

中部シンクロトロン光利用施設の建設がスタート

竹田美和^{1,2}, 渡邊信久^{1,2}, 高嶋圭史^{1,2}, 加藤政博^{1,3},
保坂将人^{1,2}, 伊藤孝寛^{1,2}, 山本尚人^{1,2}, 曾田一雄^{1,2},
桜井郁也¹, 原 玲丞¹, 八木伸也², 竹内恒博⁴

¹名古屋大学シンクロトロン光研究センター 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

²名古屋大学工学研究科 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

³自然科学研究機構分子科学研究所 〒444-8585 岡崎市明大寺町字西郷中38

⁴名古屋大学エクトピア科学研究所 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

要旨 中部シンクロトロン光利用施設の建設がいよいよスタートした。本誌2008年1月号で、光源加速器を中心にこの施設の概要を紹介したが、本トピックスでは、愛知県の「知の拠点」事業における本施設の位置づけを踏まえつつ、それ以後の紆余曲折とそれに伴う設計の変更、ビームラインの仕様について記す。

1. はじめに

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）（以下、仮称を省略）の建設がついにスタートした。2010年12月4日が実質発進の日付けである。本誌の2008年1月号に「中部シンクロトロン光利用施設（仮称）計画」と題するトピックス記事¹⁾を掲載してほぼ2年目となる。そこでは、4年後の供用開始を念頭に書いたが、その時あたかも世界的大不況に突入しており、しかし、この計画だけは実行するとの表明がなされていた。とは言え、税収の落ち込みには如何ともし難く、2009年2月初めに建設そのものは1年間先送りとなった。但し、敷地造成工事には着手した。

折しも、文部科学省の「地域産学官共同研究拠点整備事業」（全都道府県に対してそれぞれ1件の提案）が補正予算として計上され、その主旨が、縦から読んで横から読んでも、我々が数年来訴えてきた地域の産学官連携事業と完全に一致し、拠点となる建物を中心に、相当練られた細部まで精度の高い申請書を提出した。これを受けて、愛知県は「知の拠点」^(注1)事業が着工できる予算を9月議会で成立させた。しかし、政権交代により、この事業計画の予算規模が当初の695億円から約1/3の263億に縮小され、修正提案を求められた。新たな箱モノはだめ、との新政権の方針で、装置中心の事業となったが、もともと総合

的な産学官連携拠点を目指して準備をしていたので、あらゆる変更に対応可能で、ここでもビームラインと測定装置系について信頼性と説得性の高い申請書を提出することができた。

採否の発表は12月4日にあり、全国の採択事業中最高額で認められ、即日、「知の拠点」事業の早期開始が決まった、という事の次第である。

まさに激しい荒波に遭遇したが、現在では発注作業も着々と進んでおり、2012年度中の供用開始を目指して、関係者一同精力的に推進しているところである。

本誌の2008年1月号のトピックス記事「中部シンクロトロン光利用施設（仮称）計画」では光源を中心に全容が記述されているので、本記事ではその後の有為転変や施設の変更点とビームライン等について、記述する。

2. 知の拠点と中部シンクロトロン光利用施設

2.1 予定地の断層と設計変更

Fig. 1は、「知の拠点」全施設の鳥瞰図である。この図の奥行き方向は、東部丘陵線（リニモ）の線路とは20度の角度を成しているが、設計の当初は平行であった。ここにもドラマがあり、岩手・宮城内陸地震が活断層によるものであったことが影響している。知の拠点の予定地の北東部に猿投山北断層（推定活断層）があることは分かっていた。また、予定地周辺の工事（リニモなど）でも断層が見つかったが、予定地は断層線の延長あるいは推定される線からははずれるものの、丁度岩手・宮城内陸地震が発生したところでもあり、活断層の専門家の「念のためにトレンチ

^{注1} 次世代モノづくり技術の創造・発信拠点。中部シンクロトロン光利用施設とともに、先導的中核施設に高度なレベルの計測・分析機器を配置し、技術者、コーディネータ、事務組織、研究室を備えた研究・開発総合センターをつくるもの。もともと名古屋大学が「光科学ナノファクトリー」として2003年に提案していた構想と方向が合致。



Fig. 1 Bird's eye view of "Knowledge Hub" located very near to LINIMO station.

