

土木工學に於ける X 線の應用 (3)

鳥 田 八 郎

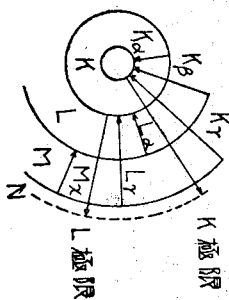
IV 章 X 線の特性

(1) 節 序 説 前章まで記述せし事柄により X 線は如何に發生せるものなるや又其の性質の極めて一端なれども工業用装置の概要と共に推測し得。實用上 X 線による試験結果を定量的に記述する場合主として寫真法又は電離法によつてゐる。従つて寫真乾版に對する作用、氣體電離作用を知る事を要す。又 X 線の吸收作用を一例にとり考ふるに鐵にても其の空隙等の缺陥の影響を度外視する場合軟鋼鑄鐵の X 線透過の差異は如何なる特性に原因するや、コンクリート、砂層等の内部の X 線検査の困難なる理由、材料の内部組織試験研究に示性 X 線を使用せんとする際に試料により適當な對陰極による示性 X 線を用ひねばならない理由等は少くとも X 線による試験結果を了解し又試験研究を行ふとす者的心得ねばならない重要な事柄である。最も簡單に白色 X 線を用ひ透過試験を行ふ際にも X 線の強さに對し正しき概念を持つ必要がある。本章は主として斯かる立場より重要な二、三の X 線の特性を記述す。元來 X 線の放射、吸收等は原子の化合状態に無關係にて原子其のものゝ種類に直接によるものである。従て原子構造に關係し概念的に X 線放射機

構を述べる。物質による X 線の吸収は其の逆作用を推測し難ひ得。

〔2〕節 X 線スペクトル輻射機構 (Kossel) と原子構造 X 線が物質中通過する時原子内の電子は種々な影響を及す、其の著しいものは X 線の散乱と吸収とである、其の内でも選擇吸収は重要な特長である。I 章に述べた如く陰極線が對陰極に衝突する時原子内の電子は選擇吸収に類似せる影響を受け特に定つた波長の示性 X 線を輻射する。従つて原子の電子の數並に其の排列位置が上記の諸性質に密接な關係を持つ事が分る。原子番號 (Z) は各原子の持つて居る電子數と略々等しいものである。Rutherford-Bohr の原子模型によれば原子番號 (Z) の原子の中心に $+Ze$ の正電氣の核があり其の周圍に諸種の條件により與へられる定つた軌道を電子が一定の運動量を有しつつ回轉してゐる、各原子に應じた數の電子は幾層かの殼 (Shell) に配置されてゐる、此等の殼及びそれに配置されてゐる電子群の分布は量子論的に定められる第 20 圖は核及び電子群の殼に對する關係を示すものである。核 (*) より順次 K, L, M, N, O, P 殼と名づける、各球殼に屬する電子の數は原子により異なるものにて電子群の分布は主量子數 (n) 方位量子數 (k_1) 内部量子數 (k_2) と稱へる三數 (n, k_1, k_2) により定る各球殼はエネルギー水準を示すもので第 2 表の様に排置されてゐる。 n, k_1, k_2 には、 n 正の整数 $n \geq k_1 \geq 0, k_1 - k_2 \leq 1$ の條件がある。

主量子數 (n) のみを考慮に入れて X 線發射の機構を考察す、中心核にある $+Ze$ は球殼上の電子に對し有効に $+(Z-s)e$ として作用し今考へつゝある系の全エネルギーは Bohr の理論で (4) 式で與へられる。



第 20 圖

第 2 表 原子電子群の各エネルギーレベルに関する配置と水平数

エネルギー水準 元素及び 原子番号	n K ₁ K ₂	K _n			L _n					M _n	N _n
		L _{n1}	L _{n2}	L _{n3}	M _{n1}	M _{n2}	M _{n3}	M _{n4}	M _{n5}		
1 H	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	
2 He	1	1	2	2	1	2	2	3	3	1	
3 Li	2	1	1	2	1	1	2	2	3	1	
11 Na	2	2	2	2	4	1					
19 K	2	2	2	2	2	2	4	4		1	
20 Ca	2	2	2	2	2	2	4	4		2	
.....	

$$W = - \frac{2\pi^2 m e^4 (Z-s)^2}{k^2} \cdot \frac{1}{n^2} = - \frac{(Z-s)e^2}{a} \dots \dots \dots (4)$$

$$a = n^2 \cdot \frac{h^2}{4\pi^2 m (Z-s)^2}$$

但し、h; プラランク定数、m、e: 電子の質量電荷にて第1章に示せしものと同じである。Z は原子番号、s は遮断数にて、a は電子軌道の確率半径にて第20圖の K、L、.....殻等の半径を示すものである。n は 1,2,3,.....の正整数のみをとる、(4)

