

JAERI-Tech

JP0450248

2003-089



SPring-8 原研軟X線ビームラインBL23SUにおける
四象限ブレード型光位置モニターの導入

2003年12月

安居院 あかね・青柳 秀樹*・吉越 章隆・中谷 健

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

SPring-8 原研軟X線ビームラインBL23SUにおける 四象限ブレード型光位置モニターの導入

日本原子力研究所関西研究所放射光科学研究センター
安居院 あかね・青柳 秀樹*・吉越 章隆・中谷 健

(2003年10月28日受理)

大型放射光施設(SPring-8)の原研専用軟X線ビームライン(BL23SU)に四象限ブレード型光位置モニターを導入した。本光位置モニターは、可変偏光アンジュレーター(APPLE-2)より発生する軟X線放射光ビームの位置変動を計測することを目的とする。これはブレード構造検出素子を四枚有し、これらを独立に駆動することによってブレードからの光電効果による電気信号の各ブレードへの配分比を検出し、光の位置及び形状を算出することができる。

関西研究所：〒679-5148 兵庫県佐用郡三日月町光都 1-1-1

*(財)高輝度光科学研究センター(JASRI)

**Four-blade-drive Style X-ray Beam Position Monitor
for Soft X-ray Beamline BL23SU at SPring-8**

Akane AGUI, Hideki AOYAGI*,
Akitaka YOSHIGOE and Takeshi NAKATANI

Synchrotron Radiation Research Center
Kansai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Mikazuki-cho, Sayou-gun, Hyogo-ken

(Received October 28, 2003)

In order to measure the soft X-ray beam position and the profile of the synchrotron radiation, an X-ray beam position monitor in the four-blade-drive style has been installed in the front end of BL23SU at SPring-8. This report describes the design and the adjustment of the X-ray beam position monitor.

Keywords: ID23, SPring-8, BL23SU, X-ray Beam Position Monitor, XBPM, Four-blade-drive Style, APPLE-2, Variably-polarizing Undulator, Soft X-ray

*Japan Synchrotron Radiation Research Institute

目次

1. はじめに.....	1
2. 四象限ブレード型光位置モニターの仕様.....	1
2. 1 動作原理.....	1
2. 2 四象限ブレード型光位置モニターの製作及び設置.....	3
2. 2. 1 製作・施設条件.....	3
2. 2. 2 真空容器及び支持部.....	3
2. 2. 3 検出器及び検出器駆動装置.....	3
2. 2. 4 XYステージ.....	3
2. 2. 5 ベローズ.....	7
2. 2. 6 その他.....	7
2. 2. 7 設置.....	9
3. 四象限ブレード型光位置モニターの調整.....	11
3. 1 ビームプロファイルとブレードの位置.....	11
3. 2 XBPM出力信号の補正.....	15
4. 結語.....	21
謝辞.....	21
参考文献.....	22

Contents

1. Introduction.....	1
2. Four-blade-drive Style X-ray Beam Position Monitor.....	1
2. 1 Principle of the Measurement System.....	1
2. 2 Four-blade-drive Style X-ray Beam Position Monitor Apparatus.....	3
2. 2. 1 Setting Condition.....	3
2. 2. 2 The Vacuum Chamber and Base.....	3
2. 2. 3 The Detectors and the Driving System.....	3
2. 2. 4 XY Stage.....	3
2. 2. 5 Bellows.....	7
2. 2. 6 ETC.....	7
2. 2. 7 Installation.....	9
3. Tuning of Four-blade-drive Style X-ray Beam position Monitor.....	11
3. 1 Beam Profile and Blade Position.....	11
3. 2 Correction of the Signal Form the XBPM.....	15
4. Summary.....	21
Acknowledgments.....	21
References.....	22

1. はじめに

大型放射光施設(SPring-8)のBL23SUは原研専用軟X線ビームラインである。蓄積リングに設置された挿入光源から得られる高輝度放射光は、フロントエンド及び分光光学系から構成されるビーム輸送系によって、各実験ステーションに導かれている。このビームラインでは、概ね、400eV～2100eV領域の軟X線を利用することができる。BL23SUは、SPring-8の蓄積リングのCell123の4 m直線部の上流側2m部分に設置された、可変偏光アンジュレーター(variably-polarizing undulator)APPLE-2(advanced planar polarized light emitter type-2)を挿入光源(ID23:磁場周期長12cm, 周期数16、最小Gap間隔25mm)としている。この上流及び下流に補正電磁石(Steering Magnet:STM)を設置し、挿入光源の誤差磁場が引き起こすリング全体の電子軌道変動を最小限に押さえる工夫がされている。ID23に限らずSPring-8では挿入光源の上流と下流に補正電磁石が設置され、各挿入光源が引き起こす軌道変動が他のビームラインの実験に影響を及ぼさないように工夫されている。

SPring-8のような第三世代の放射光を利用した実験では放射光ビームの輝度や強度の向上などの恩恵により、質の高い実験データーを得ることが可能となってきている。また、これらのビーム位置の安定性は精密実験には欠かせない要素となっている。しかしながら、リングのパラメータや外部の条件により、電子軌道は変動する可能性があり、各挿入光源からビームラインに導かれるビームの位置が変化する場合がある。この光源から放出される光の位置を測定するものが光位置モニター(X-ray Beam Position Monitor: XBPM)である。ID23の場合、挿入光源の設定条件により光の偏光状態を変化させることができる。このとき光の形状も変化する。これまでBL23SUには、光位置の測定のためワイヤー型光位置モニターが設置されていたが、定常的にビーム位置を測定するには不向きであった。そこで、2001年12月に新たに複雑なビームプロファイルを有するビーム位置の計測に適した四象限ブレード型光位置モニターを導入した。

