

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 15 年 3 月までにそれぞれ特徴のある計 25 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 12 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) 新しい磁場測定法の開発 (北村, 田中, 清川^{*1}, 宮井^{*1})

アンジュレータの性能を改善するためには、磁石交換・反転などによって磁場調整を行う必要がある。このため通常はホールプローブと呼ばれる装置を用いて磁場測定を行い、データを解析して磁場調整を行っている。従来用いられてきたホールプローブのモジュールは厚みが 3 mm 程度あり、このためギャップ 5 mm 以下における磁場測定は困難であった。これを改善するために、パルスワイヤ法と呼ばれる磁場測定法の開発に着手した。これは磁石のギャップ間にワイヤを通し、そこにパルス上の電流を流すことによってワイヤに与えられる振動をアンジュレータ外部に設置された変異検出器で測定することにより、アンジュレータの磁場積分値を測定するものであって、原理的にはワイヤ径 ($\sim 100 \mu\text{m}$) のギャップまで対応可能である。また、真空封止アンジュレータのように、真空チャンバの中に磁石列が隠れるような構造のものであっても問題なく測定が可能である。この方法について原理の検証を行った後、波の減衰、分散の評価、レーザによる変換器の安定性、およびレンズ集光による S/N 比の改善について測定を行い、システムのハードウェアおよびソフトウェアにおいて改善すべき項目についての知見を得た。今後これらを改善し、S/N 比を高めることにより、ホールプローブによる磁場測定と同程度の測定精度を目指す。

(2) 真空封止型狭ギャップリボルバーアンジュレータの開発 (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な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。本年度は、磁石列の回転再現性試験、形状変換部繰り返し疲労試験を行った。また、本アンジュレータは、韓国浦項加速器研究所との共同研究のため、来年度に当該蓄積リングに設置する予定である。このため、当該ビームラインに適した 24 mm 周期長の磁石列と既設 6 mm 周期長磁石を交換し、磁場測定を行った。

(i) 磁石列の回転再現性試験

磁石列の回転軸は、真空槽への大気リークを防止するた

め、シール材が強い力で押し付けられている。この力は、回転軸に捻れを生じさせるので、軸回転用モータ部のエンコーダ角度表示値と実際の磁石回転角度にずれがあるのではないかと疑義があった。そこで、磁石列の回転角度が直接測れるように、試験用に軸付近を改造し、レーザエンコーダを取り付け、計測を行った。その結果、ずれは許容範囲内であった。また、ずれは、再現性のあるヒステリシスを描くことが分かった。

(ii) 形状変換部繰り返し疲労試験

本アンジュレータの形状変換部 (磁石列および真空槽出口部を電子ビームから見てなめらかに接続するための部材) は、通常真空封止アンジュレータのようにギャップ閉閉に追従するのみでなく、磁石列回転選択時には、磁石列と着脱するような機構が必要となる。このため、形状変換部が複雑な繰り返し動作に対して構造的に問題ないかを確認する必要があった。そこで、4 種類の形状変換部について 1 万回の繰り返し動作試験を行った。その結果、1 万回の動作後においても破壊が起こらないことを確認した。

(iii) 24 mm 周期長の磁石列設置

真空槽を取り除いた実機アンジュレータ架台を使用して磁場計測を実施した。

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, 白澤^{*2})

円偏光アンジュレータからの左右偏光方向を周期的に切り替える手段は、アンジュレータ磁場方向を反転させるなどいくつかある。SPring-8 軟 X 線ビームライン (BL25SU) では、直線部にタンデムに配置した 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、電子ビームのバンブ軌道を作ることによりビームライン軸上へ放射される円偏光方向を切り替えている。本年度より、左右円偏光方向を 1 Hz でスイッチングした光を用いた MCD 測定などのユーザー実験が開始された。またビームライン実験と平行して、スイッチング周期高速化のための R&D を行った。電子ビーム軌道の最終補正は、軌道変位を反転させた時間波形で空芯コイルを励磁するフィードフォワードによって行っている。高速スイッチングに対応できるよう制御系の

時間タイミングの高精度化、およびフィードフォワードに用いるデータ作成の自動化をすすめて、その結果 10 Hz 程度までスイッチング周期を上げることができた。スイッチングの高速化により、ビームライン実験においてロックインテクニックなどを用いた S/N の向上が可能になる。