式により $n=1$ の場合 W の値最も小にて K 球殻上の電子系に属し $n=2$, $n=3$ は L, M, N の球殻に對應す、第I章1表の示性 X 線の放射は 陰極線の衝突等により K 球殻の電子が原子の表面まで移動され其の結果不平衡状態になつた K 球殻を元の平衡に戻さんとする L, M 殻等よりの電子の移動による。一般的に考るにエネルギーレベルの高き殻 (W_n) より低き殻 W_m への移動に際し過剰のエネルギー ($W_n - W_m$) は振動 ν なる X 線として發射される、(4) 式より答

第 3 表 原子量、原子番號表

(同位元素の値は省略し、國際原子量を記入す、本表は 1935 年の國際委員會の發表によるものより數種ものを引用す)

原子番號 Z	元 素 名	國際原子量 W	8	酸	素 O	16.0000
1	水 H	1.0078	11	ナトリウム	Na	22.997
6	炭 素 C	12.00	12	マグネシウム	Mg	24.32
14	珪 素 Si	28.06	13	アルミニウム	Al	26.97
19	カリウム K	39.096	42	モリブデン	Mo	96.0
20	カルシウム Ca	40.08	47	銀	Ag	107.880
26	鐵 Fe	55.84	50	錫	Sn	118.70
28	ニッケル Ni	58.69	51	アンチモン	Sb	121.76
29	銅 Cu	63.57	74	ラウラン	W	184.0
30	亜鉛 Zn	65.38	79	金	Au	197.2
35	臭素 Br	79.916	82	鉛	Pb	207.22
			83	砒	Bi	209.00

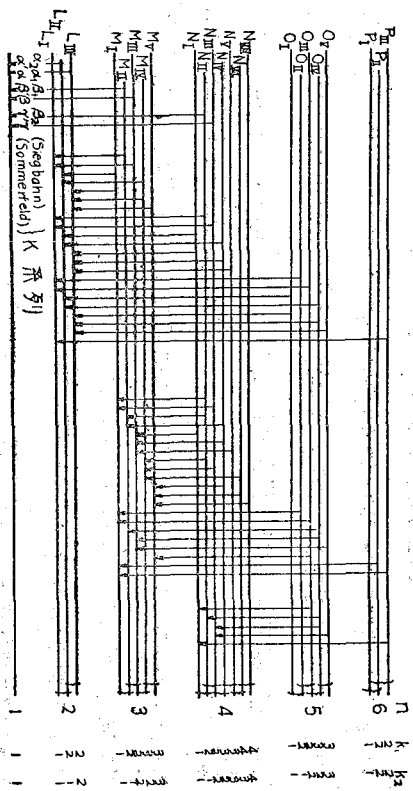
易に波数 (λ) は (5) 式の如く求め得、但し n' 軌道に對する遮断数 s' も s に等いと假定した。($s' = s = \bar{s}$)

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} R(Z - \bar{s})^2 \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad R = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \dots \dots \dots (5)$$

$n=2, n'=1; n=3, n'=1, \dots$ に應じ與へられる振動数 ν の X 線を K_α, K_β 線と稱ふ。 $n=3, n'=2$ の場合は L_α 線が輻射される。實際には n の値の外先に述べた k_1, k_2 も整数値の間に移轉するもので n_1, k_1, k_2 の値の變化に應じ各種の示性 X 線を發射す今其の變化を Δ を以て示せば此等は (6) の法則に従つてゐる。

$$\left. \begin{aligned} &\Delta^n \text{ 制限なし} \\ &\Delta k_1 = \pm 1, \Delta k_2 = \pm 1 \text{ 又は } 0 \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

以上の事柄により X 線發射の構造即ちエネルギーレベルと示性 X 線の波長の關係が分る。第 21 圖に示す如く、K 系列の X 線は L, M, N , 等のレベルから電子が K レベルに移轉する際發射するもので $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma, K_\delta, \dots$ の記號で表されてゐる記號は Sommerfeld, Siegbahn による二通りのものが行かれてゐる。(後に説明す) 物質による X 線の示性的吸收



第 21 圖 X 線のエネルギーレベル

には上記の逆機構を考ふ即ち先づ投入れた X 線のエネルギーが K 球殻の電子を原子外に分離せしめるものより大なら K 係系列を刺撃し斯かる場合示性的に吸収される第 20 圖によれば K 球殻より K 極限電位に至るエネルギー差によるもので K_{α}, K_{β} 等の示性 X 線より γ の大なる所に K 系に對應した吸収の急激に増大する所を生ず。之を K 吸収端といふ。全く同様の事が L 吸収にもあるが前者と異り其の境界線の跡が唯一でなく 3 つある、L 系に於ても第 20 圖では 1 つの球殻で示したが L_{1}, L_{2} に應じ第 21 圖に示す如く又は第 2 表 L_{1}, L_{2}, L_{3} の如く 3 つのエネルギーに分れてゐる。斯かる特性は後に寫真作用等を理解する上に必要である。

