

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 24 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 13 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) 試作型ミニギャップアンジュレータ(北村, 原, 田中)
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。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った。最小ギャップ値は 6 mm を達成, この時の電子ビーム寿命の損失は 20% であった。閉軌道への影響は無視できる程度に小さかった。このアンジュレータは PSI タンパク質構造解析ビームラインの最重要構成機器として活躍している。

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, 白澤^{*1})

本アンジュレータシステムは, SPring-8 直線部にタンデムに置かれた 2 台のヘリカル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, 電子ビームの軌道変化が直線部両端のキッカー電磁石の間で閉じ, 他のビームラインに影響を及ぼさないよう, 精密なキッカー電磁石の磁場制御が必要となる。ハードウェアの製作および設置は前年度中に完了し, 平成 13 年度はキッカー電磁石磁場の調整を電子ビームを用いて行った。磁場の調整はギャップ可動式の磁性体を用いた方法を採用し, 磁場エラーによる電子ビーム軌道の変化を水平方向 5 μm , 垂直方向 1 μm 以下に抑えることができた。また, 本アンジュレータからの 1 Hz で切り替わる左右円偏光を用いて Fe の磁気円二色性 (MCD) の測定を行い, 従来の測定手法に比べ測定時間を数分の一に短縮できることが確認された。

(2) 新型偏光制御アンジュレータ(北村, 田中, 白澤^{*1}, 清川^{*2}, 宮井^{*3})

SPring-8 の軟 X 線理研ビームライン BL17SU に設置さ

れる新型の偏光制御アンジュレータの設計, プロトタイプ
の試運転を行った。本挿入光源は, 電磁石と永久磁石から構成され, 電磁石の周期長および極性を選択することにより, 8 の字アンジュレータモード, ヘリカルアンジュレータモード, 非対称 8 の字アンジュレータモードの 3 つのモードで運転可能であり, それぞれ, 垂直・水平偏光, 左右円偏光, 高速切替型円偏光をビームラインに供給する。プロトタイプとして周期長 12 cm, 周期数 3 の電磁石アンジュレータを製作し, 磁場強度, 磁場分布などについて測定を行った。この結果, ビームラインユーザから要求される磁場強度にわずかにおよばないことが分かり, 実機においては周期長 13 cm のものを採用することにした。また, 非対称 8 の字アンジュレータモードの高速円偏光切り替え運転時に予測される, 渦電流による磁場積分変動とそれに伴う周期的光軸変動を補正するために, ダイナミックフィードバック法を考案し, プロトタイプを用いてこの方法の R&D を行った。これは, 渦電流により発生する磁場積分変動を, 電磁石間ギャップに設置したコイルに誘起される電圧変動の信号として検出し, この信号を直接, 補正コイル用の入力信号として用いるもので, 複雑な電気回路や制御システムが不要であることが利点である。磁場振幅 200 G 程度で, 運転パターンや, 切り替え周波数, 立ち上がり時間等を変えて, 様々な条件下でフィードバックが可能かどうか実験を行った。この結果, すべての条件において, 磁場積分変動は大幅に改善してはいるものの, SPring-8 で要求される光軸変動の基準値以下にはできなかった。これは, 補正すべき磁場積分変動が, アンジュレータギャップの中心に位置するのに対して, フィードバック用の入力信号はそこから真空チャンバの高さ分だけずれたところに設置されていることによる。このため, この方法に加えて, rfBPM や, XBPM の信号を用いて, フィードバックを行う方法を新たに考案した。これは, これらの信号のノイズがランダムに発生するのに対して, 磁場積分変動が周期的であることを利用して, S/N 比を大幅に改善できるものであり, 詳細については今後検討する予定である。

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^{*4},

石川 (X線干渉光学研))

SPring-8 蓄積リング 30 m 長直線部に設置された, 世界最高輝度の X 線放射光を発生する長尺真空封止アンジュレータの性能評価を行った。その結果, 放射光強度はほぼ理論通りの性能が得られていることが確認された。また装置長が 27 m にも達するため, 0.1 ガウス程度の地磁気が電子ビームを曲げる影響が放射光スペクトル上で初めて観測された。長尺アンジュレータからの放射光を用いた利用実験も平成 13 年度から開始され, X 線領域の光子強度相関など高輝度放射光を必要とする様々な実験で成果を上げている。

