

研究室紹介

名古屋大学大学院工学研究科 材料 デザイン工学専攻 シンクロトロン 光応用工学研究グループ

名古屋大学シンクロトロン光研究センター；

教授 高 嶋 圭 史
准教授 伊 藤 孝 寛

我々の研究室名は、工学研究科においては「材料デザイン工学専攻先端計測分析講座シンクロトロン光応用工学研究グループ」であるが、著者の二人とも名古屋大学シンクロトロン光研究センター(名大SRセンター)に所属しており、工学研究科を兼務している。高嶋は加速器物理学が専門で、公益財団法人 科学技術交流財団・あいちシンクロトロン光センター(あいちSR)⁽¹⁾光源課を兼職し、あいちSRの光源加速器の運転、整備等に関わっている。一方で、伊藤の専門は物性物理学であり、同じくあいちSRにおいてビームライン課を兼職し、あいちSRをはじめとするシンクロトロン光利用施設において、光電子分光法により材料の電子状態の解明を行っている。

専門の異なる我々が工学研究科において1つの研究グループを構成している理由は、あいちSRとして結実した名古屋大学のシンクロトロン光利用施設の建設計画に大きく関係している。名古屋大学では、1991年頃から有志によりシンクロトロン光利用施設計画が進められており⁽²⁾⁽³⁾、当時より

工学研究科所属の教員が中心となって活動を進めてきた。その後、現在のあいちSRとなる「中部シンクロトロン光利用施設(仮称)」計画が現実動き出す中で、計画を推進するための中心となる研究室を配置するため、加速器を担当する高嶋と、シンクロトロン光ビームライン及び測定装置を担当とする伊藤の二人が、2010年4月に当時のマテリアル理工学専攻材料工学分野において1つの研究室を構成することとなった。

あいちSRは、現時点で国内で最も新しいシンクロトロン光利用施設である。建屋の建設は2010年夏にはじまり、1年後には加速器装置類の搬入、組み立て、シンクロトロン光ビームライン装置類の設置等が行われ、2012年3月に加速器の調整運転がはじまった。2012年7月18日には電子蓄積リングから初めてシンクロトロン光の放射(First Light)が確認され、シンクロトロン光ビームラインや測定装置の調整を経て、2013年3月26日に施設の供用が開始された。

あいちSRの設計では、これまでに蓄積された多くの知見と経験を踏まえながら独自のアイデアも盛り込み、比較的小規模であるが、線形加速器、ブースターシンクロトロン、電子蓄積リングの3種類の加速器を備えている。そのため、供用開始当初からトップアップ運転が出来ている(光が常に一定)。施設の面積を抑えるために、電子蓄積リングの内側にブースターシンクロトロン、さらにその内側に線形加速器を配置している(図1)。

シンクロトロン光は、周回している電子などの荷電粒子がその軌道を磁場によって曲げられた所で発生する電磁波である。最近のシンクロトロン光利用施設では、光源としてアンジュレータと呼ばれる磁石列を配置した装置が導入されることが多く、電子ビームはアンジュレータによる周期的な磁場の影響を受けて、ある波長で非常に輝度の高いシンクロトロン光を発生する。あいちSRでも1台のアンジュレータが導入されている。シンクロトロン光の発生源として、電子を周回軌道に沿って曲げる偏向電磁石からの光の利用も行われて

