JAEA-Technology
2007-007

SPring-8原子力機構軟X線ビームライン BL23SUにおける ノンストップ吸収スペクトル計測システムの導入

Installation of Nonstop Absorption Measurement System in JAEA Soft X-ray Beamline BL23SU at SPring-8

福田 義博　竹田 幸治　岡根 哲夫　斎藤 祐児
小林 啓介*

Yoshihiro FUKUDA, Yukiharu TAKEDA, Tetsuo OKANE, Yuji SAITOH
and Keisuke KOBAYASHI*

量子ビーム応用研究部門
放射光技術開発グループ

Advanced Beamline Development Group
Quantum Beam Science Directorate

March 2007

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp/index.shtml）より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行っております。

〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

*〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4　日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

© Japan Atomic Energy Agency, 2007

JAEA－Technology　2007-007

SPring-8 原子力機構軟X線ビームライン BL23SU における ノンストップ吸収スペクトル計測システムの導入

日本原子力研究開発機構　量子ビーム応用研究部門　放射光科学研究ユニット
福田　義博※・竹田　幸治・岡根　哲夫・斎藤　祐児・小林　啓介*

（2007 年 1 月 15 日　受理）

SPring-8 BL23SU に設置されている軟X線内殻吸収磁気二色性測定装置に”ノンストップ吸収測定システム”を導入した。この測定システムを用いることにより、測定時間を従来の 1/10 程度に短縮することに成功した。本報告では、その詳細について記述する。

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4
※特定課題推進員：スプリングエイトサービス株式会社
＊（独）物質・材料研究機構（NIMS）

JAEA－Technology　2007-007

Installation of Nonstop Absorption Measurement System in JAEA Soft X-ray Beamline BL23SU at SPring-8

Yoshihiro FUKUDA※ , Yukiharu TAKEDA , Tetsuo OKANE, Yuji SAITOH and Keisuke KOBAYASHI＊

Synchrotron Radiation Research Unit
Quantum Beam Science Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura,　Naka-gun,　Ibaraki-ken

(Received January 15, 2007)

We have introduced a "Nonstop absorption measurement system" into the XMCD station of BL23SU at SPring8. This system allows us to shorten the measuring time by about 1/10 in comparison to conventional one. We report on the detail of the system.

Keywords：SPring-8 , BL23SU , Nonstop Absorption Measurement System , XMCD

※ Special Topic Engineer：SPring-8 service Co. , Ltd
＊ National Institute for Materials Science

目　次

１．　はじめに・・1

２．　ノンストップ吸収スペクトル計測システム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
　２．１　システム概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
　２．２　光電流測定部・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
　２．３　回折格子の角度測定部 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
　２．４　測定ソフトウェア ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13

３．　実験結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19

４．　まとめと今後の展望・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21

謝辞・・・23

参考文献・・23

Contents

1． Introduction · 1

2． Nonstop absorption measurement system · 3
2．1 Outline · 3
2．2 Photocurrent measurement devices · 7
2．3 Encoder devices · 11
2．4 Softwares · 13

3． Experiments and results · 19

4． Conclusion · 21

Acknowledgements · 23

References · 23

1．はじめに

大型放射光施設 SPring-8 の原子力機構専用軟 X 線ビームライン BL23SU [1]（図 1.1）の RI 棟実験ステーションでは、可変偏光アンジュレータ APPLE-2 からの高輝度円偏光放射光を利用し、X 線吸収磁気円二色性（XMCD）測定により、強磁性ウラン化合物の磁性研究を進めてきた。軟 X 線領域には、ウラン元素の 4d→5f 吸収端、鉄族遷移元素の 2p→3d 吸収端、希土類元素の 3d→4f 吸収端が存在し、多元系化合物であっても、磁性を主に担うウラン元素の 5f、鉄族遷移元素の 3d、希土類元素の 4f の電子状態を元素選択的に抽出する事ができる。XMCD は、左右円偏光に対する吸収強度の差により定義される量であり、対象元素が持つ磁気モーメントの大きさを反映する。さらに、総和則の適用により、スピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントの定量評価が可能であるため[2]、XMCD は、特定元素の特定の電子軌道についてのスピン分極の様子を調べるための磁性研究には欠かせない手法である。

