

TL-SHEET による ES-BEAM の INTENSITY の測定

高 橋 信 介

岡山理科大学理学研究科

(昭和61年9月30日 受理)

要 旨

核研 ES-Beam (γ 2-Line) の Intensity の絶対値測定を行った。TL-Sheet に照射した ES-Beam は, Energy 600 (MeV), 照射量およそ 9×10^4 (electrons/10sec) から 3×10^9 (electrons/10sec) までの7段階である。TL-Sheet の読みだしは, TL Photon Counting System¹⁾ と TL-SDR System (熱ルミネッセンス2次元読取りシステム)²⁾ で行った。TL-SDR System により TL-Sheet からも ES-Beam の Profile を知ることができた。

[1] はじめに

TL-Sheet は結晶蛍光体の Powder を Sheet 状にしたもので, 宇宙線実験用に開発された検出器³⁾である。使用されている Powder は主に $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$ (BaSO_4 の Powder に Eu_2O_3 を dope したものである。 Powder をアルミ板に塗布して Sheet 状にしたものと, テフロンに混入し Sheet 状にしたものが用いられている。

TL-Sheet は (1)放射線量に対するダイナミックレンジが広い, (2)繰り返し使用可能, (3)可視光刺激に鈍感なので扱いが容易である, など, 従来の Photo sensitive material (X-ray film, Nuclear emulsion, etc) よりすぐれた特徴をもっている。

これまで, TL-Sheet を放射線検出器として実用化するために TL-SDR System の開発と TL-Sheet の感度テストが行なわれてきた。例えば TL-SDR System で生じていた "Super linearity" の問題は, 双方向 RAM と 20(MB) の Hard Disk を導入して, 2次元 Photon counting 法により解決された⁴⁾。これにより TL の発光量の絶対値を2次的に求めることが出来るようになった。また, TL-Sheet の感度テストは Isotope (^{90}Sr) や宇宙線 (高山: Mt.Fuji, Mt.Norikura, 飛行機: JAL, Concorde) で行なわれてきた。そこで今回は加速器の Beam を使った

TL-Sheet の実験を行った。使用した加速器は、東京大学原子核研究所電子シンクロトロンである。使用した測定器は、熱ルミネッセンスシート (TL-Sheet), Scintillation Counter, Thin Chamber, Thick Chamber の4種類有り、そのうちの TL-Sheet による測定結果を報告する。

[2] TL-Sheet

ES-Beam 照射に用意した TL-Sheet は $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$ の Powder をテフロンに混入させたもの2種類 (厚さ $400\ \mu\text{m}$, $200\ \mu\text{m}$ 成分重量比はともに $\text{BaSO}_4:\text{Teflon}=1:1$ である), アルミ板に Powder を塗布したもの1種類 (厚さ, アルミ $200\ \mu\text{m}$, Powder $100\ \mu\text{m}\sim 150\ \mu\text{m}$), LiF の Powder をテフロンに混入させたもの1種類 (厚さ $400\ \mu\text{m}$) の4種類である。TL-Sheet の Size は縦 $50(\text{mm})$ 横 $40(\text{mm})$ である。これらの TL-Sheets をあらかじめアニールして過去の記憶を消去しておき Fig. 1 のように重ねて TL-Sheet の Stack の準備をした。位置モニタ用に各 Stack ごとに2枚の X-ray film (Fuji #100) を併用した。

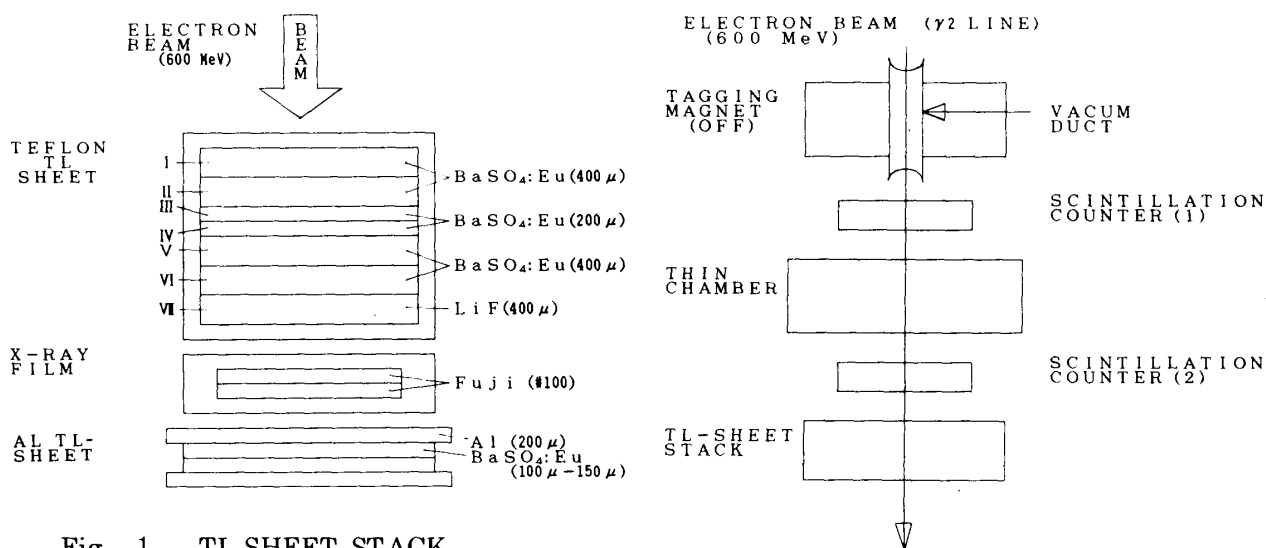


Fig. 1 TL-SHEET STACK.

- Teflon TL-Sheet : I から VII まで番号を付け, 積みかさねてポリ袋で真空パックした。
- X-ray film : Fuji (#100) 2枚をバリア袋で真空パックした。
- Al TL-Sheet : $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$ の Powder を塗布してある側を向い合わせて2枚を密着させた。

Fig. 2 SET UP BEAM IRRADIATION.