(2) FEL 用ミニギャップアンジュレータ (北村, 原, 田中)

SCSS (SPring-8 Compact SASE Source) プロジェクト用ミニギャップアンジュレータについての設計, プロトタイプの製作, 磁場測定を行った。このアンジュレータは, FEL の飽和長, あるいはゲイン長をできるだけ短くするため, 周期長が 15 mm と短く, このため, 従来のような 1 磁石 1 ユニットという構造の代わりに, 1 周期 1 ユニットという構造をしており, SPring-8 の挿入光源磁場補正法である “In-situ Sorting” が適用できない。“In-situ Sorting” とは, 各磁石ブロック単体の磁場測定結果を基に行われる “Initial Sorting” と異なり, アンジュレータとして組み上げた状態で行った磁場測定結果を基に, 磁石ブロックの再配置を行うもので, “Initial Sorting” と比べて, 精度の高い磁場調整を行うことが可能である。しかしながら, 1 周期 1 ユニットの場合, 磁石ユニットの再配置の自由度が減少し, 十分な磁場調整を行うことができない恐れがあった。このため, 磁化角度を 45 度傾けた磁石ブロックからなるアンジュレータ磁気回路について検討し, 磁場計算を行った結果, 通常のものに比べてほとんど同等の磁場強度が得られることを確認した。このような磁石配列は, 1 磁石 1 ブロックと同等の調整の自由度が確保できるため短周期アンジュレータに適している。この結果を基にプロトタイプを製作し, 磁場測定を行ったところ, 各周期ごと磁場強度のばらつきは従来のアンジュレータと同程度であったが, 強度については計算より 5%ほど少ないことを確認した。ただし実用上は問題ないと考え, 実機についてもこの磁気回路を採用することとした。

(3) 電子銃 (北村, 渡川, 馬場^{*5}, 稲垣^{*5}, Kim^{*5}, 新竹^{*4}, 松本^{*4})

高輝度の軟 X 線超短パルス光を発生することを目的として, 自己増幅型自由電子レーザーの開発研究をスタートした。本計画の自由電子レーザー装置は, 低エミッタンス電子入射器, C バンド線形加速器, 真空封止アンジュレータにより構成される。自由電子レーザー光を発生するためには, 高密度 (1 nC/bunch) がかつ従来よりも一桁以上小さいエミッタンス (0.5-2 π mm.mrad) の電子ビームを安定に供給できる電子銃が要求される。そこで, 新しいタイプの電子銃を考案し, システムの設計を行った。電子銃の特徴は以下の通りである。

(i) 熱カソードの物質として単結晶六ホウ化セリウムを使用する。低エミッタンスビームを生成するためには, 表面が非常に平坦で, かつ, 高密度の電子が一様に放出できるカソード物質が不可欠である。調査の結果, 単結晶六ホウ化セリウムがこれに適した物質であることが分かった。直径 3 mm の単結晶六ホウ化セリウムを 1500°C に加熱し

て, ピーク電流 3 A のパルスビームを引き出す。電子パンチを形成するのに通常用いられるカソードのコントロールグリッドは, エミッタンスを悪化させる要因となるので使用しない。理想的なエミッタンスの初期値は 0.4 π mm.mrad である。

(ii) 電子銃に 500 kV の高電圧パルスを印加して電子ビームを引き出す。低エミッタンスビームを生成するためにカソード径を小さくするので, 引き出す電子ビームの電流密度が大きくなる。従って, 所定のビーム電流値を得るために, 加速電極に高電圧を印加する必要がある。また, 電子ビームのエネルギーが相対論的領域に達していない電子銃の近傍では, 電子ビームの空間電荷がエミッタンス増大を引き起こすことが考えられるが, 高電圧でビームを引き出すため, この効果を低減できると期待される。

(iii) 引き出した電子ビームは, 電子銃出口に設けたチョッパーディフレクターによって切り出してパンチを形成し, サブハーモニックバンチャーとビームコリメーターにより, パンチの圧縮と整形を行った後, L バンドリニアックへ入射する。

平成 14 年度には, カソードの性能試験を行うとともに, 電子銃テストスタンドを製作し, 電子ビームの生成とエミッタンスの測定実験を行う予定である。

^{*1} ジュニア・リサーチ・アソシエイト, ^{*2} 研修生 (姫工大大学院), ^{*3} 研修生, ^{*4} 客員主管研究員, ^{*5} 協力研究員

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
Dr. Kazuaki TOGAWA
Mr. Hitoshi BABA
Dr. Takahiro INAGAKI
Dr. Yu-Jong KIM

in collaboration with

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

Visiting Members

Prof. Hiroshi MATSUMOTO (KEK)
Prof. Kazumichi NAMIKAWA (Fac. Ed., Tokyo Gakugei Univ.)
Prof. Tsumoru SHINTAKE (KEK)
Mr. Katsutoshi SHIRASAWA (Fac. Sci., Hiroshima

Univ.)

