

JAERI-Research  
99-003



JP9950013



JT-60Uダイバータプラズマの  
可視スペクトル  
(波長範囲300~780nm)

1999年1月

仲野友英・久保博孝・杉江達夫・東島 智  
鈴木慎悟・逆井 章・伊丹 潔

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。  
入手の問い合わせは、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、お申し越してください。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, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

J T-60Uダイバータプラズマの可視スペクトル  
(波長範囲 300 ~ 780 nm)

日本原子力研究所那珂研究所炉心プラズマ研究部  
仲野 友英・久保 博孝・杉江 達夫・東島 智  
鈴木 慎悟・逆井 章・伊丹 潔

(1999年1月5日受理)

臨界プラズマ試験装置 J T-60U のダイバータプラズマにおける不純物挙動を調べるために、可視領域 (300 ~ 780 nm) のスペクトルを観測した。測定の結果、D I、He I-II、B II、C II-IV、O I-III からのスペクトル線と C D および C<sub>2</sub> 分子のスペクトルバンドを同定した。軽元素不純物のスペクトル線では、主量子数の変化を伴わない遷移 ( $\Delta n = 0$ ) によるものを多く観測し、主量子数の変化を伴う遷移 ( $\Delta n \neq 0$ ) では方位量子数が大きい準位間の遷移を観測した。C<sub>2</sub> 分子のスペクトルバンドは Swan band と同定した。

Visible Spectra in JT-60U Divertor Plasma  
(Wavelength Range between 300 nm - 780 nm)

Tomohide NAKANO, Hirotaka KUBO, Tatsuo SUGIE, Satoru HIGASHIJIMA,  
Shingo SUZUKI, Akira SAKASAI and Kiyoshi ITAMI

Department of Fusion Plasma Research  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 5, 1999)

In JT-60U divertor plasma, spectra in a visible range (300 nm - 780 nm) were measured in order to study impurity behavior. In the spectra, spectral lines from D I, He I-II, B II, C II-IV and O I-III and spectral bands from CD and C<sub>2</sub> molecules were identified. Most of spectral lines from light impurity ions were attributed to transitions without change in the principal quantum number ( $\Delta n=0$ ). Transitions between levels with high azimuthal quantum number were observed in the case of  $\Delta n \neq 0$ . The spectral bands from C<sub>2</sub> were identified as Swan bands.

Keywords: Spectroscopic Measurement, Visible Range, Impurity, JT-60U, Divertor Plasma, Molecule

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. 実 験 .....	2
3. 結果及び考察 .....	4
4. 結 言 .....	7
謝 辞 .....	7
参考文献 .....	7

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experiment .....	2
3. Results and Discussion .....	4
4. Conclusions .....	7
Acknowledgements .....	7
References .....	7

## 図目次

1	JT-60U のポロイダル断面と分光器の視野	8
2	295 - 330 nm のスペクトル	9
3	330 - 365 nm のスペクトル	9
4	365 - 400 nm のスペクトル	10
5	390 - 425 nm のスペクトル	10
6	420 - 455 nm のスペクトル	11
7	455 - 490 nm のスペクトル	11
8	485 - 520 nm のスペクトル	12
9	510 - 545 nm のスペクトル	12
10	540 - 575 nm のスペクトル	13
11	570 - 605 nm のスペクトル	13
12	600 - 635 nm のスペクトル	14
13	635 - 670 nm のスペクトル	14
14	660 - 695 nm のスペクトル	15
15	690 - 725 nm のスペクトル	15
16	720 - 755 nm のスペクトル	16
17	750 - 785 nm のスペクトル	16

## 表目次

1	分光器の主要性能	2
2	放電条件	3

## 1 序論

ダイバータによる熱・粒子制御は、核融合炉を実現するために確立しなければならない重要な課題である。ヘリウム灰の効率的な排気法および、ダイバータ板の損耗を抑制する運転モードの開発は、国際熱核融合実験炉 ITER のダイバータ設計における急務の一つである。

JT-60U のような大型トカマク装置では、ダイバータ板は高い熱負荷を受ける。ダイバータ板における熱負荷を軽減するため、低温・高密度のダイバータプラズマによる放射冷却を用いた手法が多くのトカマク装置で検証され成果を挙げている [1-3]。不純物をダイバータ領域に閉じ込めることにより、その領域の放射損失を増大するには、外部からネオンガスなどを注入することによって、十分な粒子束を得る必要がある。このような熱・粒子制御など、ダイバータプラズマの性能向上のためには、不純物の発生量や発生分布など不純物挙動の理解が、欠かせない。

プラズマ分光は、不純物挙動の診断やプラズマパラメータの測定など、大きな役割を果たしている。特にダイバータプラズマでは、複雑な原子・分子過程が生じ、分光測定によってこれらの過程を調べることができる。ダイバータプラズマの典型的な電子温度は、約 10~100eV と低温であるため、多くの不純物の放射が可視領域で観測できる。このため、可視分光法を用いたプラズマ診断が有効である。

プラズマ分光診断においては、診断に最適なスペクトル線を用いなければならない。そのため、広い波長範囲のスペクトルを把握する必要がある。本報告は、臨界プラズマ試験装置 JT-60U のダイバータプラズマにおける不純物挙動を調べるために可視領域 (300 ~ 780 nm) のスペクトルを測定し、新たに分光測定の対象となるスペクトル線の基礎データを整えることを目的としている。

## 2 実験

JT-60U は大半径 3.4 m、アスペクト比 4 の大型トカマク装置である。動作ガスには主に重水素を用い、炉心プラズマの高性能化研究および定常化研究などを進めている [4]。ダイバータの形状は、不純物の低減を目的の一つとした W 型である [5]。ダイバータ板と真空容器第一壁は、炭素製のタイルで覆われ、酸素不純物および水素リサイクリングを低減するために、ポロン化処理をしている。不純物発生量および水素リサイクリング量は、プラズマと相互作用する第一壁とダイバータ板の状態に依存する。これらを低減するため、放電洗浄 (TDC : Taylor Discharge Cleaning、GDC : Glow Discharge Cleaning) およびベーキングを行なうことによって、第一壁の状態を調整している。

本報告のスペクトルは、W 型ダイバータの内側の領域を真空容器上部の窓から主プラズマを貫く視線で計測したものである (図 1)。ダイバータプラズマからの発光は、窓ガラスを透過した後、レンズによって集光され、光ファイバーにより JT-60U 本体室からシールドルームに導かれる。シールドルームでは光ファイバーから出た光を集光系によって可視分光器の入射スリットに結像し、分光器で分光した後、512 チャンネルの多チャンネル検出器で光電測光した [6]。

本実験で用いた分光器は、焦点距離 50 cm のツェルニ・ターナ型分光器 ((株) 日本分光製 CT-50CP) である。主要性能を以下に示す。

表 1: 分光器の主要性能

焦点距離	500 mm
逆線分散	2.9 nm/mm (500 nm において)
F 値	5.3
刻本線数	600 g/mm
ブレード波長	500 nm

分光器の入射スリットは、50 $\mu$ m とした。但し、光量が不足する場合には、200 $\mu$ m とした。また、多チャンネル検出器に印加する MCP の電圧も、入射光量により調整した。D $\alpha$ 線 (図 13) など非常に強度の強いスペクトル線を含む波長域を測定する場合には、ND フィルターを光学系に挿入して減光した。670 - 780 nm の波長域 (図 14 - 17) では、回折格子による二次の回折光の影響を取り除くためカットフィルターを用いた。MCP に印加した電圧、入射スリット幅およびフィルターの有無、種別は図中に示している。