を掘って調査しては」との意見に従い、断層が推定される線に直行する方向に調査トレンチを掘ったところ、2本の存在が確認された。猿投山北断層自体は、5千年程度の周期で現在2~3千年あたりと言うものの、時が時だけに、検討委員会を構成して慎重な議論をしたが、もともとこの地域の地盤は周辺他地域より優れており、予想断層線から1~2m離して基礎を建設すればよいということになった。実際には更に慎重を期して、3m以上離すことになった。この予想断層線がリニモの線路と20度の角度を成し、Fig. 1のような配置となった次第である。

免震構造の「先導的中核施設」は2棟に分けて可動式ブリッジで連結し、耐震構造の「中部シンクロtron光利用施設」との間は、自立したブリッジを渡して「先導的中核施設」の揺れが伝わらないようにした。20度の回転のため「中部シンクロtron光利用施設」は北側(図では右側)に押し上げられた。その為、当初実験ホールに隣接して建設予定のライナック(線型加速器)・ブースター室(参考文献1)のFig. 1参照)が収まらず、敷地の拡張工事が必要になるなど、予算を超える恐れがあった。名古屋大学小型シンクロtron光研究センターでの議論の結果、線型加速器とブースター・リングを蓄積リングの中に同心円状に取り込む案(Fig. 2)が浮上した。そのため、蓄積リングの周長が60mから72mになったものの、電子輸送ラインとその導入地下トンネルが不要になり、また、遮蔽壁も蓄積リング用と兼ねられ、建設費の削減に貢献した。また、光源系の全てが同心円状に配置されたため、実験ホールに合わせてビームラインの配置が最適になるよう何度刻みでも光源を回転できる(周回方向の反転も可能)ことになり、フレキシブルな配置が可能な光源となった。

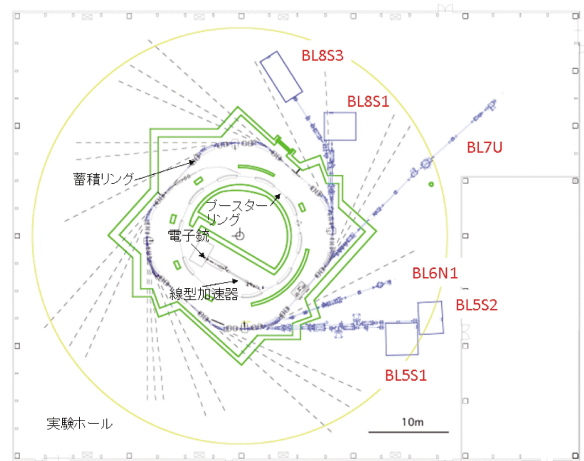


Fig. 2 Floor plan of 1st floor of synchrotron radiation facility. 6 beam lines are constructed at the first stage.

Fig. 2の実験ホールの壁に接するように描いてある円は、周回クレーンの最先端の軌跡である。これによって20m程度のビームラインの殆どを1本のクレーンでカバーできることとなった。また、実験ホールも当初とほぼ同じ面積を確保することが出来た。

2.2 中部シンクロtron光利用施設と先導的中核施設

中部シンクロtron光利用施設の詳細に入る前に、先導的中核施設との関連を述べておきたい。前回のトピックス記事と一部重複するが、「知の拠点」と言う全体構想の中にあるのが中部シンクロtron光利用施設の特徴のひとつである。

中部シンクロtron光利用施設は比較的小規模で、またX線が十分利用できる汎用性の高い光源として設計されており、言い換えると、高度な計測・分析ツールであり、ナノ加工のツールでもあるとの位置付けは我々の中では早くよりなされていた。であれば、このツールを十分活用す

