

St. R と SOR の研究計画 (1)

笹 沼 道 雄 (大阪市大・工学部)

§ 1. はじめに

研究計画を述べる順序として、まず核研SORについての実状を明らかにし、INS-SOR実験グループがSt. Rを必要としている理由を明らかにしたい。更にこの専用光源としてSt. Rを設設する場合、Userとして望むマシンに対する仕様を具体的に数値で現わす。

現在INS-SOR実験グループが実験項目としてとり上げ、又は計画中のものは、XUV領域に話を限るが、第一表に示されるような項目に分類され、各項目に対して各種試料が対応する。基礎・応用を含めて項目の数は ~ 10 、この各項目に属する試料の数を $\sim 10^2$ とすると、実験テーマは $\sim 10^3$ となる。又、一つのテーマを消化する実験時間をmin. 1週間とみれば、これら全項目の研究が終了するには、延べ ~ 20 年の時間が必要となる。

核研ESで、SOR実験に対するマシンタイムの割当は年間を通じて1週間、他はパラサイターとして行っている。

部 門	物 理	応 用
研 究 内 容	気体固体の光学的性質	検 出 器 , 装 置
項 目	反 射 吸 収 着 色 光 電 効 果 螢 光 etc.	偏 光 子 Filter Photo cathode Photo transistor 波長シフター 凹面格子効率 検出器校正, その他
波 長 領 域	1 - 2,000 Å	1 - 2,000 Å

第 1 表

§ 2. 核研SORの性能

核研SORを利用する場合は、マシンタイム以外はパラサイターとしてのみ可能である。この場合、ESは～1.3 GeVの高エネルギーで運転されているため、SORのスペクトル分布は、分布のピークが数Åに位置している。従って、数Å～数10Å附近での実験には有用であるが、100Å以上の波長領域になると凹面回折格子からの高次の回折光が重なり、実用上では使用不可能となっている。(プレディスペーザー、或は斜入射でない型の分光器の採用により、高次光を除去する方法が検討されつつある。)

核研ESはLinacから数MeVで電子を打込み、シンクロトロンで最高1.3 GeVまで加速している。SORのスペクトルは軌道半径と電子エネルギーにより形が決まるが、核研ESの場合は第1図に示されるような状態で短波長光の放射強度がエネルギーと共に増大している。パラサイターとして長波長側の光源を望む場合は、電子加速の途中で特定エネルギー範囲に対して光を取入れる(例えばシャッター、又はelectronic gate回路により行う。)ようにしなければならない。この場合採光量が測光可能な量になっていると、パラサイターとして実験が行える。第2表はこの検討結果である。

波長領域	エネルギー	左のエネルギー範囲の滞在時間	一加速周期あたりの放射光量, F	1 Secあたり15μのスリットに入る光量, N
< 13 Å	MeV 898~1300	msec 8.75	ph/Å.elecacc 1.8×10^5	ph/secÅ 5.85×10^9
13~ 25	722~898	2.11	1.2×10^4	4.87×10^8
25~ 50	573~722	2.99	6×10^3	1.93×10^8
50~ 100	455~573	1.11	8.8×10^2	2.84×10^7
100~ 200	361~455	0.96	2×10^2	6.45×10^6
200~ 400	284~361	0.80	8×10	2.57×10^6
400~ 800	229~284	0.77	3.8×10	1.23×10^6
800~1600	180~229	1.10	1.1×10	3.56×10^5
> 1600	< 180	4.71	4.7	1.52×10^5

第 2 表

第2表の数値の計算では、核研ESで Full bias mode で $E_m = 1.3 \text{ GeV}$ に加速されている場合： $E(t) = E_m \sin^2 \frac{\pi t}{2T}$ に対し、波長スペクトルのピーク附近が1オクターブの中をもち、二次光の重なりがない状態として放射光を取出す場合に対応する。Nの値は、 $R = 2 \text{ m}$, $1200 \text{ } \ell / \text{mm}$ glazing angle 2° の斜入射型分光器で、 $100 \text{ } \text{Å}$ での波長分解能： $10^{-2} \text{ } \text{Å}$ に対して必要なスリット巾 (15μ) に入る光量である。

$$N = F \times 21.5 \times 10^{10} \times \frac{\delta}{2\pi D}$$

但し、F : [photon flux / $\text{Å} \cdot \text{electron} \cdot \text{acceleration}$]

21.5 : 核研ESの打込みパルス数 [C / sec]