2. 四象限ブレード型光位置モニターの仕様

2. 1 動作原理

X線が物質に照射されると光電効果により電子が物質表面から放出される。このとき物質に流れる電流の変化を測定するのがブレード型光位置モニターの基本原理である。ID23の場合、磁石列のGapやPhaseの値によって複雑にビーム形状が変化するので、それに対応するため四象限型を採用した。放射光ビームの右上、左上、右下、左下に独立に駆動するブレード構造検出素子を配置し、光が通過するときに起きる光電効果により引き起こされる電流の変化を測定し、四枚のブレードからの信号配分比から光の位置を算出する。また、今回導入した光位置モニターでは、各ブレード信号からビーム形状に関する情報を得られることが特徴である。

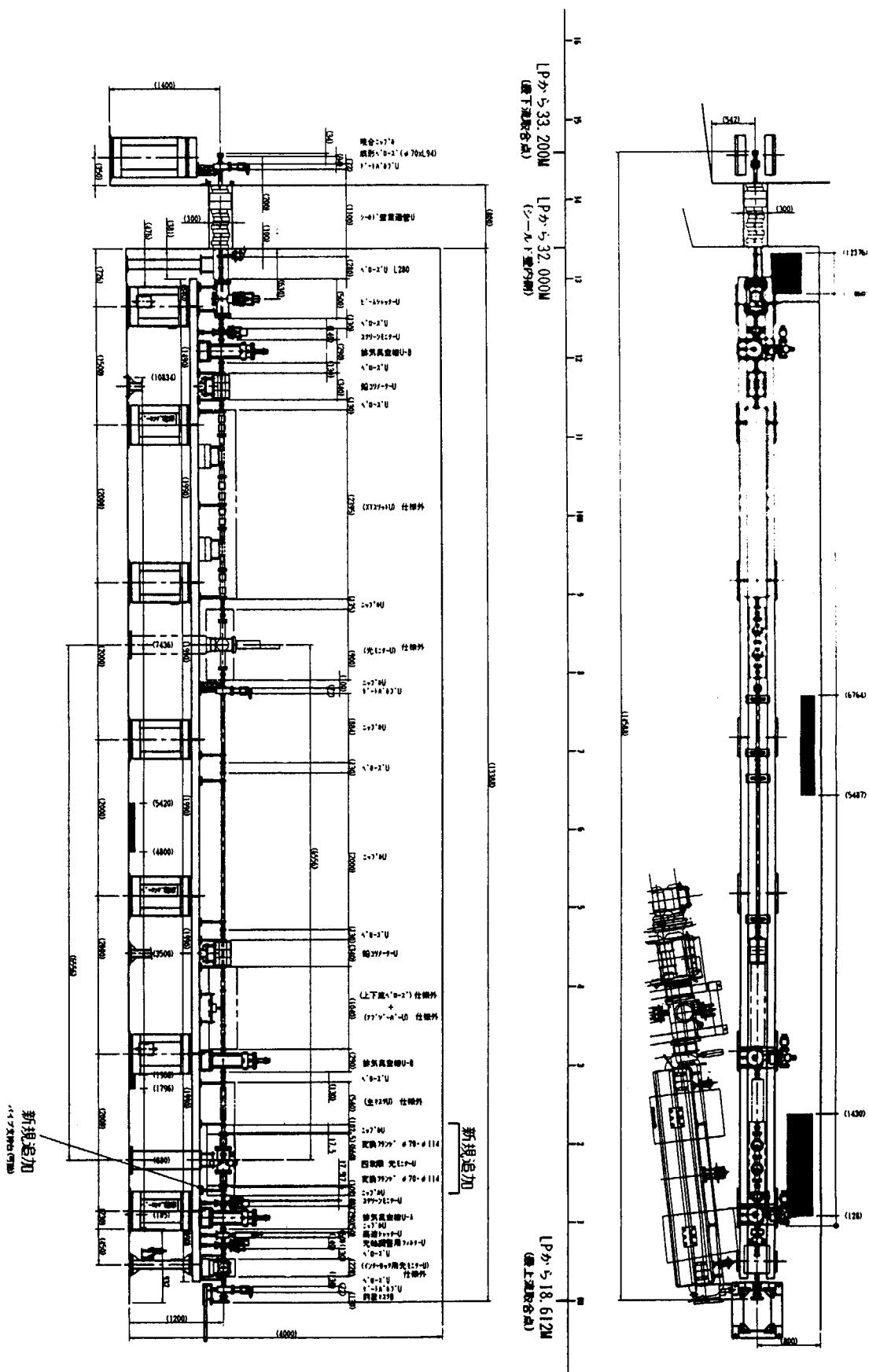


Figure 1: The layout of the front end of BL23SU

2. 2 四象限ブレード型光位置モニターの製作及び設置

2.2.1 製作・施設条件

設置場所は蓄積リング棟マシン収納部 BL23SU 基幹チャンネル部である。Figure 1 に BL23SU のフロントエンド部を示す。光位置モニターは Fig. 1 の新規追加部分に設置された。

