が高温・高圧となり破損しました。それを回避するためには、減圧措置（ベント）が必要になりますが、その際の環境への影響をできる限り低減する必要があります。放射性物質の放出を最小限に抑えるために、粒子状物質の99.9%、無機ヨウ素99%、有機ヨウ素98%の除去効率を有するフィルタを用いたフィルタ付きベント装置が設置されました。また、水素爆発による建物損壊を防ぐために、建物内に水素検知器および、触媒による水素処置装置が設置されました。これにより、万が一水素が漏れ出ても、爆発に至る前に検知・処理する対策が施されました。さらに、建物の損壊により環境中へ放射性物質が放出される場合を想定して、放水砲によって放射性物質を打ち落とす対策も取られています。

以上のような説明を受けた後、一行は島根原子力発電所構内に向かいました。入り口で厳重な身分確認検査が行われました。これは、中国電力の社長であっても同等の扱いを受けるとのことで、厳重な管理がなされているという印象を受けました。一行が構内に入っていくとすぐに貯水槽が見えてきました。先ほどの説明にあった密封化された貯水槽で、地震の揺れに伴う溢水や、固有振動による水槽の破壊を防止できるとのことです。そして、高台に建設中の空冷ガスタービン建屋の脇を通るとき、「発電機が本日納入される」との案内がありました。日本海を望める高台からは、海拔15mの防波堤がぐるりと取り囲んでいる様子が見えました。一行は1号機および2号機の建屋の外観を見ながら進みます。1号機よりも2号機の方が大きいのは、定格電気出力に依っているとのことでした。それぞれの建屋に隣接して通常排気のための巨大な煙突が立っています。それとは別に、緊急時用のフィルタ付きベント装置の配管が建屋の壁に沿って取り付けられているの見えました。一行は免振重要棟へ案内されました。ここは、大規模地震などによって原子力発電所の事故が発生した場合に備えて復旧作業員の収容等の機能を有する建屋で、構内の高台（標高55m）に設置されています。免振重要棟の周りは最悪のシナリオを想定して作られた厚さ50cmのコンクリート壁で囲われており、外部からの支援がない状態において、300人の人員が1週間対応することが可能となっています。モニタリングスペースを通過して免振重要棟に入り、緊急時対策本部室へ案内されました（写真2）。ここは、事故時に意思決定や指揮命令などを行う機能を有しています。現在は、この緊急時対策本部室と同じ機能を有しつつ縦揺れの地震にも対応可能な耐震構造の緊急時対策所の建設が隣の敷地で進められていました。

免振重要棟を後にした一行は、建設中の3号機に向かいました。途中、前方の坂をみると、巨大な車両がのろりのろりと移動しているの見えました。これこそが、敷地に



写真2. 免振重要棟 緊急時対策本部にて

入ってすぐに目にしたガスタービン発電機を運搬している場面でした。発電機の運搬車両とすれ違ったあと、さらに構内を進みます。あちらこちらに送水車両が止められているのが目に入りました。これは、送水車両を敷地内各所に分散配置することにより、万が一の場合の被害も分散させるためであるとのことでした。

やがて3号機建屋に到着しました。3号機は建設中で運転開始前ですので、一行は上履きに履き替えただけで建屋の中に入りました。初めに案内されたのは中央制御室でした。2号機の制御室は、記録紙を用いた記録計や多くのスイッチ類や表示灯、警告灯が並んでいますが、それに比べて3号機の制御室は全体的にすっきりした印象で、「改良型中央制御盤」はタッチパネルを利用した操作系や、系統別の警報表示などが採用されており運転操作・監視のしやすさが大きな特徴ということでした。発電所の運転状況が一目で見渡せる大型表示板で確認して、操作用ディスプレイに表示されるスイッチを操作できるので、情報の共有化が容易になり、ヒューマンエラー防止に配慮した設計となっています。原子炉は基本的に13か月連続の定常運転が求められることから、運転停止・起動などに関連した無理な自動化は採用していないとのことでした。制御室の次は、発電タービンへ案内されました。タービンは、くし形6流排気復水式（再熱式）を採用し、回転数は毎分1800回転、流量は毎時約7300トンです。これに接続された発電機は回転界磁形3相交流同期発電機を採用し、発電機定格電気出力137.3万キロワットを生み出します。