(2) 新型偏光制御アンジュレータ(北村, 田中, 白澤^{*2})

SPring-8 の軟 X 線理研ビームライン BL17SU 用の光源として考案された新型の偏光制御アンジュレータの開発を行った。このアンジュレータは、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。昨年度製作した試作機をもとに実機を製作し、さまざまな方面から特性を評価した。

まず、従来と同じ方法により永久磁石列のみでの調整を行った後、電磁石コイル単体での磁場測定を行い、これをもとに配列を決定し本体に組み込んだ。さらに、電磁石冷却のための最適な冷却システムについて検討し、実験を行った。この結果、最大電流で運転しても支障がない程度にまで冷却能力が大幅に改善した。また、磁場調整を行うために電磁石ヨークの側面にケイ素鋼板の薄膜を接着し、水平および垂直磁場積分の多極成分を補正した。電磁石による垂直磁場のピーク強度についてはほぼ計算どおりの値が得られた。一方、永久磁石による水平磁場のそれは計算よりも若干小さいことが確認されたが、実用上問題ない程度のものであった。これはヨークによる影響が予想よりも大きかったためであると思われる。

全体の磁場調整が終了した後、COD 補正用のステアリングテーブルの作成に着手した。これは本来挿入光源を蓄積リングに設置した後で電子ビームを用いて行っていたものであるが、本アンジュレータでは電磁石によるヒステリシスが確認されたため、その特性を確認するためにオフラインでの試験を兼ねて行ったものである。この結果、全運転パターンにおいて 50 G.cm 以下に磁場積分を抑えることができたが、これは蓄積リングの運転上、無視できないものであるため、電子ビームを用いた通常の手続きによりさらに精度の高い補正が必要となる。

3. コヒーレント X 線光源の開発研究

(1) FEL 用ミニギャップアンジュレータ(北村, 田中, 原, 渡川, 白澤^{*2}, Kim^{*3}, 馬場^{*3}, 並河^{*4}, 松本^{*4}; 石川(X 線干渉光学研究室))

昨年度製作したプロトタイプを基に実機を製作し、磁場特性の評価を行った。このアンジュレータは、通常の最小ギャップである 8 mm よりもさらに狭い、3 mm 程度で運転されるため、磁場測定ならびに磁場調整もギャップ 3 mm (あるいはそれ以下) において行わなければならない。従来のホールプローブ磁場測定モジュールは厚みが 3 mm であり、上下のクリアランスを考えると実用上 4~5 mm 程度のギャップまでしか測定できないという問題点があった。このため厚みが 1 mm という、おそらく世界でも最小のホールプローブモジュールを製作した。このモジュールを用いることにより最小で 2.5 mm 程度のギャップを測定すること

ができるようになった。

装置全体の組立作業の後、磁場測定作業を開始した。この結果、磁石列を固定しているアルミニウム製のビームに最大で 80 μ m 程度の歪みが生じていることが確認された。この原因として、ビームの加工の際、ビームを上下に駆動するためのペローズシャフトものを固定するためのタップを用いて固定し、さらに加工後の製品検査もその状態のまま行っていたため、実際に使用する段階で歪みが生じていることが分かった。このため最大で 10 μ m 程度の歪みに抑えるように全てのビームを再加工した。

次に、ユニット間のギャップの微調整を行った。これは、アンジュレータが 4 つのユニットから構成されているために、各ユニットで微妙に磁石ギャップが違っていることにより生ずる光の位相誤差を補正するためのものである。特にこのアンジュレータは周期数が大きいためこの影響は大きく、10 μ m 程度の誤差でも 40~50° 程度の位相誤差が生ずる。(目標は 2° 以下)

ユニット間のギャップを精密に調整した後、通常の磁場調整作業を開始した。これは磁場分布を測定し、磁場特性を悪化させている磁石を交換、あるいは極性を反転することにより磁場を補正するものであり、当研究室において独自に考案されたものであり、この現時点で、位相誤差は 3° 以下まで軽減されている。最終的には実測磁場を基に FEL シミュレーションを行い、理想的な磁場の場合と比較して磁場誤差による影響が無視できることが確認されるまで調整を続ける予定である。

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

The main mission of our laboratory is to develop insertion device technology for SPring-8, the 8-GeV synchrotron radiation (SR) facility of third generation source. Before now, we have completed 25 devices, generating synchrotron radiation with the highest brilliance, which promotes new sciences utilizing coherence property of the radiation. In addition, we are developing an FEL in the soft X-ray region based on the combination of high gradient LINAC and mini-gap undulator of in-vacuum type.