2.2.2 真空容器及び支持部

Figure 2 に真空容器及び支持部の概要図を示す。主な構成を下記に示す。

a. 真空容器

検出器駆動用ポート ICF70 4個

ビーム用ポート ICF203 2個

ビューポート ICF70 2個

光軸の高さは専用架台天板上面より 280mm

フランジ面間隔 ビーム方向の真空容器のみ 300mm、ベローズ含め 660mm

b. 支持部

ボルト、ナット等を用いた手動の高さ及び軸の調整機構を設けた。

2.2.3 検出器及び検出器駆動装置

信号検出機器は四式で本体一体を構成する。

a. 検出器

検出用ブレードはタンクステンとした。

固定構造、電気配線、冷却構造等は SPring-8 標準規格に準じている。

b. 検出器駆動機構

Figure 3 にタンクステンブレードの形状を示す。右配置用 (R-type) 及び左配置用 (L-type) それぞれ 2 枚製作した。タンクステンブレードは 0.2mm のもの 4 枚を 1 セットとして図のハッチング部のセラミック溶射を行った。

駆動装置 5 相ステッピングモーター

駆動範囲 >20mm

分解能 1mm/50000pulse

原点センサー、リミットスイッチ及びロータリーエンコーダーを全ての軸に取り付けた。

2.2.4 XY ステージ

駆動方向は水平面内で光の進行方向に対して平行および垂直の 2 軸を有する。

駆動装置 5 相ステッピングモーター

駆動範囲 > ± 10mm 水平、> ± 5mm 垂直

原点センサー、リミットスイッチ及びロータリーエンコーダーを全ての軸に取り付けた。

This is a blank page.

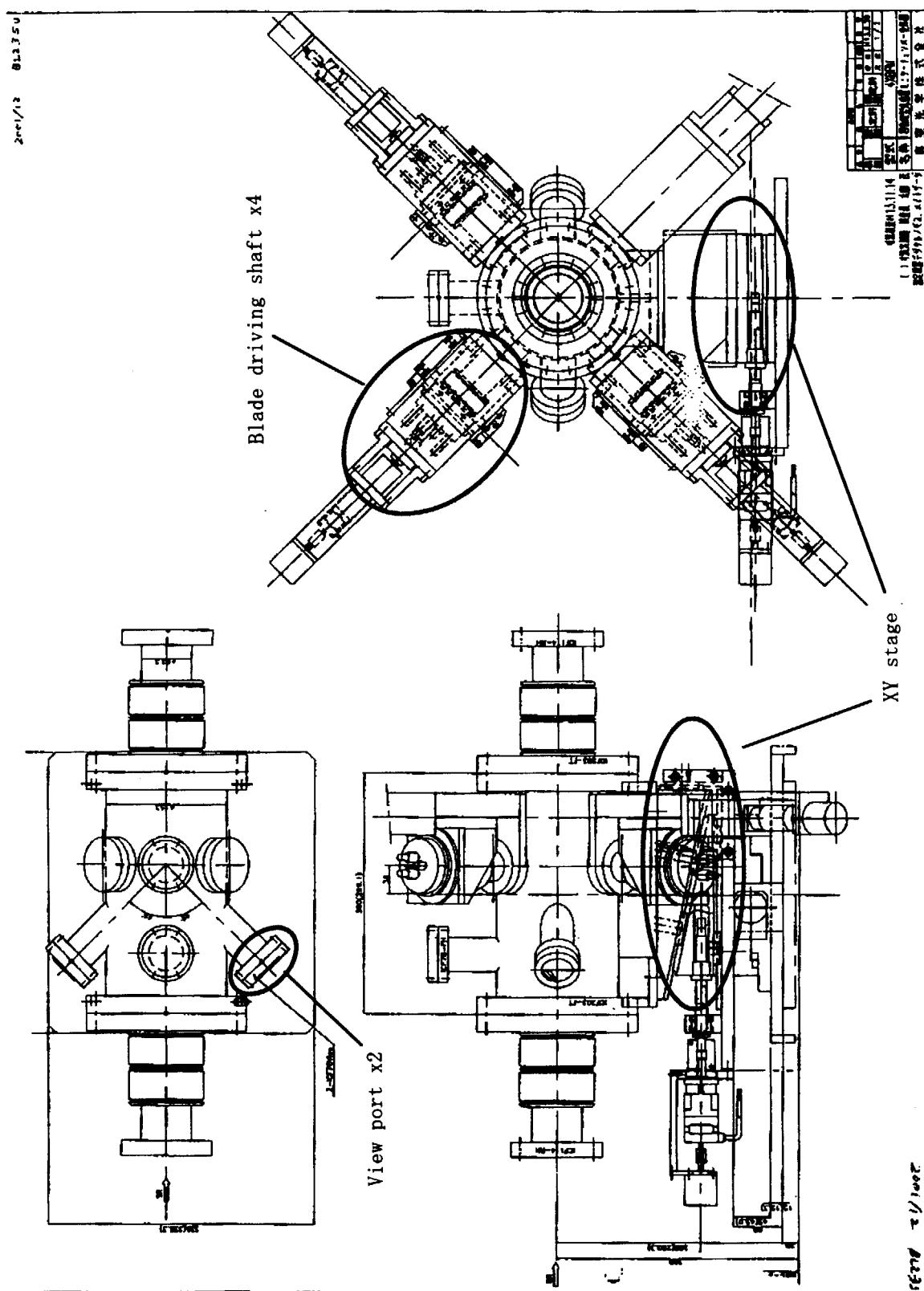


Figure 2: Outline of the XBPM in the four-blade-drive style for BL23SU

This is a blank page.