10^{10} : 核研ESの one pulse に含まれる電子数

$\frac{\delta}{2\pi D}$: δ : スリット巾 (15μ),

D : 電子とスリットの距離 (= 8 m),

$\frac{\delta}{2\pi D}$ はスリットに入る光量に対する幾何学的減衰因子

§ 3. 測定に必要な光量

第一表に示してある項目の実験を行う場合、測定は写真及び光電測光方式の2通りある。波長決定には前者が優先しており、反射率、吸収係数、或は量子効率といった物理量の測定は定量性の点から光電測光方式が必要となってくる。この場合必要な光量として要求する値は、光学系、測定系の効率、感度に依存するが、これらの値を次のように与え、実験に必要なSORの強度を算定してみる；

- | | |
|------------------------|------------------|
| (1) 分光器の入口スリットに入る光量, | N |
| (2) Grating の一次光への反射率, | R |
| (3) Detector の受ける波長巾, | $\Delta \lambda$ |
| (4) Detector の量子効率, | η |
| (5) Detector の Gain, | G |

ここで、 $R=10^{-2}$ 、 $\Delta\lambda=10^{-2}\text{Å}$ 、 $\eta=10^{-2}$ 、 $G=10^6$ とおく。この場合、

i) Detector の出力を DC 方式で測定する場合、出力電流は、

$$i = N \cdot R \cdot \Delta\lambda \cdot \eta \cdot G \cdot e \approx 10^{-19} N \text{ [amp]},$$

ii) Photon counting 方式では、1秒あたりのカウント数、 n は、

$$n = N \cdot R \cdot \Delta\lambda \cdot \eta = 10^{-6} N \text{ [pulse/sec]},$$

となる。この結果、必要光量は DC 方式での最小電流値としていくらの値をとるかによるのであるが、 10^{-9} amp. を S/N 比よく測定出来る最小値ととれば、光量として、 $N \sim 10^{10}$ [ph/Å·sec] が必要である。photon counting の場合も S/N 比は Detector の noise 如何で決まる。現在のところ市販で noise が最小のものは、channel 型増倍管で、

< 1 [count/sec] と非常に少ない。これを採用すれば光量として、 $N \sim 10^6$ [ph/Å·sec] あればよく、DC 方式に比べて4桁少なくてすむ。但し測定資料による損失分として $\sim 10^2$ を要求すれば、これらの光量に 10^2 倍しなければいけない。

第2表で示される核研ESの結果をみれば、波長分解能に 10^{-2}Å を要求すると 50Å 以上では光量不足である。このように、核研SORに対しては、研究テーマを消化する時間の不足と同時に、長波長領域でパラサイターとしては実験困難ということになり、専用光源としてのSt.Rの出現を望む次第である。

§ 4. 光源専用としての St. R の仕様について

光物性関係を主として、INS-SOR 実験グループが意識している所望の波長範囲は、 $1\text{Å} \sim 2000\text{Å}$ の XUV 全域に及んでいる。この全領域に対しての光源を一つの装置に限定すれば、その規模は結局核研ES程度の巨大なものになる。そこで、 50Å 以下の短波長側は核研ESからのSORに依り、核研ESでのパラサイターでは得られない長波長領域に対して明るい (Flux の大きな) St. R を検討するのが実際的である。これを基本的な考え方として、St. R の仕様を決定する。

SOR のスペクトル分布の形は、既述のように、軌道半径 R と電子エネルギー

ギー E により決まり、放射強度は、Ring 内を流れる電流により決定されるため、この三つのパラメーターを決定しなければならない。この場合、Ring に流し得る電流に対しての制限、又、電子を一定の曲率 R に束縛するために必要な磁石の規模に対する制限等実際上の技術の点からも限定されてくる。

INS-SOR 実験グループの中に、加速器の専門家も含めた「St. R 準備委員会」が設けられ各種検討を行って来たが、現在のところ第 2 図に示されるような St. R が考えられている。この St. R は軌道の曲率半径として 1 m 及び 4 m の各 section をもつ複合形の加速器である。