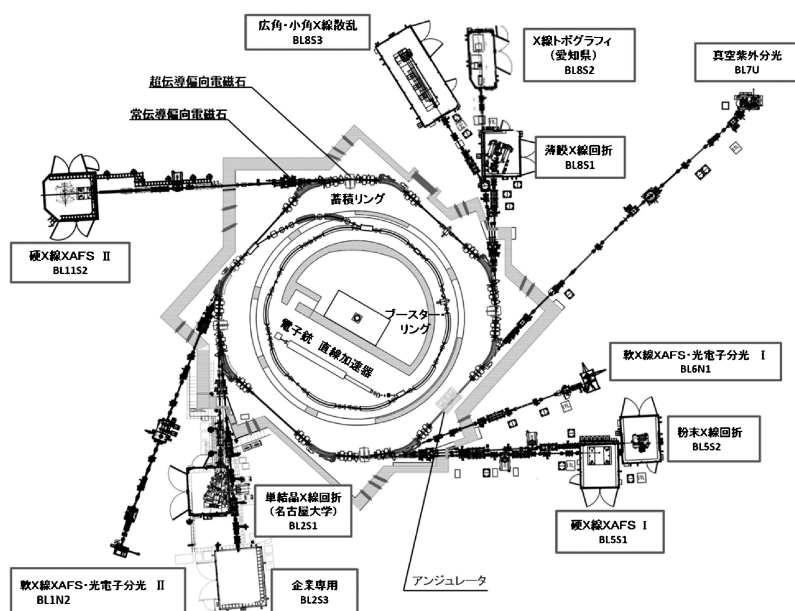


図1 あいちシンクロトロン光センターにおける加速器およびシンクロトロン光ビームラインの配置。

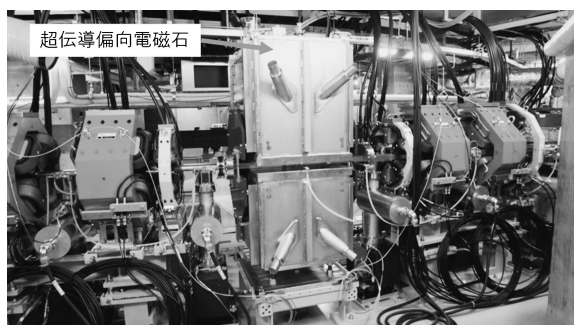


図2 あいちシンクロトロン光センターの超伝導偏向電磁石。

いるが、多くは常伝導電磁石を用いたものである。あいちSR加速器の最大の特徴は、シンクロトロン光の発生源として超伝導偏向電磁石(図2)も採用している点にある。あいちSRは、名古屋大学における初期の計画段階から、工学分野での利用が想定されており、光のエネルギーとして20 keV程度の硬X線領域のシンクロトロン光を実用的な強度で発生することが求められていた。小規模の施設でこれを実現するための方法として、蓄積リング内の電子ビームのエネルギーを1.2 GeVと低めに設定して周長を短くし、12台の偏向電磁石のうち4台をピーク磁束密度5 Tの超伝導電磁石とすることにより、26 keV程度のX線まで利用が可能となっている。この超伝導電磁石は、液体ヘリウムなどの冷媒を使用せず、4K-GM冷凍機による直接冷却方式を採用しており、米国バークレーのシンクロトロン光利用施設であるALSなど、一部での使用例はあったものの、光源加速器に用いられる例は少なかった。分子科学研究所 UVSOR や KEK-PF, 放射線医学総合研究所(当時)の協力を得ながら、私たちの研究室で電子ビームへの影響の評価や、テスト機を用いた冷却、励磁実験を行うなど検討を行った。

研究室内の加速器グループでは、あいちSRの計画段階より加速器の構成や加速器中での電子ビームの運動、発生するシンクロトロン光の強度などの検討を行い、施設が完成した後は各加速器において電子ビームを正常に加速、蓄積するための調整運転や加速器の整備等を行ってきた。また、将来に向けた加速器の性能向上の提案についても基礎研究を行っている。これらは、ビーム物理学分野における研究課題であり、研究室に配属される学生数名のうちの2/3に加速器のグループに入ってもらい、名古屋大学シンクロトロン光研究センターやあいちSR、さらには UVSOR の加速器関係者とともに研究を進めている。

あいちSRにはシンクロトロン光を利用するためのビームラインが現在11本設置されている(図1)。伊藤は、この中のBL7Uと呼ばれているビームラインおよび測定装置を利用して、共同研究者や学生とともに様々な材料の電子状態に関する研究を行っている。

材料における機能特性を支配する「電子状態(バンド構造およびフェルミ面)」を表面-界面-バルクにおいて明らかにすることは、種々の機能性が発現するメカニズムを理解する上で最も直接的なアプローチとなる。角度分解光電子分光法(ARPES)は、励起光を試料に照射した際に表面から放出さ

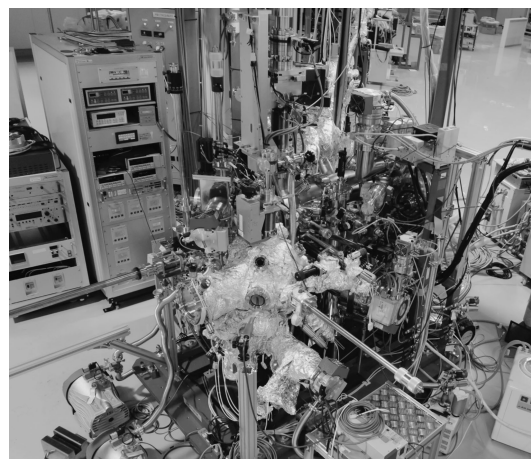


図3 あいちシンクロトロン光研究センターにおける真空紫外ビームラインBL7Uに設置された角度分解光電子分光装置。

れる光電子の運動エネルギーを放出角度の関数として検出することで、材料表面や内部の電子状態を直接観測する強力な手法として知られている。特に、シンクロトロン光を光源として利用したARPES法は、高輝度シンクロトロン光のエネルギー可変性、マイクロフォーカスおよび直線/円偏光特性を利用することで、電子状態を3次元逆格子空間における特定の点において選択的に、電子軌道対称性や空間ドメイン構造単位まで分離して観測することができる。そのため、材料の機能特性を決定づける相互作用を明らかにする上で特に重要な手法となる。当研究室では、BL7Uにおいて、愛知県やあいちSRのスタッフとの協力のもとで、機能性材料の機能性メカニズム研究を目的とした装置の開発(図3)を行い、開発した装置を用いた電子状態の直接観測から、材料の機能性発現のメカニズムに対する知見を得、これまでにない新たな機能性マテリアルの創出へとつなげることをコンセプトとした電子分光物性研究を推進している。更に、実空間画像により試料表面における測定位置をモニタしながら計測可能なマイクロスコープを用いた試料位置モニタシステムなどを開発・設置などの整備も並行して行い、ユーザー利用促進の側面においても貢献している。

我々の研究グループはこれまであいちSRの計画、建設後の加速器やビームライン・測定装置の調整、高度化などに関わってきた。今後もそれらを継続して行うとともに、所属する専攻をはじめ、名古屋大学や他大学、あるいは企業からのシンクロトロン光利用者の研究開発が進むよう努力していきたい。

文 献

- (1) <http://www.astf-kha.jp/synchrotron/>
- (2) 高嶋圭史, 加藤政博, 渡邊信久, 保坂将人, 竹田美和, 山根隆, 曾田一雄: 放射光, **21**(2008), 10-19.
- (3) 竹田美和, 渡邊信久, 高嶋圭史, 加藤政博, 保坂将人, 伊藤孝寛, 山本尚人, 曾田一雄, 桜井郁也, 原玲丞, 八木伸也, 竹内恒博: 放射光, **23**(2010), 88-95.

(2019年1月31日受理) [doi:10.2320/materia.58.276]
(連絡先: 〒464-8603 名古屋市中千種区不老町)