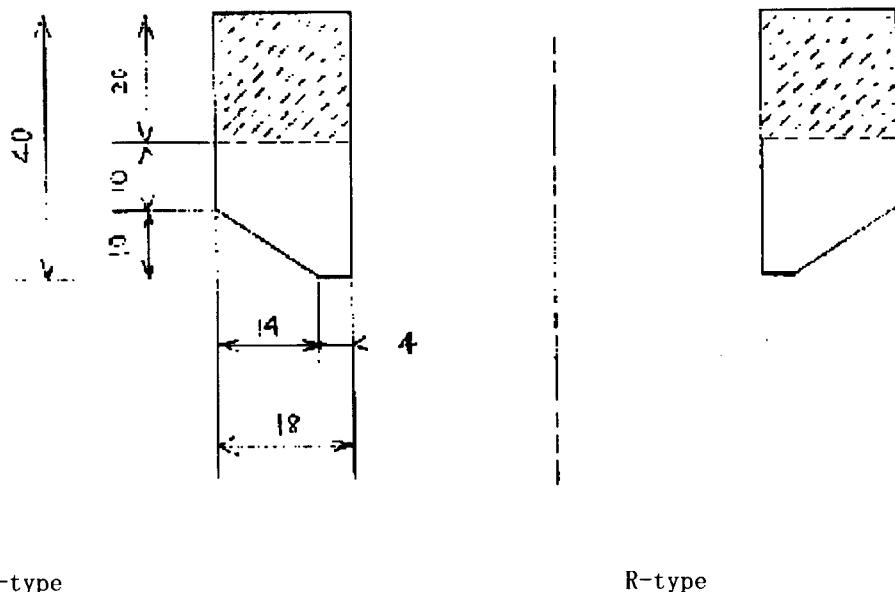


Figure 3: The blades (mm)

2.2.5. ベローズ

溶接ベローズは全長 180mm、変位 ± 15mm(軸直角方向)とした。
フランジは ICF203(固定)及び ICF114(回転)を用いた。
バイアス電極付きベローズには SHV コネクター(超高真空対応、フローティング)を用いた。

2.2.6 その他

a. 光モニター専用架台

周囲温度の変動に対して熱膨張の小さい専用架台を独立に設置した。

b. 冷却水枝配管

冷却母配管から当装置冷却用枝配管を基幹部冷却水配管仕様に基づいて設置した。

c. 実験ホール側制御部へのケーブル

下記の 6 軸ケーブルを用い、ID23 標準ケーブルから SPring-8 標準ケーブルへの接続に変換コネクターを使用した。ケーブル及び冷却配管はできるだけ既設のものを利用した。

パルスマータ用ケーブル(変換コネクター付)

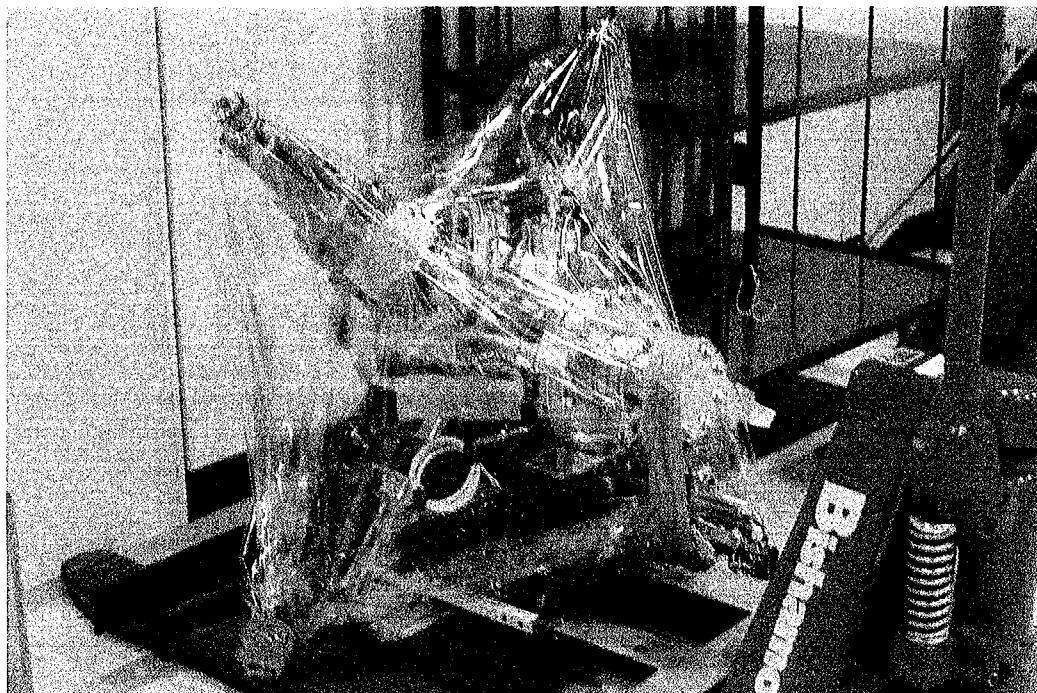
ロータリーエンコーダー用ケーブル(変換コネクター付)

This is a blank page.

2.2.7 設置

設置作業は2001年12月のSPring-8冬期停止期間中に行われた(受注業者:アネルバ株式会社)。Figure 4(a)に設置前の様子、(b)に設置後の様子を示す。

(a)



(b)

