

研究紹介シリーズ ⑪ エネ研シンクロトロンの開発研究

若狭湾エネルギー研究センターの加速器施設は、タンデム加速器とそれを入射器としたシンクロトロンによって構成されています。シンクロトロン（図1）は、陽子を200MeV、炭素イオンを660MeV、Heイオンを220MeVまで加速することができます。これらのイオンビームは、がん治療の基礎研究（陽子）、微生物/植物の品種改良（主に陽子、炭素イオン）、宇宙の放射線環境の模擬による宇宙用太陽電池の劣化評価試験（陽子）など、幅広い研究に利用されています。2009年度までは、陽子線がん治療の臨床研究にもビームを供給してきました。

多くの実験に対応したビームを安定に供給すべく、加速器の性能（ビーム電流量の増強および安定性の向上）を高めるべく、継続的に開発の努力が行われております。近年は、真空度向上による炭素イオンビームの電流量の増強および加速高周波の制御システムの高度化に取り組んでいます。

真空システムの改良

シンクロトロン内の真空度が十分でないと、残留ガスとの衝突によりビームロスの原因になります。とくに、炭素イオンのような重イオンの場合は、荷電交換によりビームロスが顕著になります。建設時のシンクロトロンの真空度は 8.6×10^{-6} Pa程度で、炭素イオンビームのビームロスの大きな原因になっていました。そこで、O-ringの材質の変更（ニトリルゴムから耐放射線性の高いバイトン®：フッ素ゴムへ）、真空ポンプの置き換え（イオンポンプ[140L/min]2台をクライオポンプ[4000L/min]に）、ベーキング（真空容器加熱による内壁残留ガスの追い出し）を行うことにより、 7.5×10^{-7} Pa程度まで向上させることができました。この結果、**図2のように加速中の電荷量（ビーム電流量に比例）の低下を大幅に抑えることができました。**さらにシンクロトロンの真空度の向上、および炭素イオンビームの電流量の向上に向けて開発をすすめています。

加速高周波の制御システム

シンクロトロンにおける加速高周波は、ビーム加速だけでなく、軌道制御およびフィードバックによる不安定性の抑制を行います。これまで、ビーム位置モニタで検出されたフィードバック信号をアナログ発振器であるVCO (Voltage Controlled Oscillator) を経由して、加速高周波に重畳していましたが、デジタル発振器 (Direct Digital Synthesizer) に直接反映させるシステムを構築しました。これにより、**加速高周波の安定性が向上し、出射電流量の増加および安定性の向上が期待できます。今後、加速器の実稼働試験を行う予定です。**



図1：シンクロトロンの外観

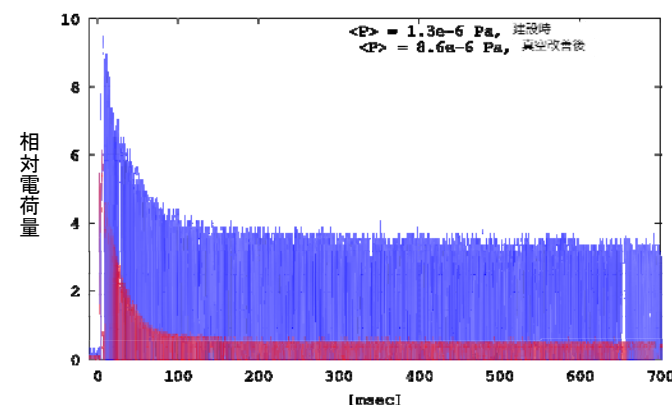
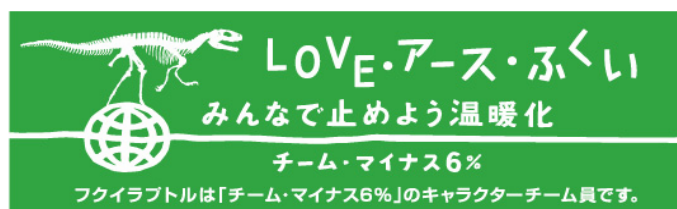


図2：炭素イオン加速時（20 MeV → 660 MeV）の時のシンクロトロン内の電荷量の変化（赤：建設時、青：真空度向上後）。真空度向上により電荷量低下が大幅に改善。



アジア原子力人材育成会議を開催！

福井県国際原子力人材育成センターでは、3月9日に「**アジア原子力人材育成会議**」を開催しました。この会議は、内閣府と原子力委員会が実施する「第13回アジア原子力協力フォーラム (FNCA) コーディネーター会合」の一環として行ったもので、オーストラリア、バングラデシュ、中国、インドネシア、カザフスタン、韓国、マレーシア、モンゴル、フィリピン、タイ、ベトナムと、日本から町末男コーディネーター、秋庭悦子原子力委員など、12カ国の代表者26人が参加しました。

アジア原子力人材育成会議レポート

会議では、満田誉副知事の開会あいさつに続き、福井県国際原子力人材育成センターの河西俊一センター長が、若狭湾エネルギー研究センターが行う研究開発や、海外の行政官・技術者等を対象とした研修事業等について発表を行いました。発表の後、各国にとってどのような人材育成が必要で、そのニーズに福井県国際原子力人材育成センターがどのように応えていけるか意見交換・討議が行われ、以下のような意見が出されました。