るためにはその機能を補填する、あるいは支援する他のツール群を配置することで課題解決の一大拠点になる、と言うのが名古屋大学が提案した「光科学ナノファクトリー」の基本である。更に、利用者支援のための技術者、コーディネータ、研究者を配置することで、最適な解析ルートを示すことができるソフト面の充実が不可欠である、との認識も当初よりなされていた (Fig. 3)。この名古屋大学の構想が愛知県の「知の拠点」計画と合致した。Fig. 4に、配置される装置との相関 (図の上部) と知の拠点事業の展開プラン (図の下部) を示す。敷地にはまだまだ余裕があり、先導的中核施設と中部シンクロtron光利用施設を牽引役に、研究・実験施設やインキュベーション施設、ベンチャー企業の誘致へと展開の予定である。図では、まず先導的中核施設の建設が描いてあるが、これは考え方の図式化であって、実際には、中部シンクロtron光利用施設と強く連携した一体開発である。

一時期、名古屋大学計画のシンクロtron光施設は某社が建築費を出すらしい、とのうわさが広がったが、これは誤り。中部シンクロtron光利用施設はあくまで愛知県の科学技術行政の一環としての事業であり、どこかに偏ることは許されない。これを産と学との等分の協力を得て実現するものである。

2007年度には産と学を含む広範なアンケート調査とヒ

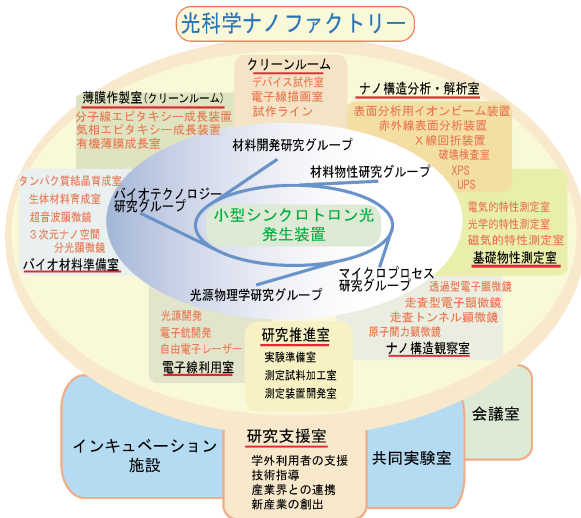


Fig. 3 Photoscience nanofactory proposed by Nagoya University in 2003.