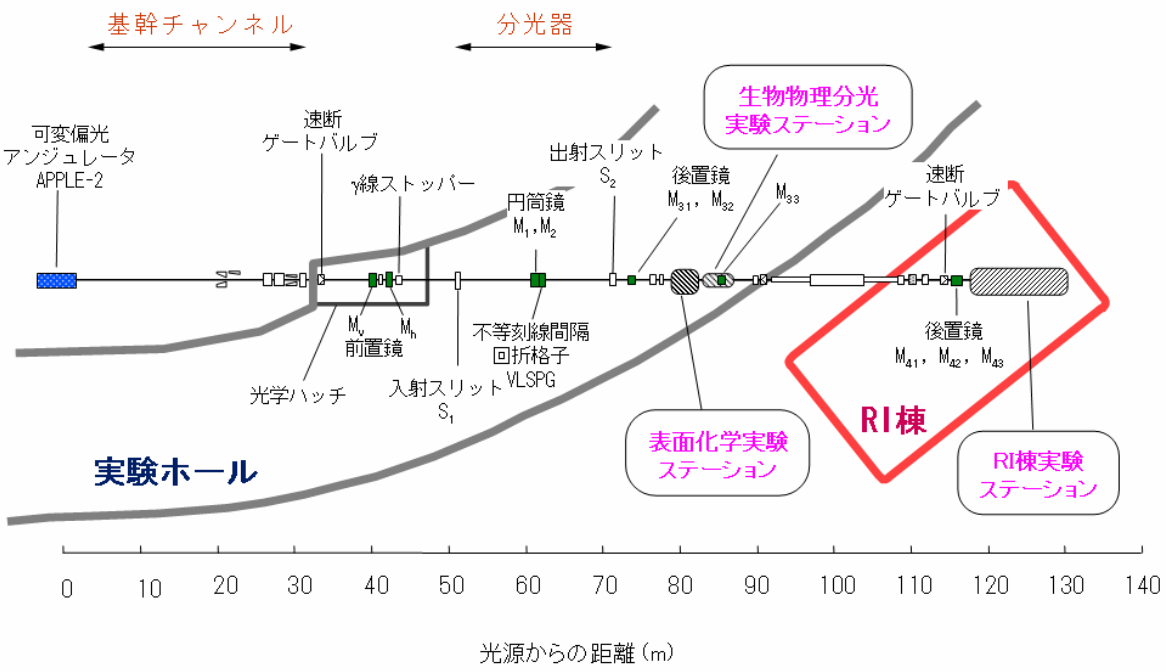

図 1.1　BL23SU 概要図

BL23SU では、従来、分光器の機械的再現性に由来するエネルギーずれなどによる偽の XMCD シグナルを生じさせないために各測定エネルギー点でアンジュレータの磁石列の機械的駆動により左右円偏光をスイッチングし、XMCD スペクトルを得る方法を採用してきた[3]。この方法では、U 化合物の XMCD スペクトルを得るには 30 分程度の測定時間が必要であった。2007 年夏に予定している新規ツインヘリカルアンジュレータの導入により、同様な手法による測定時間は 1/2 程度に短縮の見通しである。しかしながら、多くのウラン化合物では、詳細な温度・磁場依存性の測定が必要となる一方で、試料表面の劣化（酸化）が早いため、測定時間の短縮は実験の成否に大きく関わる。本報告では、U 化合物における比較的大きな XMCD の高速データ取得を目指して導入したノンストップ吸収スペクトル計測システムの詳細とそれを用いた実験例について記述する。

2. ノンストップ吸収スペクトル計測システム

2．1 システム概要

BL23SU の MCD 装置では、全電子収量法により X 線吸収スペクトルの測定を行っている。図 2.1 に示すように、回折格子分光器によって単色化された放射光を試料に照射し、試料の光電流値と入射光の強度（I_0 モニタの光電流）を同時測定し、前者を後者で規格化することにより、試料の X 線吸収に比例した信号を得る。

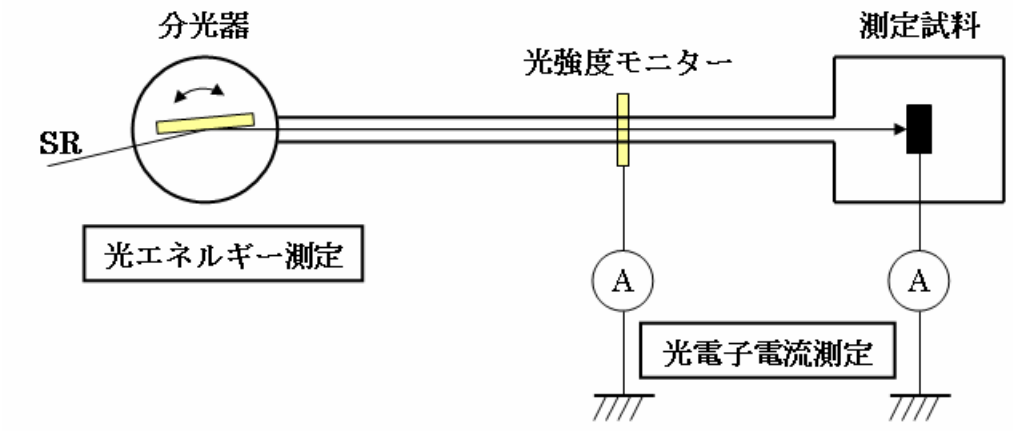

図 2.1 吸収スペクトル計測概要図

本 BL では不等間隔刻線平面回折格子を用いた定偏角型分光器が採用されており[1]、回折格子の回転のみにより、高いエネルギー分解能を維持したまま波長走査を行う事ができる。回折格子はサインバー方式によりパルスモーター駆動され、真空外に取り付けられたリニアエンコーダー（HEIDENHAIN 社製 LIP401）を用いて、回折格子の相対角度を読み取る事ができる。

図 2.2 に今回構築したノンストップ吸収スペクトル測定システムの概要を示す。測定方法は、

1．回折格子を測定範囲について一定速度で連続駆動させ、
2．その駆動中に、周期的同期信号によりエンコーダー数値、試料光電流 (I) 及び入射放射光強度 (I0) をそれぞれの内蔵メモリに格納し、（図 2.3 に同期タイミングチャートを示す。）
3．測定終了後に一括して制御 PC にデータ転送を行う。

従来のステップスキャン駆動では左右円偏光のスイッチングに約 2 秒要していたが、本システムでは定速度連続駆動であるため、走査時間が大幅に短縮される。このノンストップ計測システムは、SPring-8 の BL01B1 で開発されたもので、すでに多くの実験成果がある[4]。今回、本システムを BL23SU に導入するため、光電流測定部、回折格子の角度測定部及び吸収スペクトル測定ソフトウェアの整備を行った。