1. Development of short period undulators

(1) Field measurement by the pulsed-wire method

The pulsed-wire method is a scheme which enables the field measurement of an insertion device at a very narrow gap. A current pulse passing through a thin wire inserted between the magnet gap creates a deflection on it. Then the deflection causes a displacement corresponding to the field-integral value of the device, which is detected by the instrument located at the exit of the undulator. The principle of the pulsed-wire method has been investigated to find items to be improved concerning both the softwares and hardware of the system.

(2) In-vacuum revolver mini-gap undulator

The in-vacuum revolver mini-gap undulator has four magnet arrays with different periodic lengths, 10 mm, 15 mm, 20 mm, and 24 mm. Although the whole device was almost completed in the last year, we made repeatability tests for rotations of magnet arrays and fatigue tests for transition plates this year. According to the research

collaboration, this undulator will be installed in the storage ring at the Pohang Accelerator Laboratory in South Korea.

2. Development of exotic undulators

(1) Twin helical undulators with fast switching of polarization helicity

Twin helical undulators have been installed in a 5 m straight section of SPring-8 BL25SU to provide helicity switched circularly polarized radiation in soft X-ray. Helicity of circular polarization is switched by means of electron beam orbit bumps. The helicity switching by a 1 Hz trapezoidal pattern is already operational during the user time and used for MCD measurements. As a next step, we increase the switching frequency up to 10 Hz, which enables to use lock-in techniques and improve the accuracy of user measurements.

(2) Novel undulator with controllable polarization

A novel insertion device consisted of permanent magnets and electromagnets for the BL17SU/RIKEN beamline at SPring-8 has been developed. This device will be operated in 3 modes to provide various states of polarization. Field measurements and corrections have been made to improve the performance of the device. After finishing it, the feedforward table of the steering coil to correct the COD variation has been made with the flipping coil system. The field-integral variation has been corrected within 50 G.cm, however, this value is larger than the criterion in SPring-8 beam operation. Therefore, more accurate corrections with steering coils should be made with the electron and X-ray beam position monitors under operation of SPring-8.

3. Development of coherent synchrotron sources

(1) Mini-gap undulator for FEL

The in-vacuum undulator for the X-ray FEL project has been constructed and its performances have been investigated. In order to measure the magnetic field at the gap of 3 mm, a new Hall-probe module has been constructed with the thickness of 1 mm. After the initial field measurement with it, the magnetic field has been found to have systematic errors mainly caused by the 4-unit structure of the device and the distortion of the aluminum beam holding the magnet arrays. After improvement of them, the normal field correction has been made. At present, the phase error has been reduced to less than 3 degree.

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

Dr. Masamitsu WATANABE

Mr. Hitoshi BABA *

Dr. Yu-Jong KIM *

* Contract Researcher

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.)

Mr. Kazuyuki ONOE (ULVAC)

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

Tong X., Yamaoka H., Nagasawa H., and Watanabe T.:

“Heat-energy deposition in x-ray interaction with materials application to Si and Be”, *J. Appl. Phys.* **78**, 2288–2297 (1995). *

Sasao M., Taniike A., Nomura I., Wada M., Yamaoka H., and Sato M.: “Development of diagnostic beams for alpha particle measurement on ITER”, *Nucl. Fusion* **35**, 1619–1624 (1995). *

Uruga T., Ohtomo K., and Yamaoka H.: “Thermal analyses of premirrors for a SPring-8 undulator beamline”, *Rev. Sci. Instrum.* **66**, 2251–2253 (1995). *

Yamaoka H., Goto S., Kohmura Y., Uruga T., and Ito M.: “X-ray scattering from nonideal Czochralski silicon crystals for high energy synchrotron radiation”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **36**, 2792–2799 (1997). *

Tanaka T. and Kitamura H.: “SPECTRA: a synchrotron radiation calculation code”, *J. Synchrotron Rad.* **8**, 1221–1228 (2001). *

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”, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **467/468**, 149–152 (2001). *

Tanaka T. and Kitamura H.: “Parabolic undulator and its application to fast switching of helicity”, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **467/468**, 153–156 (2001). *