多チャンネル検出器は、イメージ・インテンシファイア付きフォトダイオードアレイで構成し、ダイオード素子は 25 $\mu$ m  $\times$  25 $\mu$ m の大きさを持つ。検出器の光強度に対する分解能は  $\pm 5$ V の間で 12bits であり、時間分解能は 50 ms である。

表 2 に放電条件を示す。



表 2: 放電条件

波長 (nm)	Shot #	主な実験内容	中性粒子ビーム加熱 (MW)	RF 加熱 (MW)	放電モード	図番号
320	30058	He 排気実験	17.1	-	H モード	2
350	30061	He 排気実験	12.6	-	H モード	3
380	30066	He 排気実験	7.0	-	H モード	4
410	30078	RF 加熱実験	1.0	-	負磁気シア	5
440	30080	RF 加熱実験	3.5	3.8	負磁気シア	6
470	30083	RF 加熱実験	3.5	4.2	負磁気シア	7
500	30087	RF 加熱実験	3.0	3.9	負磁気シア	8
530	30092	RF 加熱実験	2.3	3.8	負磁気シア	9
560	30101	He 排気実験	21.5	-	H モード	10
590	30105	He 排気実験	21.5	-	H モード	11
620	30114	He 排気実験	10.1	-	H モード	12
650	30121	He 排気実験	12.3	-	H モード	13
680	30147	周辺プラズマ測定実験	-	-	L モード	14
710	30151	周辺プラズマ測定実験	-	-	L モード	15
740	30155	周辺プラズマ測定実験	-	-	L モード	16
770	30165	プラズマ配位調整放電	-	-	L モード	17

プラズマ電流およびトロイダル磁場は、それぞれ、1 MA ~ 1.7 MA、2.5 T ~ 3.5 T である。ダイバータプラズマの典型的な電子温度は、約 10~100eV、電子密度は、約  $1 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$  である。

本報告で示すスペクトル(図 2 - 17)は、プラズマ電流、プラズマ配位、中性粒子ビーム加熱パワーおよび核融合反応による中性子発生率がほぼ一定となる時間領域(2秒から5秒)で積算し、検出器の時間分解能である 50 ms に換算したものである。なお、感度校正を行っていないため、波長の異なるスペクトル線強度の比較はできない。

### 3 結果及び考察

観測したスペクトルを図2-17に示す。

測定の結果、D I, He I-II, B II, C II-IV, O I-IIIのスペクトル線とCD及びC<sub>2</sub>分子のスペクトルバンドを同定した。各元素および分子について、得られた結果と考察を以下に示す。

#### 重水素

重水素のバルマー系列(主量子数  $n=2-3,4,5,\dots$ )が見られる(図4)。系列端に近づくに従って、すなわち上準位の主量子数  $n$  が大きくなるに従って、シュタルク効果により線幅が広がり、系列端付近では個々のスペクトル線として区別できなくなる。区別不可能となる最初のスペクトル線の主量子数(上準位)を Inglis-Teller limit( $n_s$ )と呼び、その値から次式を用いて電子密度  $n_e$  [ $\text{cm}^{-3}$ ] が評価される [7]。

$$\log n_e = 22.0 - 7.0 \log n_s \quad (1)$$

更に正確な電子密度は、個々のスペクトル線のシュタルク広がりから求められる。本実験に使用した計測システムでは、多チャンネル検出器の両端付近で測光されたスペクトル線の線幅は、広くなる傾向があり、系列スペクトルのそれぞれの線幅を比較することは難しい。ここでは、多チャンネル検出器の中心付近で測光された、主量子数  $n=2-9,10$  のスペクトル線の広がり求めた。定量的な解析には至っていないが、シュタルク効果によるスペクトル線の広がりが見られた。今後、装置関数を校正して定量的に解析する。また、系列のスペクトル線強度からは、再結合に関する情報が得られる。DIII-D、JET、JT-60Uではダイバータプラズマが接触状態から非接触状態に変化すると、再結合が著しくなることが観測されている [4,8,9]。

#### ヘリウム

**He I:** 1重項については、主量子数  $n=2-3$  の遷移のみを観測した(図8,14,16)。3重項については、 $n=2-3,4,5$  の遷移が確認できている(図4,5,6)。 $n=2-4,5$  の遷移では、方位量子数の最も大きい準位間、 $2p\text{-}nd$  の遷移のみを観測した。

**He II:** 水素様イオンであるHe IIについては、主量子数  $n=3-4,5$  と  $n=4-6,7$  の遷移を同定した(図2,7,10,13)。

Heは、核融合炉ではDT反応によって生成されるが、JT-60Uでは動作ガスとして重水素を用いているため、Heの生成量は検出限界以下である。観測したHeのスペクトル線は、主としてHeの排気特性を検証するため、またはRF加熱実験において、主プラズマの密度を調整するために注入したことに起因する。また、GDCやTDCなどの放電洗浄では、Heを動作ガスとして用いるため、Heが真空容器第一壁やダイバータに吸着する。従って、放電洗浄直後の放電ではHeのスペクトル線が観測される。

#### ホウ素

**B II:**  $3s\ ^3S - 3p\ ^3P^o$  (図15) と2電子励起準位からの遷移  $2s2p\ ^1P^o - 2p^2\ ^1D$  (図3)のみを観測した。

ホウ素は、酸素不純物および水素リサイクリングを低減するために行なう、真空容器第一壁のボロン化処理の結果として存在する。真空容器第一壁およびダイバータ板を覆ったホウ素は、主に物理スパッタリングによりプラズマに混入する。

## 炭素

C II-IV からのスペクトル線を観測した。いずれの荷電状態においても主量子数  $n=3$  の準位間での遷移を多く観測し、C II と C III においては主量子数の変化を伴う遷移も観測した。

C II : 主量子数  $n=3$  の準位間の遷移のほか、 $n=3-4$ ,  $n=4-5, 6, 7$  の方位量子数が大きい準位間の遷移を観測した。C II は特にスペクトル線の数が多く、内核励起準位 ( $2s2pnl \ ^4L$ ) からのスペクトル線も観測した。 $2s2p3s \ ^4P^\circ - 2s2p3p \ ^4L$  :  $L=S, P, D$  の遷移では上準位についてすべての項が観測され、各々の遷移で全角運動量  $J$  による分裂を確認できた (図 9, 10, 14)。

C III : C II と同様に、 $n=3$  の準位間の主量子数の変化を伴わない遷移のほかに、 $n=4-5$  および  $n=5-7$  の遷移を観測した (図 3-5, 9)。これらは、方位量子数が大きい準位間の遷移が多い。 $n=5-6$  の方位量子数が大きい準位間の遷移波長は、観測した波長域より長波長側にある ( $5g \ ^3G - 6h \ ^3H^\circ$  : 819.6 nm)。

C IV :  $3s \ ^2S - 3p \ ^2P^\circ$  のみを観測した (図 11)。このスペクトル線はダイバータプラズマのイオン温度の測定に用いられている。

炭素製のダイバータ板は、高熱負荷によって物理スパッタリングを受ける。さらに化学スパッタリングにより、後に述べる炭化水素などの分子も発生する。従って、JT-60U においては、炭素は主たる不純物である。