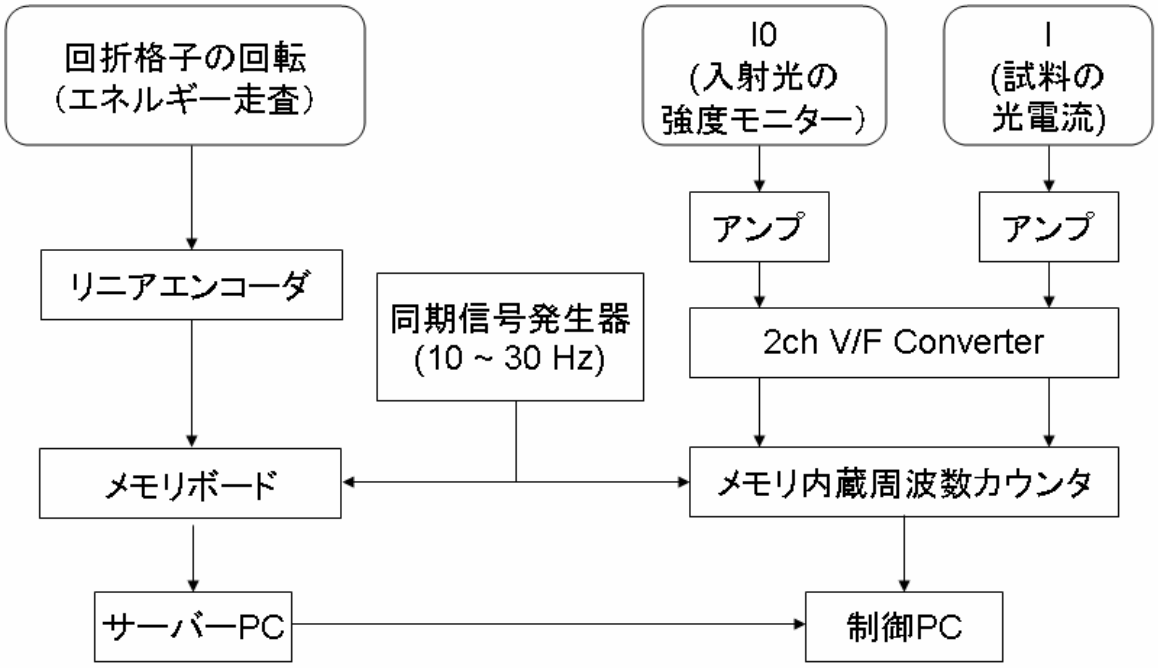

図 2.2　測定システム概要図

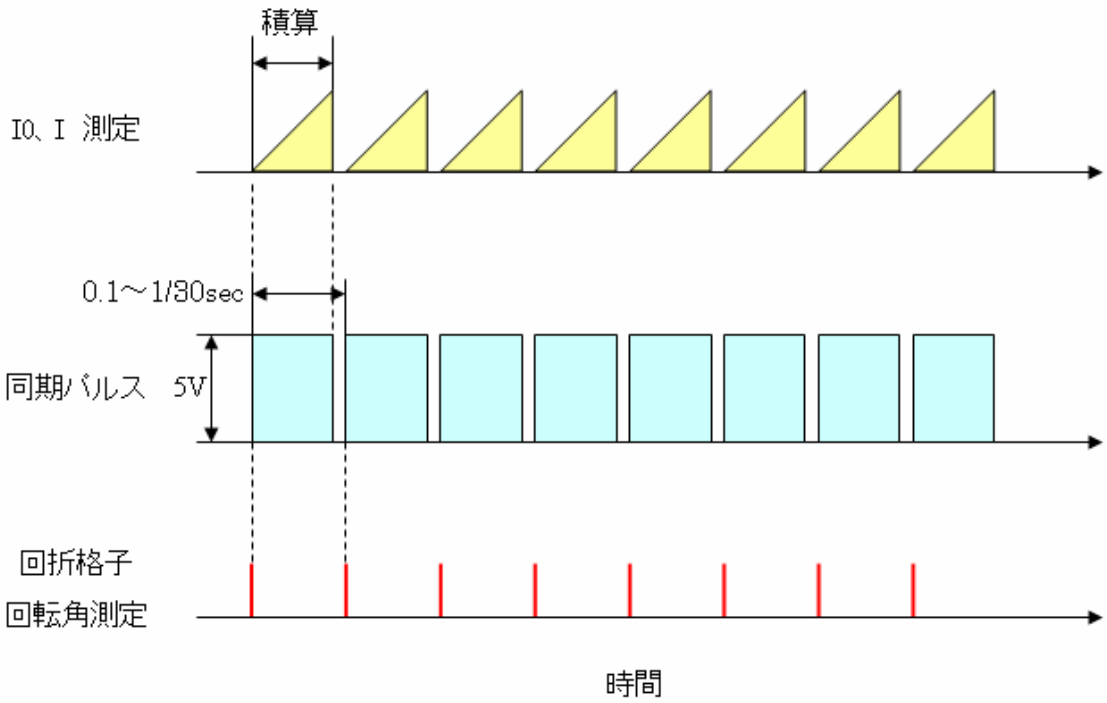

図 2.3　同期タイミングチャート

２．２ 光電流測定部

放射光強度 I0 及び試料電流 I の信号処理を、

１．高速アンプにより電流の大きさに比例した電圧に変換、

２．電圧変換された信号を、V/F コンバータにより入力電圧に応じた周波数をもつ信号に変換、

３．周波数カウンターで計数することにより行う。

図 2.3 に示したように、周波数カウンターでの計数は、パルス信号発生器からのパルス信号をゲートとして行う。また、後述するようにこのパルス信号は光エネルギー記録のトリガ信号としても利用し、同期信号として機能する。これにより試料の光電流、強度モニターの光電流と光エネルギーの三つのデータを同期させてメモリに格納できる。