[3] 照射条件

r2-Line の Electron Beam を照射した。Beam Energy は 600 (MeV), Beam Intensity はおよそ 1×10^4 (electrons/sec) から 3×10^8 (electrons/sec), Beam Spot size は長軸17 (mm), 短軸13 (mm) のほぼ楕円形 (Thin Chamber の直後に置いたポラロイド写真による) であった。

照射 electron 数のモニタは, $10^4 \sim 10^5$ (electrons/sec) では Scintillation Counter, $10^6 \sim 10^8$ (electrons/sec) では Thin Chamber でおこなった。前者では 2 台の Scintillation Counter で Coincidence したものを照射 electron 数とし, 後者では Thin Chamber 1 Count 当り 3.2×10^5 (electrons) として照射 electron 数とした。

Electron Beam の照射は 7 段階の Beam Intensity で各々 10 (sec) 間行った。モニタが示した照射 electron 総数を Table. 1 に示す。TL-Stack の設置場所は Fig. 2 に示すように Scintillation Counter (2)の直後である。

SHEET NO	SCINTI(1)	SCINTI(2)	COINCIDENCE	THIN CHAMBER	Ne
(1)	12262 ^(x10)	10962 ^(x10)	9201 ^(x10)	1	9.2×10^4
(2)	37623 ^(x10)	33644 ^(x10)	27338 ^(x10)	1	2.7×10^5
(3)	155117 ^(x10)	138144 ^(x10)	110021 ^(x10)	4	1.1×10^6

SHEET NO	THIN CHAMBER	THICK CHAMBER	Ne
(7)	37	1	1.2×10^7
(4)	165	1	5.3×10^7
(6)	2003	83	6.4×10^3
(5)	8646	605	2.8×10^9

Table . 1 BEAM IRRADIATION (10 SEC)

NOTE: Thin Chamber 1 Count = 3.2×10^5 (electrons)

[4] TL-Sheet の読み出し

TL Photon Counting System と TL-SDR System を使って TL-Sheet の読み出しを行った。

(4-1) TL Photon Counting System

TL Photon Counting System のシステム図を Fig. 3 に示す。TL-Sheet を

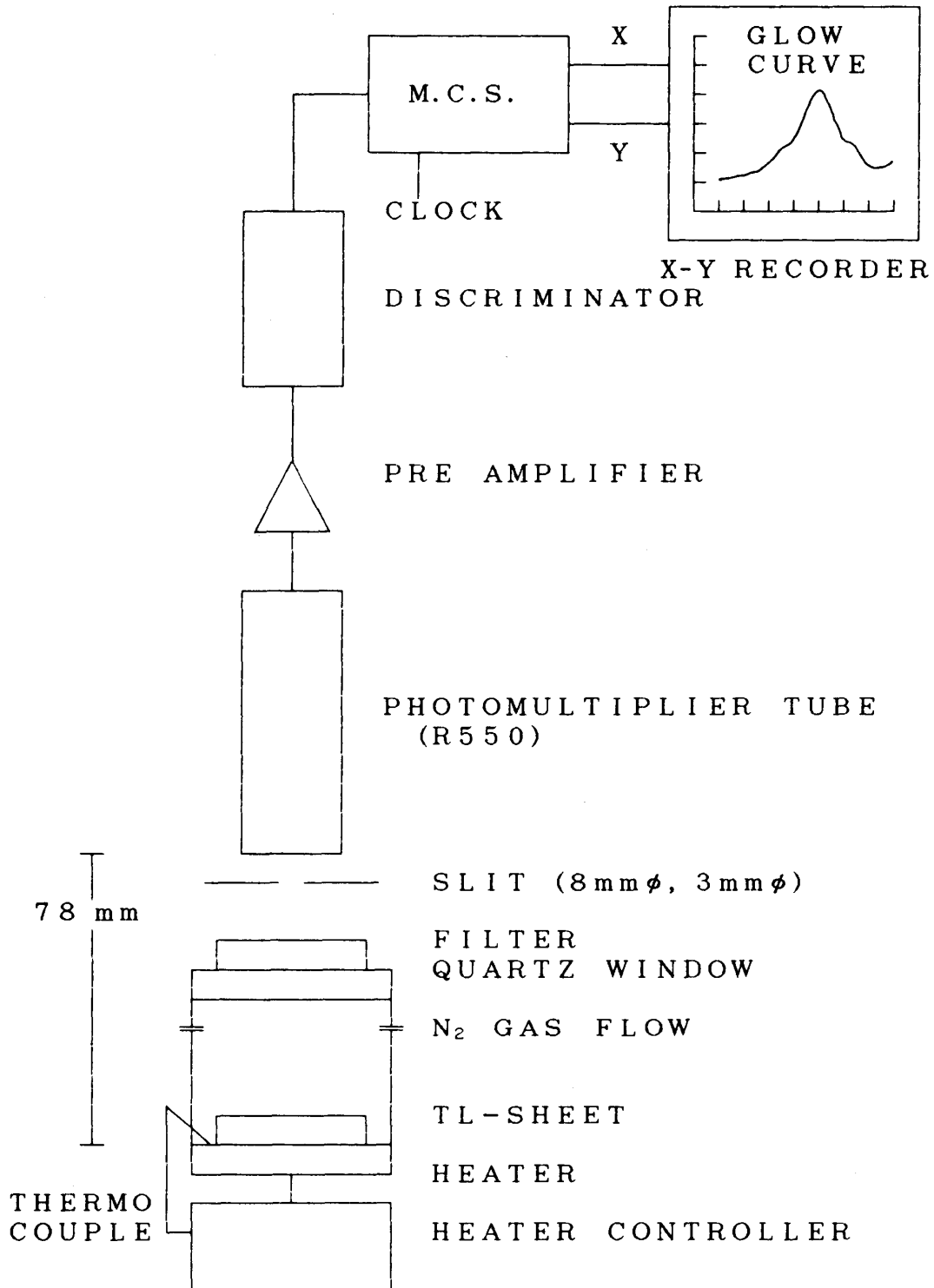


Fig. 3 TL PHOTON COUNTING SYSTEM.

Heater 上に置き窒素ガス雰囲気中で、室温から0.5 (°C/sec) の割合で265 (°C) まで加熱する。このとき発光する TL の Photon の数を数える。TL-Sheet No.(4)-III (BaSO₄:Eu 厚さ200μm Teflon TL-Sheet, Thin Chamber による照射 electron 数およそ 5.3×10^7) の発光のようす (Glow Curve) を Fig.4に示す。縦軸は立体角,

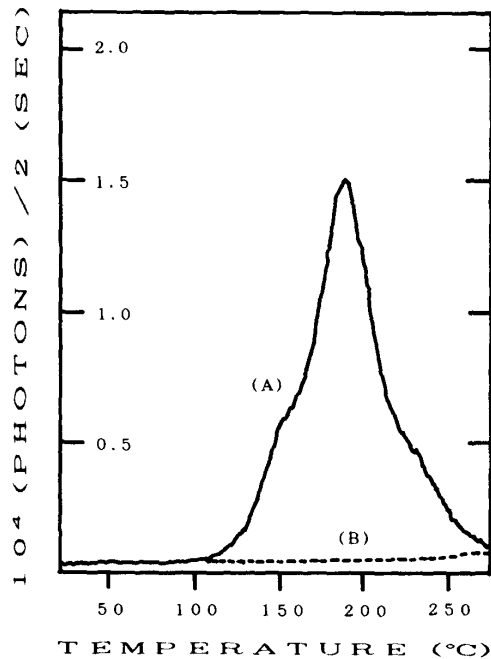


Fig. 4 Curve (A) は TL-Sheet No (4) - III (BaSO₄ : Eu, 200 μ m) の Glow Curve, Curve (B) は Curve (A) の測定後 TL-Sheet を室温 (20°C) まで冷却し, 再び加熱したときに得られたもの。縦軸は, 立体角, Filter の透過率, Photomul. の量子効率等の補正をした値である。これらは TL Photon Counting System によって得られたものである。