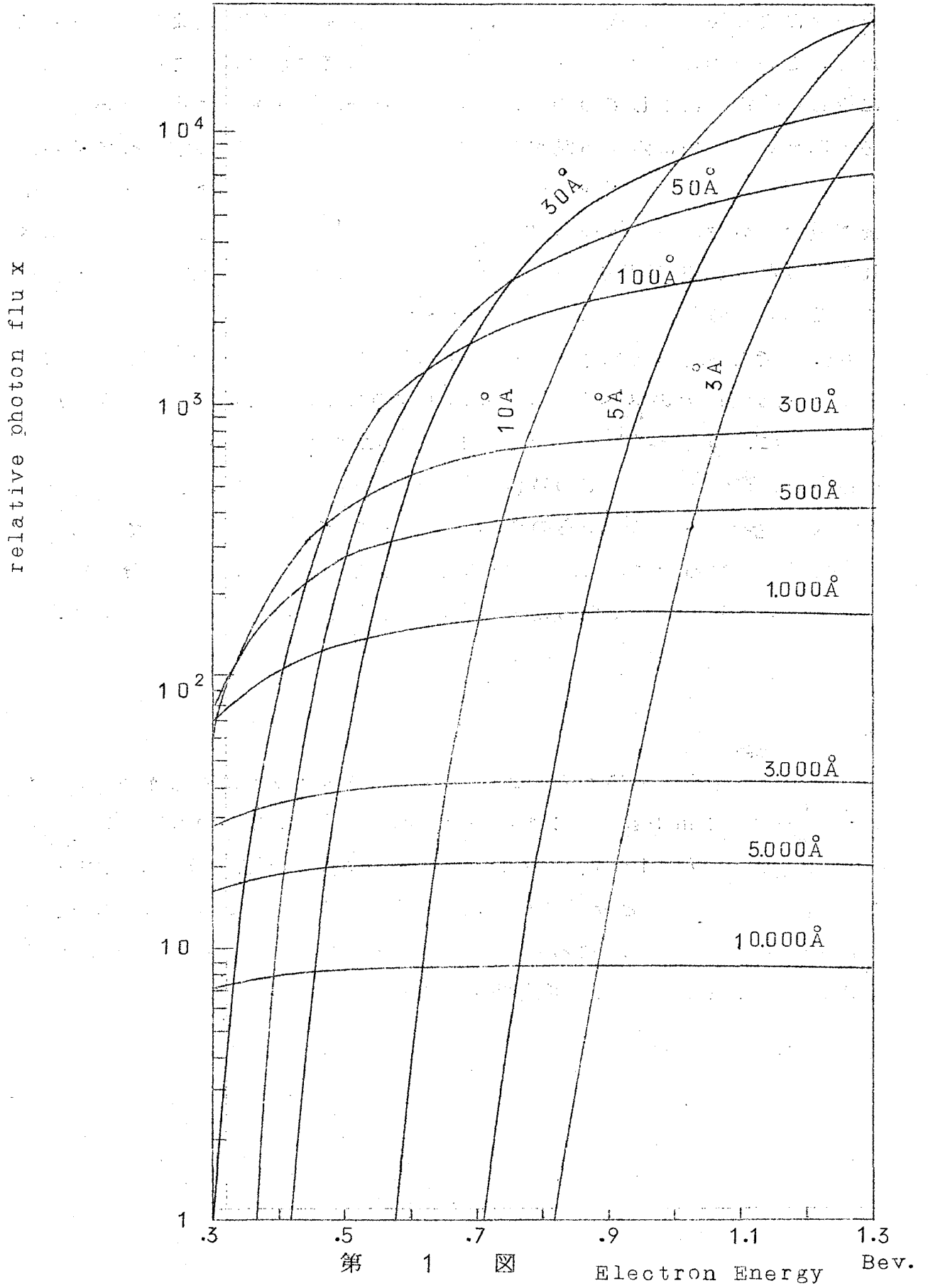
St. R で加速される電子の最高エネルギーは 350 MeV とする。これは 1 m section でのスペクトル分布が予定の数 10^4 Å にピークを持ち、このとき同時に、4 m section では数 10^4 Å に強度の大きいスペクトル分布が得られ、光源専用としての特色が発揮される。第 3 図は、この St. R の 1 m 及び 4 m section からの放射スペクトルの形を求めたものである。