## 酸素

O I-III からのスペクトル線を観測した。すべての遷移は主量子数  $n=3$  の準位間の遷移である。O II のスペクトル線が最も多い。

O I : 中性酸素については、 $3s \ ^5S^\circ - 3p \ ^5P$  : 777.4nm (図 17) のみを観測した。

O II : 4重項の  $3p-3d$  遷移では、LS 結合により  $3p \ ^4D^\circ - 3d \ ^4F$  : 407.5 nm と  $3p \ ^4P^\circ - 3d \ ^4D$  : 412.0 nm (図 5) として観測した。また、2重項の遷移も観測した。

O III : 1重項については、 $3s \ ^1P^\circ - 3p \ ^1P$  : 559.3 nm (図 10) を、3重項については、 $3s \ ^3P^\circ - 3p \ ^3D$  : 375.5 nm (図 4) を観測した。

酸素は、真空容器第一壁等のメンテナンスのために大気開放を行なうとき、真空容器内に混入し第一壁に吸着する。プラズマに含まれる酸素の量は、放電を繰り返すことおよび放電洗浄 (GDC, TDC) によって、低減できる。

## 分子線

CD : 波長 431 nm および 435 nm 付近に、CD バンド ( $A^2\Delta - X^2\Pi$ ) のヘッドを観測した。JT-60U では前者のスペクトルバンドを用いて、化学スパッタリングによる不純物の発生を評価している [10]。

$C_2$  :  $C_2$  分子の Swan Band ( $A^3\Pi_g - X^3\Pi_u$ ) と呼ばれるスペクトルバンドのヘッドが、波長 550.2 nm, 554.1 nm, 558.6 nm, 563.6 nm ( $\Delta v = 1$ , 図 10) 及び 516.5 nm ( $\Delta v = 0$ , 図 9) に見られ、それに続く連続スペクトルが短波長側に観測されている。

$CD_4, C_2D_6$  などの炭化水素分子は、化学スパッタリングによって、発生すると考えられる。 $\Delta v = 1$  の  $C_2$  のスペクトルバンドを除くこれらの分子線は、JET でも観測され、回転、振動温度をシミュレーションにより評価するなど、詳細な解析が行なわれている [11]。そこでは、ダイバータ板上のストライク点を掃引してこれらの炭化水素分子の発生分布を推定し、主たる発生機構を調べている。

523.1 nm 付近の波長域にはスペクトル線の影響がないので、トカマク装置では一般的に、可視連続光の強度を用いたプラズマの実効電荷数  $Z_{\text{eff}}$  の測定に利用している。

今回の実験では、JT-60 で観測されたチタン、クロムおよびニッケルなどの金属不純物に対応するスペ

クトル線は、検出していない[12,13]。

尚、波長 620nm (図 12) および 772nm (図 17) 付近のスペクトル線の同定は完了していない。

## 4 結言

臨界プラズマ試験装置 JT-60U のダイバータプラズマにおける不純物挙動を調べるため、可視領域 (波長 300 - 780nm) のスペクトルを測定した。その結果、重水素、ヘリウム及び軽元素不純物 (ホウ素、炭素、酸素) からのスペクトル線と CD および  $C_2$  のスペクトルバンドを観測した。特に真空容器第一壁の材料である炭素のスペクトル線を多く観測し、内核励起準位からの遷移も多数観測した。一方、チタン、クロムおよびニッケルなどの金属不純物のスペクトル線は観測されなかった。

## 謝辞

本報告を終るにあたり、計測装置の整備および保守を精力的に行なって頂いた永谷進氏、種々の支援およびコメントを頂いた芳野隆治炉心プラズマ第 2 実験室室長に心より感謝します。最後に、JT-60U 装置の運転に関し、JT-60U 実験チームの関係諸氏に感謝します。

## 参考文献

- [1] A. Kallenbach et al. : Nucl. Fusion, 35, 1231 (1995).
- [2] M. Keihacker : Plasma Phys., 37, A3 (1995).
- [3] H. Tamai et al. : Fusion Eng. Des., 39-40, 163 (1998).
- [4] JT-60 Team : JAERI-Research 98-039 , “Review of JT-60U experimental results in 1997” (1998).
- [5] N.Hosogane et al. : Proc. of 16th Fusion Energy Conf., 3, 555 (1996).
- [6] H.Kubo et al. : J. Nucl. Mater., 196-198, 71 (1992).
- [7] H.R. Griem : “*Plasma Spectroscopy*”, MacGraw-Hill, New York, (1964).
- [8] R.C.Isler et al. : Phys. Plasma, 4, 2989 (1997).
- [9] G.M. McCracken et al. : Nuclear Fusion, 38, 619 (1998).
- [10] S.Higashijima et al. : Journal of Nuclear Materials, 241-243, 574 (1997).
- [11] G Duxbury et al. : Plasma Phys. Control. Fusion, 40, 361 (1998).
- [12] 赤岡 伸雄 他 : JAERI-M 87-054 , “JT-60 プラズマでの可視域分光写真測定” (1987).
- [13] 久保 博孝 他 : JAERI-M 88-126 , “JT-60 プラズマの真空紫外域分光写真測定” (1988).