Filter の透過率, Photomul. の量子効率等を補正した値である。Curve (A) と Curve (B) で囲まれる面積が測定した TL の全 Photon 数であり, Beam 照射量に比例する。同様の測定を BaSO₄:Eu Teflon TL-Sheet の 400 μ m と 200 μ m の Sheet について行った。結果を Fig.5 に示す。横軸は Scintillation Counter, および Thin Chamber 等の計測による照射 electron 数であり, 縦軸は TL の全 Photon 数である。□印と○印はそれぞれ BaSO₄:Eu Teflon TL-Sheet の厚さ 400 μ m, 200 μ m の測定値である。図中の横線は Beam を照射しなかった TL-Sheet の発光量を示す。また●印は○印の測定後, それぞれの TL-Sheet に対応する ES-Beam のモニタが示す照射 electron 数だけ ⁹⁰Sr の β 線を照射して○印の測定と

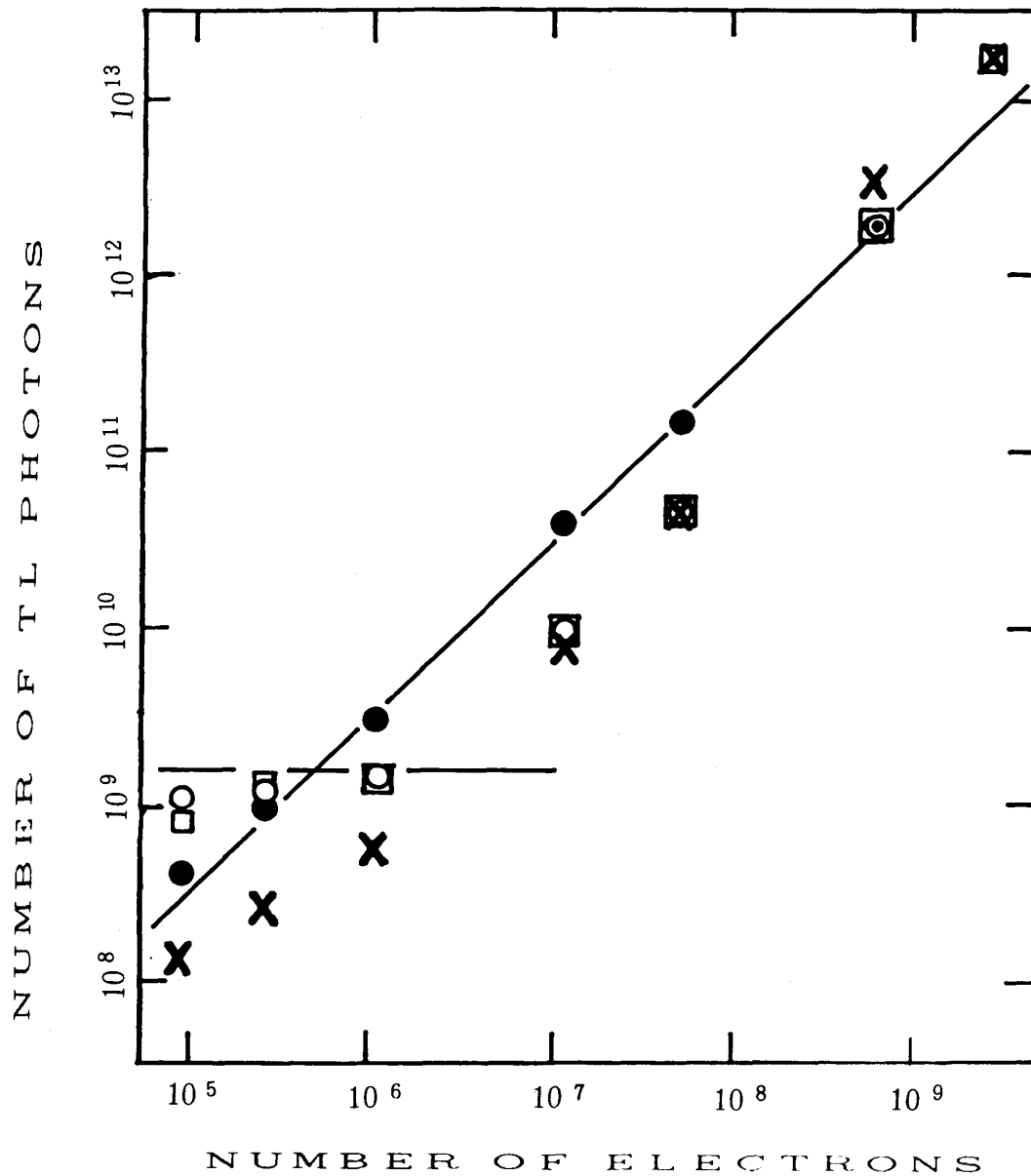


Fig. 5 Counter 等のモニタが示した照射 electron 数 (横軸) と TL-Sheet の発光量 (縦軸) との関係を示す。×印は TL-SDR System による計測であり、これ以外は TL Photon Counting System による計測である。×印, □印, ○印はそれぞれ厚さ $400 \mu\text{m}$, $400 \mu\text{m}$, $200 \mu\text{m}$ の $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$ Teflon TL-Sheet の測定値である。●印は○印の結果を得た TL-Sheet にそれぞれ相当量の β 線 (^{90}Sr) を再び照射した場合の測定値である。また図中の横線は、アニールから TL 読みだしまでの時間 (16日) に TL-Sheet が宇宙線照射のみを受けた場合の測定値である。