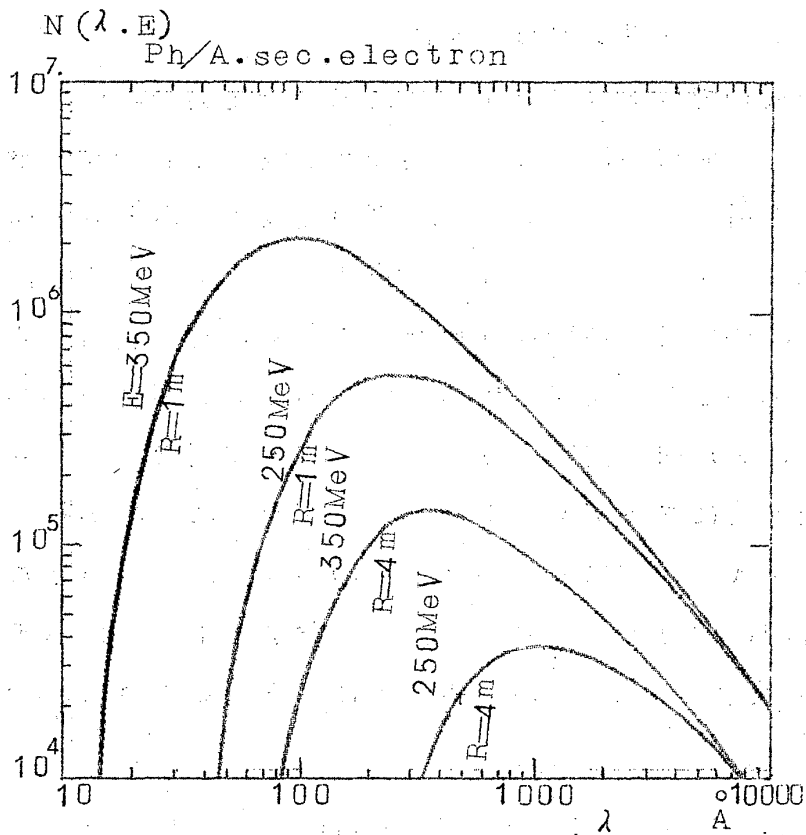
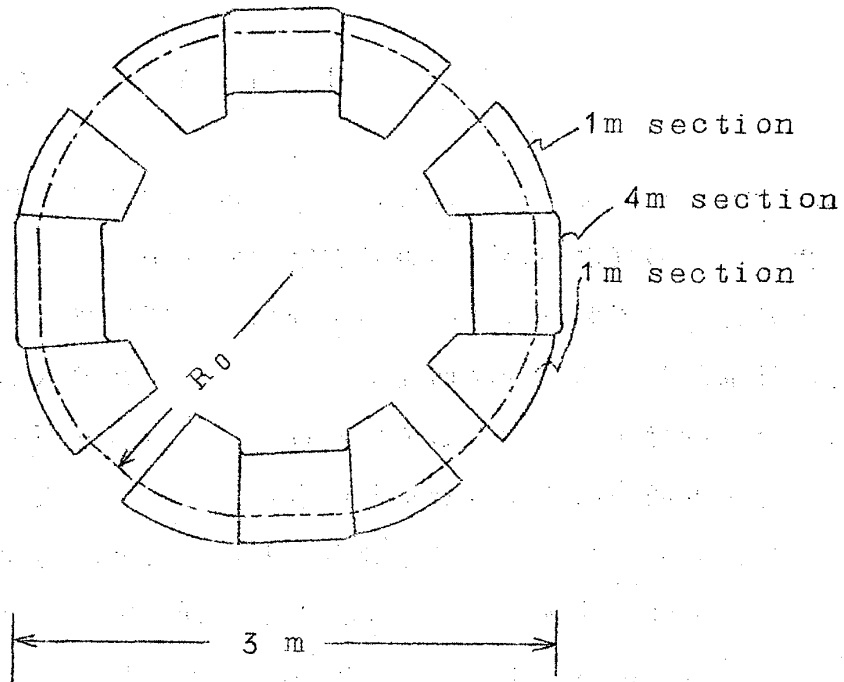
次に問題になるのは、Ring 内を流れる電流であるが、これは分光器のスリットへ必要光量が来ているための条件から決定する。Ring 電流 i は、

$$i = \frac{ec}{2\pi R_0} \cdot n \cdot N \cdot \frac{\delta}{2\pi D}$$

で求まる。

但し、光源から D m 離れた位置にある巾 δ のスリットに入る光量は、 $n \cdot N \cdot \frac{\delta}{2\pi D}$ (n : 電子数, N : 1 電子の放射する光量, $N \sim 10^4$ [ph/Å·sec electron]), $\delta = 15 \mu$, $D = 2$ m, R_0 : 平均の軌道半径) で、これを 10^{10} [ph/sec·Å] と要求すれば、 $n \approx 8.4 \times 10^{11}$ [electrons], 従って、 $i = 4.05$ [amp] となる。電磁石は 350 MeV, $R = 1$ m section で 12 Kgaup. で技術的にも可能な線である。





R=1m.St.R. Radiation Spectrum (4m)