〔3〕節 X 線の特性及び構造 (2) 節により概略であるが示性 X 線に關し輻射機構を述べたが土木工學等に透過法を用ひる際は主として第 II 章に述べた連続 X 線が用ひられる事が多い、斯かる X 線の硬さを示す最短波長 λ_{min} 及び輻射最大エネルギーに對應する波長 λ_{max} を (3)' (3)" 式で與へた。一方透過法に於ては一定の時間 (t) 内に試料の上に投射される X 線の全體の強さを (J_0) 考慮に入れる必要がある。(7) 式は其の關係を示す。

$$J_0 = e V_m i t q \dots \dots \dots (7)$$

但し、V は管球電壓、i は管球電流 $t q$ は投射時間投射面積 o は常數、 $m > 1$ である。 $\frac{J_0}{i t} = j_0 = q (e V_m)$ は比出力とも稱すべきもので、或る範圍 (2 節に述べた吸収端を含まない時の如きもの) 内で常數である。 j_0 は X 線管、發生装置等により定る。元來對陰極より輻射する連續線の全體の量は (8) 式で與へられる。

$$J = A V^{\frac{2}{3}} I Z^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (8)$$

但し Z は對陰極物質の原子番號 A は常數である。其の他の記號は (7) 式の場合と同様である。以上の如く (3)'

(3)”, (7) (8) により連続 X 線使用の際管球電圧 V を増加する事の利點を知り得。j₀ の値は透過試験より測定し得るが省略す。連続 X 線を使用する時は概念的に (7) (8) 式で強さを示す。

次に示性 X 線に就き二、三重要な事柄を述べる、曩に示性 X 線の發生機構を述べ (5) 式を掲げしが其の特別の場合とし K 系 L 系に屬する X 線雜を示し得、K 系のもは勿論波長最も短く特に最強の K_α 線の波長 λ は略々 (9) 式で表はされ、Moseley 法則と稱らる。

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{r}{\rho} = \frac{3}{4} R \cdot (Z-1)^2, \quad R(Rydberg \text{ 常数}) = 1.09737 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}, \quad Z = \text{電子番號} \dots\dots\dots(9)$$

L₁M 系は K 系より波長著く大にて通常の工學的實驗には空氣にても吸收され、實驗結果には度外視し得るもので K 系にても α₁, α₂, β₁, β₂ 線は各々強さを著しく異にす、今二、三の元素に就き相對的強度値を表示す。(第 4 表) 既に述べし如く示性 X 線の表示記號 Siegbahn, Mosley-Sommerfeld のものは下記の如きものである。

Siegbahn : α₂ α₁ β₁ β₂ β₃ β₄ β₅ β₆ γ₁ γ₂ γ₃ γ₄ γ₅ l η
 Mosley-Sommerfeld : α' α β γ φ φ' ζ ν δ θ λ ψ κ ε η

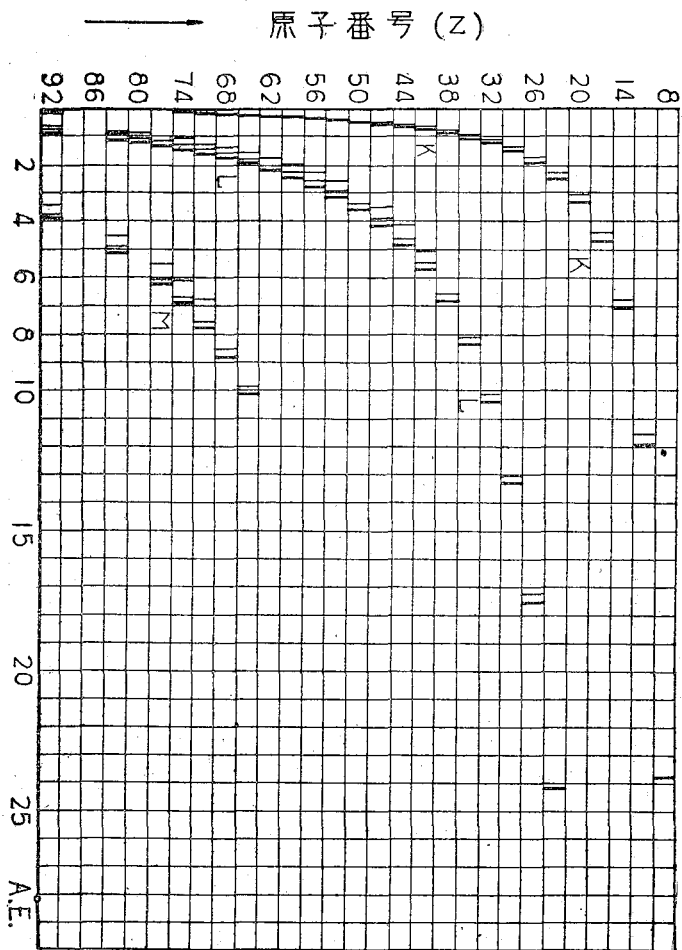
第 4 表 K 系各線の比較強度

元素	原子番號	α ₁	α ₂	β ₁	β ₂
Fe	26	100	49.1	18.2	0.26
Co	27	"	53.2	19.1	0.23
Ni	28	"	47.5	17.1	0.20