Trainees

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

Mr. Masato MIYAI (Fac. Sci., Himeji Inst. Technol.)

誌上発表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文誌

Tanaka T., Seike T., and Kitamura H.: “Undulator field correction by in-situ sorting”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **465**, 600–605 (2001). *

Kitamura H., Bizen T., Hara T., Marechal X., Seike T., and Tanaka T.: “Recent developments of insertion devices at SPring-8”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 110–113 (2001). *

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”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 161–164 (2001). *

Hara T., Tanaka T., Seike T., Bizen T., Maréchal X., Kouda T., Inoue K., Oka T., Suzuki T., Nagi N., and Kitamura H.: “In-vacuum X-ray helical undulator for high flux beamline at SPring-8”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 165–168 (2001). *

Bizen T., Tanaka T., Asano Y., Kim D. E., Bak J. S., Lee H. S., and Kitamura H.: “Demagnetization of undulator magnets irradiated high energy electrons”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 185–189 (2001). *

Aoyagi H., Kudo T., and Kitamura H.: “Blade-type X-ray beam position monitors for SPring-8 undulator beamlines”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 252–255 (2001). *

Ohashi H., Ishiguro E., Tamenori Y., Kishimoto H., Tanaka M., Irie M., Tanaka T., and Ishikawa T.: “Outline of soft X-ray photochemistry beamline BL27SU of SPring-8”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 529–532 (2001). *

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”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 758–761 (2001). *

Hara T., Tanaka Y., Kitamura H., and Ishikawa T.: “Observation of hard X-ray pulses with a highly sensitive streak camera”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 1125–1128 (2001). *

Tanaka Y., Hara T., Kitamura H., and Ishikawa T.: “Synchronization of picosecond laser pulses to the target X-ray pulses at SPring-8”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 1451–1454 (2001). *

Aoki K., Hosono K., Tanimoto K., Terasawa M., Yamaoka

H., Tosaki M., Ito Y., Vlaicu A. M., Taniguchi K., and Tsuji J.: “Probability of nuclear excitation by electron transition in Os atoms”, Phys. Rev. C **64**, 044609-1–044609-6 (2001). *

Tanaka Y., Hara T., Yamazaki H., Kitamura H., and Ishikawa T.: “Optical switching of X-rays using laser-induced lattice expansion”, J. Synchrotron Rad. **9**, 96–98 (2002). *

Bacal M., Nishiura M., Sasao M., Hamabe M., Wada M., and Yamaoka H.: “Effect of argon additive in negative hydrogen ion sources”, Rev. Sci. Instrum. **73**, 903–905 (2002). *

Nishiura M., Sasao M., Matsumoto Y., Hamabe M., Wada M., Yamaoka H., and Bacal M.: “Influence of filament materials on vacuum ultraviolet emission in H⁻ ion source”, Rev. Sci. Instrum. **73**, 949–951 (2002). *

Nishiura M., Sasao M., Matsumoto Y., Hamabe M., Wada M., Yamaoka H., and Bacal M.: “Cooling effect of hydrogen negative ions in argon gas mixture”, Rev. Sci. Instrum. **73**, 973–975 (2002). *

Hara T., Yabashi M., Tanaka T., Bizen T., Goto S., Marechal X., Seike T., Tamasaku K., Ishikawa T., and Kitamura H.: “The brightest x-ray source: A very long undulator at SPring-8”, Rev. Sci. Instrum. **73**, 1125–1128 (2002). *

(その他)

Shintake T., Matsumoto H., Ishikawa T., and Kitamura H.: “SPring-8 compact SASE source (SCSS)”, Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. **4500**, 12–23 (2001).

[単行本・Proc.]