引き続き、格納容器内部へ案内されました。防護服に着替えることもなく、運転開始後は見学者は立ち入ることのできない領域に進みます。格納容器内部に入ると压力容器からタービンへとつながる蒸気パイプが目飛び込んできました。人間が抱えきれないほどの太さの蒸気パイプには弁が設置されており、事故時には閉止して放射性物質の拡散を防ぐ措置が講じられます。引き続き一行は压力容器の直下に移動しました。205本の制御棒はまだ装着されていませんでしたが、この3号機の制御棒は、従来型の水圧駆

動に加えて電動機駆動でも操作できるようになっており、通常時の制御棒の駆動は電動で行い、細かな調整が可能になります。緊急停止時には水圧で駆動し、電動機がこれを補助します。制御棒の駆動系の多重化により、信頼性・安全性が一層向上するとのことでした。この压力容器の真下という場所は、運転開始後は小川副所長でさえめつたに来ることのない場所とのことでしたので、私たちは非常に貴重な経験ができました。その後、圧力制御プールに案内されました。かなり深いプールにはまだ水は張られておらず、壁に沿った各種の冷却用配管などを見ることができました。ここで小川副所長は、原子炉の安全のためには水による冷却が欠かせない要素であるということをおっしゃられました。「水さえ確保すれば、なんとか対処できる」そんな決意にも似た熱意を感じました。ここで施設の見学は終了となり、最初に訪れた原子力館に向かいました(写真3)。私たち一行は、普段であれば見学者は絶対と言っていいほど立ち入ることのできない压力容器のそばを見学できたことに興奮を覚えながら今回の見学会を終えました。

帰宅の途に就く道すがら、松江城の周辺を散策する時間がありました。そこで見つけたのが「電気発祥之地」の石碑でした(写真4)。碑には「明治二十八年十月一日松江市の産業文化発展のために桑原羊次郎 織原万次郎 山本誠



写真4. 「電気発祥之地」の碑

兵衛 清原宗太郎各氏らの奔走によりこの地に松江電燈株式会社の発電所が建設され市内で始めて二五〇燈の明りがつきました」とありました。今から120年前に点灯した電燈に思いを馳せ、発電の原点を垣間見るとともに、時代に求められる電源とは何か、将来の核融合発電所に求められるものとは何か、その実現のためにすべきことは何か、などを考えつつ松江の小道を歩きました。

このたびの見学会では、中国電力株式会社様にご多大なるご協力をいただきました。ここに御礼申し上げます。また、中部電力株式会社 渡邊 浩孝様には、お忙しい中、中国電力様との連絡・折衝に貴重な時間を割いていただきました。改めて感謝申し上げます。

(文責 成嶋吉朗)

核融合科学研究所 ヘリカル研究部 助教
総合研究大学院大学 物理科学研究科 核融合科学専攻/併任)



写真3. 見学を終えて原子力館前にて

編集後記

早いもので、平成28年も終盤となりました。振り返りますと、激動の時代を予感させる出来事が多かった一年のように思います。

本年中の皆様方のご協力を深く感謝申し上げますとともに、来年も、ますますのご理解とご支援を賜りますようお願い申し上げます。

どうぞよいお年をお迎えください。



核融合科学研究会ニュース
第59号 (2016年12月)

融 會

編集・発行

特定非営利活動法人核融合科学研究会

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6 TEL 0572-58-0622/FAX 0572-58-0626

E-mail: yu-kwai@tcp-ip.or.jp URL: <http://www.nifs.ac.jp/yu-kwai/index.html>

(融會バックナンバーも掲載しております。是非ともご高覧下さい。)