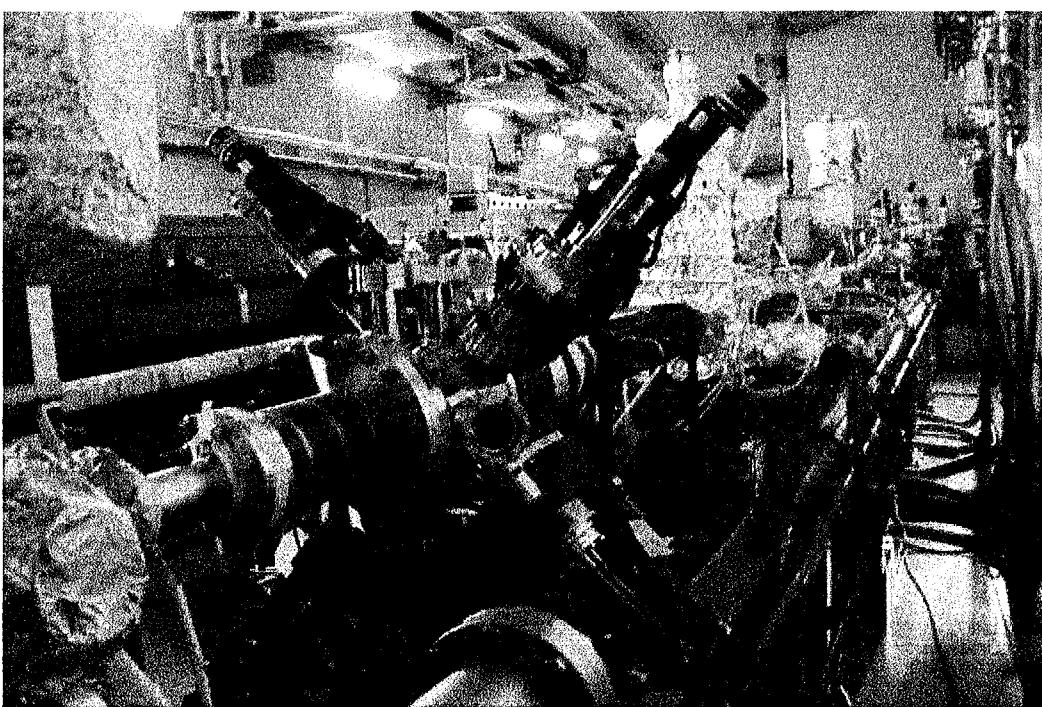


Figure 4: (a) The main body of the XBPM in the four-blade-drive style (2001 Dec. 10) and (b) the XBPM (2001 Dec. 18) at the front end of BL23SU after installation.

This is a blank page.

3. 四象限ブレード型光位置モニターの調整

3.1 ビームプロファイルとブレードの位置

ビームのプロファイルの全体像をつかむため、四象限の各ブレードを仮想光軸中心からの距離が 2 ~ 10mm の範囲でスキャン測定を行った。

測定条件:

Ring Current: 98 → 88mA (データは未補正)

Filling: 10/84 + 73

Gap: 36mm

Polarity: linear (Phase=0mm), right-handed (+35.364mm), left-handed (-35.364mm)

4つのブレードをすべて仮想光源中心より 10mm の位置に移動した後、中心までの距離が 2mm のところまで 1 枚ずつ移動させ電流信号を測定した。その結果を Figure 5 に示す。偏光の極性を変化させ同様に測定した。蓄積電流値は未補正のままである。

この結果から、ブレードの位置と検出信号強度とが複雑な相関をもっておらず、ビームプロファイルも比較的単純で、位置測定に困難がないことが分かった(補足 1)。測定は左右円偏光及び水平偏光に相当する条件で行った。直線偏光と円偏光では信号量に大きな差があるが、縦軸が対数のグラフでは概ね平行移動したような形になっていることが分かった。また、円偏光の右と左では、プロファイルに大きな差異は見られないで、補正係数も比較的近い値になると考えられる。また測定に用いる際のブレードの位置は、傾きが安定している位置、具体的には、矢印 (5.5mm) の位置が適当と思われる。

参考に四象限型光位置モニターのブレード位置とその直上流にある前置マスクの開口サイズの位置関係を Figure 6 に示す。緑色の線が四象限型のブレード位置で、今回は中心からの距離が 5.5mm にセットした。前置マスクの開口は、光源に近いので数% スケールアップして絵を描いている。灰色の線は標準型光位置モニターのブレードの位置を示す。ブレードの先端間隔は、水平方向 6mm ($\pm 3\text{mm}$)、垂直方向 4mm ($\pm 2\text{mm}$) である。

This is a blank page.