同一の条件で測定した結果である。直線は TL-Sheet の ^{90}Sr β 線による、照射-発光校正曲線である。

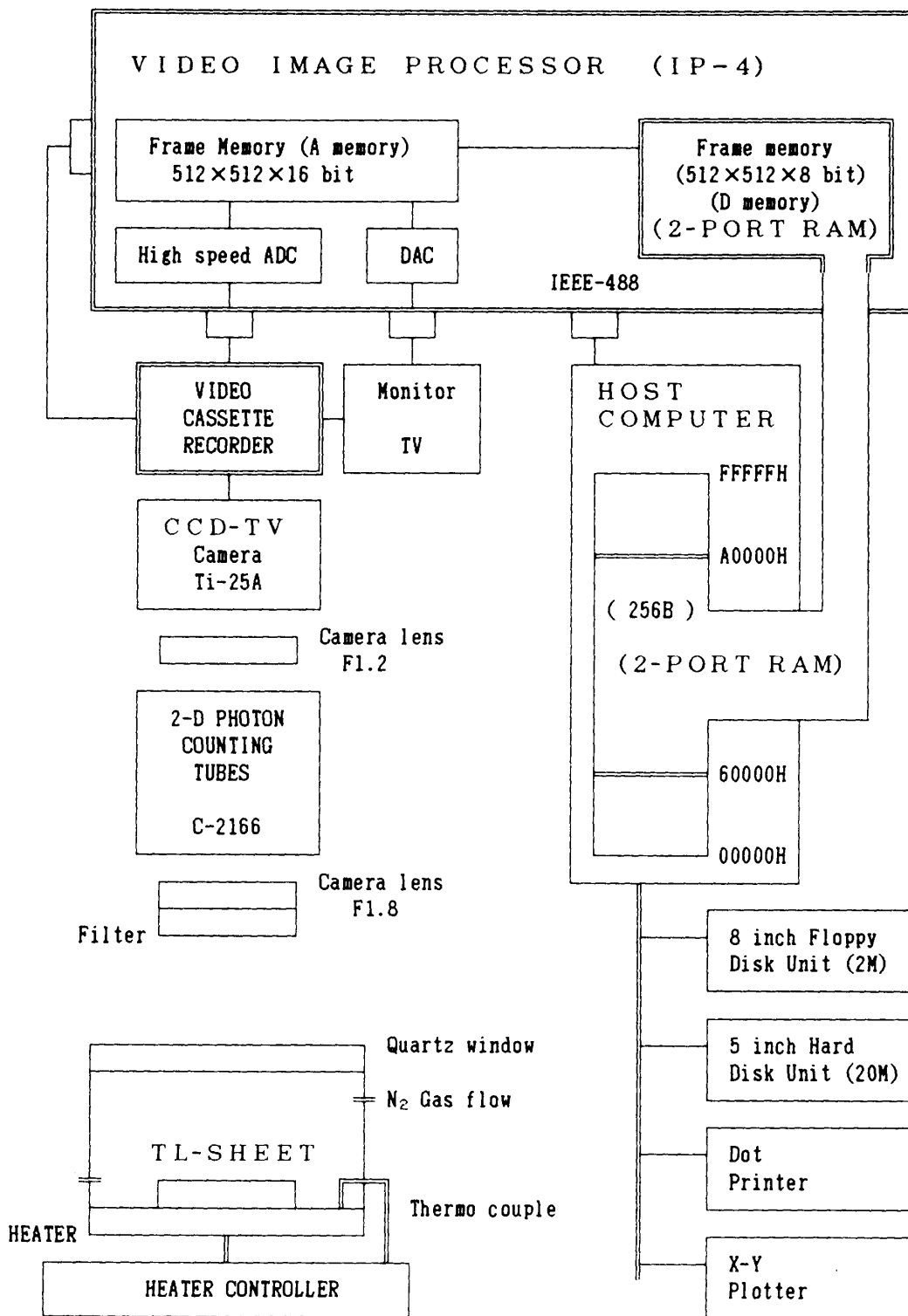


Fig. 6 TL-SDR SYSTEM.

(4-2) TL-SDR System

TL-SDR System のシステム図を Fig. 6 に示す。このシステムの特徴は TL の発光の様子を画像データとして Video Cassette Tape に録画できることである。この録画された Video Cassette Tape を再生することにより解析を行った。読み出しを行った TL-Sheet は Sheet No (V) の BaSO₄:Eu Teflon TL-Sheet (400 μ m) である。解析結果を Fig. 5 の×印で示す。

これらの結果から、次のことがわかる。

- ／1／ ⁹⁰Sr β 線の照射 electron 数と TL の発光 Photon 数とは比例する。
- ／2／ ES-Beam の Counter 等によりモニタした照射 electron 数と TL の発光量とは比例関係にない。
- ／3／ Beam Intensity が弱い場合には、TL-Sheet のアニールから、Beam 照射、TL 読取り迄の時間を短くしなければ、宇宙線照射による影響が出る。

そこで Sheet No.(7), (4), (6), (5) の ES-Beam の照射 electron 数を、⁹⁰Sr β 線による TL-Sheet の照射-発光校正曲線から求め Table. 2 に示す。また TL-Sheet は積分型検出器であるため、今回測定に用いた TL Photon Counting

SHEET NO	COUNTER	T L
(1)	9.2×10^4	—
(2)	2.7×10^5	—
(3)	1.1×10^6	—
(7)	1.2×10^7	3.2×10^6
(4)	5.3×10^7	1.6×10^7
(6)	6.4×10^8	7.0×10^8
(5)	2.8×10^9	5.4×10^9

Table. 2 NUMBER OF ELECTRONS

NOTE: 10 (SEC) IRRADIATION

System では、Electron Beam 照射による TL 発光と、Electron Beam 以外の放射線（宇宙線）の照射による TL 発光とを分離することはできない。しかし TL-SDR System では、Electron Beam の照射された部分の TL 発光と、その周辺部の TL 発光との差をとることにより、両者を分離することができた。

[5] Beam Profile

Beam Profile の計測を、TL-SDR System と X-ray film の黒化度測定との 2 通りで行った。

(5-1) TL-SDR System

Fig. 6 に示すような TL-SDR System で TL-Sheet の読み出しを行った。計測された Beam Profile を Fig. 7 - (a) に示す。この Beam Profile は Sheet No (6) - VI (BaSO₄:Eu Teflon TL-Sheet (400 μm)) に、およそ 7.0×10^8 (electrons / 10sec) [TL測定値] の Beam を照射したものである。(このときの Thin Chamber の値は 2003 (counts) = 6.4×10^8 (electrons / 10sec) であった。) Beam Profile の断面(A)-(A'), (B)-(B'), (C)-(C') をそれぞれ Fig. 7 - (b), Fig. 7 - (c) に示す。Beam