図 2.4 に本システムの制御ラックを示す。高速アンプとして KEITHLEY 社製　高速アンプ Model428、V/F コンバータとして、SEIKO EG&G 社製　2ch V/F コンバータ DS-VFC2、パルス計数器と同期信号発生器として YOKOGAWA 社製 PC ベース計測システム WE7000 シリーズの 4ch タイミング計測モジュール WE7521 と 4ch100kS/s D/A モジュール WE7282 をそれぞれ採用した。表 2.1－2.4 に、機器の主な仕様を示す。

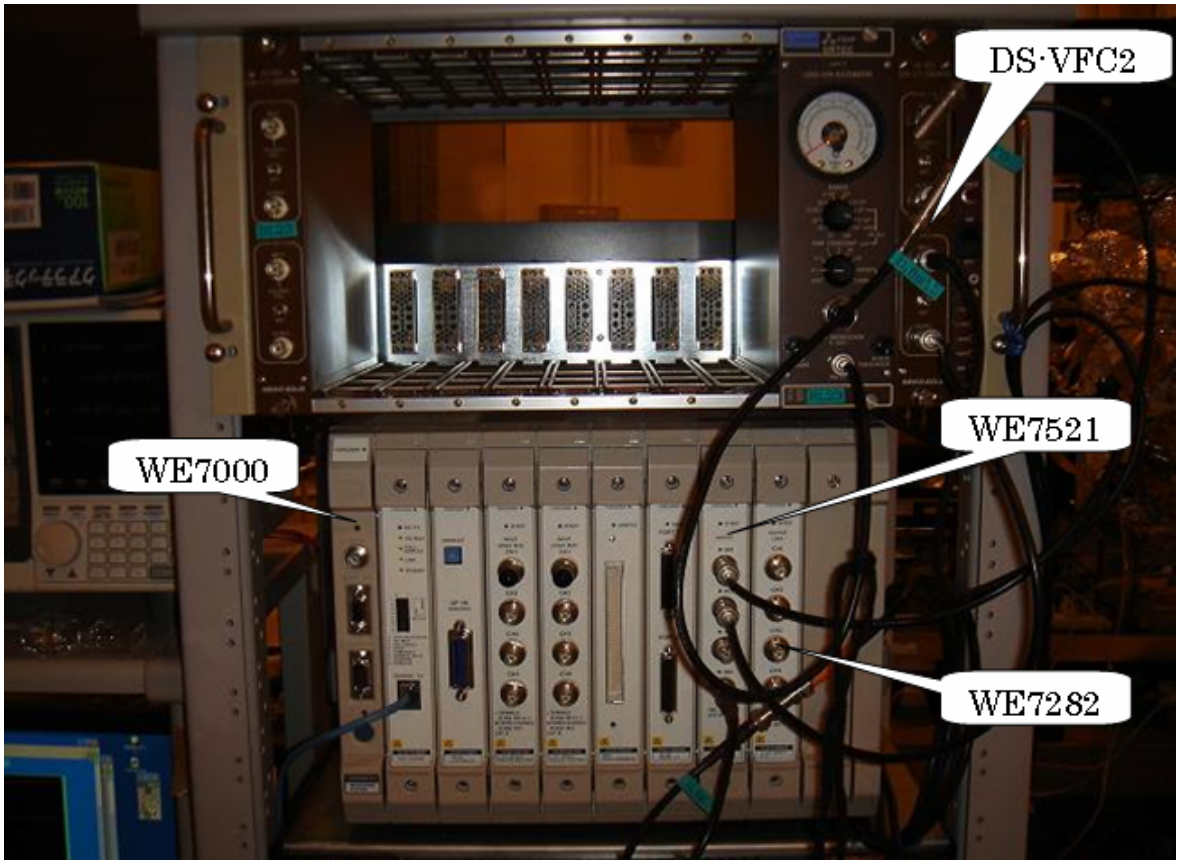

図 2.4　制御ラック

表 2.1　KEITHLEY　Model428 仕様

ゲイン設定値	10^3～10^{11}V/A
ゲイン精度(10^9V/A 時)	±2.5%+3pA
出力レンジ	±10V

表 2.2　SEIKO EG&G　DS-VFC2 仕様

入力チャンネル数	2ch
変換率	10^6Hz/10V

表 2.3　YOKOGAWA　WE7521 仕様

入力チャンネル数	4ch
入力閾値	±20V
入力閾値設定分解能	±5%＋150mV
最大入力電圧	±42.4V

表 2.4　YOKOGAWA　WE7282 仕様

出力チャンネル数	4ch
D/A 分解能	16bit
出力レンジ	±1,2,5,10V
最大出力電流	±10mA
出力周波数	10～30Hz

２．３　回折格子の角度測定部

本 BL の分光器には回折格子の回転角測定用にリニアエンコーダー（HEIDENHAIN 社製 LIP401）が取り付けられており、表示カウンター（HEIDENHAIN 社製　NDP281）を用いてエンコーダー値の表示を行っていた。しかしこの表示カウンターは内蔵メモリを装備していないため、回折格子を連続駆動させたときのエンコーダー値を蓄積することができない。そこで、前節で述べた同期信号をトリガとしてデータを取り込むために、メモリ内蔵エンコーダーボードを追加した。図 2.5 に回折格子回転角測定部の概要図を示す。エンコーダーボードは HEIDENHAIN 社製 IK220 を採用した。表 2.5 に仕様を示す。