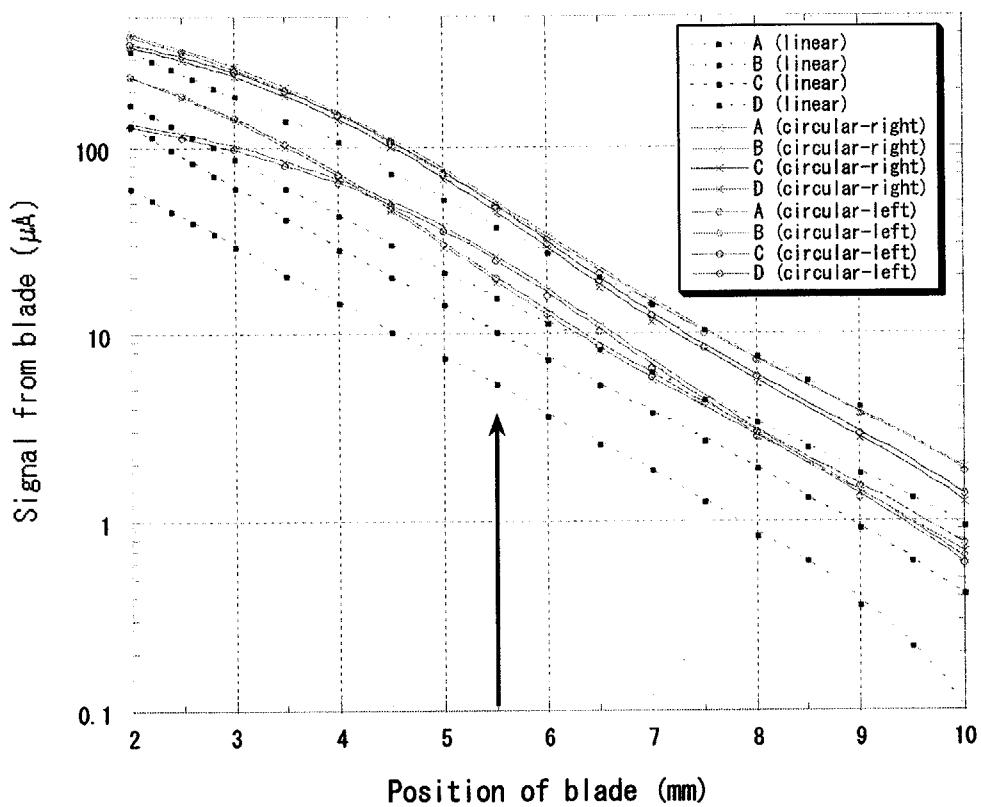


Figure 5: Signal from the blade (μA) VS position of blade (mm)

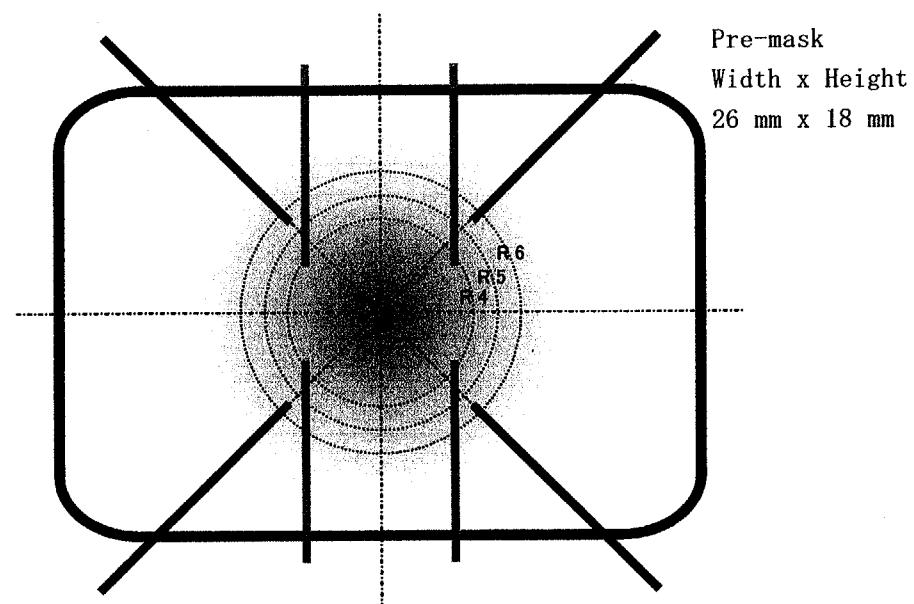


Figure 6: The size of the pre-mask and the position of the blades

This is a blank page.

3.2 XBPM 出力信号の補正

3. 1で設定したブレード間隔で、XBPM本体を水平・鉛直方向にスキャンし XBPM の出力値を記録した(Table 1)。結果を Figure 7 に示す。

測定条件:

Ring Current: 83 → 81mA

Filling: 10/84 + 73

Gap: 36mm

Polarity: right-handed(Phase=+35.364mm)

XBPM: ブレード位置 5.5mm、補正係数(Ax, Ay) = (1.26, 1.12)

本体の位置(Scan Position)を、+ (-) に移動することは、ビームが - (+) に変化したことに対応する。このグラフは、既に、XBPMの出力値(縦軸)0の時に、横軸が0になるように便宜上オフセットしてある。また、補正係数は、横軸の±0.1mmで、整合するように設定している。この結果、水平スキャンの時に、XBPMの出力は、垂直にも変化し、垂直スキャンの時に、XBPMの出力は、水平にも変化してしまうことがわかった。カップリングの成分は比較的線形であった。このカップリングはブレード間の光電子の流入出によると考えられる(補足 2)。

この光位置モニターの使用にあたってはこの30数%のカップリングに対して式(1)の行列を使ってさらに補正を行った。

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +1.150 & -0.425 \\ -0.402 & +1.150 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

ここで、(X, Y)は 通常の GUI の出力値。(X', Y')はカップリングを補正した値を表す。

この行列の条件は「Gap=36mm」、「右偏光」、「ブレード位置 5.5mm」である。

実際の測定を行うためのコントロールは、SPring-8 標準の GUI から行う。一般には BL23SU の XBPM の GUI は 4 枚のブレード(UpperLeft:UL, UpperRight:UR, LowerLeft:LL, LowerRight:LR) の出力電圧からビーム位置(X, Y)への変換を

$$X = Ax * ((UR+LR) - (UL+LL)) / (UL+UR+LL+LR)$$

$$Y = Ay * ((UR+UR) - (LL+LR)) / (UL+UR+LL+LR)$$

という式で計算している。GUI の表示はこの結果を使って、(X, Y)に

$$X' = 1.15 * X - 0.425 * Y$$

$$Y' = -0.402 * X + 1.15 * Y$$

という計算から求めた値(X', Y')を表示するように修正した。Figure 8 に修正後の GUI を示す。同種の光位置モニターとしては初めて、ブレード間のカップリング取り込んだ補正を行った。

This is a blank page.

