

# X線超放射物理学研究室

## Coherent Synchrotron Light Source Physics Laboratory

主任研究員 北村 英男  
KITAMURA, Hideo

当研究室は SPring-8 に設置する各種挿入光源の開発研究を一手に引き受けており、平成 13 年 3 月までにそれぞれ特徴のある計 22 基の挿入光源を建設し蓄積リング直線部に設置した。これらは全て順調に稼働しており、得られた高輝度光を利用したユニークな放射光利用研究が行われている。現在のところ SPring-8 に新たに設置可能な新規挿入光源の台数は 15 基、このうち 3 基は長尺型である。当研究室の長期的な研究課題は放射光科学の将来展望を見据えた挿入光源の開発である。空間的なコヒーレント特性に優れた放射光源の開発研究ばかりでなく、長尺挿入光源をベースにした誘導放出型の超高輝度光源の開発も推進していく予定である。

### 1. 短周期アンジュレータの開発研究

(1) リボルバー型真空封止ミニポールアンジュレータ(北村, 原, 田中)

本アンジュレータは、周期長の異なる 4 種の磁石列を有し、波長選択の必要に応じて磁石ビーム軸の回転によって最適の磁石列を選ぶことが可能な構造(リボルバー動作)となっている。周期長/周期数は 6 mm/167, 10 mm/100, 15 mm/66, 20 mm/50 で設計最小ギャップは 2 mm である。本年度は、本アンジュレータの製作、各磁石列の磁場分布調整、超高真空内への回転運動の伝達による圧力への影響確認試験を行った。回転運動伝達部は、大気側と超高真空側の間が三重のシール構造により 2 つの部屋に区切られ、ターボ分子ポンプおよびノーブルポンプによる中間排気で二段の差圧をつけ、磁石ビーム軸回転による大気の漏れを超高真空側へ影響させない差動排気構造となっている。

#### (i) 差動排気式回転導入器単品試験

差動排気式回転導入器部を単品試作し、以下の性能評価を行い、結果を実機に反映した。(a) 真空シール性能とシール部への予圧の関係について評価した。(b) 差動排気部の真空ポンプ停止による圧力変化を評価した。(c) シール部の摺動抵抗について評価した。(d) 繰り返し位置決め精度について、シール摩擦による軸のねじれを評価した。

#### (ii) 実機真空圧力確認試験

圧力確認試験は 48 時間のベーキング後、超高真空状態( $1.1 \times 10^{-8}$  Pa)に達した後実施し(a) 軸回転速度の圧力への影響(b) 一万回の回転繰り返し(0~270 度往復)による圧力への影響を確認した。また、適時 He ガスを大気側軸シール部に吹きつけながら超高真空側へ設置した質量分析計でガス分析を行い、大気側からのリークの有無を確認した。次に、差動排気部の真空ポンプトラブルによる超高真空側への影響を評価するため、ターボ分子ポンプおよびノーブルポンプの一方もしくは両方とも停止させ、大気の漏れによる圧力上昇を評価した。

(2) 試作型ミニギャップアンジュレータ(北村, 原, 田中)

SPring-8 で開発された真空封止型アンジュレータは、真空槽による最小ギャップの制限がないため、小さな磁石でも十分な磁場を発生でき、短周期アンジュレータを可能にする。現在稼働中の SPring-8 をはじめとする X 線領域第

三代放射光光源は、いずれも電子エネルギーが 6~8 GeV で、周長が 1 km におよぶ大きな加速器施設が必要であった。これに対し真空封止型短周期アンジュレータを用いれば、3 GeV クラスのより規模の小さい加速器を用いた高輝度 X 線放射光源が実現できる。しかし一方で、放射光のエネルギーを上げるための高次高調波発生に必要な高精度磁場調整や、小ギャップ時の電子ビームイメージ電流による発熱の抑制、電子ビームを狭いアンジュレータギャップの中心を通すための位置調整機構など、技術的な課題が残っている。