K_{β₂} は強度可成り小である。K 系系列線の波長と K 系吸収端の波長の値は常に使用されるれば、今土木材料の試験上主要な元素に就き各値を第 5 表に示す。

第 5 表 K 系系列線の吸収端の波長 (單位 0.001 Å)

元 素	電子番號	α_1	α_2	β_1	吸 收 端
Na	11	11885		11594	
Mg	12	9869		9539	9496.2
Al	13	8320		7965	7935.6
Si	14	7111.06		6754.5	6731.0
Cl	17	4721.2	4718.2	4394.2	4383.8
Ca	20	3354.95	3351.69	3083.4	3064.3
Fe	26	1936.012	1932.076	1753.013	1739.4
Co	27	1789.19	1785.29	1617.44	1604.0
Ni	28	1658.35	1654.50	1497.05	1483.9
Cu	29	1541.232	1537.395	1389.35	1377.4
Zn	30	1436.03	1432.17	1292.55	1280.5
Br	35	1041.66	1037.57	930.87	918.09
Mo	42	712.805	707.831	630.978	618.48
Ag	47	562.67	558.28	496.01	484.48



第 22 圖 (各元素の輻射 X 線)

Sb	51	473.87	469.31	416.23	406.09
W	74	213.45	208.62	184.22	178.22
Au	79	184.83	179.96	159.02	153.20
Pb	82	170.04	165.16	146.06	140.49
Bi	83	155.25	160.41	142.05	136.78

K_{β_2}, K_{β_3} に對するものは記入せず省略した。輕元素に對するものは實驗も困難で酸素 $Z=8$ 、炭素 $Z=6$ 、水素 $Z=1$ 、に對するものも實用上度外視するも差支へない、唯だ實測値を外挿すれば水素 (H) の場合 H のライマン系の第1線 $\lambda=1215.7\text{\AA}$ に近く、第22圖は $O(8)$ より $U(92)$ に至る各元素より發射する K 系列、L 系列、M 系列、N 系列の示性 X 線の線群を示すもので横軸に波長 (\AA) 縦軸に各元素に對應する原子番號數 (Z) を示す。第5表は第22圖 K 系列の細密構造の數値である。斯かる示性 X 線發生に要する管球電壓は所謂勵發電壓にて I 章 (3) 式で求め得。第1表に其の二、三の元素の値を示した。

〔4〕節 物質による X 線の減衰率に関する性質 (i) X 線が物質内を通過する時丁度光線が其の強さを減衰する様に X 線の強さが減少する。即ちエネルギーの減少を來すもので其の最も簡單な場合は強さ J_0 の X 線が厚さ x の物質に垂直な光束とし上面に投射され其の下面より J の強さとし通過する時であつる、此の時 J, J_0 の關係は (10) 式で表はされる。(第23圖)

$$dJ = -\mu dx \quad J = J_0 e^{-\mu x} \dots \dots \dots (10)$$

斯かるエネルギーの消耗は二次特性線の誘發並びに物質中の熱となる事により生ず。又は電子輻射のエネルギー並びに

原子内の電子が X 線の通過方向と直角に共振する事による X 線の散乱より生ず、従つて (10) 式を (11) 式の如く書き換へ μ 係数をも τ σ 係数より成るものとする。

$$J = \int_0^x e^{-\tau x} \cdot e^{-\sigma x} \quad \mu = \tau + \sigma \dots \dots \dots (11)$$

但し μ は (空) 吸収係数、 τ で質量吸収係数、 σ は散乱係数 (Scattering Coeffit) を示す、今物質の密度を ρ とすれば原子番號 $Z = 20$ 以