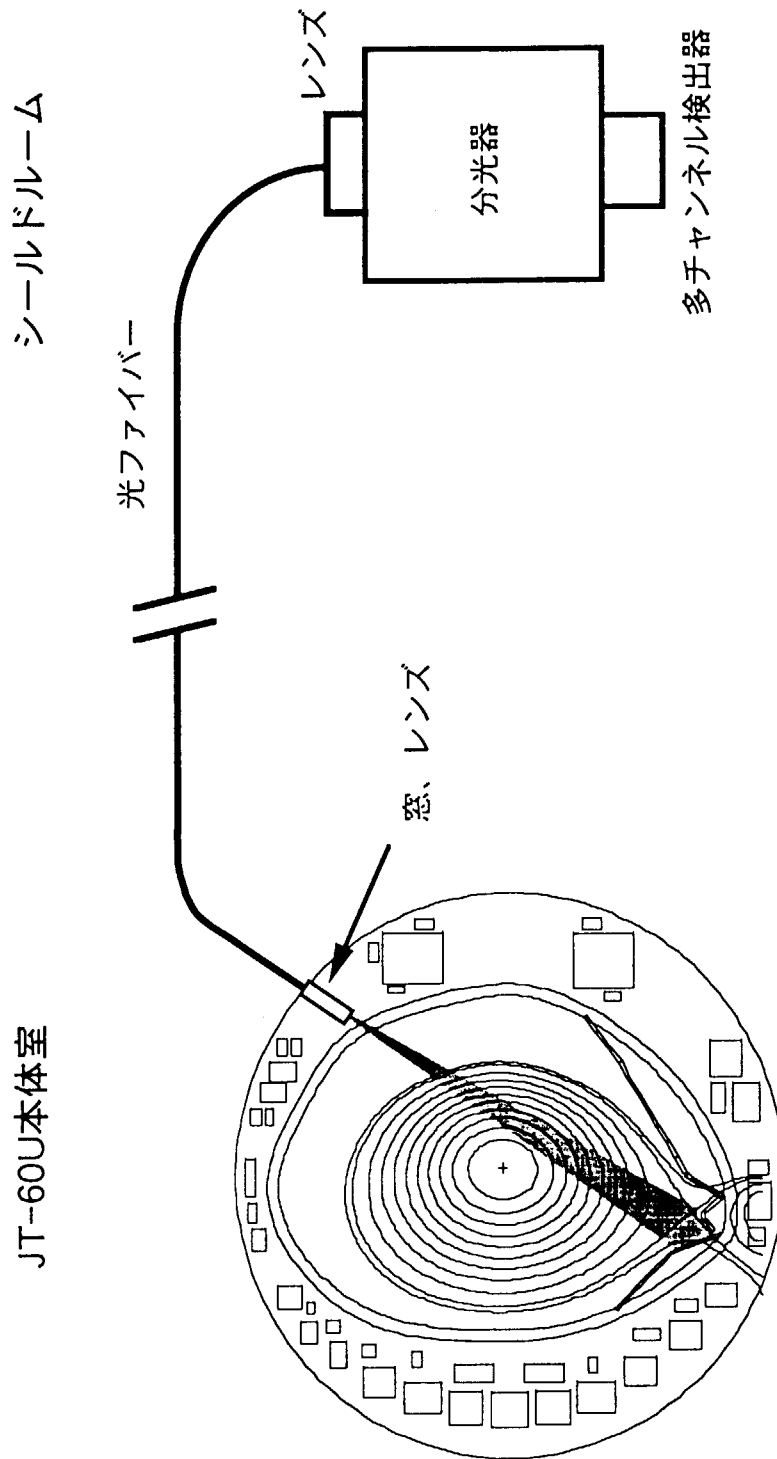


図 1: JT-60U のポロイダル断面と分光器の視野

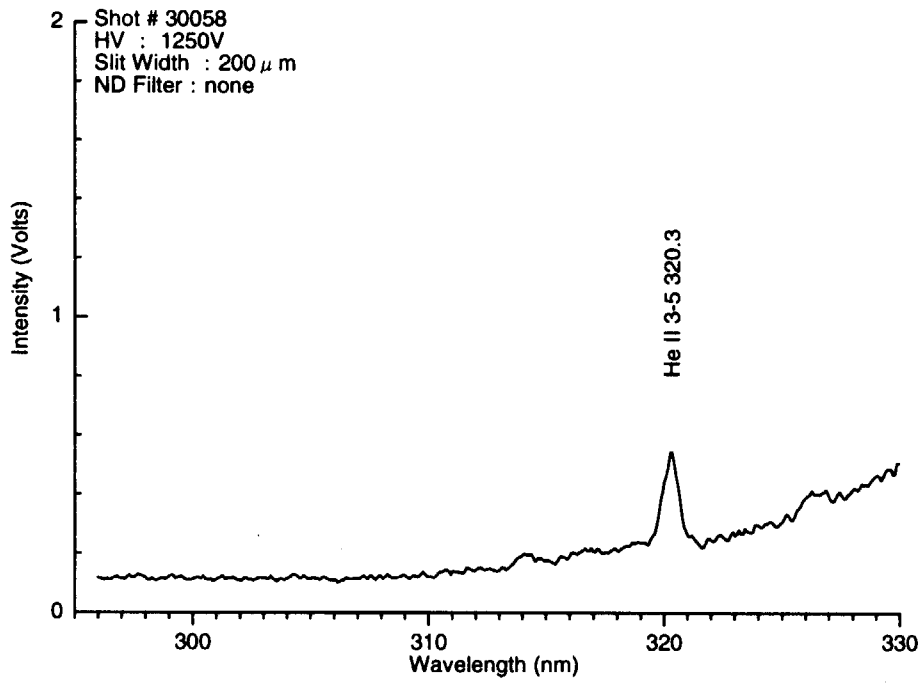


図 2: 295 - 330 nm のスペクトル

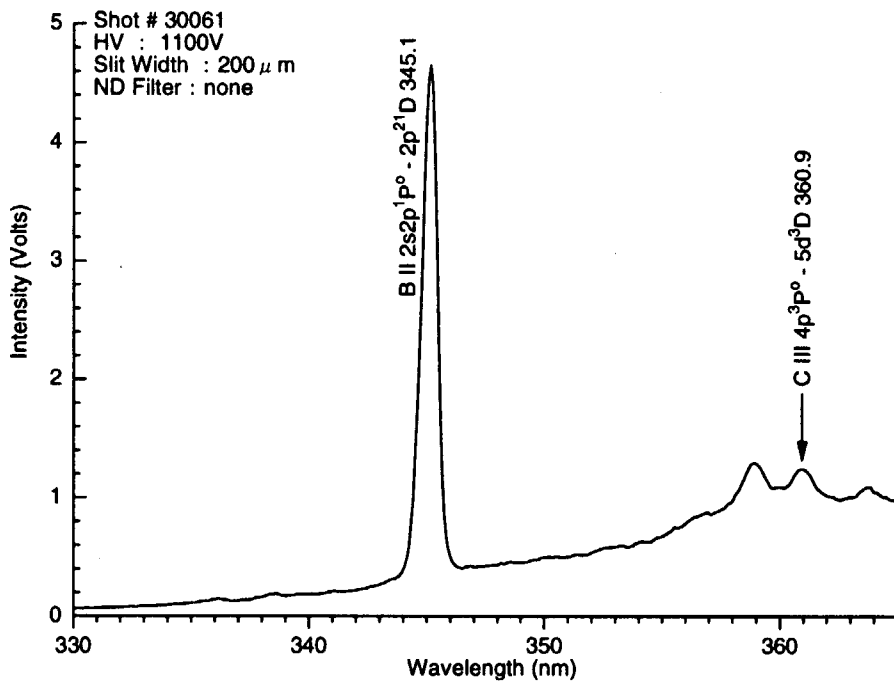


図 3: 330 - 365 nm のスペクトル

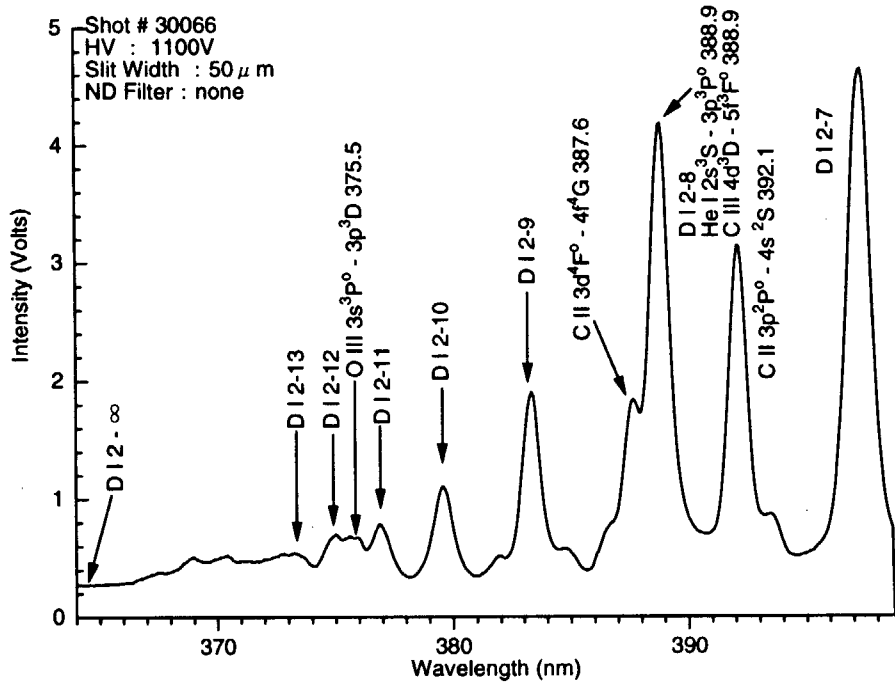


図 4: 365 - 400 nm のスペクトル

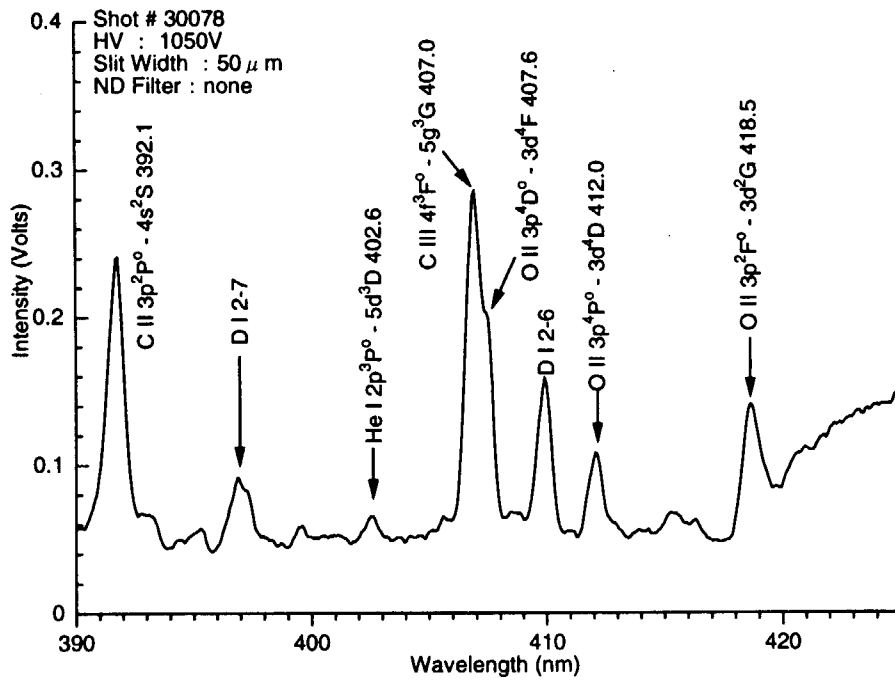


図 5: 390 - 425 nm のスペクトル



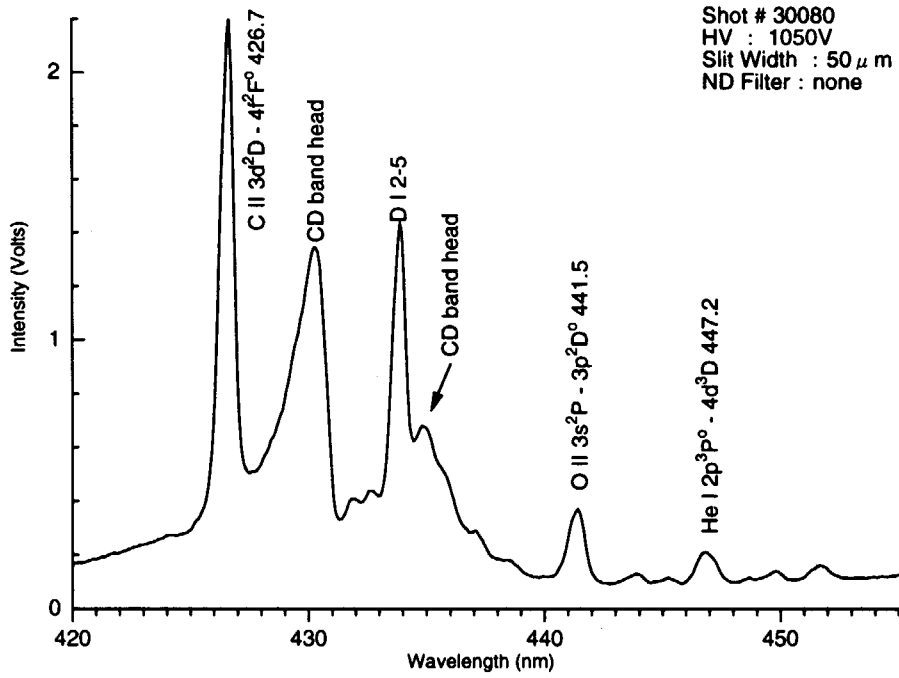


図 6: 420 - 455 nm のスペクトル

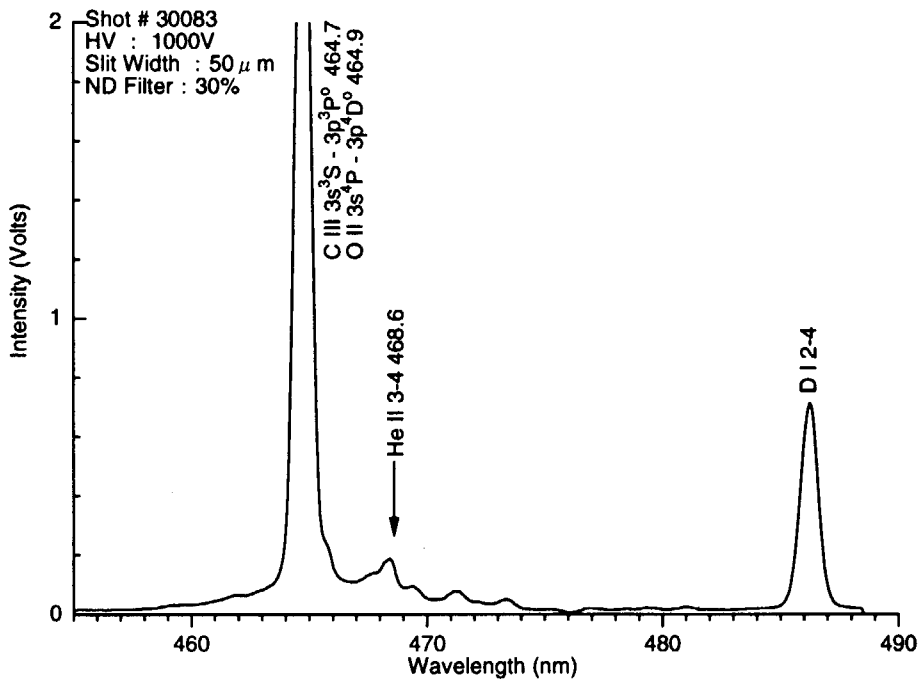


図 7: 455 - 490 nm のスペクトル

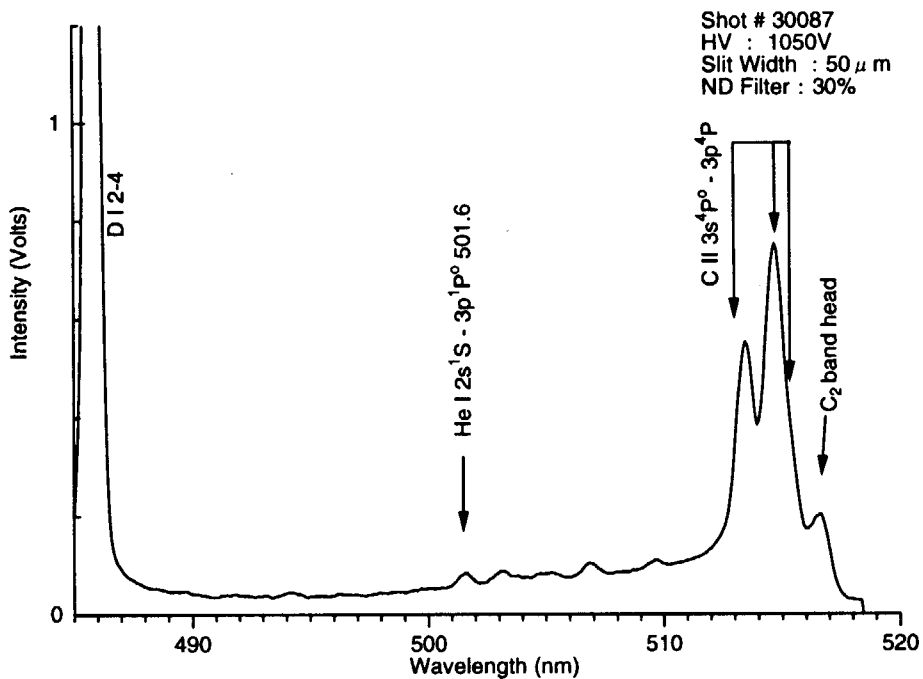


図 8: 485 - 520 nm のスペクトル

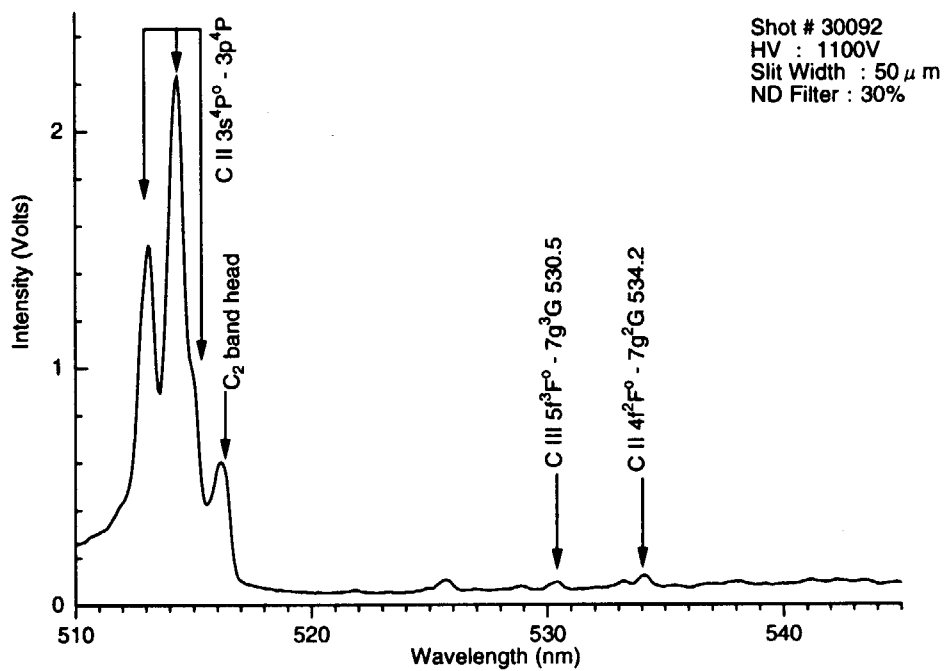


図 9: 510 - 545 nm のスペクトル

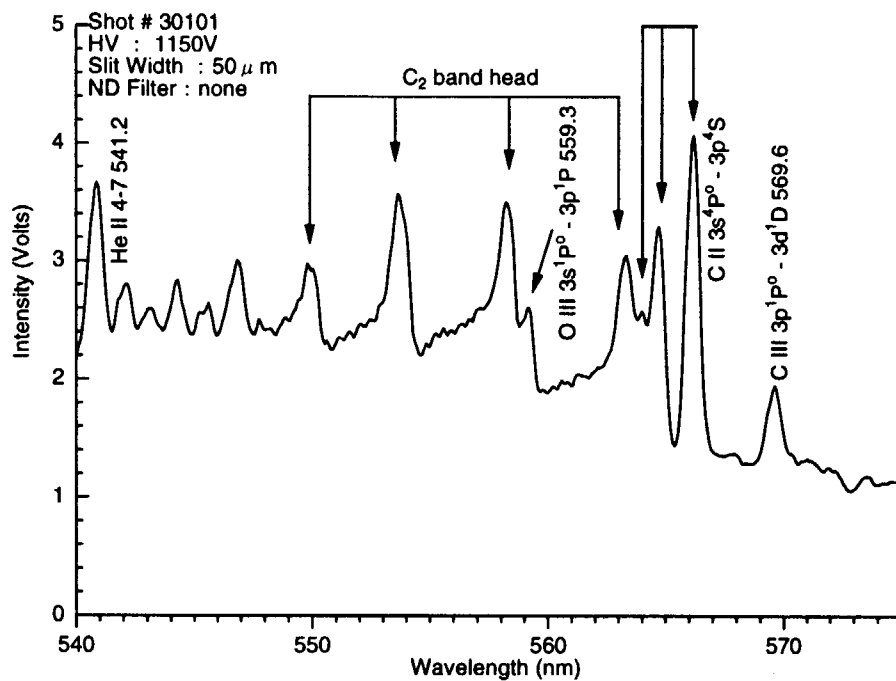