試作型ミニギャップアンジュレータは、SPring-8 で R&D 用に製作した 1.5 m 長真空封止ハイブリッドアンジュレータをベースに、理研とスイス Paul Scherrer Institute (PSI) が共同で開発を進めている 24 mm 周期のアンジュレータである。平成 12 年度には、新たに製作した磁石列を組み込んで磁場調整を行った。磁場調整は従来のチップ磁石による調整に代えて、磁石の交換、回転による調整を主に取り入れ、磁場エラーによる放射光の強度損失を 11 次光で 20%以下に抑えることができた。また、小ギャップ時の発熱を少なくし電子ビーム不安定性を抑制するための改良型磁石シートや、冷却能力を増強した新型形状変換部の開発および製作も合わせて平成 12 年度に行った。PSI 側では、アンジュレータの位置と傾きを遠隔調整できる 5 脚架台の開発を行っている。このアンジュレータは、PSI 内の 2.4 GeV 放射光施設である Swiss Light Source に設置され、最終的な真空テストおよび位置調整機構の取り付け等を経て、平成 13 年 4 月より実際に電子ビームを用いて性能評価を行う予定である。

#### (3) 永久磁石の電子ビーム減磁試験(北村, 田中)

挿入光源に用いられている永久磁石の電子線による被爆実験を韓国の Pohang Light Source (PLS) と協力研究した。本実験は、PLS の入射用ライナックの高エネルギー( $E = 2$  GeV)電子線を各種永久磁石試料に照射、その磁場分布を計測し、減磁の程度を試験するものである。

#### (i) 磁場分布その場計測装置の開発

従来この種の試験では、照射後試料を移動させて、総磁束を計測することが行われていた。これに対し、本計測装置は、試料を移動させることなく、その磁場分布を計測で

きるため、同一試料への照射、計測を待ち時間なしに繰り返し行うことが可能となった。本装置では、高精度な磁場分布測定を行うため、実機挿入光源の磁場計測と同じホールプローブによるセンサーシステムをこの種の試験では初めて、放射線環境下で使用した。ホールプローブの放射線損傷を防ぐため、本装置では電子線照射時にセンサーが放射線シールド内に回避する機構となっており、またシールド内でセンサーを校正磁石により校正することも可能である。磁場分布計測は遠隔操作により半自動で行われ、人間が照射場所に近づくことは、試料交換時以外必要ない。

#### (ii) 照射試験

照射した電子の Dose 量 (個数) と減磁程度の関係について、以下に示す各種試験を行い減磁に影響を与える因子について明らかにした。

(a) 磁石種類および製造業者による影響: 次の永久磁石各 1 個について、40 mm 厚の銅ターゲットを通して電子を照射し、それぞれ減磁の度合いを比較した。住友特殊金属製 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 磁石 (NEOMAX-32EH, NEOMAX-35EH, NEOMAX-44H) と SmCo<sub>5</sub> 磁石 (CORMAX2300) および Vacuumschmelz 製 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 磁石。(VACODYM411, VACODYM400, VACODYM396)

(b) 磁石の個数による影響: 40 mm 厚の銅ターゲットの後ろに並べる磁石の個数を 1 個, 4 個, 6 個と変え、それぞれ減磁の度合いを比較した。

(c) 磁化方向と照射方向および磁石形状による影響: 磁化方向と電子の照射方向が垂直なものと平行な場合を比較した。また、板と立方体の形状で比較した。

(d) 照射ターゲットによる影響: 照射ターゲットが銅の場合、タンタルの場合、直接磁石に照射した場合で比較した。

(e) アンジュレータ磁石列モデル: 8 mm ギャップ, 5 周期の Pure タイプ, Hybrid タイプ磁石列モデルについて比較した。

## 2. 偏光制御アンジュレータの開発研究

(1) 左右偏光高速スイッチ型ヘリカルアンジュレータ (北村, 原)