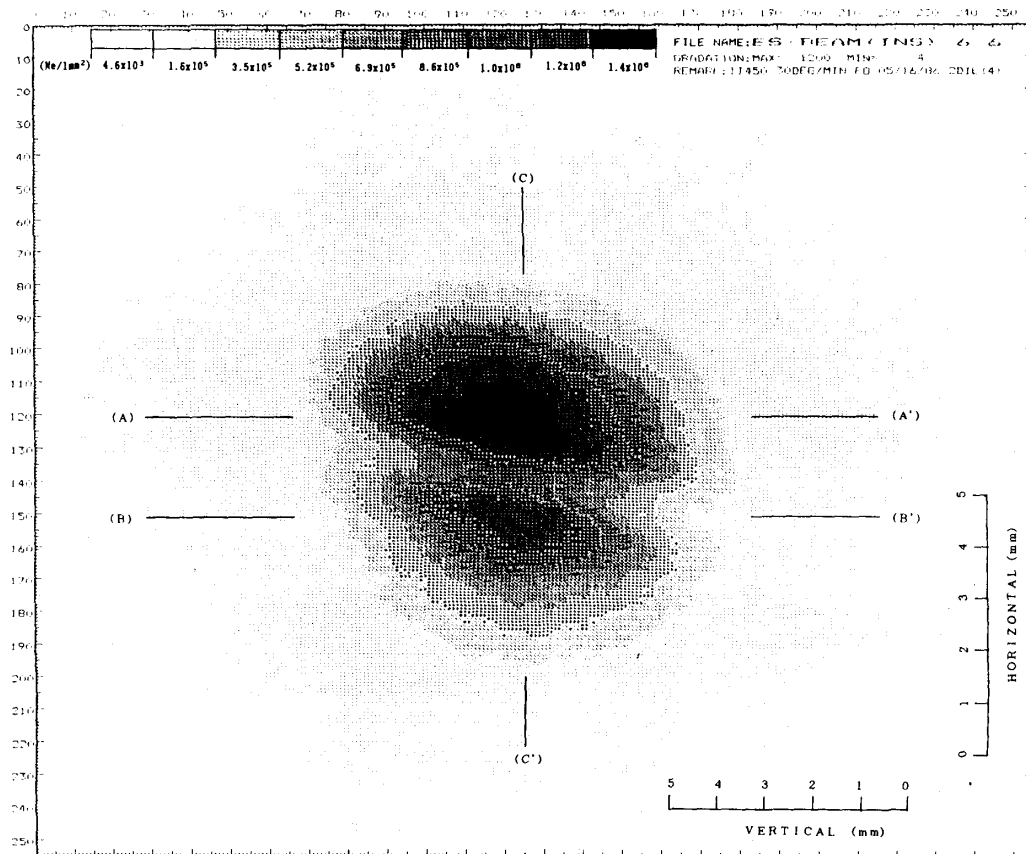
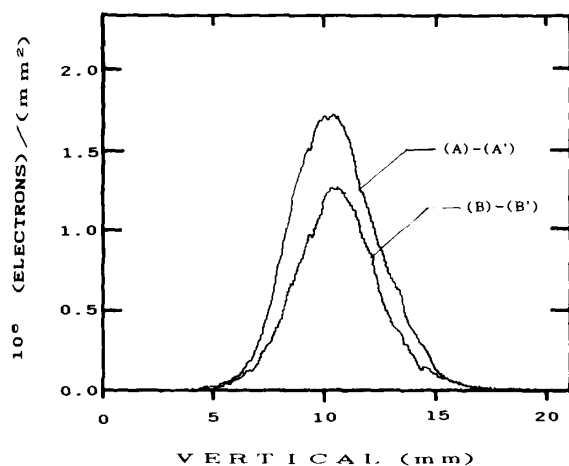
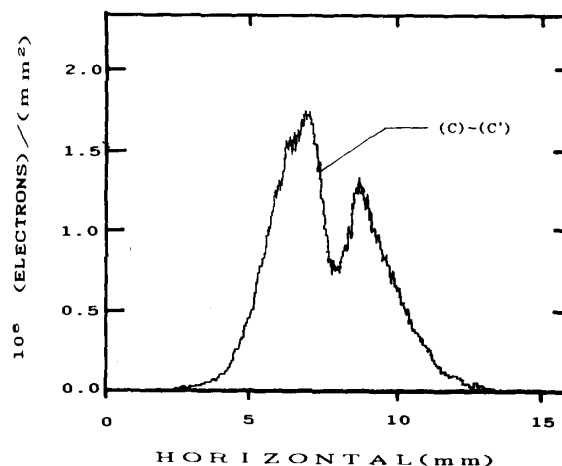


Fig. 7 - (a) BEAM PROFILE BY TL-SHEET.



CROSS SECTION OF BEAM PROFILE.



CROSS SECTION OF BEAM PROFILE.

は2つに分かれているように見えるが、これは Thin Chamber 下流の Beam の出口にハンダ線が張られていたためである。Fig. 7-(a)は、照射 electron 密度（1平方ミリメートル当りの electron 数）を9階調で表したものである。最高密度は、およそ 6.3×10^6 (electrons/mm²)であった。

(5-2) X-ray film

ES-Beam 照射の際、TL-Sheet とともに X-ray film (Fuji # 100) 2枚を同時にセットした。現像は次の条件で行った。

現像	: コニドール X	20°C	10分
停止	: 2 (%) 酢酸	20°C	5分
定着	: コニフィクス ラピッド	20°C	15分
水洗	: 流水		40分

X-ray film の黒化度 D (Optical Density) の測定を行った。結果を Fig.8 に示す。黒化度の測定は 500 μm のスリットで行った。Beam の中心部の黒化度は Saturate してしまっているため、Beam Profile はわからない。X-ray film の黒化度測定は、東京大学宇宙線研究所エマルジョン部の黒化度自動解析システムで行った。

Fig. 7-(a), Fig. 8 の三次元表示を Fig. 9-(a), Fig. 9-(b)に示す。縦軸はそれぞれのシステムで読み取った raw data の値を示す。Fig. 9-(a)の太線は X-ray film の黒化度が Saturate する領域（黒化度が3以上となる領域）に対応する。そこで、Fig. 9-(b)との比較のために Fig. 9-(a)の太線のレベルまでを拡大した三次元表示を Fig. 9-(c)に示す。