図 10: 540 - 575 nm のスペクトル

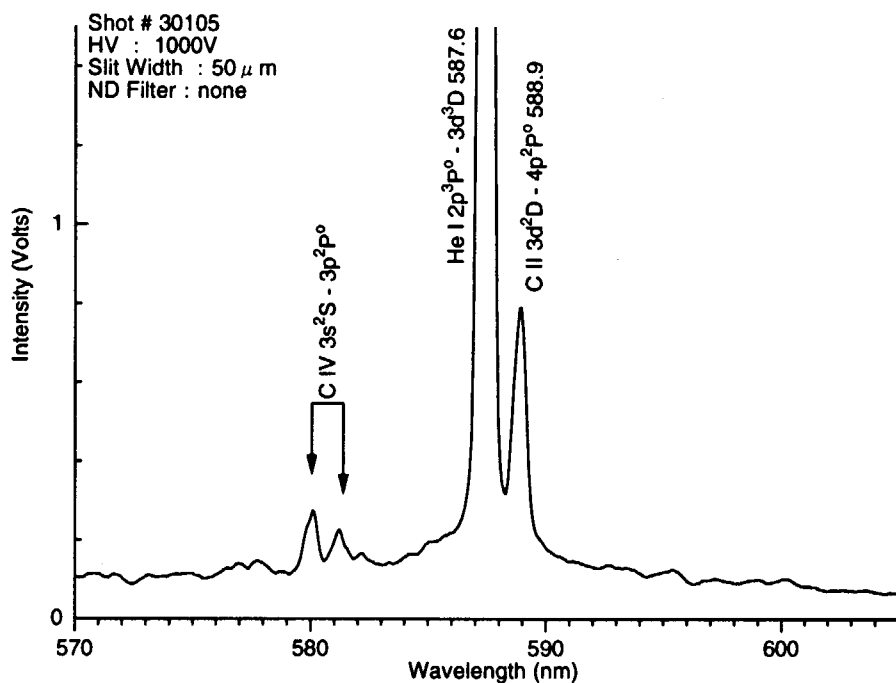


図 11: 570 - 605 nm のスペクトル

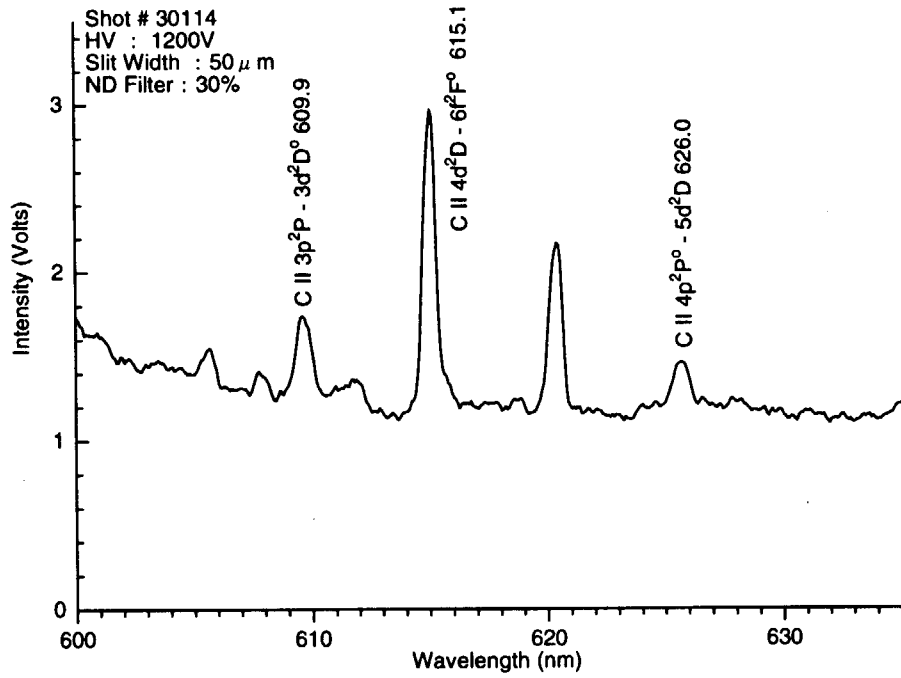


図 12: 600 - 635 nm のスペクトル

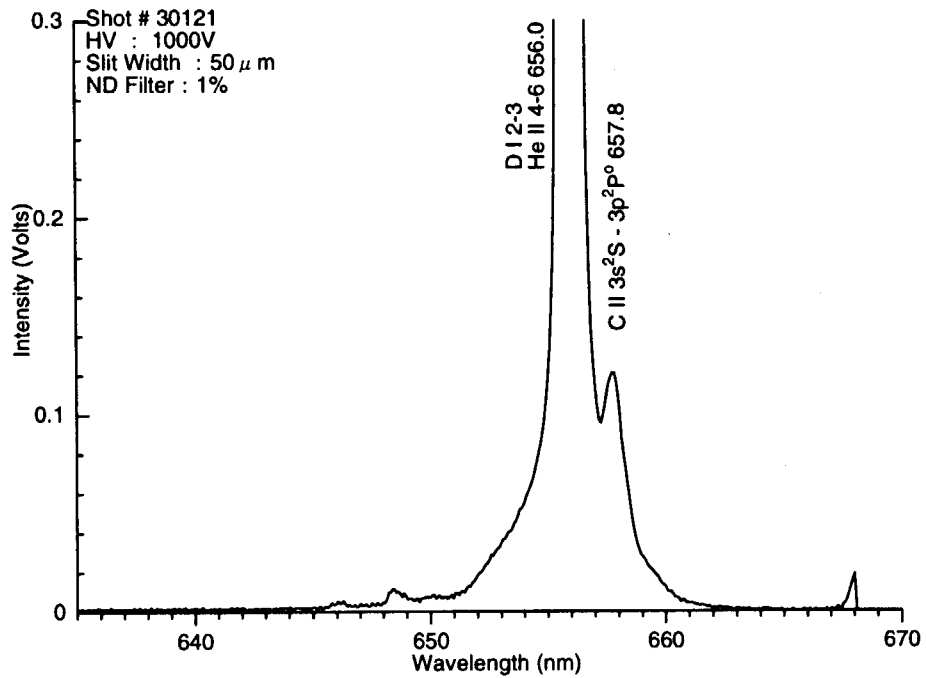


図 13: 635 - 670 nm のスペクトル

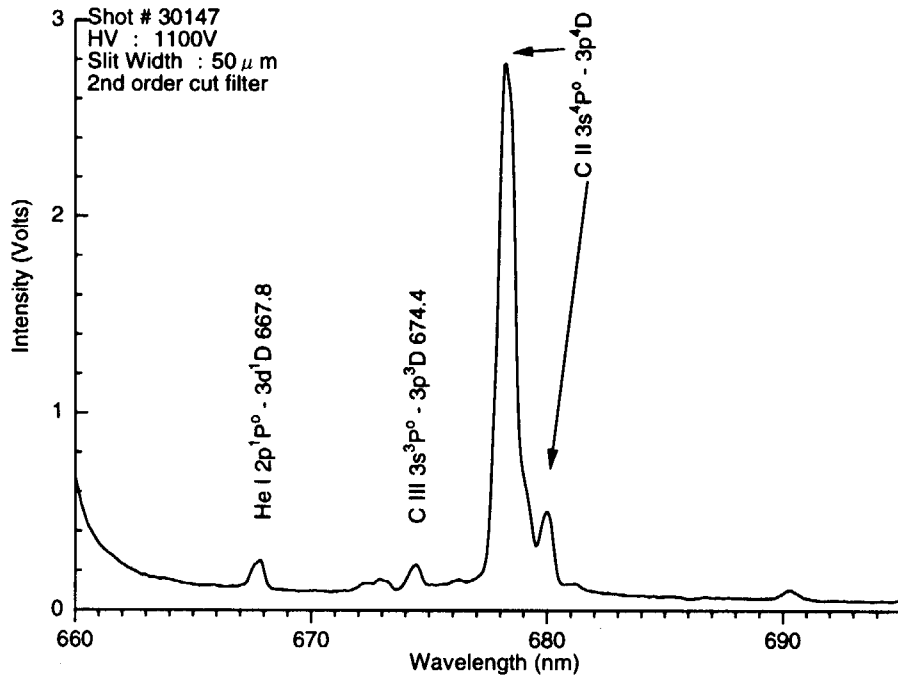


図 14: 660 - 695 nm のスペクトル

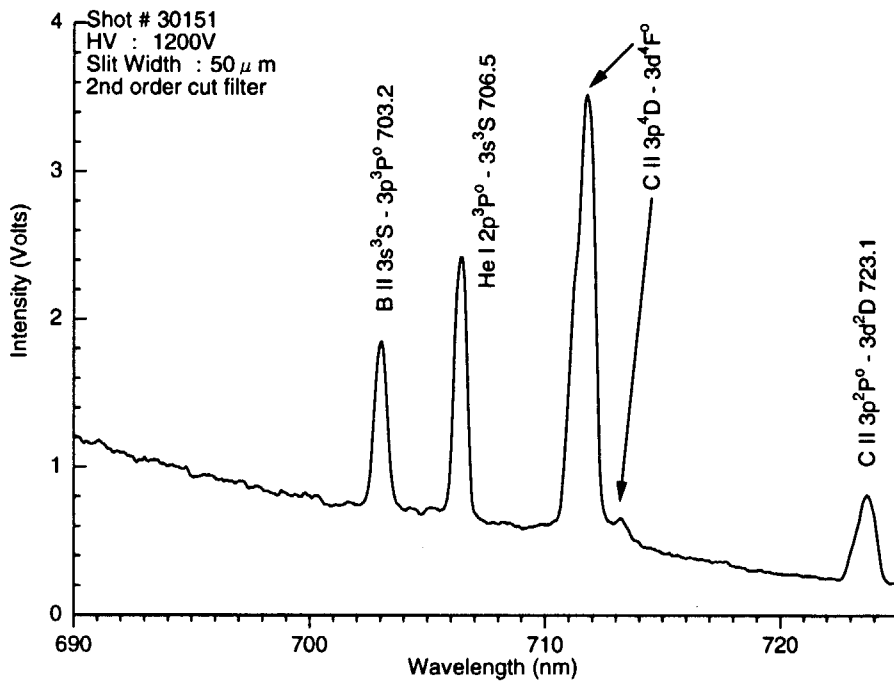


図 15: 690 - 725 nm のスペクトル

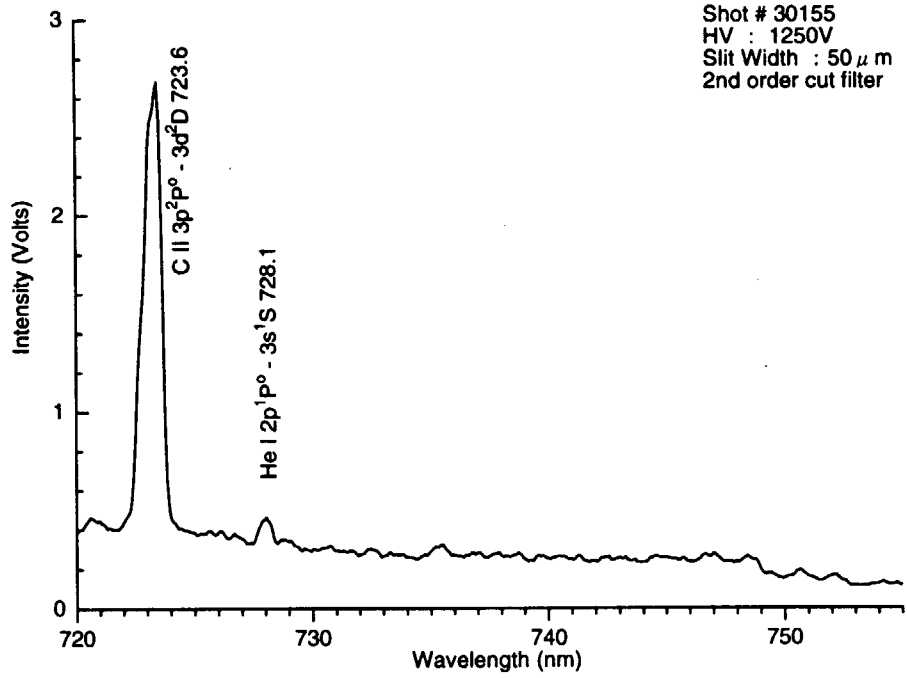


図 16: 720 - 755 nm のスペクトル

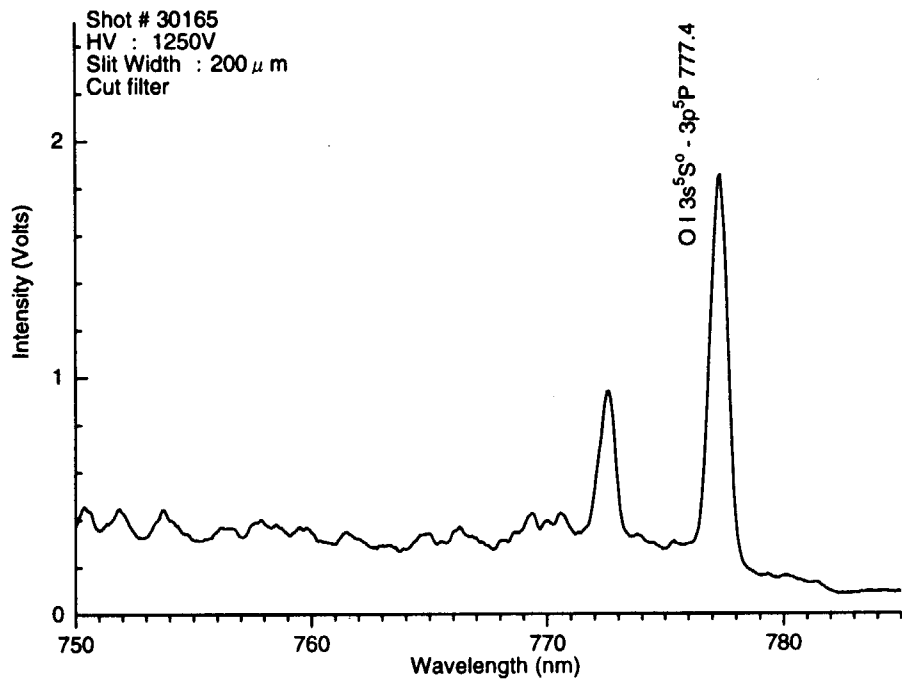


図 17: 750 - 785 nm のスペクトル

# 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
物質質量	モル	mol