上の物質では

$$\frac{\tau}{\rho} \gg \frac{\sigma}{\rho} \dots \dots \dots (12)$$

である。物質が固體液體氣體の状態をとるも $\frac{\mu}{\rho}$ は X 線の硬さ一定

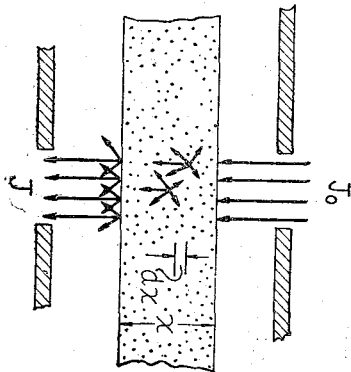
第 23 圖

なれば一定にて之を質量吸収係数 (Mass absorption Coeffit) と云ふ。 $\frac{\sigma}{\rho}$ は質量散乱係数にて投入 X 線と同じ振動数を有するも偏光因子 $(1 + \cos^2 \theta)$ 、(一次 X 線と θ なる角をなす方向への散乱される X 線の強さの比例數) により強さの分布せるもので餘り硬過ぎない X 線に對しては原子量 30 以下の元素に對し略々 $\frac{\sigma}{\rho} \doteq 0.20 \sim 0.17$ (H のみ $\doteq 0.40$) である。

J. J. Thomson によるに略々質量散乱係數は (13) 式で表はされる、但し w は原子量 z は 1 個の原子に屬する電子の數である。

$$\frac{\sigma}{\rho} \doteq 0.402 \left(\frac{z}{w} \right) \dots \dots \dots (13)$$

τ/ρ は近似的に (14) 式にて示し得。



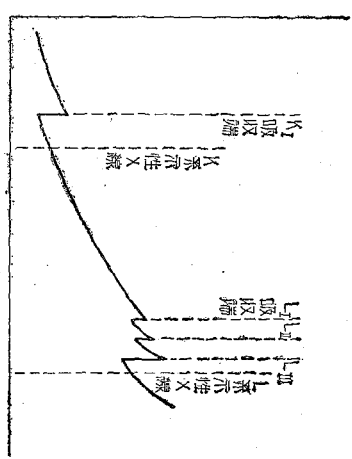
但し λ_1, λ_2 は波長、原子番號 O は常數なれども特性 X 線の發射點附近で急激に變ず、第 24 圖は一般に元素の $\frac{M}{\rho}$ と波長の關係を示すもので示性 X 線より少し波長の短い所に於て吸收が急激に増加してゐる。即ち (14) 式の O が増加す。(略) $\frac{I}{\rho}$ と考ふべし)

$$\frac{I}{\rho} = O\lambda^3 Z^3 \dots \dots \dots (14)$$

K 吸收端は單に 1 個であるが L 吸收端では 3 個の不連続な $\frac{M}{\rho}$ の變化がある。O の値は λ (cm) 單位とすれば K 吸收端より短き波長に對し 2.24×10^{-2} ; K 及び L 吸收端間の λ に對し 0.33×10^{-2} である。

斯かる $\frac{M}{\rho} \sim \lambda$ 關係よりして各元素は自己の示性 X 線に對しては吸收の極めて少い事が分る。第 6 表に各元素の示性 X 線に對する質量吸收係數を示す、實驗に際し如何なる對照極による X 線を使用すべきやを判斷するに役立つ。第 7 表は數個の元素の質量吸收係數 $\left(\frac{M}{\rho}\right)$ と X 線波長 λ との關係を示すものである (14) 式にて其の傾向を知り得るも數値を知る上に便である。又吸收物質が化合物或は混合物の場合、各々の重量比を P_1, P_2 とし各元素の質量吸收係數を夫々 $\frac{M_1}{\rho_1}, \frac{M_2}{\rho_2}, \dots$ とすれば化合物或は混合物の吸收係數は (15) 式によつて與へられる。

$$\frac{M}{\rho} = P_1 \frac{M_1}{\rho_1} + P_2 \frac{M_2}{\rho_2} + \dots \dots \dots (15)$$



第 24 圖 吸收係數と X 線波長との關係

X 線波長 (λ)

第 6 表 $\mu/\rho \sim$ 示性 X 線關係

元 素	示性 X 線		$\text{Mo, K}\alpha$	$\text{Cu, K}\alpha$	$\text{Fe, K}\alpha$
	原子番號				
C	6		0.70	5.50	10.73
O	8		1.50	12.7	25.2
Na	11		3.36	30.9	56.9
Mg	12		4.38	40.6	75.7
Al	13		5.30	48.7	92.8
Si	14		6.70	60.3	116.3
Cl	17		11.62	103.4	199
K	19		16.7	143	269
Ca	20		19.8	172	317
Fe	26		38.3	324	72.8
Co	27		41.6	354	80.6
Ni	28		47.4	49.2	93.1
Cu	29		49.7	52.7	98.8
Zn	30		54.8	59.0	109.4
Br	35		82.2	92.6	169
Mo	42		20.2	164	299
Ag	47		28.6	223	402