円偏光放射光を用いた実験では、MCD (Magnetic Circular Dichroism) など円二色性の測定が現在盛んに行われており、偏光方向の周期的な切り替えが求められている。6 keV 以上の X 線領域では、ダイヤモンド位相子を用いてビームライン側で偏光状態の制御が可能であるが、軟 X 線領域においては使用できる位相子がないため光源で偏光方向を変える必要がある。SPring-8BL25SU は、5 m の直線部に 2 台の 1.5 m 長ヘリカルアンジュレータがタンデムに配置され、100 eV ~ 5 keV の軟 X 線円偏光を利用した実験がすでに行われているが、ビームラインの最終的な目標である円偏光スイッチングを実現するために、平成 12 年度に 5 台のキッカー電磁石の製作および設置を新たに行った。スイッチングは、2 台のアンジュレータを左右各々の偏光にセットしておき、直線部両端および中央のキッカー電磁石を用いて電子ビーム軌道を周期的に変えることによって、ビームラインに周期的に変化する左右円偏光を供給する。この時、電子ビーム軌道の変化が SPring-8 の他のビームラインに影響をおよぼさないよう、精密なキッカー電磁石の磁場制御が必要となる。キッカー電磁石のコアは、残留磁場と透磁

率周波数特性の優れた 0.1 mm 厚 PC 系パーマロイを積層して製作したが、大きさ 50 cm 角のパーマロイ電磁石の製作はこれまでほとんど例がなく、焼鈍およびコアの加工方法の R&D も合わせて行った。完成したキッカー電磁石は、磁場測定を行った後、平成 13 年 1 月に SPring-8 蓄積リングに設置され、現在電子ビームを用いた調整を行っている。磁場の調整には、新たに可動式の磁性体を用いた調整方法を採用しており、遠隔で電子ビーム軌道を見ながら磁場の調整ができるようになっている。初回の調整では、水平方向 200 μm 垂直方向 2 μm まで電子ビーム軌道のずれを補正したが、最終的にはこのずれを水平垂直とも 2 ~ 3 μm 以下に抑える予定である。平成 13 年度には、オンビームでの調整を引き続き行い、当面 1 Hz での円偏光スイッチングを利用したビームライン実験を開始する。

(2) 新型偏光制御アンジュレータ (北村, 田中)

垂直・水平・左右円偏光を発生し、かつそれらの高速な切り替えが可能な新型の挿入光源を考案した。この挿入光源は水平磁場を発生する永久磁石と垂直磁場を発生する電磁石からなり、以下の 3 つのモードで運転される。

(i) 8 の字アンジュレータモード

(ii) ヘリカルアンジュレータモード

(iii) 非対称 8 の字アンジュレータモード

いずれのモードにおいても、水平磁場は変化せず、垂直磁場の周期、あるいは磁場強度が変化する。8 の字アンジュレータモードでは、電磁石の 2 ポールで 1 周期、ヘリカルアンジュレータモードでは電磁石の 4 ポールで 1 周期の垂直磁場を形成する。電磁石の通電系統は 2 種類あり、そのうちの 1 種類の電流方向を反転することにより、ヘリカル磁場を発生する。また、極性はそのまま、1 系統の磁場を増加し、他系統の磁場を減少することにより非対称 8 の字磁場を発生し、その増減を反転することにより円偏光のヘリシティの切り替えが可能となる。磁場計算の結果から電子軌道を計算すると、8 の字・非対称 8 の字モードにおいては理想的な軌道が得られたが、ヘリカルモードにおいては、磁石の構造上完全な螺旋軌道にはならず、偏平な円軌道を描くことが分かった。また、電子軌道からスペクトルおよび偏光特性を計算した結果、8 の字・非対称 8 の字モードでは、解析的に得られる特性とよく一致しているが、ヘリカルモードでは 1 次光のほかに、通常のヘリカルアンジュレータでは見られない高次光が混入していることが分かった。しかしながら、これらは 1 次光強度に比べて十分小さく実験に大きな支障をあたえるものではなく、また円偏光度については、1 次光においてほぼ 100% が得られている。以上のように提案した新型挿入光源は 3 つのモードで運転できるが、垂直磁場電磁石により生成しているため、これら的高速な切り替えが可能である。例えば、8 の字アンジュレータモードで運転しているとき、電磁石電流値を約半分にするにより水平・垂直変更の切り替えが可能である。また、円偏光の高速な切り替えが必要である場合は、非対称 8 の字モードで対応可能となる。各ポールにおける電磁石電流に強弱をつけることにより (楕) 円偏光が発生でき、その強弱を入れ替えることにより円偏光の切り替えが可能となる。計算によると主電流の約 10% の増減で済むため、より高速な円偏光の切り替えが可能であると予測される。