光度	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 <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 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	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
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	
光度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
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<sup>-19</sup>J  
1 u=1.66054×10<sup>-27</sup>kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å=0.1nm=10<sup>-10</sup>m  
1 b=100fm<sup>2</sup>=10<sup>-28</sup>m<sup>2</sup>  
1 bar=0.1MPa=10<sup>5</sup>Pa  
1 Gal=1cm/s<sup>2</sup>=10<sup>-2</sup>m/s<sup>2</sup>  
1 Ci=3.7×10<sup>10</sup>Bq  
1 R=2.58×10<sup>-4</sup>C/kg  
1 rad=1cGy=10<sup>-2</sup>Gy  
1 rem=1cSv=10<sup>-2</sup>Sv

表5 SI接頭語

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

(注)

- 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、1 eVおよび1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクターも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- 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。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換算表

力	N(=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m<sup>2</sup>)=10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m<sup>2</sup>/s=10<sup>4</sup>St(ストークス)(cm<sup>2</sup>/s)

圧	MPa(=10bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062×10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10 <sup>-1</sup>	1.35951×10 <sup>-3</sup>	1.31579×10 <sup>-3</sup>	1	1.93368×10 <sup>-2</sup>
	6.89476×10 <sup>-3</sup>	7.03070×10 <sup>-2</sup>	6.80460×10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

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

1 cal= 4.18605J (計量法)  
= 4.184J (熱化学)  
= 4.1855J (15°C)  
= 4.1868J (国際蒸気表)  
仕事率 1 PS(仏馬力)  
= 75 kgf·m/s  
= 735.499W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10 <sup>-11</sup>
	3.7×10 <sup>10</sup>	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

JT-60Uダイバータプラズマの可視スペクトル (波長範囲 300 ~ 780 nm)