Pb	82	141	241	429
Bi	83	145	253	448

第 7 表 $\mu/\rho \sim \lambda$ の 關 係

元 素	H	O	Al	Fe	Cu	Ag	Pb	
波長 λ	(1)	(6)	(8)	(13)	(26)	(29)	(47)	(82)
0.09	—	0.148	—	—	0.25	0.30	1.12	3.00
0.10	0.300	0.150	0.150	0.167	—	0.335	—	3.77
0.20	0.316	0.164	0.180	0.267	—	1.51	5.47	4.62
0.22	—	—	—	—	1.40	—	—	—
0.30	0.333	0.195	0.24	0.537	3.30	4.38	17.2	7.35
0.40	—	0.245	0.34	1.11	7.25	—	—	—
0.50	0.366	0.325	0.550	1.95	—	18.4	9.55	58.
1.00	0.450	1.20	2.95	14.2	91	133	73	77

散亂影響を度外視し得る如き場合は (15) 式により材料の含分状態、空隙率等重要な特性を判断し得。

X 線による透過法は以上述べた特性を用ひ材料内部に於ける異常性を測定するもので原理は簡明なれども實際には種々特別の技術と工夫によらざれば目的を達する事は頗る困難である、其の二三の例は後に述べる。

本節の終に際し X 線の散亂に關し一言述べてをく、(13) 式等に表される散亂 $\left(\frac{\sigma}{\rho}\right)$ は散亂 X 線の波長が入射 X 線のものと同一のものにて不変調 X 線 (Unmodified X-rays) と稱ふ、之の外に變調 X 線 (Modified X-ray) と稱へ入射

X 線と波長異り長波長の方に移動せる散亂 X 線がある。斯かる散亂に關する事柄は一切省略す。その他 X 線の投射により二次陰極線 (Secondary cathode rays) として高速度の光電子をも放出す之は X 線の氣體電離作用の主因を爲すものである。

〔5〕節 X 線の寫眞作用並に寫眞による X 線強度の測定法 X 線による實驗を利用するには連續 X 線示性 X 線に兩者に於て常に X 線の強度測定が必要である。其の原理は第4節に記述せし特性によるも實用上氣體 SO_2 , OS_2 , O_2H_2 , Br, OH_2 の電離作用によるイオン電流の測定、寫眞乾板に對する感度、特種電池の X 線投射による内部抵抗又は起電壓の變化等の測定により行れてゐる。其最も簡單なものは寫眞作用によるものである。本節は簡單に寫眞作用に關し記述す。此の方面の研究に關し Glocker 一派の研究結果は重要なものである、乾板への感じ即ち黒さの法則は光學的の場合より簡明である、X 線に對する乾板の感する作用例へば感光物質の主成分である Br_2Ag が〔4〕節の如く吸收作用を呈し光化學作用を蒙り分解し現象定着にて Ag の膜を形成するものである。通常寫眞の黒さは (S) にて示され所定の處方に従ひ現象定着せる乾板に I_0 の強さの光を入射し I の強さの光が透過するとき兩者の比の通常對數を以て S を定義す。

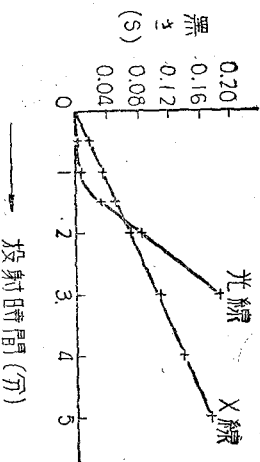
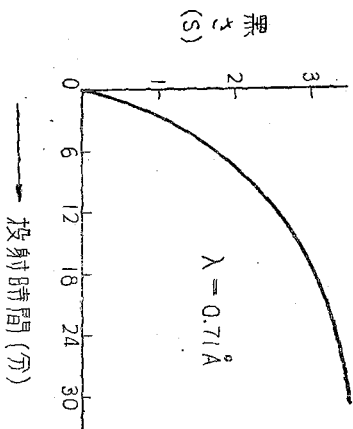
$$\text{即ち} \quad S = \log_{10} \frac{I_0}{I} \dots\dots\dots (16)$$

にて $S=2$ とは透過光が入射光の $\frac{1}{100}$ となる黒さなる事を意味す。對數で表示する事は Fechner の法則によるものである。X 線による寫眞は生理透過寫眞では胸部で $S=1$ 、骨影部は 0.5 位である。通常 $S=0.7$ 以下がよい。 $S=2$ 以上のものは可成り強度の判別が困難である。一般に X 線の寫眞作用は X 線の強さ (J) と投射時間 (t) の乗積によるもので (17) 式で表はされる。

$$E = J \cdot t \dots \dots \dots (17)$$

E と S は密接な關係を有するもので (18) で表はされる、この式が簡單である程多くの試験研究に便である。第 25 圖 $S = S(E)$ (18)

は一定強度の J の X 線又は光を投射せる場合の S~t (時間) 關係で (a) はエネルギー大なる場合に於て時間増加と共に S は一定値に近く、(b) はエネルギー小なる範圍にて時間 (t) と共に X 線では S=0.7 以下にて S が全く正比例して増加す。光の場合は最初 S は左程増加しない、之は通常 Schwarzschild 法則と稱へられてゐるものである。X 線の寫眞