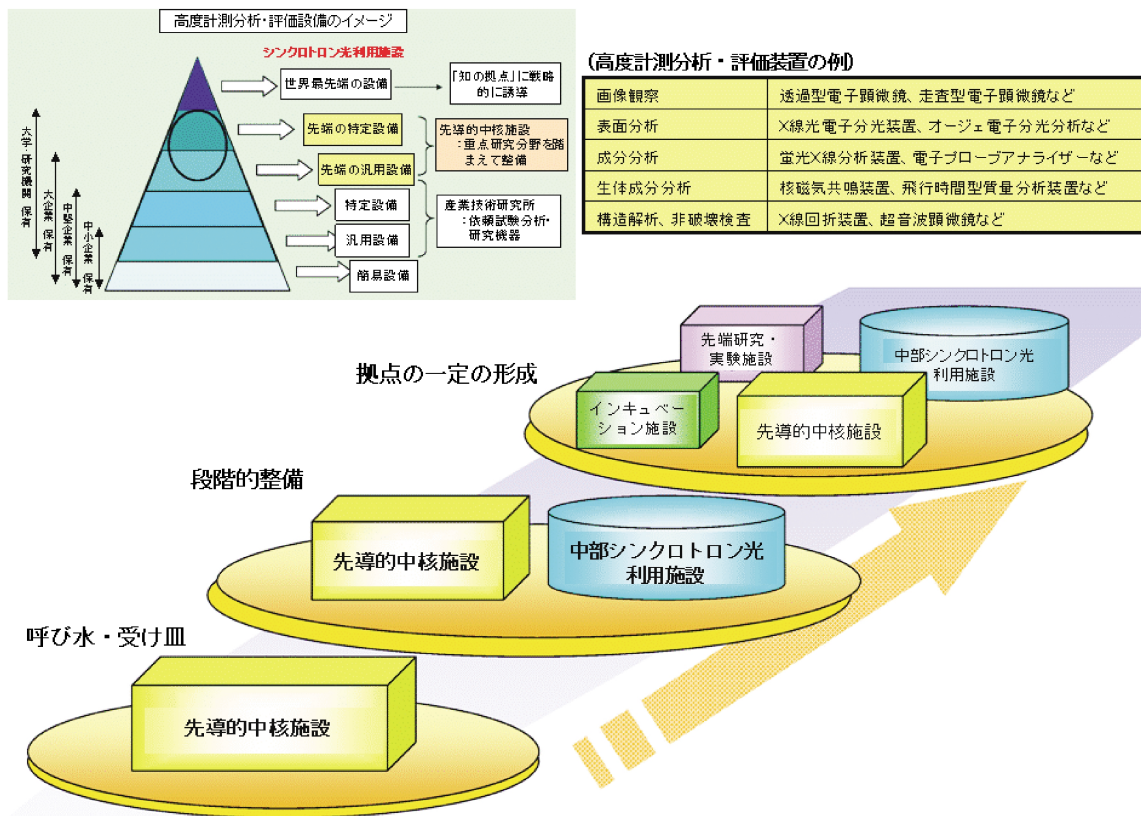


Fig. 4 Equipments and facilities in the knowledge hub. Synchrotron radiation facility is the top of hierarchy (top figures). The hub will be expanded as shown in the bottom figure.

アリングを行い、既に知られているパワーユーザーに加えて、中小・中堅企業からの要望が高いことが分かり、また、技術支援を得ても使いたいとの回答が（学からも）多く寄せられ、推進を決定付けた。

このように産業界からの要望が高いことから、以下のような指針のもとに設計を詰めた。光源に関わる点として、

- 1) コストパフォーマンスに優れていること→税金と寄附金で作る（地域での事業では納税者と寄付者の顔が間近に見える）
- 2) 使い勝手が良く小回りが利くこと→小規模・運転維持管理が容易・既存の技術で無理のない設計
- 3) 硬 X 線が十分使えること→ユーザーが多い
- 4) トップアップ運転が可能であること→何時来ても同じ品質の光が利用できること（再現性が開発には必要）

当初建設のビームライン6本の選定は、産と学を合わせて要望が高く、かつ、産業界に具体的な利用企業があることを条件にアンケート調査および個別ヒアリング等から決めた（学としては如何様にも使いこなせる）。

- 5) XAFS 測定が硬 X 線から真空紫外領域まで途切れなく出来ること→3本の XAFS ビームライン
- 6) 光電子分光, 小角散乱→材料開発
- 7) X線回折, X線反射率→実験室系の装置を扱っている人に違和感のないインターフェース

と言ったところである。その他、人の配置や運営方法も極めて重要で、これらについては、施設が稼動し始めたころに示したい。

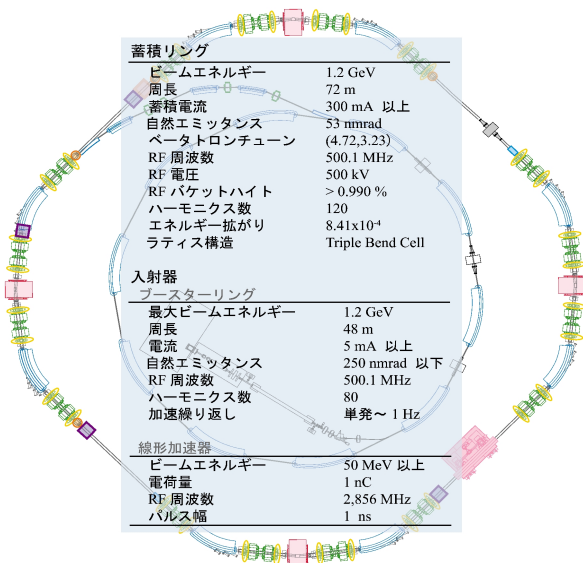


Fig. 5 Light source accelerators as final design. Linac and booster ring were installed inside storage ring.