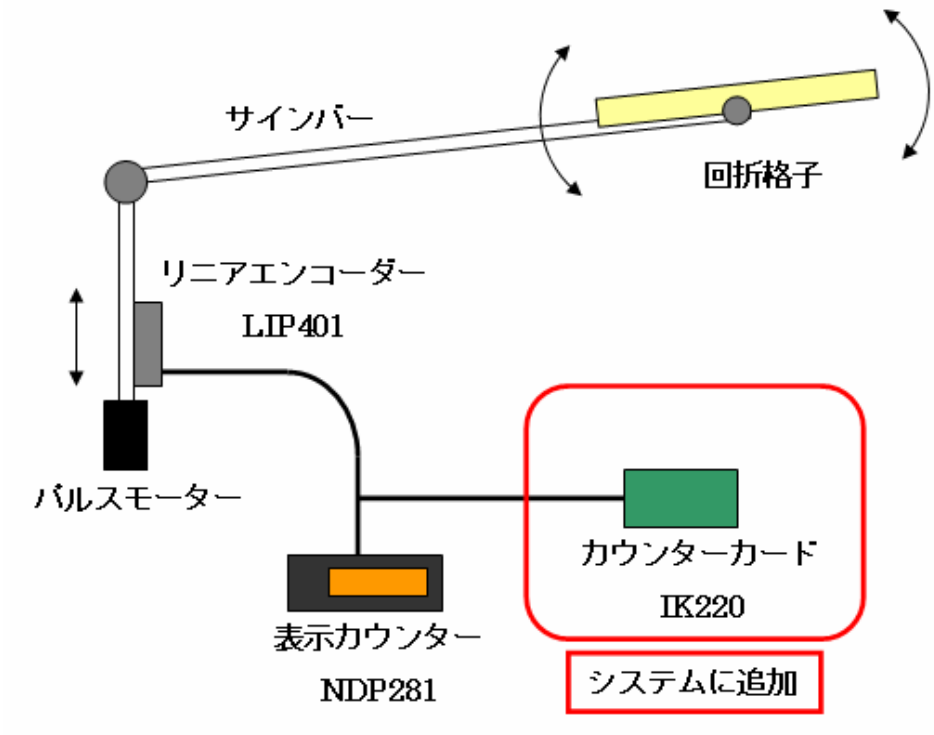

図 2.5　回折格子角度測定部概要図

表 2.5　リニアーエンコーダーおよびエンコーダーボード仕様

カウンターカード　HEIDENHAIN　IK220	
入力信号	正弦波　11μAPP
入力周波数	Max　33kHz
トリガ入力	TTL レベル
内部メモリ	8192point
リニアエンコーダー　HEIDENHAIN　LIP401	
出力信号	正弦波　7～16μAPP
供給電源	DC5V±5%

XMCD 装置とエンコーダーまでの距離が遠いため、制御用 PC とは別にサーバーPC を設置し、そこにエンコーダーボードを装着した。この 2 台の PC と WE7000 測定ユニットの通信は独自に構築した LAN を介して行った。

２．４　測定ソフトウェア

測定ソフトウェアの開発はLabView7.1を用いて行った。図2.6に測定シーケンスを示す。SPring-8 BL01B1から提供されたソフトウェアのアルゴリズムを活用し、BL23SUでの測定に適したプログラムの構築を行った。