第 25 圖 X 線による乾板黒さと投射時間の關係 $S = S(E)$

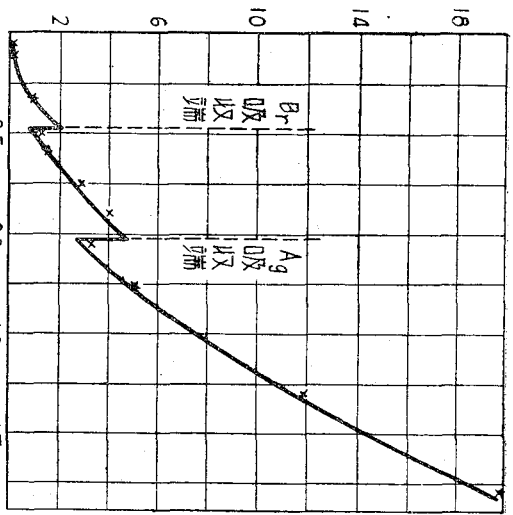
(a) エネルギー總量大なる場合

(b) エネルギー總量小なる場合

作用は全く第4節に述べし吸収作用によるものなれば投射エネルギー(E)と乾板黒さ(S)の関係は全くX線の波長により著しく異なるものでBrの吸収端(0.918Å)とAgの吸収端(0.485Å)に相当する波長に於てS/Eの比は急激不連続的に變化すべきである。第26圖はS/E~λ(X線波長)の關係を示すもので其の關係を明かに示してゐる。

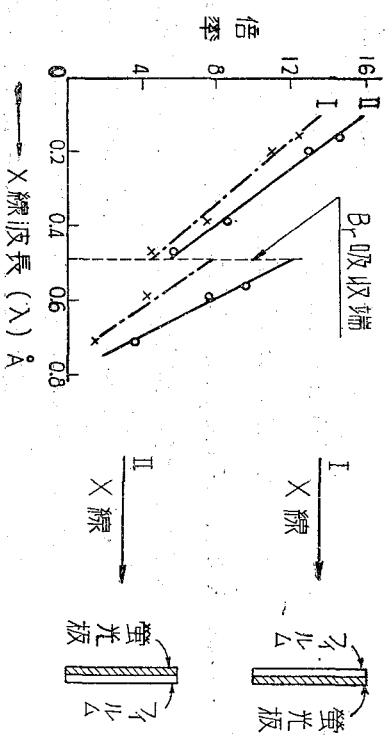
X線用感光膜は透過性大の爲め一般に厚く、特に精密を要しない時は乾板フィルムとし両面に感光膜のあるものを使用す。又撮影時間を短縮する爲めX線に刺撃され螢光を發する螢光板を寫真感光膜と密着させX線を投射す。X線波長により程度異なるも感度を非常に増大す。第27圖はSoltaierによりS=0.4の時の倍率(螢光板を使用するとき及び使用せざる時の露出時間 t_m 、 t_0 の比、 (t_0/t_m))と波長λの關係でλの小なる程影響が著しい。但しBrの吸収端附近に不連続的變化がある。

S/E



第 26 圖 乾板黒さ(S) と X線波長(λ)との關係
 投射エネルギー(E)

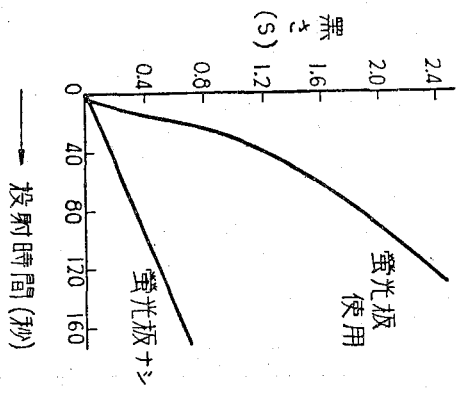
螢光板を使用する時は必要な露出時間は減少するも像の輪郭が不明瞭となり、又黒さ(S)投射エネルギーの關係が不



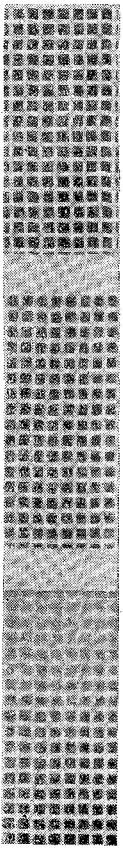
第 27 圖 寫真感度増大率と波長の關係

し得るも光度計により量的に測定す、特に多くのスペクトル線の強さの測定には自記微細光度計 (Recording Microphotometer) を使用する。其旨は狭き光束を乾板、フィルムに投射し透過光量を光電管又は熱電堆にて受け電流計の振れより寫真乾板の黒さを測定す。第 30 圖は測定装置の原理を示すものである。第 31 圖は實測結果にて上部は厚さ 15mm のアルミニウム板に 1~10mm 直径の穴を穿てるもの、X線透過寫真にて白き所は肉厚き部分である、下部の上下