3. 光源とビームライン

3.1 光源

光源については、参考文献1)に詳しく述べられており、上述の同心円状の配置という変更以外は、基本的に同じ仕様である。とは言え、読者の便宜のため、その概要を Fig. 5 に、偏向電磁石から得られる光スペクトルを Fig. 6 にまとめた。また、アンジュレターによる光スペクトルを Fig. 7 に示す。

設計の順としては、建屋、光源、ビームライン、測定装置類 (end station) であるが、建物内、遮蔽壁は、光源を入れビームラインを引き出すためのものであるから、光源の基本設計とビームラインの基幹部やミラーなど遮蔽壁内に置く物を当初から十分考慮した設計が不可欠である。更に、メンテナンスや増設のための天井ハッチの位置と

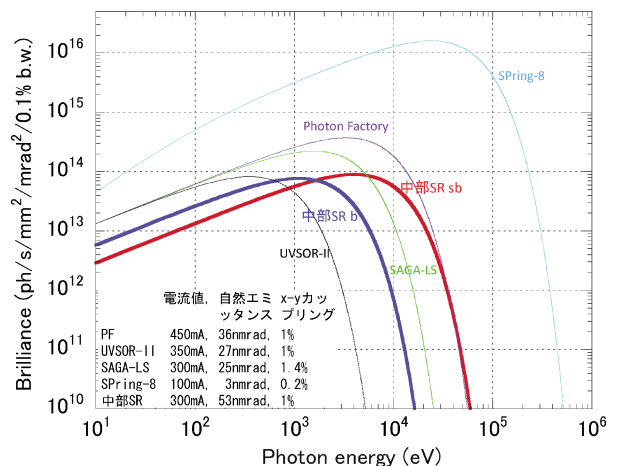


Fig. 6 Flux of synchrotron radiation from bending magnets at several facilities.

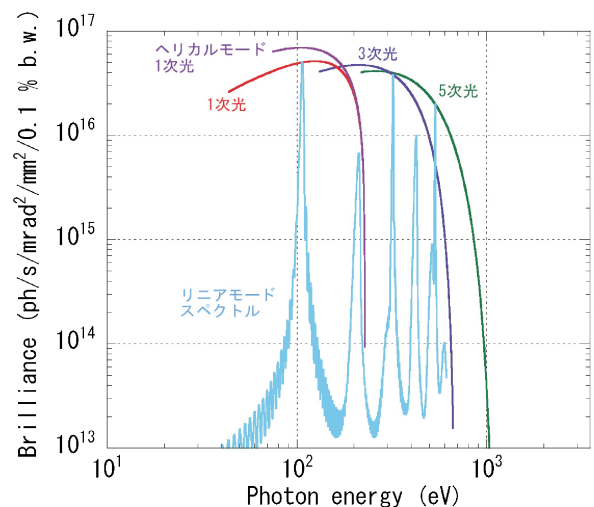


Fig. 7 Brilliance of synchrotron radiation from undulator at 300 mA.

Table 1 Parameters of 6 beam lines that are planned to construct until 2012

ビームライン名	測定手法	光エネルギー範囲 (波長範囲)	ビームサイズ	分解能(E/ΔE)	光子数 個/sec
BL5S1	硬 X 線 XAFS	5~20 keV (0.25~0.06 nm)	0.40 mm × 0.14 mm	7000@12 keV	1 × 10 ¹¹
BL6N1	軟 X 線 XAFS	0.85~6 keV (1.5~0.2 nm)	0.6 mm × 0.2 mm	2000@3 keV	7 × 10 ¹⁰
BL7U	真空紫外分光 軟 X 線 XAFS 光電子分光	30~850 eV (40~1.5 nm)	<0.04 mm × 0.1 mm	>5000@200 eV	1 × 10 ¹²
BL8S3	小角散乱	8.2 keV (0.15 nm)	0.67 mm × 0.14 mm	2000@8.2 keV	7.7 × 10 ¹⁰
BL5S2	X 線回折	5~20 keV (0.25~0.06 nm)	0.40 mm × 0.14 mm	7000@12 keV	1 × 10 ¹¹
BL8S1	X 線反射率 蛍光分析	5~20 keV (0.25~0.06 nm)	0.42 mm × 0.14 mm	2000@12 keV	1 × 10 ¹¹