(原著論文) *印は査読制度がある論文誌

Hara T., Tanaka T., Tamasaku K., Ishikawa T., Kitamura H., Yabashi M., Bizen T., Seike T., Marechal X. M., and Goto S.: “First insertion device for SPring-8 long straight sections”, Proc. 13th Symp. on Accelerator Science and Technology, Suita, 2001–10, RCNP, Osaka University, Suita, pp. 145–149 (2001).

渡川和晃, 新竹積, 松本浩, 北村英男: “軟 X 線自由電子レーザーに用いる熱カソード型高電圧パルス電子銃の開発”, Proc. 26th Linear Accelerator Meet. in Japan, つくば, 2001–8, pp. 147–149 (2001).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Tanaka T.: “Exotic devices at the SPring-8”, Insertion Device Workshop at CLS, (Canadian Light Source), Saskatoon, Canada, Nov. (2000).

Hara T.: “Recent developments on the SPring-8 insertion devices”, SLS Seminar, (Paul Scherrer Institute), Villigen, Switzerland, Feb. (2001).

Hara T.: “X-ray photo-switch induced by a ps laser”, SLS Seminar, (Paul Scherrer Institute), Villigen, Switzerland, Feb. (2001).

Tanaka Y., Hara T., Kitamura H., and Ishikawa T.: “Synchronization of picosecond laser pulses with SR x-