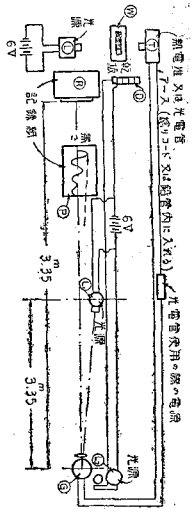
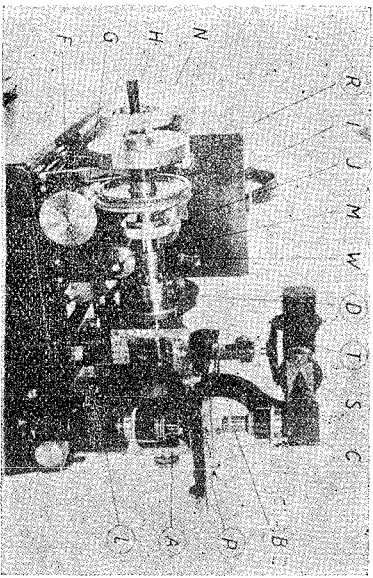
規則となる。第 28 圖、29 圖に其の一例を擧ぐ、特に説明を略するも、其の傾向は推測し得らる。乾板上の黒さは肉眼によるも略々比較



第 28 圖 黒さ (S) と X線照射時間の關係 (Schlether, $\lambda=0.565\text{Å}$)

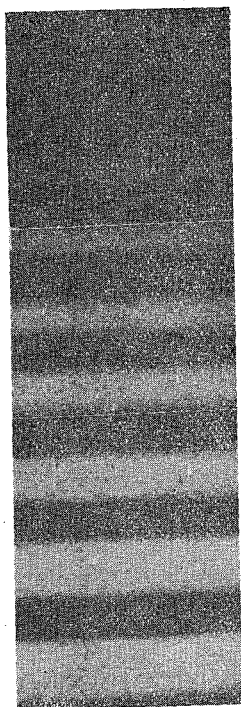


第 29 圖 螢光板使用による像の鮮明度
 I 使用せず II 適當なる使用による III 不適當なる使用による

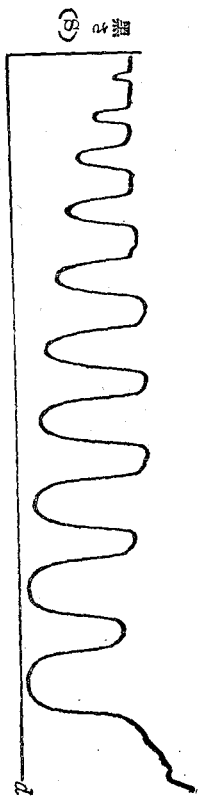


第 30 圖 寫眞乾板黒さ測定原理説明圖

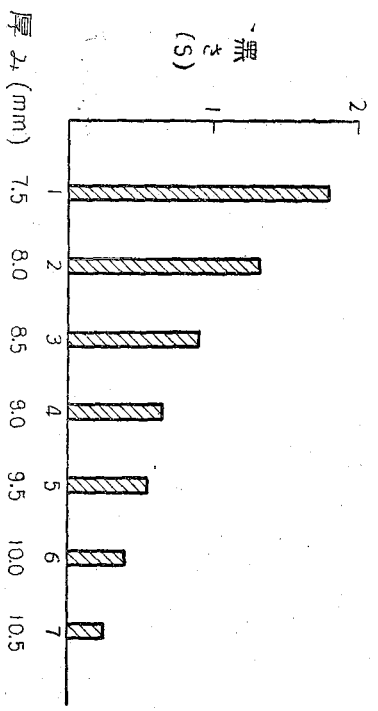
光源①より光束が②蓋上の乾板③を通過し④の光電管又は熱電堆に至る。
 ガルバノメーター⑤の振れを⑥内の記録紙上にの如く記録す。



×線にする寫眞乾板



第 31 圖 ×線寫眞と自記せる黒さの關係



第 32 圖 段階き鋼板の X 線管厚とフィルム黒さとの關係

移動せる波形曲線は黒さ (S) に相對するものである。第 32 圖は鋼板に 0.5mm の差を有し 1m の幅の段階を作り最小厚み 7.5mm なる場合の X 線透過寫真である。管球電壓 80K.V 露出 10 分現像 5 分とす。同圖下圖は乾板黒さと厚みの關係を示す。以上は物質による X 線の吸収及び強度測定法としての寫真作用の骨子を簡單に記述した、不明の點は更に實驗實例の説明の際に補足する考へである。