	DENSITY	#	0.7-1.0
.	< 0.1	*	1.0-1.5
-	0.1-0.2	&	1.5-2.0
+	0.2-0.3	<	2.0-2.5
=	0.3-0.5	%	2.5-3.0
/	0.5-0.7	? >	3.0

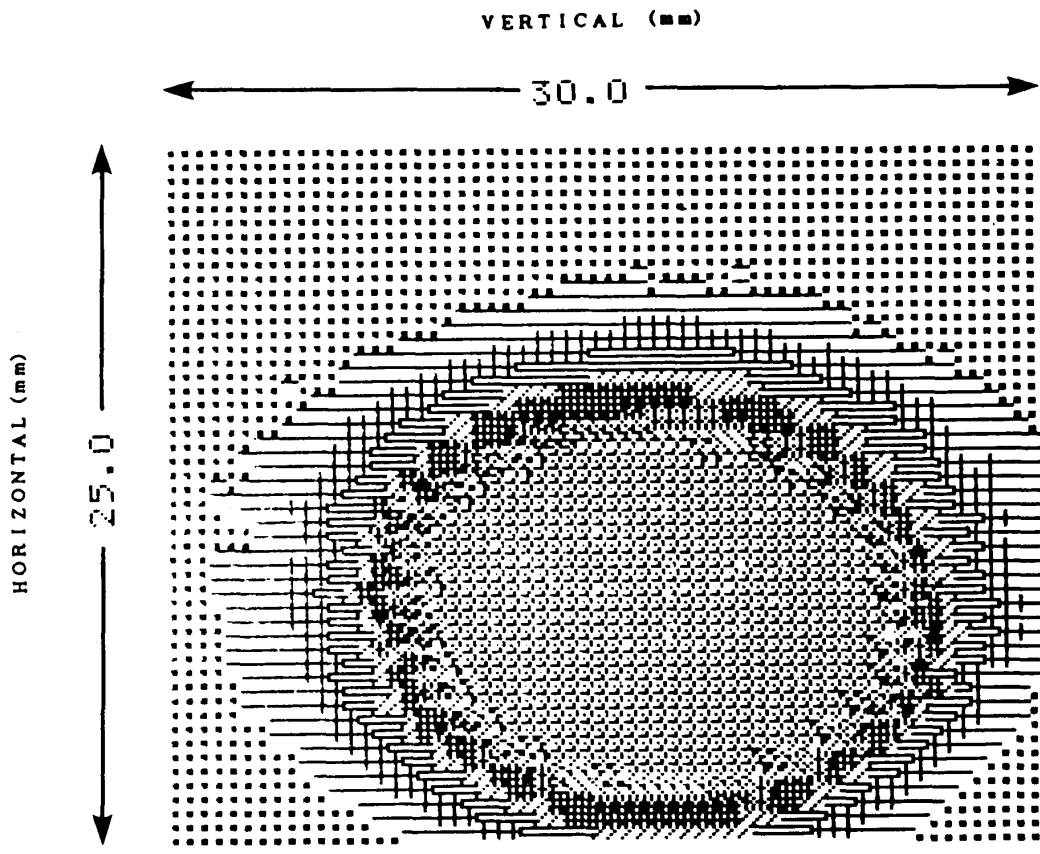


Fig . 8 BEAM PROFILE BY X-RAY FILM.

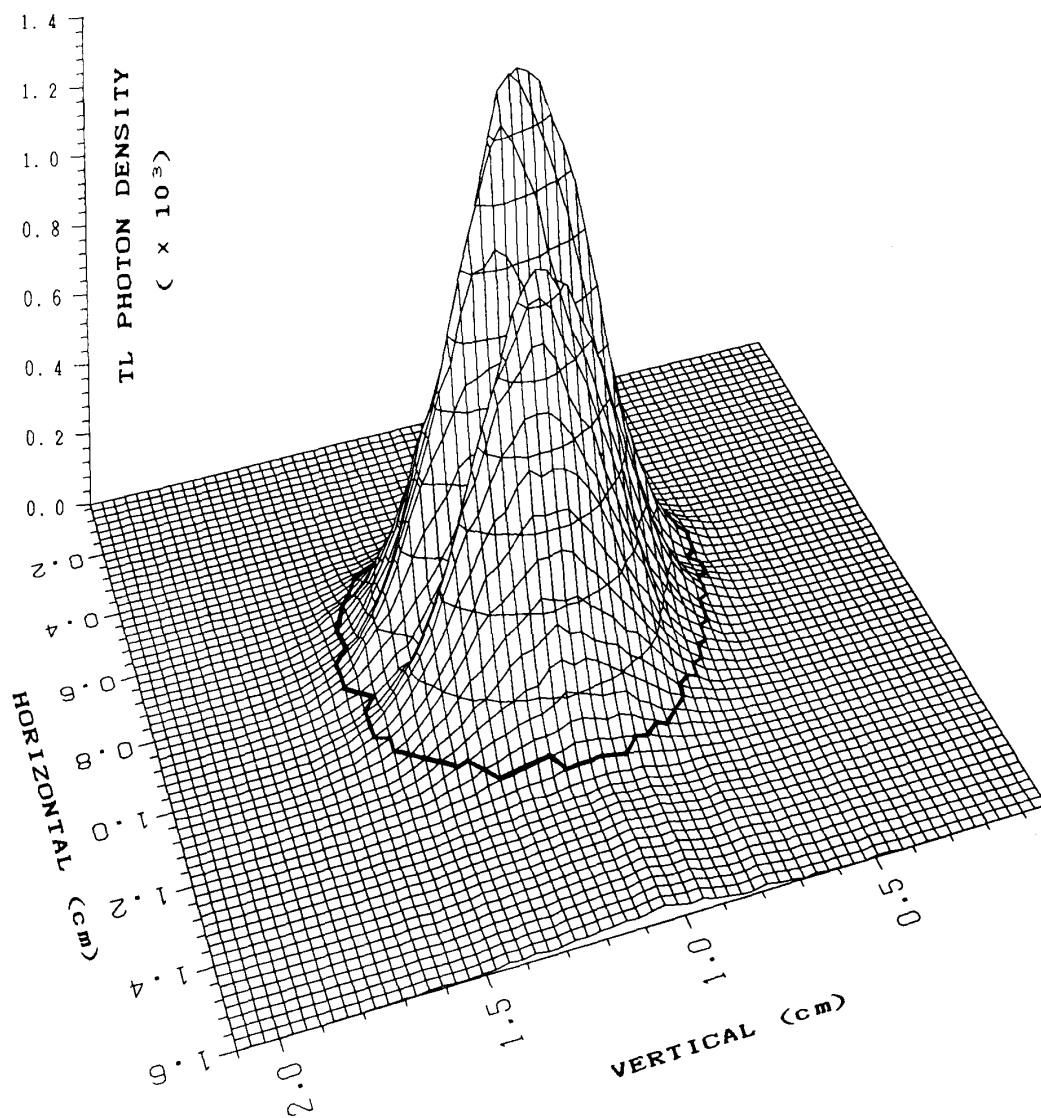


Fig. 9 - (a) Fig. 7 - (a)の三次元表示。縦軸は TL-SDR System で読み出した raw data である。太線は X-ray film の黒化度が Saturate するレベルをしめす。