Scan Position (mm)	X (mm) in Horz Scan	Y (mm) in Vert Scan	X (mm) in Horz Scan	Y (mm) in Vert Scan
-0.3	0.300	0.099	0.105	0.290
-0.2	0.200	0.067	0.073	0.196
-0.1	0.100	0.035	0.038	0.100
0.0	0.000	0.000	-0.000	0.000
0.1	-0.101	-0.034	-0.036	-0.100
0.2	-0.200	-0.067	-0.078	-0.201
0.3	-0.296	-0.102	-0.117	-0.303

Table 1: The raw data obtained from X-Y scan of the blades

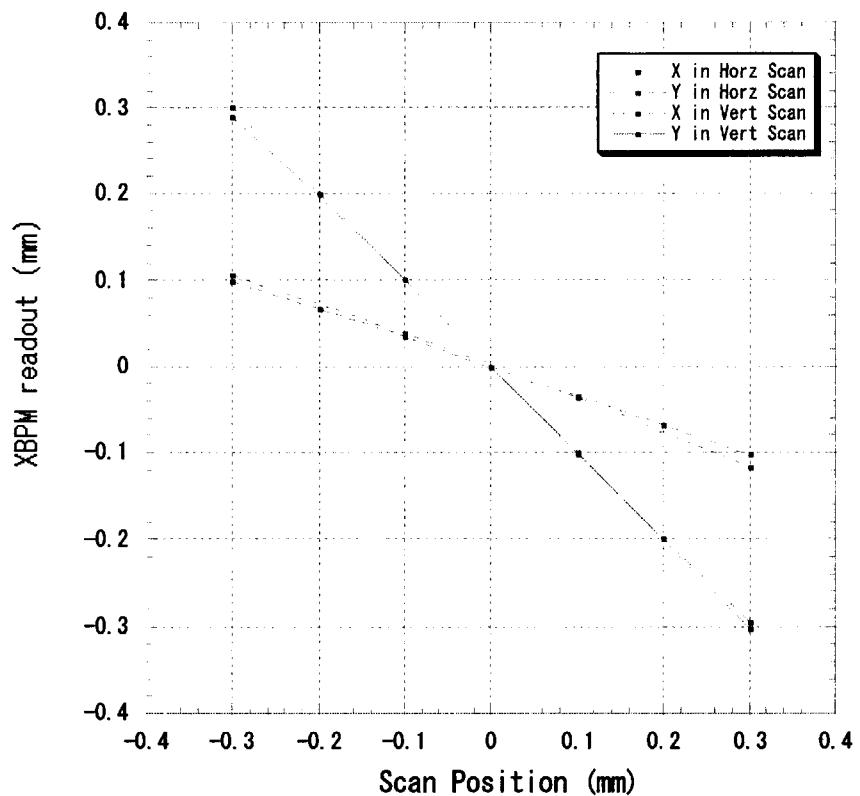


Figure 7: XBPM indication (mm) VS scan position (mm)

This is a blank page.

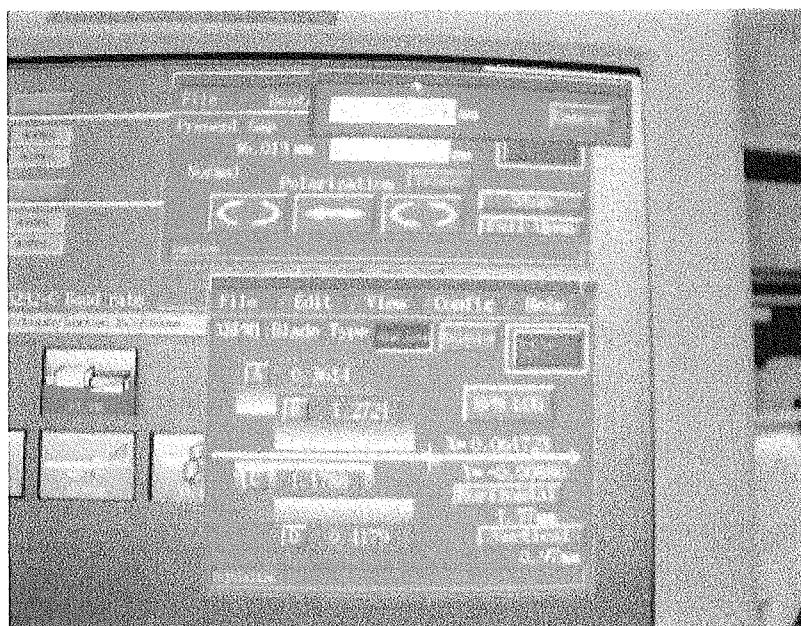


Figure 8: The new GUI of XBPM for BL23SU

補足 1

一般的に、円偏向アンジュレータの場合、放出される特定の波長の光に着目するとそのプロファイルはドーナツ型となっているので、光軸中心に向かってブレードを移動させるとスッテップ状(微分すれば山ができる)の出力が得られると考えられる。この場合、ブレードの位置によって補正係数が大きく変わるので、四象限型光位置モニターによる位置測定は難しくなる。しかし、波長ごとにそのドーナツ型の半径や強度が異なっているので、実際に得られる全シグナルは、ドーナツ型というよりも中央に分布の重心がある形に近くなり、位置測定に大きな支障を与えるものではないと考えられる。

補足 2

ブレード間による光電子の流入出は標準型のアンジュレータと標準型光位置モニターの組み合わせでも同程度に起こっていると考えられる。四象限型光位置モニターの場合、各ブレードを独立に動かせるので、光電子の流入出を個別に定量的に知ることができた。従って、カップリングの主な原因是ビームのプロファイルが厳密に橢円になっているのではなく、歪があるために起こっていると考えている。しかし、カップリングの主な原因の解明には、2次元のプロファイルなどの詳細な測定が必要となるので将来の課題としたい。

This is a blank page.