S: Superbend, N: Normalbend, U: Undulator

大きさもこの段階で決めておく必要がある。また、ビームラインも最大設置可能数と周辺装置の配置まで考慮したフロア設計が必要である。そのため、人材が集まっている名大センターに設計会社をはじめ、県、科学技術交流財団、名大施設管理部の関係者全員が月2回+臨時会合のペースでWGを開き、2009年3月には建屋の詳細設計まで仕上げた。なお、光源は2009年12月には受注先が決まり、既に詳細設計前の打ち合わせ段階である。建屋は2010年度に発注する予定である。

3.2 ビームライン

Fig. 2 には、当初整備のビームライン6本の名称と配置も示されている。また、Table 1 にその仕様をまとめた。内1本はアンジュレータラインである。Fig. 2 で細い波線で引いてあるのが、今後の増設に対応して引かれるビームラインの位置である。基本的に常伝導偏向電磁石からは2本を、超伝導偏向電磁石からは3本を2°の開き角で取り出す設計である。2°にするか3°にするかは、出来るだけ硬いX線を3本とも使いたい、ビームラインの設置を楽にするかのせめぎ合いである。ビームラインの設計を詰めた結果、Fig. 8 に示すような基幹部の設計で2°が可能と判断した。超伝導偏向電磁石からのビームライン基幹部は3台のアブソーバーとシャッターをそれぞれひとつのチャンパーに収めることとした。ここが参考文献1)に描いてあるFig. 8 からは変更されている。ビームラインは、将来的にはウイグラーから1本を引き、最大で計30本程度まで建設可能である。

既に述べたが、これら6本は、アンケート調査とヒアリングを踏まえて、名大センターを初め、大学連合(名大、名工大、豊橋技科大、豊田工大で現在は構成)、県、科学技術交流財団、産業界等から構成した委員会での協議により決めた。更に、創薬ビームライン、LIGA ビームラ

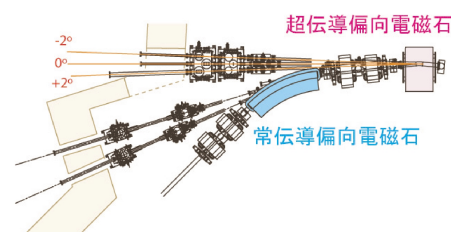


Fig. 8 Design of channels from normalbend and superbend.

イン、可視・赤外ビームライン等も要望があり、設計には考慮に入れてあるが、建設は今後の予定である。とは言え、6本を同時に設計・建設することは容易ではなく、名大センターのビームライン部門のメンバーが中心となり、学内の協力教員、大学連合の教員、更には分子研や岐阜大からも協力を仰いで、4チームを編成して設計を進めた。2010年度一杯かけて行う予定が、先に述べた修正後の「地域産学官共同研究拠点整備事業」のため、ビームラインと測定系の仕様書作成を2010年1月には仕上げる必要が生じ、急ピッチの作業となった。現時点では、大きい山は越えた。

4. まとめ

「中部シンクロトロン光利用施設」は、当初より産・学・行政が対等の立場で連携しながら建設と運営を行うという理念のもと、学術研究のみならず、産業応用を強く意識した施設として設計し、地域にその有用性を訴えてきた。幸い愛知県の構想にフィットし、「知の拠点」事業を構築するナノテク研究に欠かせない重要な施設として位置付けられ、産学行政で構成したWGで5年間の検討の末、実現の方向で細部の検討に入った。準備万端整ったものの、昨今の経済状況もあり、紆余曲折は多々あったが、文部科学省の「地域産学官共同研究拠点整備事業」に採択された

ことが大きいきっかけとなり、東海地区、中部地区の未来を拓く「知の拠点」事業を開始することとなった。

産学官連携は耳新しいことではないが、この規模で実行する例はないだろうと理解している。現在、設計と発注段階までは来た。今後、製作、建設、立ち上げ、運転、運営などが待っており、これを3者が責任を持って、また滞りなく行うには、未経験・未解決の課題がまだまだある。