Kudo T. P., Aoyagi H., Sato K., Wu S., Tanaka H., Sasaki S., Nakatani T., Takeuchi M., Shimada T., Hiramatsu Y., Yokoya A., Agui A., Yoshigoe A., Ohkuma H., Miyahara Y., Ishikawa T., and Kitamura H.: “Syn-

chronous beam diagnostic system using cordless telephones at SPring-8”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **467/468**, 239–243 (2001). *

Katsumata K., Tabata Y., Lovesey S. W., Nakamura T., Tanaka Y., Shimomura S., Narumi Y., Ishikawa T., Kitamura H., Hara T., Tanaka T., Tamasaku K., Yabashi M., Goto S., Ohashi H., Takeshita K., Ohata T., Matsushita T., Bizen T., and Yamada I.: “Observation of field-induced magnetic and structural transitions in an antiferromagnet by means of synchrotron X-rays”, J. Phys.: Condens. Matter **14**, L619–L623 (2002). *

Oura M., Yamaoka H., Kawatsura K., Takahiro K., Takeshima N., Zou Y., Hutton R., Ito S., Awaya Y., Terasawa M., Sekioka T., and Mukoyama T.: “Correlative multielectron processes in K-shell photoionization of Ca, Ti and V in the energy range of 8–35 keV”, J. Phys. B **35**, 3847–3863 (2002). *

Kawatsura K., Yamaoka H., Oura M., Hayaishi T., Sekioka T., Agui A., Yoshigoe A., and Koike F.: “The 1s–2p resonance photoionization measurement of O⁺ ions in comparison with an isoelectronic species Ne³⁺”, J. Phys. B **35**, 4147–4153 (2002). *

Tanaka T. and Kitamura H.: “Production of linear polarization by segmentation of helical undulator”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **490**, 583–591 (2002). *

Yamaoka H., Oura M., Kawatsura K., Hayaishi T., Sekioka T., Agui A., Yoshigoe A., and Koike F.: “Photoionization of singly and doubly charged neon ions following inner-shell excitation”, Phys. Rev. A **65**, 012709-1–012709-8 (2002). *

Yamaoka H., Oura M., Takahiro K., Takshima N., Kawatsura K., Mizumaki M., Kleiman U., Kabachnik N. M., and Mukoyama T.: “Angular distribution of Au and Pb L x rays following photoionization by synchrotron radiation”, Phys. Rev. A **65**, 062713-1–062713-8 (2002). *

Tanaka T., Kitamura H., and Shintake T.: “Misalignment effects of segmented undulator in self-amplified spontaneous emission”, Phys. Rev. Spec. Top.: Accel. Beams **5**, 40701-1–40701-7 (2002). *

Wada M., Sasao M., Nishiura M., Yamaoka H., Matsumoto K., and Shinto K.: “Angle-resolved energy distributions of He ions produced by backscattering of metastable He at low work function metal surface”, Rev. Sci. Instrum. **73**, 955–957 (2002). *

Hara T., Shirasawa K., Takeuchi M., Seike T., Saito Y., Muro T., and Kitamura H.: “Helicity switching of circularly polarized undulator radiation by local orbit bumps”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **498**, 496–502 (2003). *

(総説)

田中義人, 原徹, 北村英男, 石川哲也: “SPring-8における X線放射光・短パルスレーザーの同期と時間分解測定”, レーザー研究 **30**, 525–530 (2002).

山岡人志, 大浦正樹, 北本俊二: “放射光を使った原子物理

と天体物理との接点: イオンの光電離実験”, 放射光 **15**, 209–218 (2002).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Yamaoka H., Oura M., Kawatsura K., Hayaishi T., Koizumi T., Ito Y., Kojima T., Sekioka T., Terasawa M., Awaya Y., and Koike F.: “Photoionization of singly and multiply charged ions following inner-shell excitation by synchrotron radiation”, 22nd Int. Conf. on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2001), Santa Fe, USA, July (2001).

Wada M., Sasao M., Nishiura M., Yamaoka H., and Matsumoto Y.: “Angle-resolved energy distribution of He ions produced by back-scattering of meta-stable He at low work function metal surface”, 9th Int. Conf. on Ion Sources (ICIS 2001), Oakland, USA, Sept. (2001).