4. 結語

BL23SU用の光位置モニターとして四象限ブレード型光位置モニターを導入した。光位置の測定(機器の操作)はビームラインのX端末上のGUIから行える。このGUIには、挿入光源、Gap=36mm, Phase=35.36mm、ブレード位置 5.5mmでのカップリングを補正した。放射光利用実験にあたって光位置の定点観測に用いることができる。今後は、カップリング補正できる条件を増やして行きたい。

謝辞

BL23SU用の光位置モニターの設置にあたり、JASRIのビームライン・技術部門、フロントエンドチームの方々にご協力いただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

<XBPM>

Blade-type X-ray beam position monitors for SPring-8 undulator beamline: H. Aoyagi, T. Kudo, H. Kitamura, Nucl. Instrum. & Method in Phys. Research. A467-468 (2001) 252-255.

Alignment of photon beamline components in the SPring-8 front ends: H. Aoyagi, T. Mochizuki, Y. Sakurai, M. Sano, S. Takahashi, M. Oura, and H. Kitamura, 8th international conference on synchrotron radiation instrumentation proceedings (2003 August 25-29) San Francisco, USA.

High-speed photon beam diagnostic system using optical cables at SPring-8: H. Aoyagi, T. Kudo, S. Wu, K. Sato, S. Sasaki, H. Tanaka, T. Ishikawa, and H. Kitamura, 8th international conference on synchrotron radiation instrumentation proceedings (2003 August 25-29) San Francisco, USA.

Beam test of polycrystal diamond detector head for the X-ray beam position monitor (photoconductive blade type): H. Aoyagi, T. Kudo, H. Tanida, and H. Kitamura, 8th international conference on synchrotron radiation instrumentation proceedings (2003 August 25-29) San Francisco, USA.

<挿入光源>

A new undulator for generating variably polarized radiation: S. Sasaki, K. Miyata, and T. Takada: Jpn. J. Appl. Phys. 31, L1794 (1992).

Design of a new type of planar undulator for generationg variably polarized radiation: S. Sasaki, K. Kakuno, T. Takada, T. Shimada, K. Yanagida, and Y. Miyahara: Nucl. Instrum. Methods A331, 763 (1993).

SPring-8 原研軟X線ビームライン挿入光源ID23 の位相駆動が誘起する閉軌道変動調査及び補正テーブルの作成: 中谷健、田中均、高雄勝、安居院あかね、吉越章隆、竹内政雄、青柳秀樹、大熊春夫、JAERI-Tech 2003-048.

〈ビームライン〉

SPring-8 原研軟 X 線ビームライン BL23SU の H12 年運転・整備記録、安居院あかね、吉越章隆、中谷健、藤井健太郎、横谷明徳：JAERI-Tech 2002-064.

SPring-8 原研軟 X 線ビームライン BL23SU の H12 年運転・整備記録、安居院あかね、吉越章隆、中谷健、斎藤祐児、寺岡有殿、横谷明徳：JAERI-Tech 2001-043.

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光强度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, l
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV=1.60218×10⁻¹⁹J

1 u=1.66054×10⁻²⁷kg

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

1. 表1~5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。

2. 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが、日常の単位なのでここで省略した。

3. barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。

4. EC関係理事会指令ではbar、barnおよび「血压の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換 算 表

力 N(=10 ³ dyn)	kgf	lbf	MPa(-10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
			1	10.1972	9.86923	7.50062×10 ³	145.038
1	0.101972	0.224809	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
9.80665	1	2.20462	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
4.44822	0.453592	1	1.33322×10 ⁻⁴	1.35951×10 ⁻³	1.31579×10 ⁻³	1	1.93368×10 ⁻²
粘度 1 Pa·s(N·s/m ²)=10 P(ボアズ)(g/(cm·s))			6.89476×10 ⁻³	7.03070×10 ⁻²	6.80460×10 ⁻²	51.7149	1
動粘度 1 m ² /s=10 ³ St(ストークス)(cm ² /s)							

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal= 4.18605J (計量法)	
								= 4.184J (熱化学)	= 4.1855J (15°C)
1	0.101972	2.77778×10 ⁻⁷	0.238889	9.47813×10 ⁻⁴	0.737562	6.24150×10 ¹⁸			
9.80665	1	2.72407×10 ⁻⁶	2.34270	9.29487×10 ⁻³	7.23301	6.12082×10 ¹⁹			
3.6×10 ⁶	3.67098×10 ⁵	1	8.59999×10 ⁵	3412.13	2.65522×10 ⁶	2.24694×10 ²⁵			
4.18605	0.426858	1.16279×10 ⁻⁶	1	3.96759×10 ⁻³	3.08747	2.61272×10 ¹⁹			
1055.06	107.586	2.93072×10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515×10 ²¹			
1.35582	0.138255	3.76616×10 ⁻⁷	0.323890	1.28506×10 ⁻³	1	8.46233×10 ¹⁸			
1.60218×10 ¹⁹	1.63377×10 ²⁰	4.45050×10 ⁻²⁶	3.82743×10 ³⁰	1.51857×10 ⁻²²	1.18171×10 ¹⁹	1			

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量
	1	2.70270×10 ⁻¹⁰		1	100		1	3876	
	3.7×10 ¹⁰	1	0.01	1		2.58×10 ⁻³	1		0.01

(86年12月26日現在)

Spring-8 原稿紙×複数ドットマイナ BL23SU における回折限界型光位置モニターの導入



古紙配合率100%再生紙を使用しています