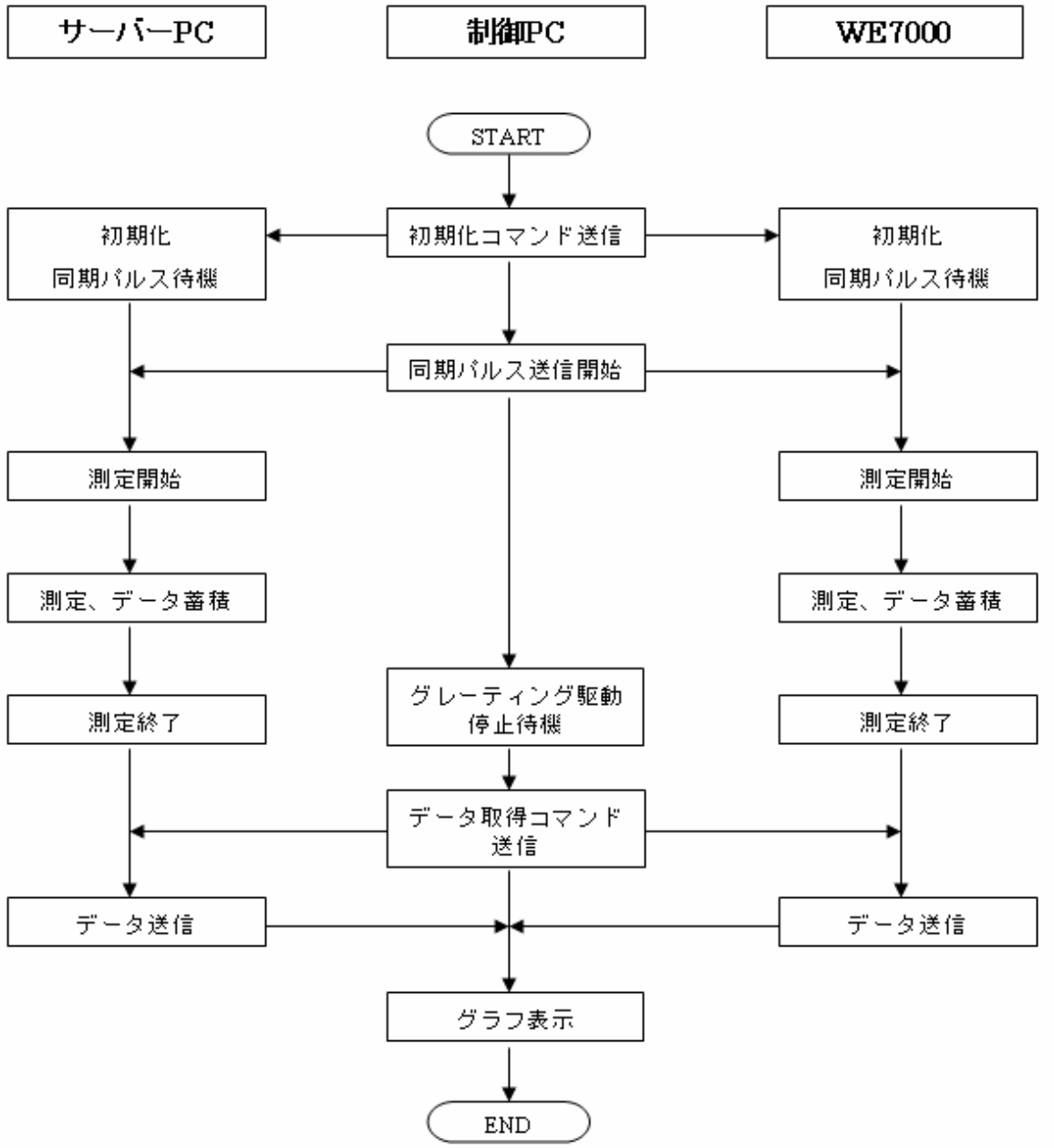

図2.6　測定シーケンス

リニアエンコーダー値のデータサーバーソフトとして"GRATING DATA SERVER"を作成した。そのソフトの画面を図 2.7 に示す。このソフトはサーバーPC 上に常駐しており、実行すると同期パルス待機状態となる。同期パルスを受信するとリニアエンコーダー値をメモリに格納し、制御 PC からデータ取得コマンドを受信するとデータを送信する。

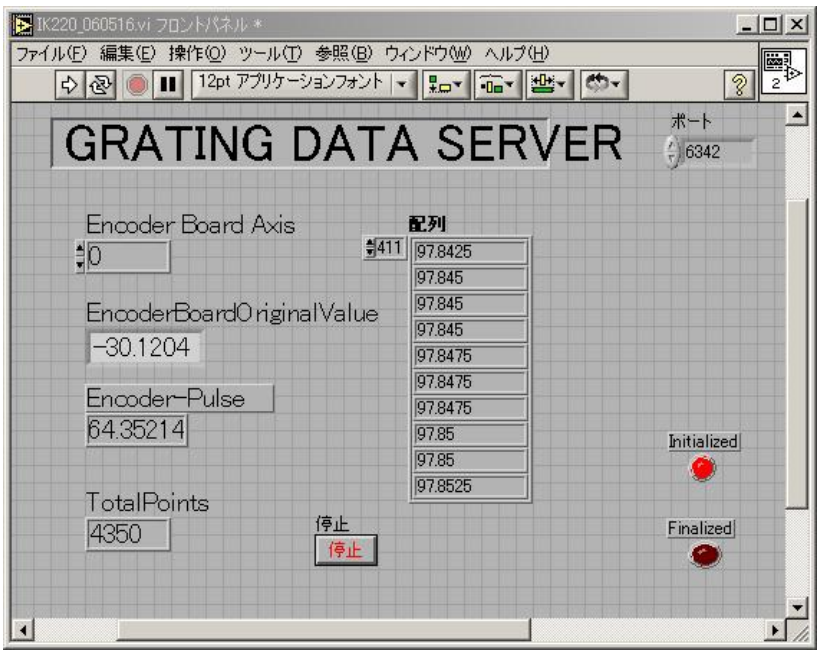

図 2.7　GRATING DATA SERVER 画面

制御および測定ソフトとして"NONSTOP SCAN XAS MEASUREMENT"を作成した。その画面を図 2.8 に示す。

操作手順を以下に示す。

1．走査エネルギー範囲の開始パルスの入力（図 2.8 内の 1 ：Initial Position）
2．走査エネルギー範囲の終了パルスの入力（図 2.8 内の 2：Final Position）
3．測定周波数の入力（図 2.8 内の 3：Frequency）
4．回折格子駆動速度の入力（図 2.8 内の 4：Grating Scan Speed）
5．測定開始（図 2.8 内の 5：Start）
6．測定終了後グラフを表示