Bizen T., Tanaka T., Asano Y., Kitamura H., Lee H., Kim D., and Bak J.: “Demagnetization of undulator magnets irradiated with high energy electrons”, Accelerator Reliability Workshop, (ESRF), Grenoble, France, Feb. (2002).

Matsumoto Y., Sasao M., Wada M., Nishiura M., Yamaoka H., and Shinto K.: “Measurement of energy and angular distribution of reflected ions from ion and neutral particle bombardment onto metal surfaces”, 15th Int. Conf. on Plasma Surface Interactions on Controlled Fusion Device (PSI-15), (National Institute for Fusion Science), Gifu, May (2002).

Bizen T., Asano Y., Hara T., Marechal X., Seike T., Tanaka T., Kitamura H., Lee H., Kim D., and Bak J.: “Demagnetization of undulator magnets irradiated by high-energy electrons”, 24th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Future Light Sources, (ICFA, RIKEN, and others), Harima, May (2002).

Tanaka T.: “Undulator segmentation in SASE: do we really need an accurate alignment between segments?”, 24th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Future Light Sources, (ICFA, RIKEN, and others), Harima, May (2002).

Tanaka T.: “New concept for design of 25-m soft X-ray undulator”, 5th SPring-8 Int. Workshop on 30-m Long Straight Sections, (JAERI and RIKEN), Harima, May (2002).

Yamaoka H., Oura M., Takahiro K., Takeshima N., Kawatsura K., Mizumaki M., Kleiman U., Kabachnik N. M., and Mukoyama T.: “Angular distribution of Au and Pb L x rays following photoionization by synchrotron radiation”, Int. Workshop on Photoionization (IWP2002), (JASRI, RIKEN, and JAERI), Harima, Aug. (2002).

Morikawa T., Oura M., Yamaoka H., Kawatsura K., Takahiro K., Takeshima N., Maeda K., Hayakawa S., Ito S., Sekioka H., Terasawa M., and Mukoyama T.: “Evolution of the K α x-ray satellites for Fe, Ni and Zn”, Int. Workshop on Photoionization (IWP2002), (JASRI,

- RIKEN, and JAERI), Harima, Aug. (2002).
- Aoyagi H., Mochizuki T., Oura M., Sakurai Y., Sano M., Takahashi S., and Kitamura H.: "Alignment of photon beam-line components of the SPring-8 front ends", 7th Int. Workshop on Accelerator Alignment (IWAA 2002), (JASRI), Harima, Nov. (2002).
- (国内会議)
- 陳帆夫, 小泉哲夫, 小島隆夫, 中井陽一, 山岡人志, 伊藤陽, 北島昌史: "Eu⁺4d 光励起の高分解能測定", 日本物理学会第 57 回年次大会, 滋賀県草津, 3 月 (2002).
- 笹尾眞実子, Bacal M., 西浦正樹, 山岡人志, 松本新功, 神藤勝啓: "H-イオン源における振動励起分子生成への壁材料効果", プラズマ・核融合学会第 19 回年会, 犬山, 11 月 (2002).
- 田中義人, 村木聡, 原徹, 北村英男, 石川哲也: "時間分散型 X 線回折法によるレーザー誘起結晶格子膨張過程の観測", 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
- 青柳秀樹, 谷田肇, 工藤統吾, 北村英男: "多結晶ダイヤモンド素子を用いた光伝導ブレード型光位置モニター", 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
- 工藤統吾, 青柳秀樹, 淡路晃弘, 小林俊幸, 北村英男: "低電気容量型タングステンブレードを用いた超高速放射光モニター", 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
- 山岡人志, 高廣克己, 森川司, 川面澄, 大浦正樹, 向山毅: "鉄化合物における spin selective な K β X 線発光分光", 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
- 大浦正樹, 竹内智之, 春名貴雄, 辛埴, 向山毅, 原田慈久, 山岡人志, 塚本一徳, 鈴木拓: "軟 X 線吸収・発光分光による多電子励起過程の研究", 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
- 白澤克年, 田中隆次, 清家隆光, 北村英男: "軟 X 線偏光制御アンジュレータ", 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
- 鳴海康雄, 勝又紘一, 田畑吉計, 木村尚次郎, 田中良和, 中村哲也, 下村晋, 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, 松下智祐, 備前輝彦, 松田雅昌: "CuGeO₃ の磁場中 X 線散乱", 日本物理学会第 58 回年次大会, 仙台, 3 月 (2003).