### 3. コヒーレント X 線光源の開発研究

(1) 長尺 X 線アンジュレータ(北村, 原, 田中, 並河<sup>\*1</sup>, 清川<sup>\*2</sup>; 石川(X 線干渉光学研))

世界最高輝度の放射光を発生する長尺型のアンジュレータを SPring-8 蓄積リングの 30 m 直線部に設置した。装置長 27 m に達するアンジュレータは海外の同種の装置と比較して一桁強度の高い高輝度 X 線を発生する。アンジュレータの長さを増やしていくと電子の蛇行回数が増えるので理論上は X 線の輝度特性が飛躍的に向上する。しかし, 実際は期待したほどの性能が得られないことが多い。理論値に達する性能を得るためにはエンジニアリング上の多くの問題点を解決しなければならない。本開発で建設したアンジュレータの装置長は 27 m であるが, 電子ビームを蛇行させるための永久磁石部の長さは 25 m である。磁場周期長を 32 mm に設計したので蛇行の繰り返し数(周期数)は 780 回となる。これほどまでに長いアンジュレータは今まで建設されたことがない。従来の考え方では約 5 m 毎に装置を分割することが推奨される。しかし, 分割によって磁石列に隙間ができるのでこれによって放射光性能が著しく低下することになる。これを避けるために本開発では我が国独自の技術である真空封止アンジュレータ技術を投入した。これによって 25 m にわたって切れ目のない磁石列を実現することができた。もう 1 つの重要な技術は完全に近い周期磁場をつくる技術である。これにエラーが存在すると正確な蛇行運動が期待できなくなり, 結果として放射光性能が劣化することになる。本開発では世界最高水準の磁場評価技術を適用したことと適切な補正磁場を与えることによって理論値に近い放射光性能を得ることができた。

<sup>\*1</sup> 客員主管研究員, <sup>\*2</sup> 研修生

#### 誌上発表 Publications

(原著論文) \*印は査読制度がある論文誌

- Tanaka T. and Kitamura H.: "Figure-8 undulator as an insertion device with linear polarization and low on-axis power density", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **364**, 368–373 (1995). \*
- Kamiya N., Uruga T., Kimura H., Yamaoka H., Yamamoto M., Kawano Y., Ishikawa T., Kitamura H., Ueki T., Iwasaki H., Kashihara Y., Tanaka N., Moriyama H., Hamada K., Miki K., and Tanaka I.: "Fundamental design of the high energy undulator pilot beamline for macromolecular crystallography at the SPring-8", Rev. Sci. Instrum. **66**, 1703–1705 (1995). \*
- Kimura S., Kamada M., Hama H., Maréchal X., Tanaka T., and Kitamura H.: "Design of a helical undulator for UVSOR", J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **80**, 437–440 (1996). \*
- Tanaka T. and Kitamura H.: "Characteristics of figure-8 undulator radiation", J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **80**, 441–444 (1996). \*
- Tanaka T. and Kitamura H.: "Analysis of figure-8-undulator radiation", J. Synchrotron Rad. **3**, 47–52 (1996). \*
- Kitamura H.: "Present status of SPring-8 insertion de-