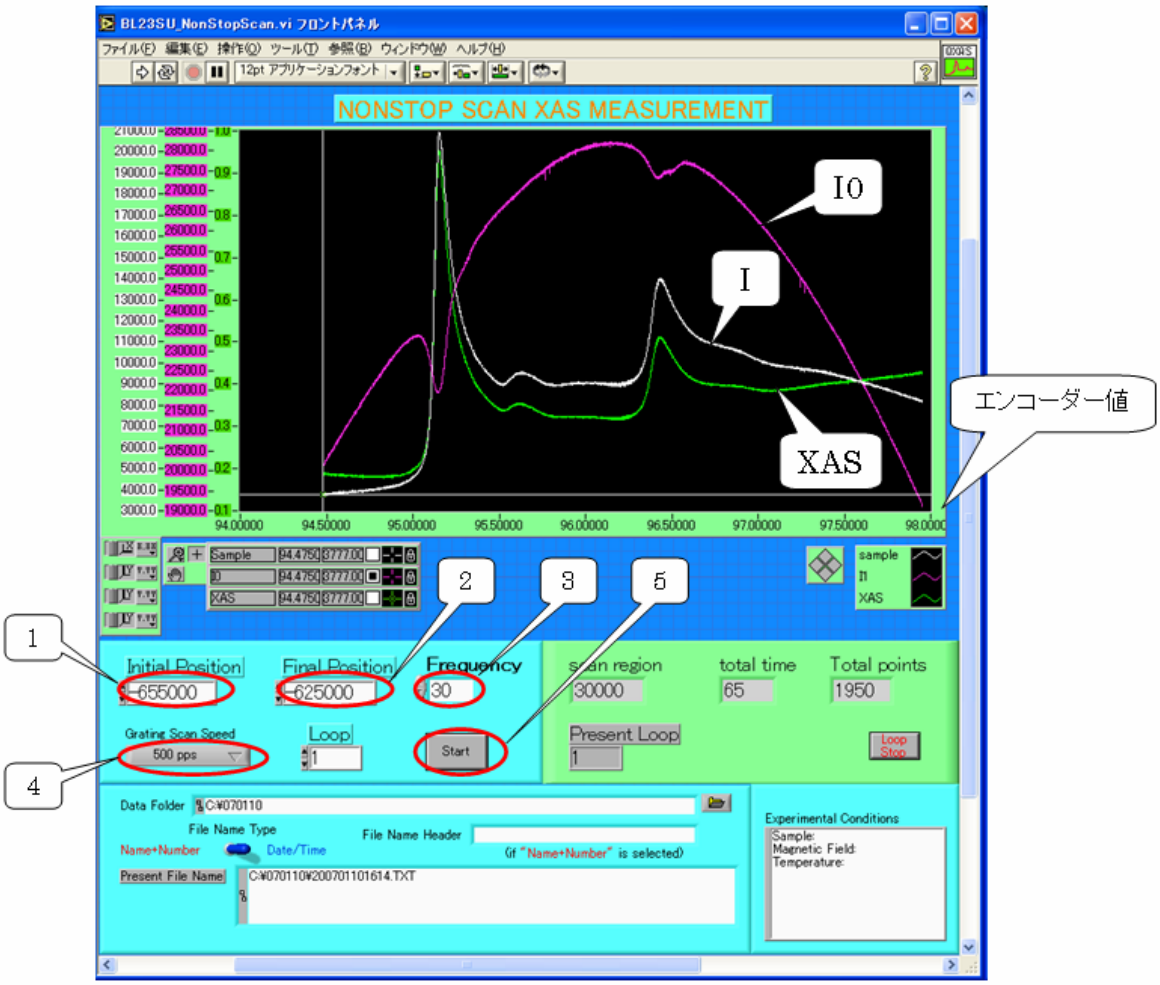

図 2.8　NONSTOP SCAN XAS MEASUREMENT 画面

3．実験結果

本計測システムを用いて UTeS の XMCD 実験を行った。測定は、左及び右円偏光それぞれに対する吸収スペクトル（μ_+及びμ_-）を取得した後、XMCD スペクトルを得た。計測条件を以下に示す。

KEITHLEY　Model428
　Gain：10^9V/A
　Filter：10μs
　Bias Voltage：0V
　Suppression Current：0A
（I0 モニターと試料光電流とも）

XAS1 本あたりのデータ取得条件設定
　サンプリング周波数：30Hz
　回折格子の送り速度：1000pps
　測定時間:90s
　取得データ点：2700 点

図 3.1 に U の 4d-5f 吸収スペクトル（μ_++μ_-）と XMCD スペクトル（μ_+−μ_-）を示す。各吸収スペクトル測定に要した時間は約 90 秒で、従来法の 1/10 程度に短縮されている。また、取得データ点数は、従来法の 5 倍程度である。吸収スペクトルの測定では、エネルギー走査開始位置がパルス制御であるため、データ点数は同じであっても、測定エネルギー値は厳密には一致していない。このため、各吸収スペクトルに対し、直線補間による内挿法から同一エネルギーにおけるμ_+及びμ_-を算出した後に、XMCD スペクトルを導出した。得られた XMCD スペクトルは、強磁性ウラン化合物に典型的な形状[5]を示し、また、従来とほぼ同等の統計精度である。この結果から、エンコーダーの数値とエネルギー値の対応が良く、充分なシグナル強度で且つ取得データ点数が多いために高い精度の内挿値を有し、信頼性の高い XMCD データが高速に取得可能であることが実証された。