中部シンクロtron光利用施設は、その目的や規模から、国内外の施設との連携を当初から想定しており、お互いに利用者の便宜を図りたいと思っている。特に関係の深い放射光学会の会員の皆様には、今後の建設進行状況を随時お知らせすると共に（センターのホームページ <http://www.nusrc.nagoya-u.ac.jp/> もご覧下さい）、いろいろなご意見とご協力を仰ぎたいと思っています。

謝辞

中部シンクロtron光利用施設は、産学行政（愛知県）と財団法人科学技術交流財団（施設の運営主体）の大規模

な連携で進めて来た。今後もこの形を維持して国、JSTの支援を得つつ建築から運営へと進めて行く。本トピックスの著者のみならず、大変大勢の方々のご協力の賜である。全員のお名前を記す紙面が無いが、当センターの技術職員、コーディネータ、名古屋大学の協力教員の先生方、名古屋大学施設管理部、客員教授・准教授の先生方、大学連合（名古屋大学、名古屋工業大学、豊橋技術科学大学、豊田工業大学）のビームラインWGの先生方、愛知県産業労働部新産業課科学技術推進室・知の拠点整備グループ、科学技術交流財団・知の拠点施設整備課の方々には、中部シンクロtron光利用施設の具体化メンバーとして多大なご尽力を頂いた。感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 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 Vol. 21, No. 1, 10 (2008).

● 著者紹介 ●



竹田美和

名古屋大学シンクロtron光研究センター・センター長, 名古屋大学工学研究科・教授

E-mail: takeda@numse.nagoya-u.ac.jp

専門: 半導体材料学

【略歴】

1977年3月京都大学大学院工学研究科博士課程単位取得退学, 工学博士。1977年4月京都大学助手, 1986年11月京都大学講師, 助教授, 1991年4月名古屋大学教授, 2007年4月名古屋大学小型シンクロtron光研究センター長。



高嶋圭史

名古屋大学シンクロtron光研究センター・教授, 名古屋大学工学研究科・教授

E-mail: takasima@numse.nagoya-u.ac.jp

専門: 加速器

【略歴】

1998年3月広島大学大学院理学研究科博士課程修了, 博士(理学), 1998年名古屋大学工学研究科助手, 1999年分子科学研究所助手, 2003年名古屋大学工学研究科助手, 准教授を経て, 2009年2月より現職。



渡邊信久

名古屋大学シンクロtron光研究センター・教授

E-mail: nobuhisa@nagoya-u.jp

専門: 蛋白質結晶学

【略歴】

1989年3月筑波大学大学院博士課程物理学研究科修了, 1989年4月日本学術振興会特別研究員, 1990年1月高エネルギー物理学研究所放射光実験施設助手, 1999年10月北海道大学大学院理学研究科助教授, 2007年6月より現職。



加藤政博

自然科学研究機構分子科学研究所極端紫外光研究施設・教授

E-mail: mkatoh@ims.ac.jp

専門: 加速器, ビーム物理学

【略歴】

1986年東京大学大学院理学系研究科物理学専門課程中退, 理学博士, 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所助手, 分子科学研究所助教授を経て, 2004年より現職, 2010年3月現在, 分子科学研究所分子制御レーザー開発研究センター教授(併任), 総合研究大学院大学物理科学研究科教授(併任), 名古屋大学大学院工学研究科客員教授, 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所客員教授。

● 著者紹介 ●



保坂将人

名古屋大学シンクロトロン光研究センター・准教授

E-mail: m-hosaka@nusrc.nagoya-u.ac.jp

専門：加速器

【略歴】

1994年東北大学理学研究科博士課程修了，博士（理学），分子科学研究所極端紫外光研究施設を経て2006年11月より現職。



伊藤孝寛

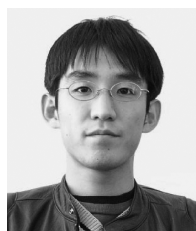
名古屋大学シンクロトロン光研究センター・准教授，名古屋大学工学研究科・准教授

E-mail: t.ito@numse.nagoya-u.ac.jp

専門：光物性科学

【略歴】

2002年3月東北大学大学院理学研究科物理学専攻博士課程修了（博士（理学）），2002年4月理化学研究所播磨研究所連携研究員，2003年4月分子科学研究所極端紫外光研究施設・助教，2009年4月より現職。