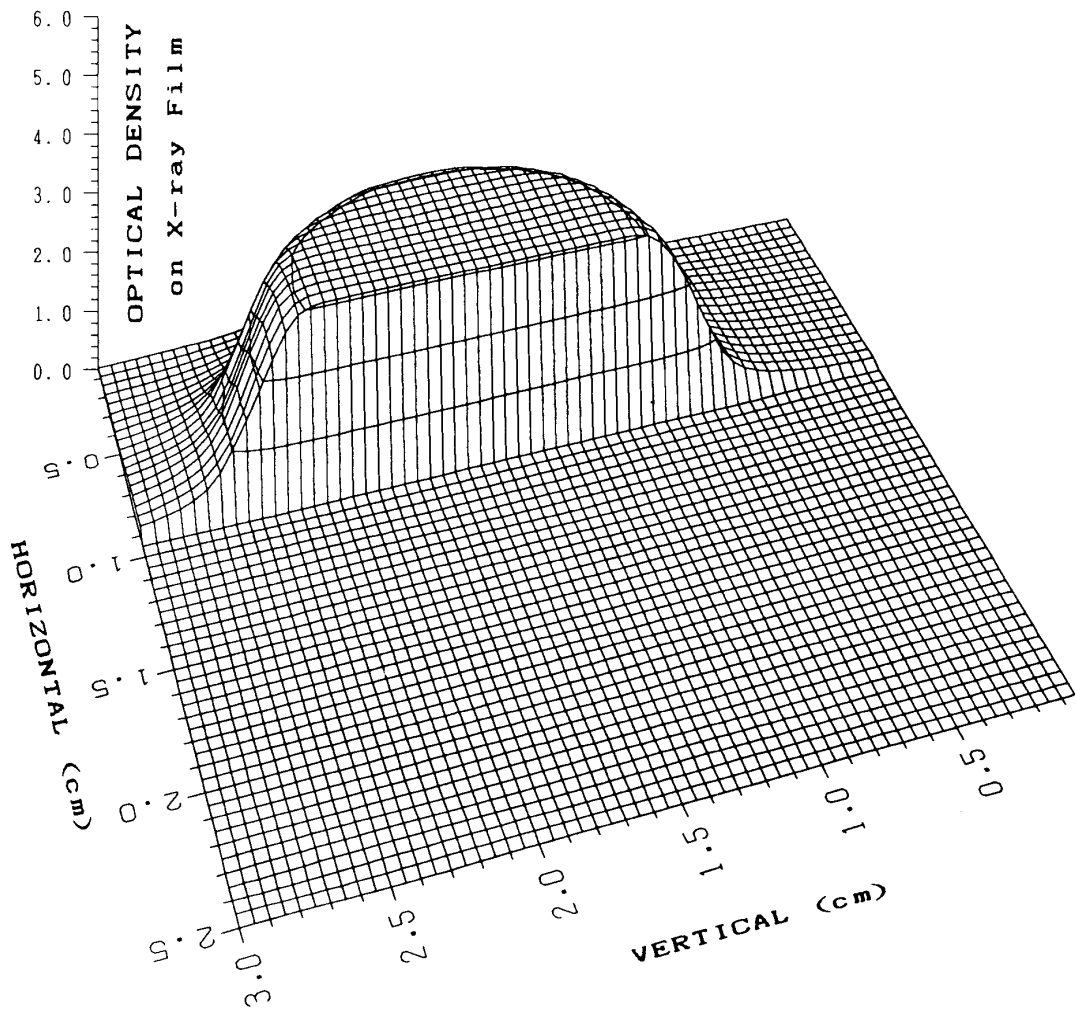


Fig. 9 - (b) Fig. 8の三次元表示。縦軸は $500 \mu\text{m}$ のスリットで測定した黒化度。

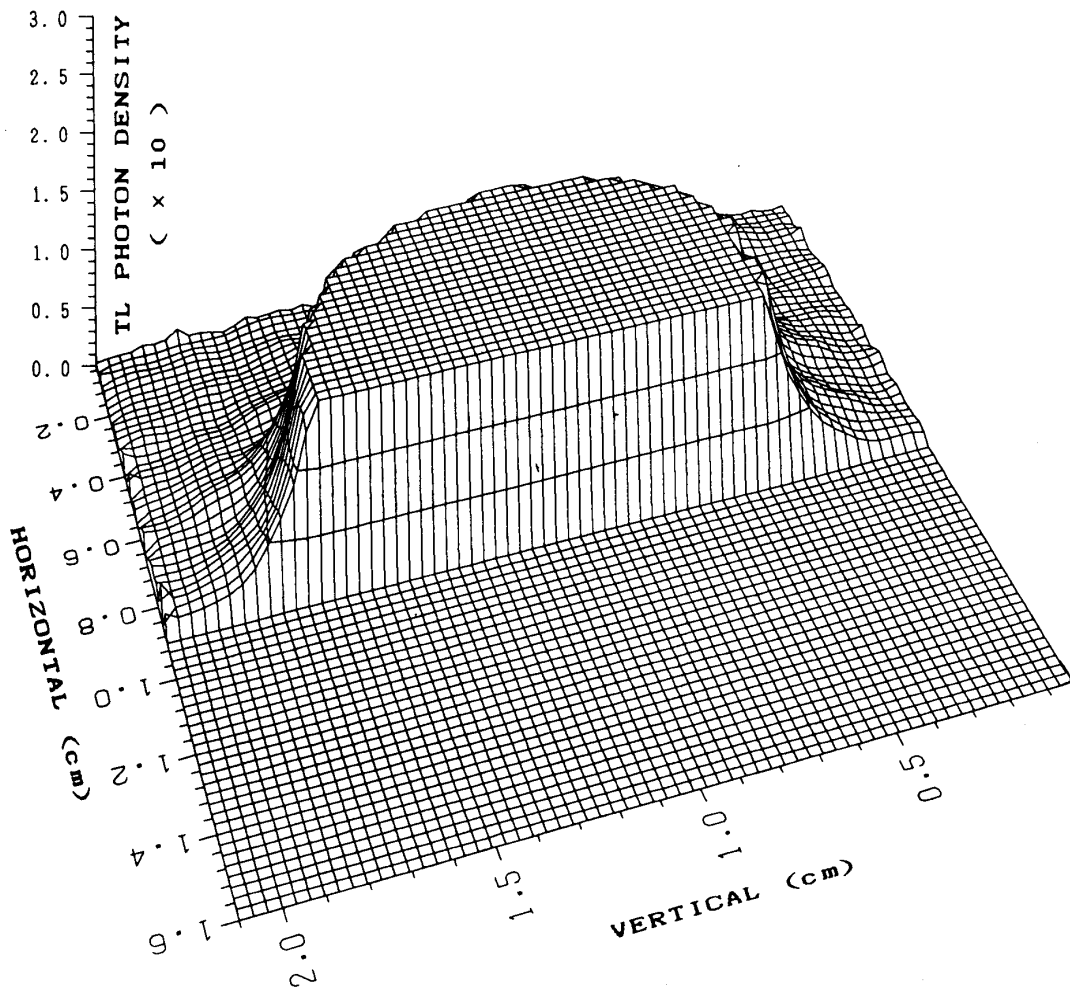


Fig. 9 - (c) Fig. 9 - (a)中の太線のレベルまでの縦軸を拡大した図。

[6] まとめ

Beam Intensity が、およそ 3×10^5 (electrons/sec) から 5×10^8 (electrons/sec) までの Thin Chamber の校正曲線を TL-Sheet ($\text{BaSO}_4 : \text{Eu}$ TL-Sheet の TL 発光量が照射 electron の Energy に依存しないとして) を使って求め、

$$Y = 3.8 \times 10^4 \times X^{1.4}$$

を得た。但し、X は 1 (sec) 当りの Thin Chamber の Count 数、Y は 1 (sec) 当りの electron 数である。(Fig.10 参照)

また、ES-Beam (r 2-Line) の Beam Profile を TL-Sheet を使って測定することができた。 7.3×10^5 (electrons/ mm^2) 以上の Beam 照射では、X-ray film では黒化度が Saturate してしまい Beam 中心部の Profile を測定できなかったが、TL-