- rays on the target”, Workshop on the Generation and Uses of VUV and Soft X-Ray Coherent Pulses, (MAX-Laboratory and others), Lund, Sweden, July (2001).
- Kitamura H., Shintake T., Matsumoto H., and Ishikawa T.: “SPring-8 compact coherent light source”, Int. Symp. on Optical Science and Technology, (SPIE), San Diego, USA, July–Aug. (2001).
- Nishiura M., Sasao M., Matsumoto Y., Hamabe M., Wada M., Yamaoka H., and Bacal M.: “Cooling effect of hydrogen negative ions in argon gas mixture”, 9th Int. Conf. on Ion Sources (ICIS 2001), (Lawrence Berkeley National Laboratory and others), Oakland, USA, Sept. (2001).
- Bacal M., Nishiura M., Sasao M., Wada M., Hamabe M., and Yamaoka H.: “Effect of argon additive in negative hydrogen ion sources”, 9th Int. Conf. on Ion Sources (ICIS 2001), (Lawrence Berkeley National Laboratory and others), Oakland, USA, Sept. (2001).
- Nishiura M., Sasao M., Matsumoto Y., Hamabe M., Wada M., Yamaoka H., and Bacal M.: “Influence of filament materials on vacuum ultraviolet emission in H⁻ ion source”, 9th Int. Conf. on Ion Sources (ICIS 2001), (Lawrence Berkeley National Laboratory and others), Oakland, USA, Sept. (2001).
- Tanaka T.: “Asymmetric figure-8 undulator”, ESRF-APS-SPring-8 Three Way Workshop, Grenoble, France, Nov. (2001).
- (国内会議)
- 山岡人志, 大浦正樹, 川面澄, 木俣潤一, 早石達司, 高橋武寿, 小泉哲夫, 関岡嗣久, 寺澤倫孝, 伊藤陽, 栗屋容子, 横谷明德, 安居院あかね, 吉越章隆: “ネオンイオン及び酸素イオンの内殻光励起・電離実験”, 日本物理学会第 55 回年次大会, 新潟, 9 月 (2000).
- 山岡人志, 大浦正樹, 川面澄, 早石達司, 伊藤陽, 小泉哲夫, 小島隆夫, 関岡嗣久, 寺澤倫孝: “SPring-8 における原子物理実験の進展”, 第 14 回放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 東広島, 1 月 (2001).
- 呉樹奎, 青柳秀樹, 工藤統吾, 佐藤一道, 佐々木茂樹, 石川哲也, 北村英男: “光ケーブルを用いた光ビーム高速診断システム”, 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, 東広島, 1 月 (2001).
- 青柳秀樹, 工藤統吾, 熊谷桂子, 佐野睦, 中谷健, 北村英男: “光位置モニターと蓄積リング閉軌道の変形との整合性”, 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, 東広島, 1 月 (2001).
- 渡川和晃, 新竹積, 松本浩, 北村英男: “軟 X 線自由電子レーザーに用いる熱カソード型高電圧パルス電子銃の開発”, 第 26 回リニアック技術研究会, (高エネルギー加速器研究機構), つくば, 8 月 (2001).
- 原徹, 石川哲也, 玉作賢治, 田中隆次, 北村英男, 矢橋牧名, 備前輝彦, Marechal Z. M., 清家隆光, 後藤俊治: “SPring-8 の長直線部挿入光源”, 第 13 回加速器科学研究発表会, (大阪大学核物理研究センター), 茨木, 10 月 (2001).
- 矢橋牧名, 玉作賢治, 原徹, 田中隆次, 高橋直, 青柳秀樹, 後藤俊治, 竹下邦和, 大橋治彦, 望月哲朗, 山崎裕史, 大端通, 松下智宏, 田中義人, 北村英男, 石川哲也: “Present status of a 25-m undulator beamline 19LXU”, 第 5 回 SPring-8 シンポジウム, 播磨, 10 月 (2001).
- 鈴木芳生, 望月哲朗, 上杉健太郎, 竹内晃久, 高野秀和, 梅谷啓二, 後藤俊治, 竹下邦和, 高橋直, 大橋治彦, 古川行人, 大端通, 松下智宏, 石澤康秀, 八木直人, 瀧本直樹, 福居知樹, 山崎裕史, 田中隆次, 北村英男, 石川哲也: “中尺アンジュレータビームライン 20XU (医学及びイメージング) の現状”, 第 5 回 SPring-8 シンポジウム, 播磨, 10 月 (2001).
- 玉作賢治, 矢橋牧名, 田中義人, 原徹, 山崎裕史, Souvorov A., Signorato R., 望月哲朗, 鈴木基寛, 河村直己, 北村英男, 石川哲也: “RIKEN 1-km-beamline for coherent optics (BL29XUL)”, 第 5 回 SPring-8 シンポジウム, 播磨, 10 月 (2001).
- 山岡人志: “マージングビーム法: イオンの内殻光電離と生成イオンの分光”, 第 5 回 SPring-8 利用技術に関するワークショップ, (SPring-8 利用者懇談会), 播磨, 12 月 (2001).
- 青柳秀樹, 北村英男, 石川哲也, 工藤統吾, 呉樹奎, 佐藤一道, 佐々木茂樹, 田中均: “SPring-8 における放射光ビーム高速診断システムを利用したビーム振動の観測”, 第 15 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 柏, 1 月 (2002).
- 佐野睦, 北村英男, 高橋直, 谷田肇, 宇留賀朋哉, 加藤和男, 高井健吾, 渡辺篤雄: “SPring-8 基幹チャンネル部における冷却水路の損傷調査”, 第 15 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 柏, 1 月 (2002).
- 工藤統吾, 北村英男, 青柳秀樹, 小林俊幸: “SPring-8 光位置モニターの更なる高速化についての基礎的検討”, 第 15 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 柏, 1 月 (2002).
- 白澤克年, 原徹, 竹内政雄, 室隆桂之, 斉藤祐児, 木村洋昭, 北村英男: “ツインヘリカルアンジュレータによる円偏光切り替えの実現”, 第 15 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 柏, 1 月 (2002).
- 山岡人志, 大浦正樹, 高廣克己, 竹島直樹, 川面澄, 水牧牧一郎: “光イオン化における L_x 線の非等方性の観測”, 第 15 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 柏, 1 月 (2002).
- 高橋直, 北村英男, 辛埴, 大浦正樹, 佐野睦: “体積発熱型マスクの開発”, 第 15 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 柏, 1 月 (2002).
- 渡川和晃: “理研自由電子レーザー計画と低エミッタンス電子銃”, 東京大学素粒子物理国際研究センターシンポジウム, 白馬, 2 月 (2002).
- 勝又統一, 田畑吉計, 中村哲也, 田中良和, 下村晋, 鳴海康雄, 石川哲也, 北村英男, 原徹, 田中隆次, 玉作賢治, 矢橋牧名, 後藤俊治, 大橋治彦, 竹下邦和, 大端通, 松下智裕, 備前輝彦, Lovesey S. W., 山田勲: “MnF₂ の磁場中における X 線磁気散乱”, 日本物理学会第 57 回年次大会, 滋賀県草津, 3 月 (2002).
- 松本新功, 笹尾眞実子, 和田元, 西浦正樹, 山岡人志, 神藤勝啓: “イオン, および中性粒子ビーム固体表面入射実験における放出粒子測定”, 日本物理学会第 57 回年次大会, 滋賀県草津, 3 月 (2002).