vices", J. Synchrotron Rad. **5**, 184–188 (1998). \*

- Stefan P. M., Tanabe T., Krinsky S., Rakowsky G., Solomon L., and Kitamura H.: "Initial results from an in-vacuum undulator in the NSLS X-ray ring", J. Synchrotron Rad. **5**, 417–419 (1998). \*
- Tanaka T., Oura M., Ohashi H., Goto S., Suzuki Y., and Kitamura H.: "Characterization of radiation from a figure-8 undulator by a gas-scattering method", J. Appl. Phys. **88**, 2101–2107 (2000). \*
- Kitamura H.: "Recent trends of insertion-device technology for X-ray sources", J. Synchrotron Rad. **7**, 121–130 (2000). \*
- Tanaka T. and Kitamura H.: "Asymmetric figure-8 undulator as multipolarization light source", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **449**, 629–637 (2000). \*
- Oura M., Yamaoka H., Kawatsura K., Kimata J., Hayaishi T., Takahashi T., Koizumi T., Sekioka T., Terasawa M., Itoh Y., Awaya Y., Yokoya A., Agui A., Yoshigoe A., and Saitoh Y.: "Photoionization of Ne<sup>3+</sup> ions in the region of the 1s → 2p autoionizing resonance", Phys. Rev. A **63**, 014704-1–014704-4 (2001). \*
- Tanaka T. and Kitamura H.: "Effective initial sorting of undulator magnets", Rev. Sci. Instrum. **71**, 3010–3015 (2000). \*
- Hara T., Tanaka Y., Kitamura H., and Ishikawa T.: "Performance of a CsI photocathode in a hard X-ray streak camera", Rev. Sci. Instrum. **71**, 3624–3626 (2000). \*
- (その他)
- 原徹, 高橋直, 矢橋牧名, 玉作賢治, 北村英男, 石川哲也: "SPring-8 での 25 m アンジュレータビームライン建設と立上げ", 放射光 **14**, 12–24 (2001).

#### 口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

- Tanaka Y., Hara T., Kitamura H., and Ishikawa T.: "Laser synchronization system", 6th ESRF-APS-SPring-8 Workshop, Harima, Apr. (2000).
- Kojima T. M., Itoh Y., Kitajima M., Koizumi T., Sano M., Takahashi T., and Yamaoka H.: "Photoionization of Xe<sup>2+</sup> and Xe<sup>3+</sup> in the energy regions of 4d-5p transitions and 4d-εf giant resonance", 10th Int. Conf. on the Physics of Highly Charged Ions (HCI-2000), (American Vacuum Society, University of California, United States Department of Energy), Berkeley, USA, July-Aug. (2000).
- Ishikawa T. and Kitamura H.: "Beamlines for coherent X-ray applications at SPring-8", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Universität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Takahashi S., Aoyagi H., Mochizuki T., Oura M., Sakurai Y., Watanabe A., and Kitamura H.: "Design of the front end for the very long in-vacuum X-ray undulator at SPring-8", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Univer-