会議風景



満田副知事によるあいさつ



河西センター長による発表

- 陽子線がん治療や植物の品種改良等を行っている若狭エネ研の研究開発については、非常に興味深く、今後の研究協力を進めてほしい。
- 海外から研究者、学生等を積極的に受入れ、交流を推進するとともに、これらの機関との共同研究等の実施を期待する。
- 福井県国際原子力人材育成センターが海外研修生を対象に実施する研修は、県内の施設や人材を有効に活用した実践的なプログラムであり、また、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえたカリキュラムが充実しており、非常に有益で評価される。
- 今後、地元理解 (PA)、環境モニタリング、オフサイトセンターの機能についての研修のさらなる充実に加え、海外への講師派遣等を期待する。

今後、福井県国際原子力人材育成センターは、今回の会議でいただいた各国からのニーズに応えるべく、事業のより一層の充実に努めるとともに、参加国とのネットワークを強化していきます。

若狭湾エネルギー研究センター特別講演会開催

2月29日（水）、「財団法人若狭湾エネルギー研究センター特別講演会・施設見学会」を、大学や民間企業の方々にご参加頂き、福井県若狭湾エネルギー研究センター第1研修室で開催しました。

この講演会は当センター職員の研修会も兼ねて実施したもので、職員にとっても最先端のナノテクノロジー研究開発に触れることができる貴重な機会となりました。



若狭湾エネ研 小林所長



東京大学 神原准教授

まず、当センターの小林紘二郎所長の講演「ナノテクノロジーのエレクトロニクス実装への適用」が行われ、融点が960℃の銀をナノ粒子（原子数個から分子レベル）にすることにより表面が活性化され250℃程度の比較的低温で異種金属に接合でき、接合後はもとの銀がもっている融点となるため、大電流・高温対応のエレクトロニクス実装が可能となる有望な技術であるとの説明がありました。

次いで、東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻の神原淳准教授による講演「プラズマプレーPVDによるナノ複合Si-O-Cx系粉末の開発」では、リチウムイオン電池の負極材料にSiを利用することで現行のC系材料に比べ飛躍的な電池容量の向上が期待される反面、充放電に伴う体積膨張・収縮の繰り返しにより脆くなって寿命が短いという欠点があるため、これを解決するために、プラズマプレーPVD(physical vapor deposition)技術を用いてナノレベルで複合構造化(Si-O-Cx)することによって体積膨張の緩和（長寿命化）に取り組んでいるとの説明がありました。

また、講演後も活発な質疑応答が行われました。



写真 [左上] 照射室3（陽子線がん治療研究装置）の見学
[右上] 超高分解能高圧分析電子顕微鏡装置（TEM）
[左下] 10kW 大型太陽炉
[右下] タンデム加速器の見学

これら2つの講演の後には、希望者に対し、当センターの施設見学会を行いました。

当センターで行われている研究の概要を説明した後、多目的タンデム・シンクロトロン加速器システムや、10kW 大型太陽炉、超高分解能高圧分析電子顕微鏡装置（TEM）などの科学機器をご見学いただきました。

この施設見学を通じて、当センターに備えている50種類以上の科学機器を有効に活用し、地域の企業・大学等との共同研究や、技術相談や機器の利用、測定・分析ノウハウの提供などの支援を行っていることへご理解を深めていただくことができました。

エネルギー研究開発拠点化計画進捗状況

「福井大学・附属国際原子力工学研究所 敦賀キャンパス移転」

福井大学附属国際原子力工学研究所は、福井県内にある原子力施設を利用し、北陸・中京・関西圏の機関とも連携して、世界トップレベルの特色ある研究開発と実学に即した人材育成を目指して平成21年4月に設立されました。これまでは福井市内の福井大学文京キャンパスにありましたが、平成24年3月2日に、JR敦賀駅前の敦賀キャンパスに移転しました。それに合わせて、2月25日には敦賀市主催の竣工式、3月2日には研究所主催の開所式が行なわれました。開所式では、敦賀市鉄輪町に新築された建物内で、福田優福井大学長、田中敏幸県議会議員、河瀬一治敦賀市長、有馬朗人元文部大臣らによるテープカットが行なわれ、来賓の挨拶のあとは、施設見学や田中知（さとる）日本原子力学会会長による記念講演会が行なわれました。

福井大学附属国際原子力工学研究所は、昨年3月に発生した福島第一原子力発電所の事故を受け、これまでの研究開発部門を学問分野毎の名称に変更し、原子力防災・危機管理部門を設置しました。それにより、原子炉物理学、原子炉熱水力、原子炉燃料材料、原子炉構造システムなどの原子力エネルギーシステムの基礎に関する研究・教育に加えて、原子力防災・危機管理部門において、原子力の防災・危機管理を進展させ、新たな防災・危機管理技術を研究開発します。

また若狭湾エネルギー研究センターとの共同申請で採択された平成23年度原子力人材育成イニシアティブ事業である「福井の人材育成機能等を活用した原子力の安全・国際協力に資する人材育成」において、原子力安全・防災・危機管理における人材の育成に向けた取り組みを進めていきます。



開所式テープカット



田中知原子力学会会長記念講演会