山本尚人

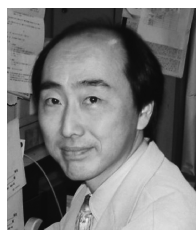
名古屋大学シンクロトロン光研究センター・助教，名古屋大学工学研究科・助教

E-mail: naoto@nagoya-u.jp

専門：加速器科学，ビーム物理学

【略歴】

2007年3月名古屋大学大学院理学研究科素粒子宇宙物理学博士課程満了，理学博士。2007年11月より現職。



曾田一雄

名古屋大学工学研究科量子工学専攻教授

E-mail: j45880a@cc.nagoya-u.ac.jp

専門分野：光物性物理学

【略歴】

1982年名古屋大学大学院工学研究科結晶材料工学専攻博士課程後期課程修了，工学博士。東京大学物性研究所軌道放射物性部門助手，大阪府立大学工学部数理工学科講師，名古屋大学大学院工学研究科助教を経て2000年より現職。



桜井郁也

名古屋大学シンクロトロン光研究センター・特任准教授

E-mail: sakurai@nagoya-u.jp

専門：X線天文学

【略歴】

2001年埼玉大学大学院博士課程理工学研究科修了，（学術博士），2001年理化学研究所宇宙放射線研究室協力研究員，2004年名古屋大学エコトピア科学研究所研究員，2009年4月より現職。



原 玲丞

名古屋大学シンクロトロン光研究センター・特任助教

E-mail: h.hara@nusrc.nagoya-u.ac.jp

【略歴】

1997年3月神奈川工科大学工学部機械システム工学科卒業，1997年4月株式会社トヤマ入社，2000年～2007年にかけて，理化学研究所，高エネルギー加速器研究機構，東京大学物性研究所，高輝度光科学研究センターに出向を経て，2009年4月より現職。



竹内恒博

名古屋大学エコトピア科学研究所・准教授

E-mail: takeuchi@nuap.nagoya-u.ac.jp

専門分野：金属電子論

【略歴】

1996年名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程修了，博士（工学）。1996年日本学術振興会特別研究員，米国アルゴンヌ国立研究所客員研究員，米国イリノイ大学シカゴ校客員研究員，1997年名古屋大学大学院工学研究科助手，2002年難処理人工物研究センター（現エコトピア科学研究所）講師，を経て2007年より現職。



八木伸也

名古屋大学工学研究科・准教授

E-mail: s-yagi@nucl.nagoya-u.ac.jp

専門：表面・界面，ナノ材料物性

【略歴】

1995年3月広島大学大学院理学研究科博士課程修了，博士（理学）。1995年4月分子科学研究所IMSフェロー，1996年4月広島大学放射光科学研究センター助手，2000年4月名古屋大学工学研究科助教を経て現職。

Construction of Central Japan Synchrotron Radiation Facility has started

**Yoshikazu TAKEDA^{1,2}, Nobuhisa WATANABE^{1,2}, Yoshifumi TAKASHIMA^{1,2},
Masahiro KATOH^{1,3}, Masahito HOSAKA^{1,2}, Takahiro ITO^{1,2},
Naoto YAMAMOTO^{1,2}, Kazuo SODA², Ikuya SAKURAI¹,
Hirotsugu HARA¹, Shinya YAGI² and Tsunehiro TAKEUCHI⁴**

¹Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University,
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan

²Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan

³Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences,
38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki 444-8585, Japan

⁴Eco Topia Science Institute, Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan

Abstract The construction of the Central Japan Synchrotron Radiation Facility has started. In the January issue in 2008 of this journal, the facility was introduced, focusing mainly on the light source accelerators. In the present article, many turns and twists, that happened since January 2008, of the project and modification of the plan are described. Some of the detailed properties of beam lines are also described.