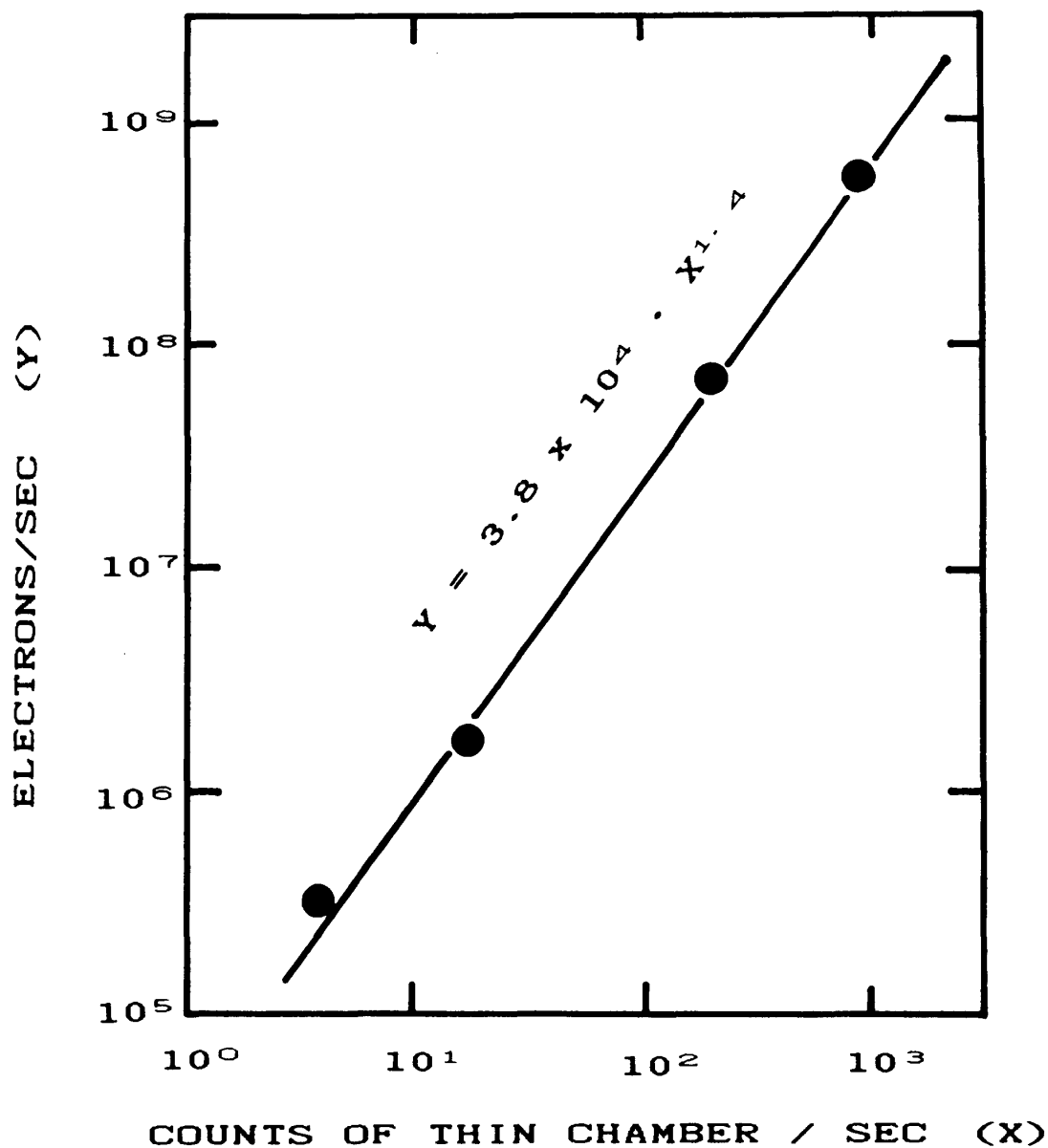


Fig. 10 Calibration Curve of Thin Chamber by TL-Sheet.

Sheet では Beam 中心部から周辺部まで Profile の測定は容易であった。

(謝 辞)

この実験を行うにあたり、今枝国之助先生、山本 勲先生〔岡山理科大学工学部〕、和田俱典先生〔岡山大学理学部〕他、TL開発岡山グループの皆様には有益な助言や示唆をいただき、細部にわたり指導していただいた。また東大原子核研の電子シンクロトロン

スタッフの皆様には、電子ビームのコントロールをお願いした。水野昌英君には画像処理プログラムの開発に従事していただいた。以上の皆様に感謝致します。

References

- 1) I . Yamamoto, T . Tomiyama, H . Miyai, T . Wada, and Y . Yamasita : Nucl. Instr. and Meth. A224 (1984) 573
山本 勲, 富山 毅, 蛭川清隆, 久我 清, 山下敬彦, 和田俱典 : 岡山理科大学紀要 19 A (1984) 121
- 2) K . Imaeda, T . Kitajima, K . Kuga, S . Miono, A . Misaki, M . Nakamura, K . Ninagawa, Y . Okamoto, O . Saavedra, T . Saito, N . Takahashi, Y . Takano, T . Tomiyama, T . Wada, I . Yamamoto and Y . Yamashita : Nucl. Instr. and Meth. A241 (1985) 567
山本 勲, 富山 毅, 今枝国之助, 久我 清, 蛭川清隆, 中村改樹, 高野安正, 山下敬彦, 和田俱典 : 岡山理科大学紀要 20 A (1985) 219
山本 勲, 富山 毅, 今枝国之助, 高橋信介, 蛭川清隆, 中村改樹, 高野安正, 山下敬彦, 和田俱典 : 岡山理科大学紀要 21 A (1986) 117
- 3) Y . Okamoto, S . Kawaguchi, S . Kino, S . Miono, T . Kitajima, A . Misaki, T . Saito : Nucl. Instr. and Meth A243 (1986) 219
Y . Okamoto, S . Kawaguchi, S . Kino, S . Miono, T . Kitajima, A . Misaki, T . Saito : ICR-Report-120-85-1 (Univ. of Tokyo)
- 4) I . Yamamoto, K . Imaeda, N . Takahashi, K . Ninagawa, T . Tomiyama, T . Wada and Y . Yamashita : to be submitted to Nucl. Instr. and Meth..

Measurment of ES-BEAM Intensity by TL-SHEET

Nobusuke TAKAHASHI

*Graduate School of Science, Okayama University of Science,
Ridai-cho 1 - 1, Okayama 700 JAPAN*

(Received September 30, 1986)

The absolute intensity of Electron-Synchrotron BEAM has been measured by thermoluminescence [TL] - Sheets at Institute for Nuclear Study. The beam energy was about 600 (MeV) and the beam intensity range from 9×10^4 (electrons/10 sec) to 3×10^9 (electrons/10 sec). The TL-Sheets and X-ray films were irradiated with the electron beam. The TL-Sheets were analyzed by using the TL Photon Counting System and the TL Spatial Distribution Read-out System. By using the latter system which realized to make the two dimensional electron density map, the beam profile was measured quantitatively at all ranges without saturation for the case of the TL-Sheets, while for the case of X-ray films with saturation (beam intensity $> 1.2 \times 10^7$ electrons).