- sität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Tanaka T., Seike T., Marechal X. M., Bizen T., Hara T., and Kitamura H.: "Field measurement and correction of the very long in-vacuum X-ray undulator at the SPring-8", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Universität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Hara T., Tanaka T., Seike T., Bizen T., Marechal X. M., Kohda T., Inoue K., Oka T., Suzuki T., Yagi N., and Kitamura H.: "In-vacuum X-ray helical undulator for high flux beamline at SPring-8", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Universität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Hara T., Tanaka Y., Kitamura H., and Ishikawa T.: "Observation of hard X-ray pulses with a highly sensitive streak camera", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Universität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Tanaka T. and Kitamura H.: "Parabolic undulator and its application to fast switching of helicity", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Universität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Hara T., Tanaka T., Seike T., Bizen T., Marechal X. M., Nisawa A., Fukushima S., Yoshikawa H., and Kitamura H.: "Revolver undulator for BL15XU at SPring-8", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Universität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Tanaka Y., Hara T., Kitamura H., and Ishikawa T.: "Synchronization of picosecond laser pulses to the target X-ray pulses at SPring-8", 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2000), (Technische Universität Berlin and BESSY), Berlin, Germany, Aug. (2000).
- Tanaka Y., Hara T., Kitamura H., and Ishikawa T.: "Laser-SR coincidence technique", UK-Japan (DL/RIKEN/JASRI) Joint Symp., Harima, Nov. (2000).
- (国内会議)
- 高橋武寿, 小泉哲夫, 伊藤陽, 北島昌史, 小島隆夫, 山岡人志, 加藤英也, 田辺浩治, 小池文博: "4d 領域における  $Xe^{2+}$  の光電離過程", 第 25 回原子衝突研究協会研究会, 岡崎, 8 月 (2000).
- 高橋武寿, 小泉哲夫, 伊藤陽, 北島昌史, 小島隆夫, 山岡人志, 加藤英也, 田辺浩治, 小池文博: "4d 領域における  $Xe^{2+}$  の光電離過程", 日本物理学会第 55 回年次大会, 新潟, 9 月 (2000).
- 大浦正樹, 山岡人志, 川面澄, 向山毅, Zou Y., Hutton R., 関岡嗣久, 寺澤倫孝, 粟屋容子, 伊藤真: "重元素における K 殻二重光電離過程の研究", 日本物理学会第 55 回年次大会, 新潟, 9 月 (2000).
- 田中義人, 原徹, 北村英男, 石川哲也: "ピコ秒レーザー・X線放射光同期技術と利用実験への展望", 分子研レーザーセンター研究会「レーザーと分子科学の融合を目指して」, (岡崎国立共同研究機構), 岡崎, 11 月 (2000).
- 玉作賢治, 矢橋牧名, 後藤俊治, 田中義人, 山崎裕史, 望月哲朗, 原徹, 鈴木基寛, 河村直己, 北村英男, 石川哲也: "SPring-8 長尺ビームライン BL29XUL", 第 14 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 広島, 1 月 (2001).
- 加藤政博, 保坂将人, 江田茂, 木下敏夫, 山崎潤一郎, 林憲志, 高嶋圭史, 北村英男, 原徹, 田中隆次: "UVSOR における真空封止型軟 X 線アンジュレータの開発", 第 14 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 広島, 1 月 (2001).
- 田中義人, 原徹, 山崎裕史, 矢橋牧名, 玉作賢治, 北村英男, 石川哲也: "レーザー・放射光時間分解測定システムの開発", 第 14 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 広島, 1 月 (2001).
- 鈴木昌世, 豊川秀訓, 工藤統吾, 原徹, 田中義人, 與曾井優, 能町正治, 黒田啓一: "高エネルギー X 線画像検出器の開発", 第 14 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 広島, 1 月 (2001).
- 原徹, 田中義人, 山崎裕史, 北村英男, 石川哲也: "高感度 X 線ストリークカメラの開発", 第 14 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 広島, 1 月 (2001).
- 田中義人, 原徹, 山崎裕史, 北村英男, 石川哲也: "SPring-8 における短パルスレーザー利用実験", 分子研研究会「真空紫外線・軟 X 線パルスの利用と将来展望」, (岡崎国立共同研究機構), 岡崎, 1 月 (2001).
- 田中義人, 原徹, 山崎裕史, 北村英男, 石川哲也: "X 線回折によるレーザー誘起フォノンの励起緩和過程の観測", 日本物理学会第 56 回年次大会, 八王子, 3 月 (2001).

---

### *Research Subjects and Members of Coherent Synchrotron Light Source Physics Laboratory*

1. Development of Short Period Undulators
2. Development of Exotic Undulators
3. Development of Coherent Synchrotron Sources

#### *Head*

Dr. Hideo KITAMURA

#### *Members*

Dr. Hitoshi YAMAOKA

Dr. Toru HARA

Dr. Takashi TANAKA

#### *in collaboration with*

Dr. Tetsuya ISHIKAWA (Coherent X-Ray Optics Lab.)

#### *Visiting Members*

Prof. Kazumichi NAMIKAWA (Fac. Ed., Tokyo Gakugei Univ.)

#### *Trainees*

Mr. Kei KIYOKAWA (Fac. Sci., Himeji Inst. Technol.)