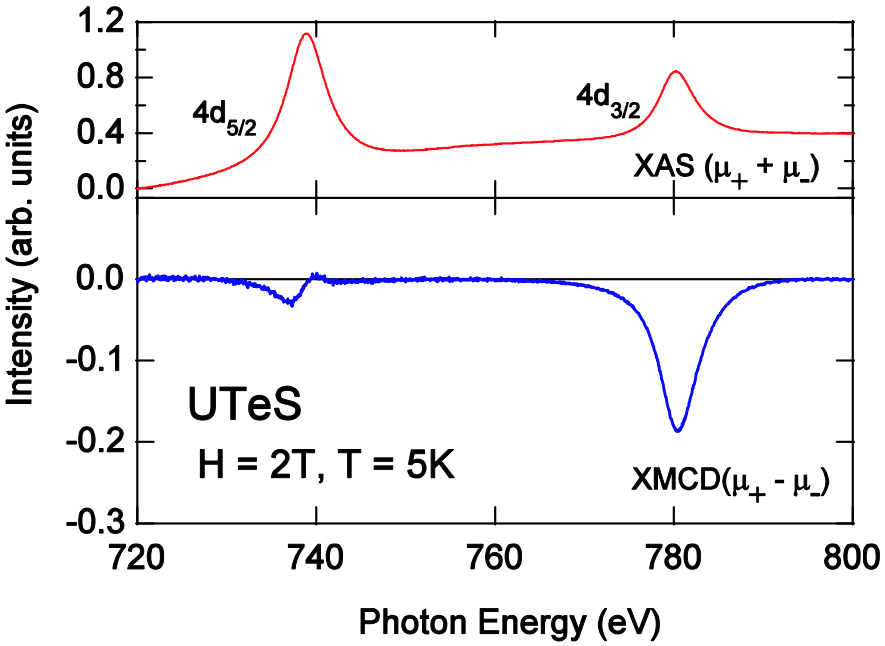

図 3.1　UTeS の U 4d-5f 吸収スペクトルと XMCD スペクトル

4．まとめと今後の展望

大型放射光施設 SPring-8 の原子力機構専用軟 X 線ビームライン BL23SU において、RI 棟XMCD 実験ステーションの高度化のために、ノンストップ吸収測定システムを導入した。その結果、ウラン化合物の研究に有効な XMCD 測定が可能となった。

2007 年夏に予定している新規ツインヘリカルアンジュレータの導入後は、本システムでの測定モードと円偏光の周期的スイッチング測定モードとを相補的に使い分けることにより、多彩なウラン化合物の磁性研究を進める予定である。

謝辞

本開発で、採用したノンストップ吸収測定システムは、SPring8 BL01XU の高速 EXAFS 測定システムを開発した高輝度光科学研究センターの谷田肇氏と宇留賀朋哉氏の惜しみない技術提供とアドバイスにより実現した。感謝いたします。

参考文献

[1] Y. Saitoh et al., Nucl. Instrum. Meth. A 474, (2001) 253.

[2] B. T. Tohle, P. Carra, F. Sette and G. van der Laan, Phys. Rev. Lett. 68 (1992) 1943.

[3] T. Nakatani et al., Rev. Sci. Instrum. 76 (2005) 055105.

[4] http://www.spring8.or.jp/ja/users/current_user/bl/beamline/BLtable/

[5] T. Okane et al., J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 024704.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	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
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m-1
密度（質量密度）	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
質量体積（比体積）	立法メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
（物質量の）濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率	（数の）1	1

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表３．固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン[(a)]	rad		$m \cdot m^{-1}=1$[(b)]
立体角	ステラジアン[(a)]	sr[(c)]		$m^2 \cdot m^{-2}=1$[(b)]
周波数	ヘルツ	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s・A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	V・s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[(d)]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd・sr[(c)]	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd=cd$
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd=m^{-2} \cdot cd$
（放射性核種の）放射能	ベクレル	Bq		s^{-1}
吸収線量，質量エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量，組織線量当	シーベルト	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

(a)ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表４に示されている。
(b)実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“１”は明示されない。
(c)測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
(d)この単位は、例としてミリセルシウス度m℃のようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表４．単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa・s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s^2	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量（比熱容量），質量エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg・K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー（比エネルギー）	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエントロピー，モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
照射線量（Ｘ線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}=m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 \cdot sr)$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}=kg \cdot s^{-3}$

表６．国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
リットル	l、L	1l=1 $dm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	1t=10^3 kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表７．国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49)×10^{-19}J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10)×10^{-27}kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691(30)×10^{11}m

表８．国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里		1海里=1852m
ノット		1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 $dam^2=10^2m^2$
ヘクタール	ha	1ha=1 $hm^2=10^4m^2$
バール	bar	1bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10^5Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10^{-10}m
バーン	b	1b=100$fm^2=10^{-28}m^2$

表９．固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10^{-7} J
ダイン	dyn	1 dyn=10^{-5}N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm^2=0.1Pa・s
ストークス	St	1 St =1$cm^2/s=10^{-4}m^2/s$
ガウス	G	1 G ^10^{-4}T
エルステッド	Oe	1 Oe ^(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ^10^{-8}Wb
スチルブ	sb	1 sb =1$cd/cm^2=10^4cd/m^2$
ホト	ph	1 ph=10^4lx
ガル	Gal	1 Gal =1$cm/s^2=10^{-2}m/s^2$

表10．国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10^{10}Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10^{-4}C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10^{-2}Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10^{-2}Sv
X線単位		1X unit=1.002×10^{-4}nm
ガンマ	γ	1γ=1 nT=10^{-9}T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=$10^{-26}W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ		1 fermi=1 fm=10^{-15}m
メートル系カラット		1 metric carat = 200 mg = 2×10^{-4}kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第７版，1998年改訂）

R100
古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています