

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. -6

[技術情報室]

新型転換炉「ふげん」用燃料下部端栓溶接部 X線透過検査基礎実験報告

1977年6月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

1977年6月17日

新型転換炉「ふげん」用燃料下部端栓
溶接部 X線透過検査基礎実験報告



実施責任者 三 浦 信 (技術部検査業務課)

報 告 者 円 道 正 三 (技術部検査業務課)

吉 川 勝 則 (")

石 橋 藤 雄 (")

本 橋 幸 一 *

坂 田 弘 美 **

大 森 拓 郎 (技術部検査開発課)

蔵 光 泰 ***

期 間 50年1月 ~ 51年5月

目 的 新型転換炉「ふげん」プルトニウム燃料用下部端栓溶接部の X線透過検査の撮影条件およびフィルム現像条件設定にともなり実験を行ない、最良条件の設定を行なう。

要 旨 「ふげん」プルトニウム燃料用下部端栓溶接部の X線透過検査は微小欠陥を検出し、判定するため、特に撮影条件およびフィルムの処理条件など適正に設定、管理しなければならない。これらの諸条件を満たす良質なフィルム像質を得るため X線透過検査を撮影系、現像系、観察系に分類して、各々分野毎にその要因を追求し、一応の成果が得られたので、その結果をまとめ報告する。

* 現科学技術庁原子力局技術振興課出向

** 現技術部廃棄物処理開発室

*** 現技 術 部 開 発 研 究 室

目 次

1. まえがき	1
2. 実験の概要	2
2-1 仕様規格	2
2-2 X線透過装置および現像装置	2
2-3 実験概要	3
3. 実験と実験結果	4
3-1 撮影系	4
3-1-1 電源電圧の変動	4
3-1-2 管電流の変動	6
3-2 撮影条件と感光材料の選択	9
3-2-1 フィルムおよび増感紙	9
3-2-2 カセット	13
3-2-3 フィルム濃度と撮影配置	13
3-2-4 露出時間と管電圧	14
3-3 現像系	18
3-4 観察系による要因	19
4. 考 察	20
4-1 撮影系による要因	20
4-1-1 管電圧の変化	20
4-1-2 管電流の変化	21
4-2 撮影条件と感光材料	22
4-2-1 フィルムおよび増感紙	22
4-2-2 カセット	22
4-2-3 フィルム濃度と撮影配置	22
4-2-4 露出時間と管電圧	24
4-3 現像系による要因	28
4-4 観察系による要因	28

1. ま え が き

新型転換炉「ふげん」プルトニウム燃料用下部端栓溶接部の欠陥検査は目視による外観検査とX線透過法による内部欠陥検査が行なわれた。これらプルトニウム燃料製造にともなり下部端栓付被覆管は約3,000本について検査し、燃料集合体100体が製造される。

X線透過検査は直角2方向について全数検査が行なわれたが、検査に先立ち撮影条件など、実機燃料と同一サンプルによる先行試験を行ない、検査条件の設定をした。

撮影条件およびフィルム現像条件の主眼とするところは、

- (1) フィルム上の欠陥大きさ $\phi 0.35\text{ mm}$ (規格値 $\phi 0.4\text{ mm}$)が明確に判明できること。
- (2) 透過度計が鮮明で識別度が明瞭であること。
- (3) 白、黒点や線などの疑似欠陥の除去。

であった。

「ふげん」用燃料要素端栓溶接部のX線透過検査は以上の厳しい条件を満すことによつて、判定が可能となるため、撮影条件、フィルム現像、撮影機器およびフィルム現像器具など、初歩的な条件から実験を行ない、最終撮影条件およびフィルム現像条件を設定した。

これら条件設定にともなり諸問題について、実験などを行なった結果をまとめて報告を行なうものである。

2. 実験の概要

2-1 仕様規格

燃料要素部材および溶接部の仕様規格は次の通りである。

(1) 被覆管

材 質：ジルカロイ-2

寸 法： $\phi 16.46^{+0.00}_{-0.08}$ $\times \phi 14.70 \pm 0.05$ $\times \geq 0.80$ $\times 4,023.0^{+1.0}_{-3.0}$

(2) 端 栓

材 質：ジルカロイ-2

(3) 溶接部

溶接法：TIG溶接

真空 ($O_2 = 20$ ppm 以下)引き後、高純度ヘリウムガスで置換し、定電力方式の直流TIG溶接機による溶接。

溶接部欠陥：1) 溶接部の白点黒点は $\phi 0.4$ mm 以下とする。

社内規格： $\phi 0.25$ mm 以上 $\phi 0.35$ mm 以下のものが2個以下とする。

2) 溶け込み不足のないこと。

社内規格：溶け込みが肉厚の90%以上であること。

3) ペネラメータ：ASTM NO 12

2-2 X線透過装置および現像装置

(1) X線透過装置

東芝製工業用X線透過装置

管電圧：300 KVP

管電流：10 mA

X線管：二重焦点管

焦点 1.5×1.5 mm および 4.0×4.0 mm

(2) 現像装置

- コダック製自動現像装置
- 精光社製X線フィルムタンク恒温現像装置

2-3 実験概要

燃料要素溶接部の X線透過検査において求められている厳しい規格を十分に判定しうるためには、いかに良質の X線フィルムを用いて判定するか、即ちそれは最良の条件で撮影され現像されたフィルムを得ることにかかる問題である。

今回の条件設定のための実験は従来より行なわれて来た撮影条件などの条件設定試験に固執することなく、フィルム像質に影響すると考えられる因子は全て考慮して実験を進めた。実験は図 1 に示す様に撮影系、現像系および観察系の三系統から、フィルム像質に悪影響を与えると考えられるものは全て除去するという方法をとった。

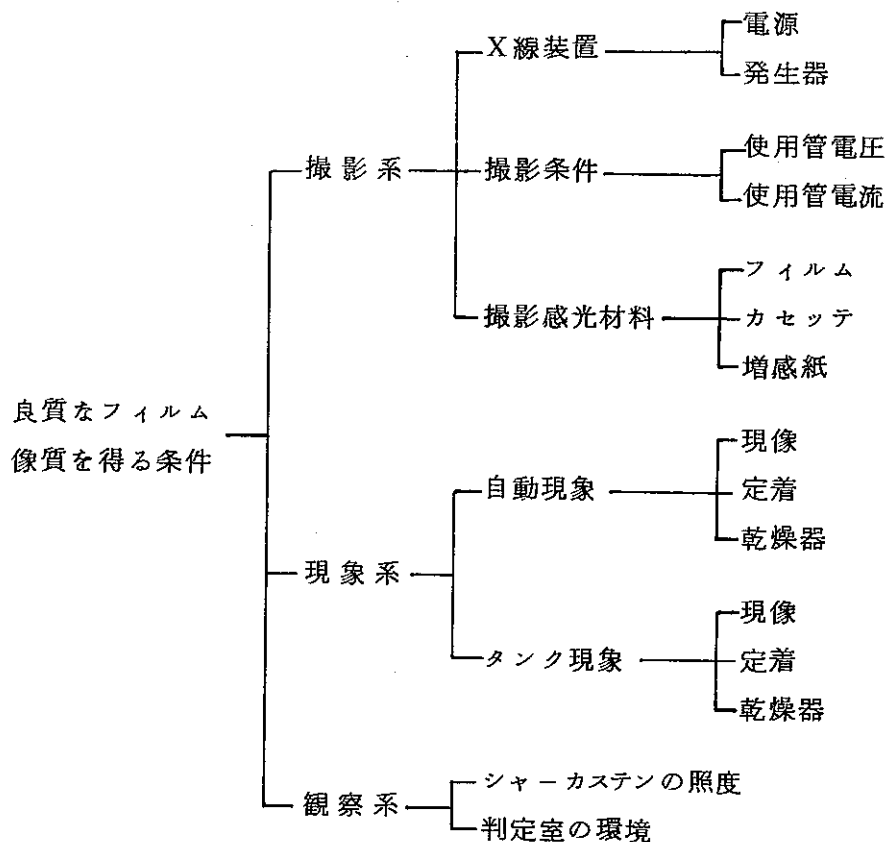


図 1 実験の系統図

3. 実験と実験結果

3-1 撮影系

撮影系について、X線発生装置関係、撮影条件、撮影感光材の各系列毎に、それぞれ実験を行なった。

3-1-1 電源電圧の変動

電源電圧の変動が、管電圧にどの程度影響を与えるか、入出力電圧を測定した。その結果、写真1および図2からも知られる様に入力電圧が管電圧に影響を及ぼすことは認められなかった。これはX線装置の電源電圧自動追従機構により設定した管電圧にコントロールされていたためと、管電圧の脈動率が300 KVP, 10 mAで1.4%以下と小さいので、管電圧の変動によるX線線量の変化がフィルムのコントラストに影響を及ぼすことがほとんどないと考えられる。

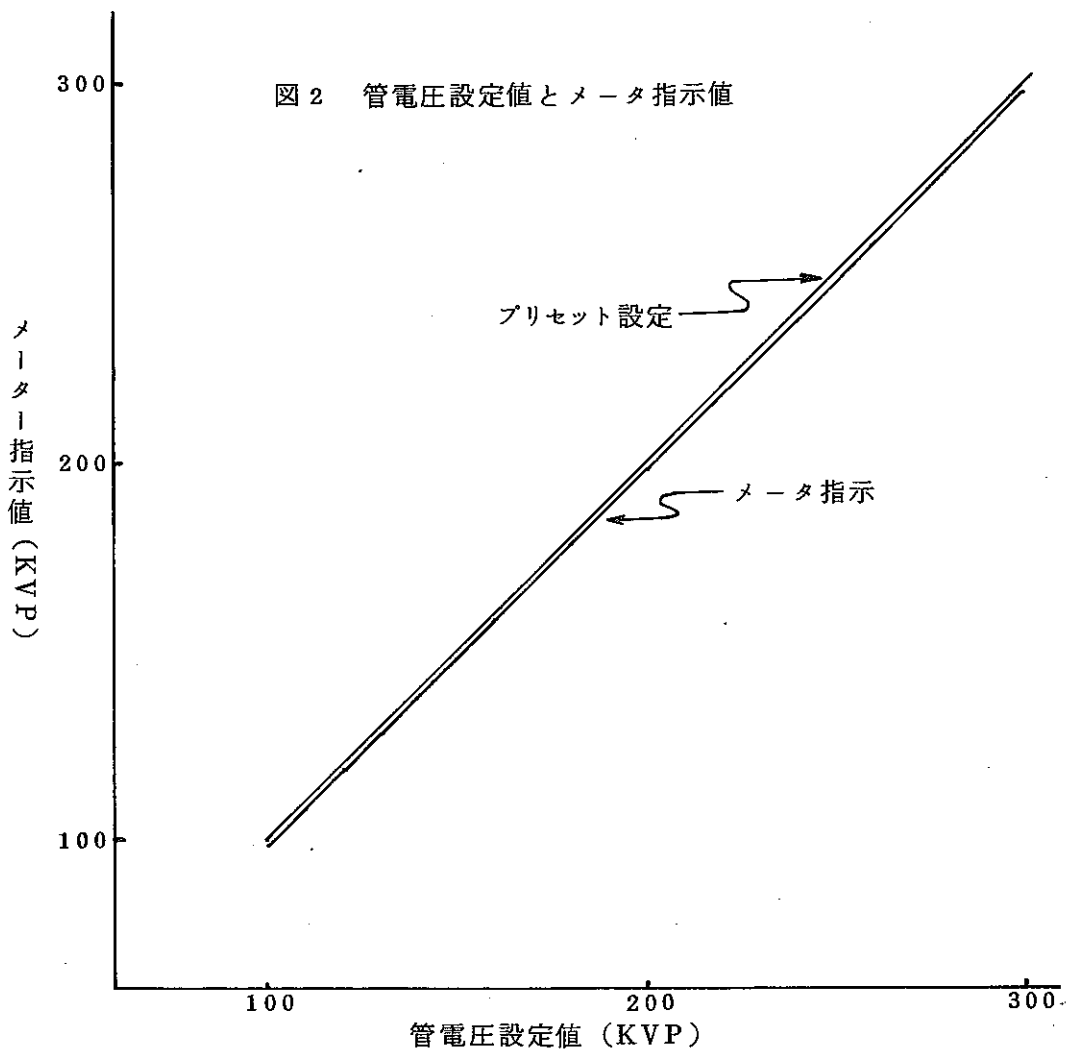
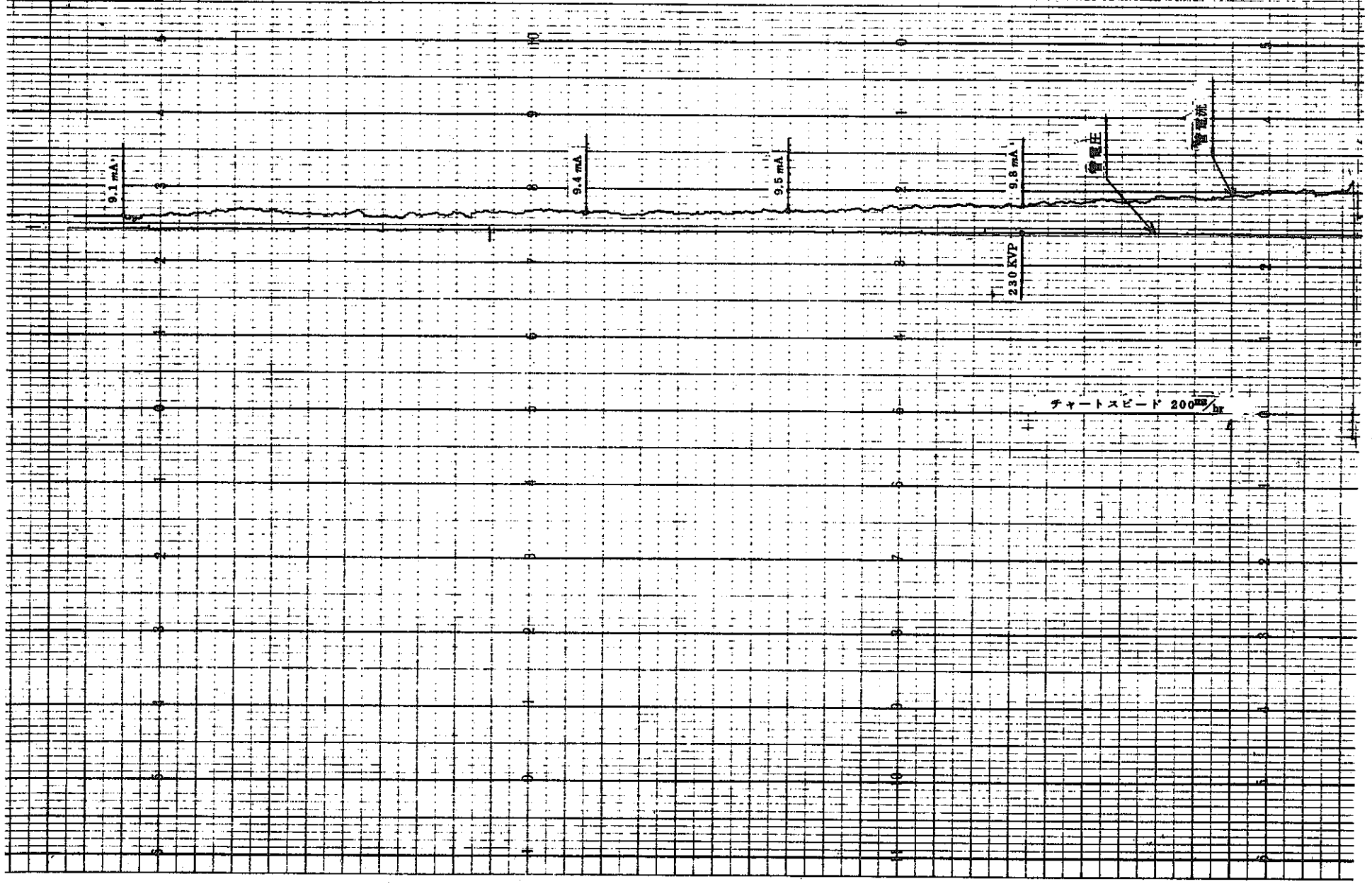


写真1 管電流と管電圧チャート



3-1-2 管電流の変動

X線管球におけるX線の発生は陰極フィラメントに電流を通じ白熱状態にすると、熱電子が放出され、管電圧を与えると、熱電子は陰極から陽極に向かって加速され陽極ターゲットに衝突し、ここからX線が発生する。

したがって多量の管電流が流れると、これに比例してX線線量率が大きくなり同時に陽極での発熱も大きくなる。そこでフィラメントの連続加熱を行なって、管電流の変化を連続的に記録して、電流の変化を調べた。その結果を写真1および図3に示す。

この測定結果から、管電流の時間の経過にともなう変化は最大で16%程度あることが明らかになった。またX線制御装置の管電流設定値に対し、8%強の電流が多く流れていることが確認された。これは図4に示す様に、フィラメントの加熱により電気抵抗が変化することによるものである。

したがって微小欠陥の検出のため使用される低管電圧領域で長時間照射される撮影では、管電流の増減による線量の変化が、フィルムの濃度とコントラストに大きく影響することが、図5からも明らかである。

この管電流の変化によるフィルム濃度管理は照射中の管電流を連続的にペン・レコーダーで記録し、その管電流の平均値を求めて、照射時間で補正し、一定の線量とする方法をとった。

図3 照射時間中における管電流の変化

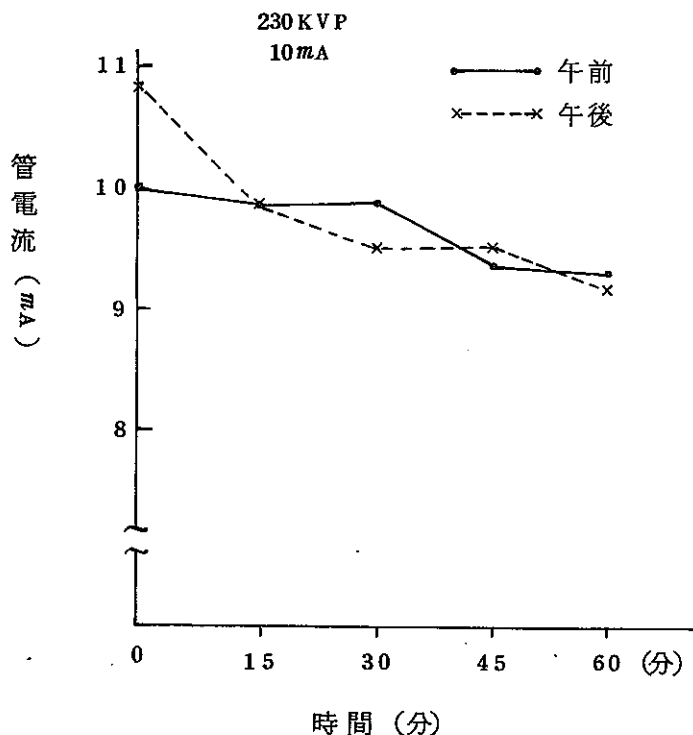


図4 タングステン・フィラメントの電気抵抗率曲線

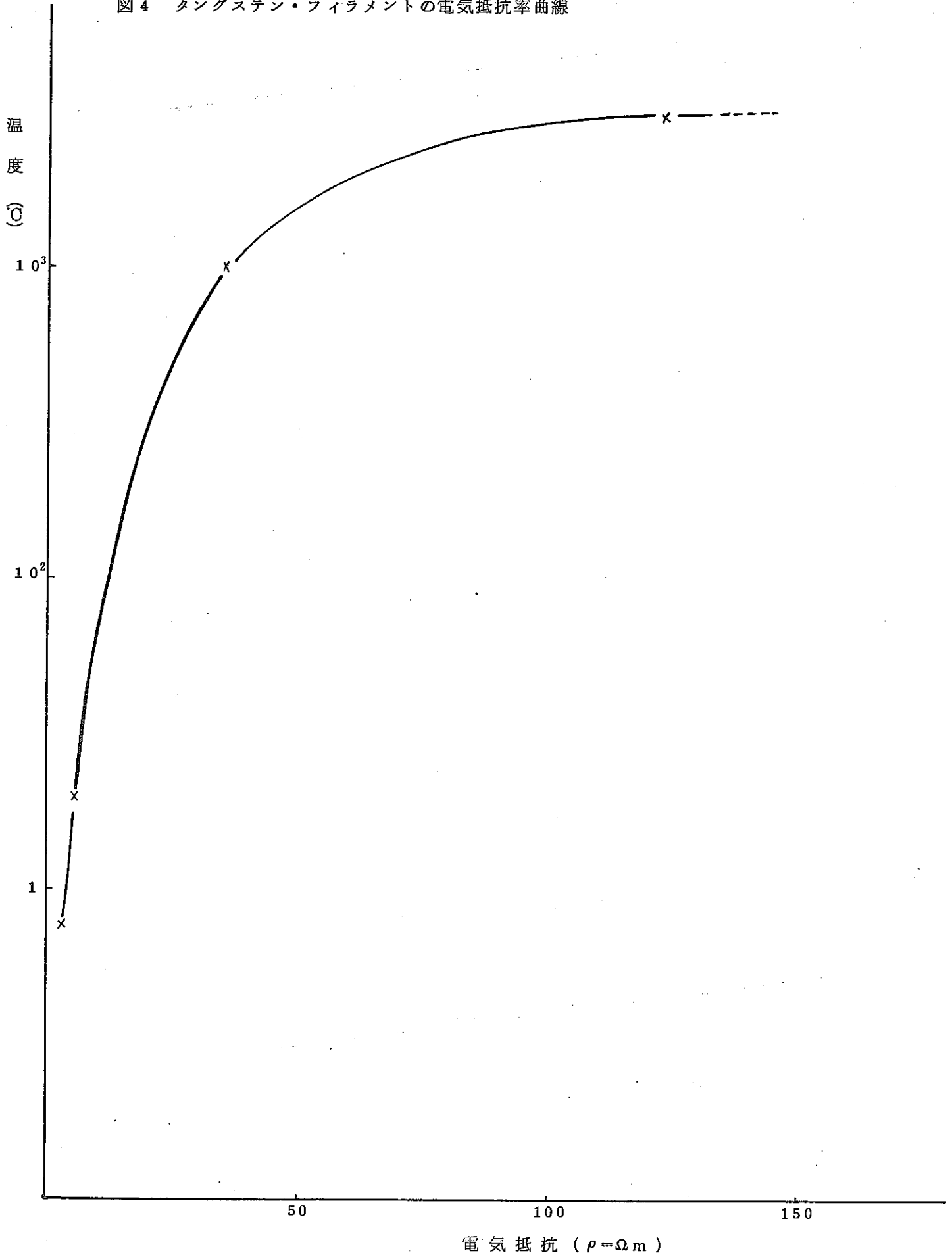


図5 濃度変化による検出感度

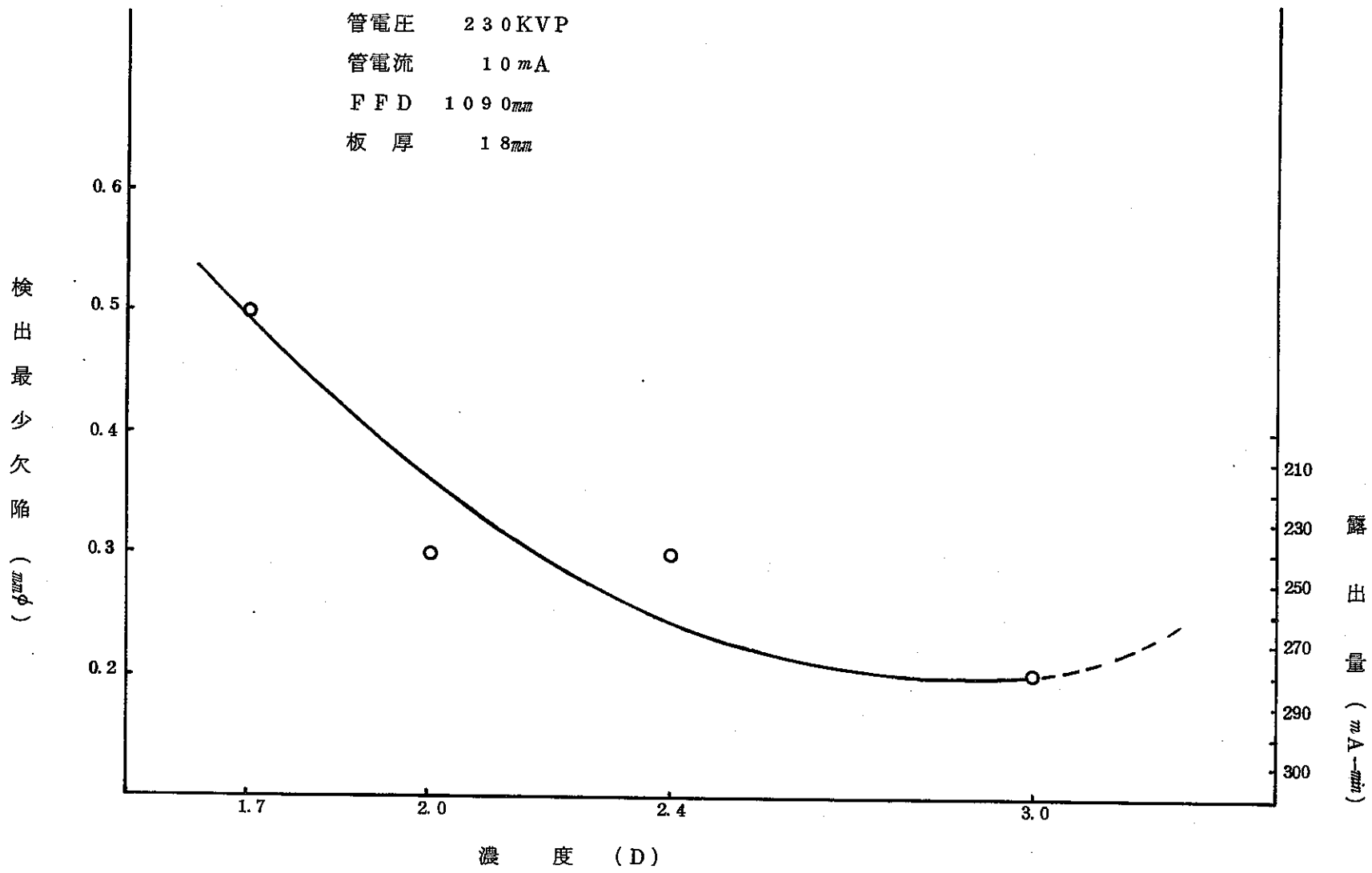


図7 フィルムの特性曲線

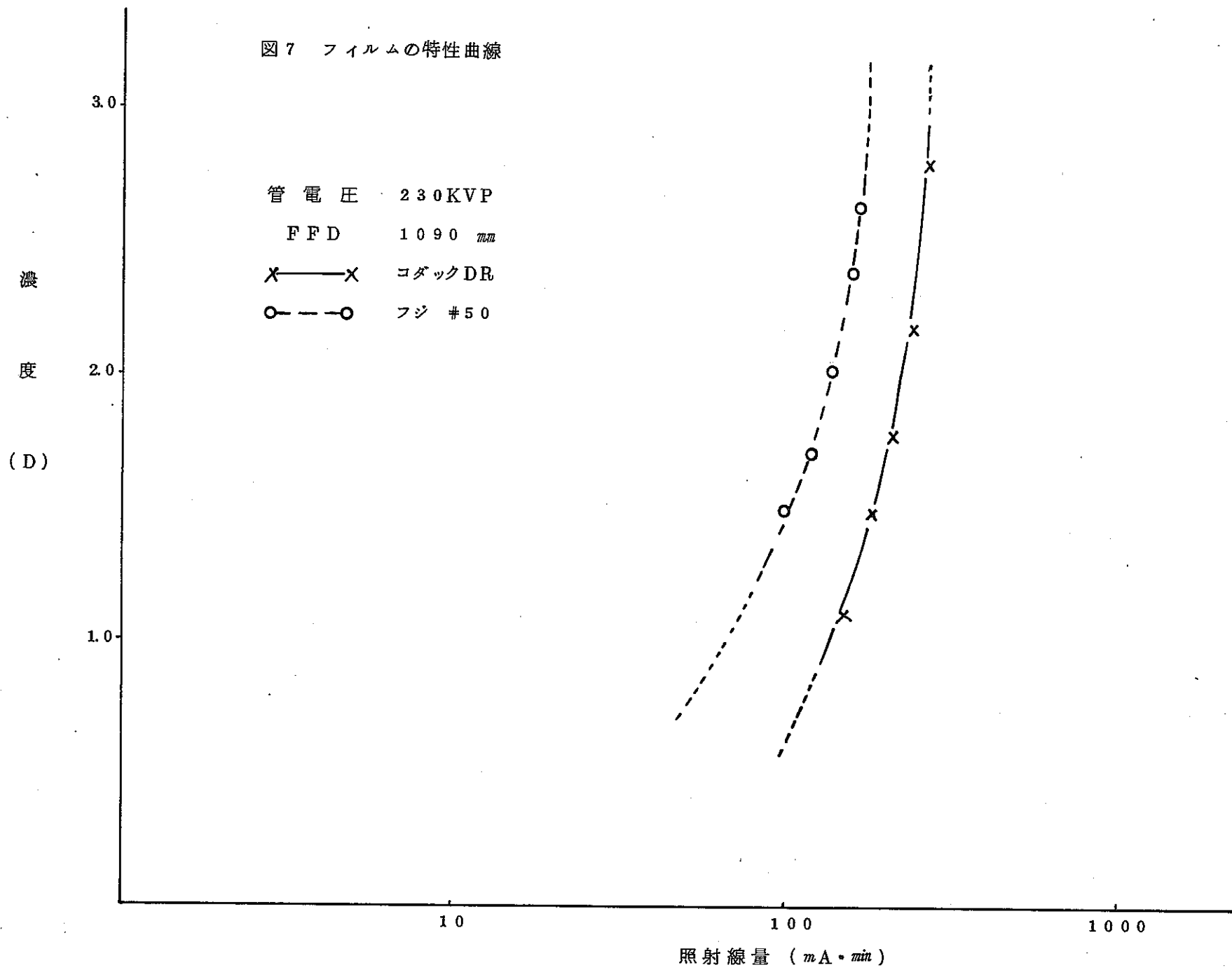


図8 γ 値特性曲線

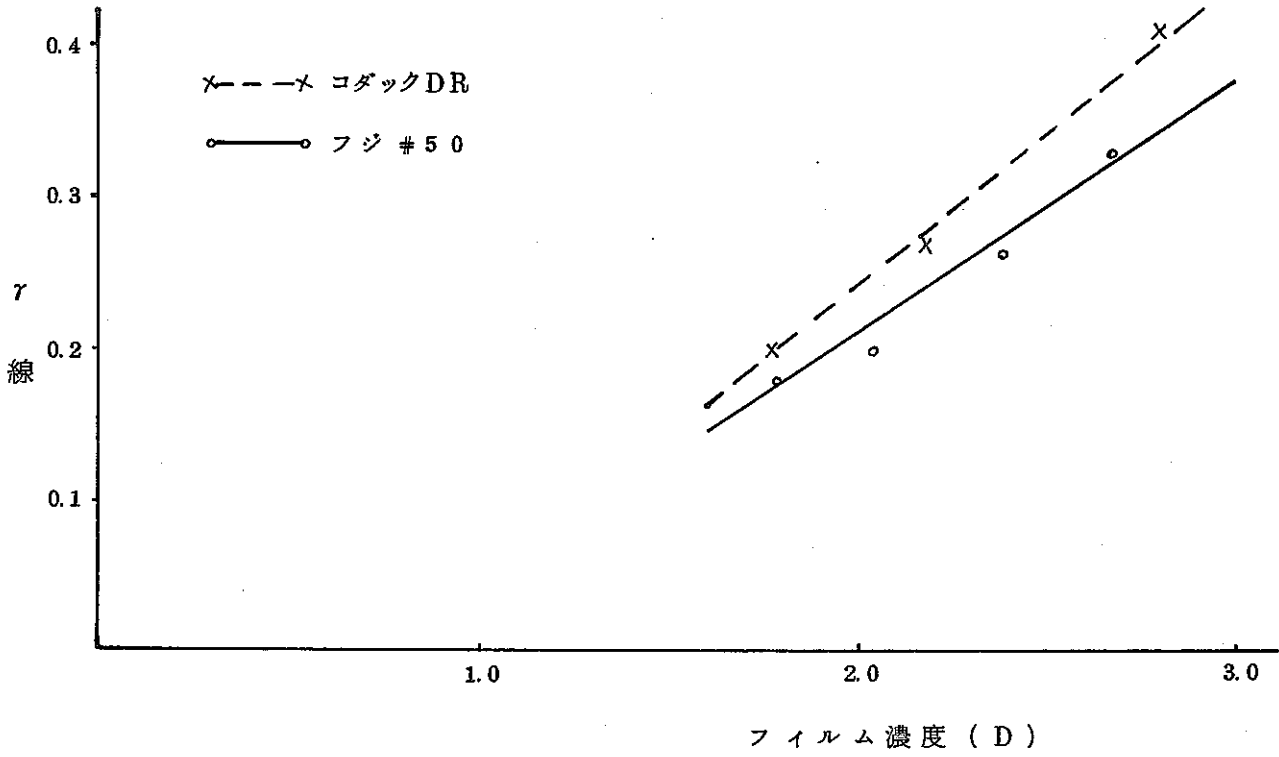
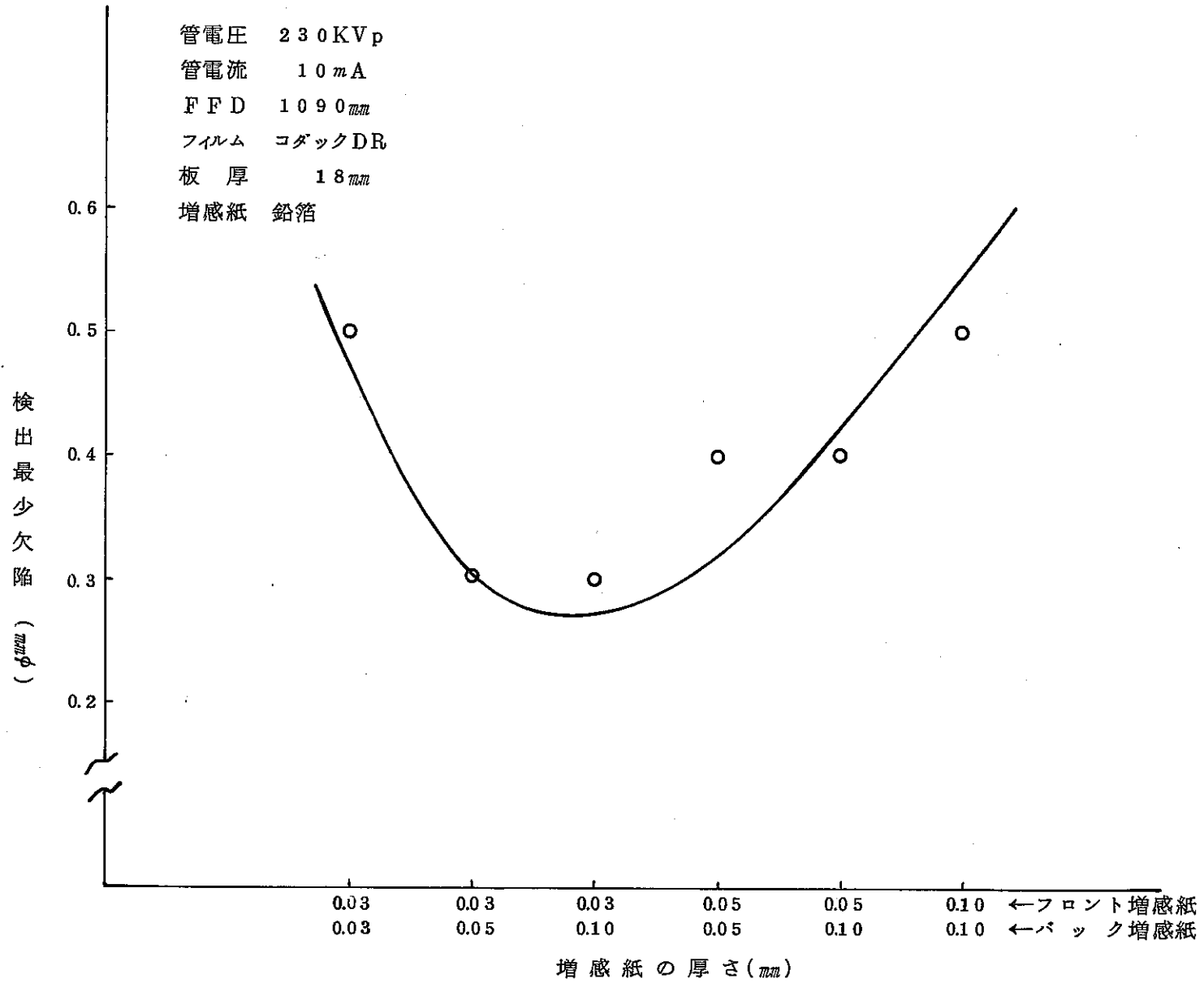


図 9. 増感紙による欠陥検出度



また増感紙の製造中などに発注したと考えられる欠陥、例えばピンホール、異物の混入などによる疑似欠陥については使用前検査として、

- (1) 目視による外観検査
- (2) X線透過による検査（フィルム観察）

を行ない、これに合格した無欠陥増感紙を使用することとした。

3-2-2 カセット

フィルム上の疑似欠陥の原因の一つに、白線があるが、この原因として、カセットのノデ蓋裏面に貼り付けてある、フェルトの糸屑が考えられた。フェルトから発生した糸屑が、フィルム表面に発生した静電気によって吸着するために起る現象で、これが白線の原因の一つとなっていることが、実験から明らかとなった。

糸屑を吸着したフィルムはX線照射によって発生した二次電子の散乱を起し、糸屑の部分で現像核の成長が妨げられて、部分的にフィルム上白く抜けるという現象が起る、この対策としてフェルトに換えてウレタン・ラバーを使用し、糸屑の発生の防止を行なった。

3-2-3 フィルム濃度と撮影配置

X線フィルム（低感度、超微粒子）の場合は図8から明らかなように濃度の上昇にもなって、 γ （X線フィルムの特性曲線の濃度Dにおける接線の勾配）は増加する。即ち濃度が上昇すれば ΔD （透過写真のコントラスト）が増加することになる。低濃度範囲では、濃度の上昇にもなり透過写真のコントラストの増加が識別状況の向上に寄与する。高濃度範囲の識別に対してはシャーカステンの照度が一定なために、 ΔD_{min} （識別限界濃度差）の増加が影響して識別状況を悪化させることが一般に知られている。

今回の実験は板厚18mmのジルカロイ-2板に人工欠陥を付けた試料（図6）により、欠陥の濃度変化による検出感度を調べ、その結果を図5に示す。

この結果から露出量270 mA・minとした場合の濃度2.3～2.8位の範囲が微小欠陥の判定に適していた。

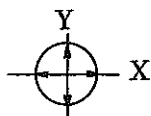
撮影配置は端栓溶接部を図10に示すジルカロイ-2製のマスクに挿入し、マスクの両端上部にベネトラ・メータを置いた。使用したベネトラ・メータは規格により、ASTM NO 12を用い、使用前に検定を行なった。

その結果を表1に示す。

表1 ペネトレーメータ検定結果

ペネトレーメータ	測定位置	小孔 (mm)	中孔 (mm)	大孔 (mm)
ASTM No 12 試料 No 1	X	0.32	0.61	1.27
	Y	0.33	0.62	1.27
ASTM No 12 試料 No 2	X	0.33	0.61	1.28
	Y	0.34	0.63	1.28

(注) 測定位置



また線源とフィルム間の距離は、

- (1) 線源寸法による幾何学的なぼけが大きくなる。
- (2) フィルム上で放射線の強さの変化が大きくなる。
- (3) 欠陥の検出の程度が試験部の中央と端とで大きく変化させない。

ため原則として、JIS規格の表示においてはペネトレーメータとフィルム間の距離の m 倍以上、試験部の有効長さの n 倍以上とし、線源寸法 f mm の場合、係数 m は JIS 特級で $5f$ 、また係数 n は特級で 3 とすることが望ましいとされている。したがって今回の実験では線源とフィルム間の距離は $996 \text{ mm} + 18.3 \text{ mm} = 1,014.3 \text{ mm}$ 以上とすることが望ましいことになるが、幾何学的なぼけをできるだけ大きくならないようにするために装置と部屋の構造上許される最大距離 $1,090 \text{ mm}$ で行なうこととした。

3-2-4 露出時間と管電圧

線量率 I_0 の X 線が試料の厚さ T を透過して X 線フィルムに到達する場合を考え、濃度 D を得るに必要な露出時間 t は次式から計算が可能であるが、しかし X 線の場合は、 C_0^{60} などと、

$$t = (K_0 R_D) / \{ K I (1 + n) \} \quad (1)$$

R_D : 濃度 D を得るに必要な線量

K_0 : X 線フィルムの線量特性曲線を作成した X 線の線質に対する感度係数

K : 透過線の線質に対する X 線フィルムの感度係数

I : 透過線量率

違い、エネルギーの異なった線質を持っているため、計算により求めるよりも、実際に使用する金属板を使用し、照射時間と管電圧を変えて求めることがより实际的であり、また一般的でもある。

この様にして求めた露出線図が図 11 であり、この図より最も解像力の良い点、即ち

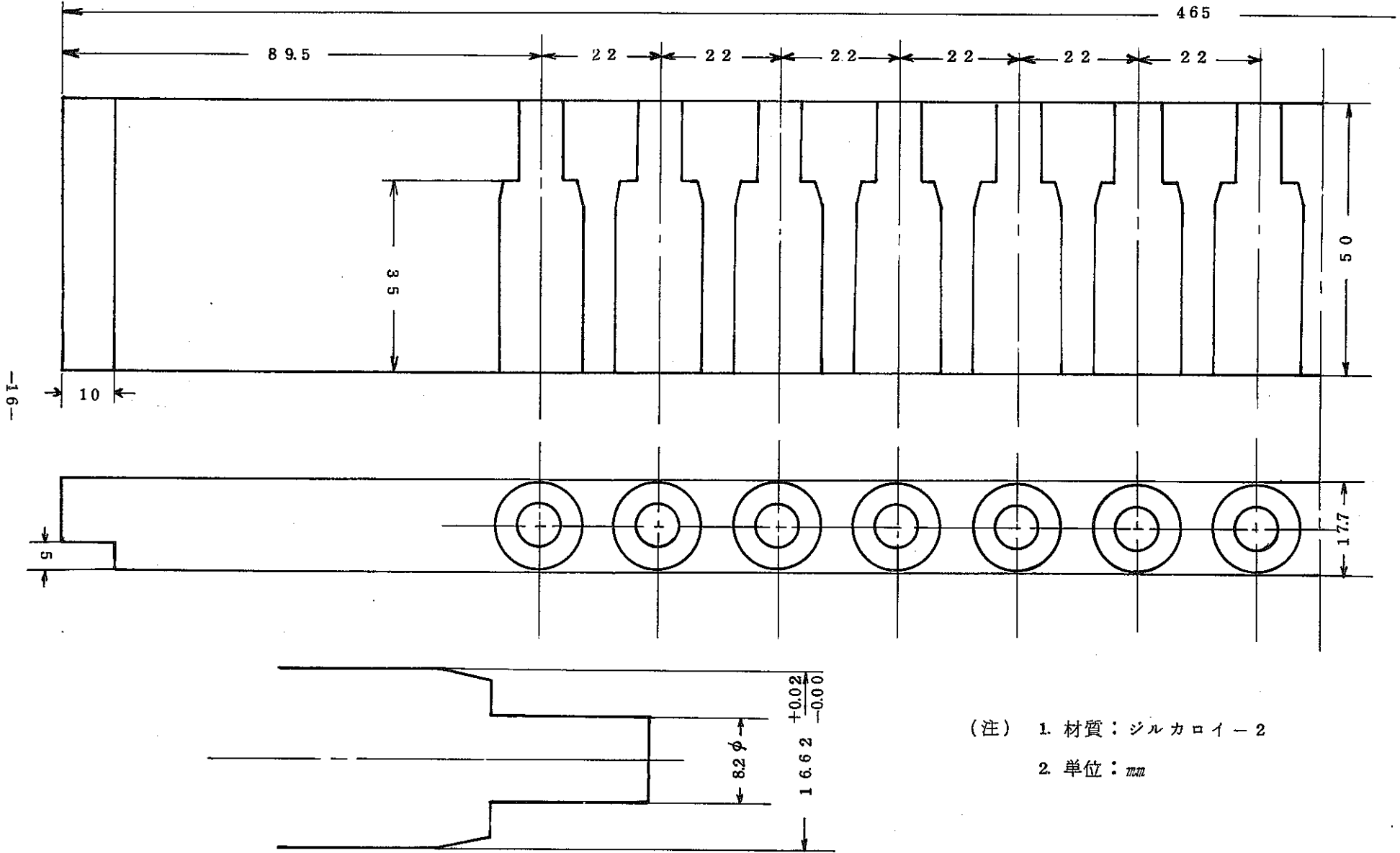
露出時間 : 27 分

管電流 : 10 mA

管電圧 : 230 KVP

を撮影条件とした。

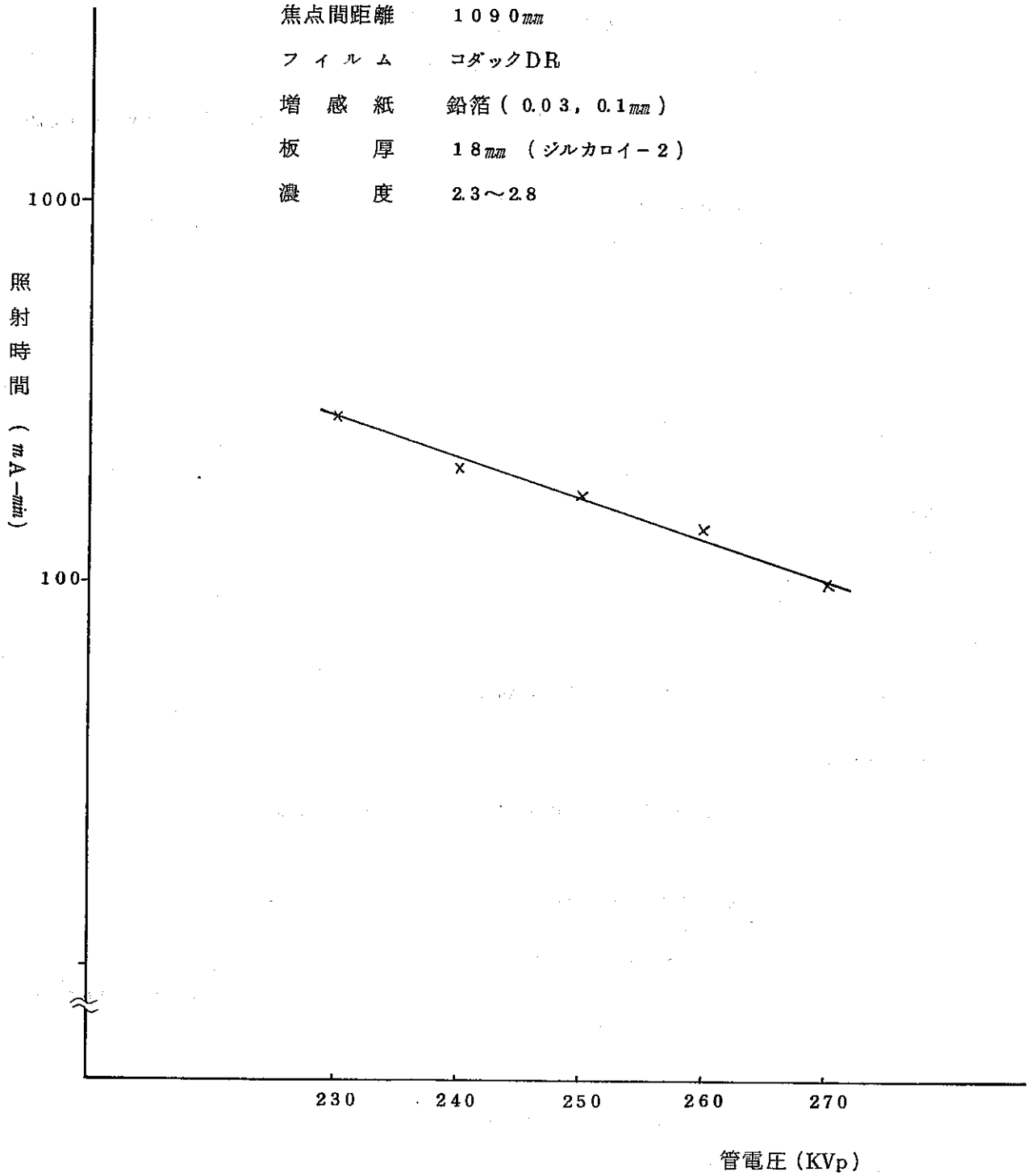
図 10 マスク



- (注) 1. 材質：シルカロイ-2
2. 単位：mm

図 1 1 露 出 線 図

焦点間距離 1 0 9 0 mm
 フイルム コダック DR
 増感紙 鉛箔 (0.0 3, 0.1 mm)
 板 厚 1 8 mm (ジルカロイ - 2)
 濃 度 2.3 ~ 2.8



3-3 現像系

現像系によると考えられるフィルム上の欠陥としては現像むら，付着物（特に黒い），白点（白く抜ける）などがある。

これらの欠陥の発生源としては，

現像 — 停止 — 定着 — 水洗 — 乾燥（クック現像装置）

現像 — 定着 — 水洗 — 乾燥（自動現像装置）

の過程のいずれかにおいて発生するものとの考えから，各々の過程について次の事項を調べた。

- (1) 現像液の汚れ，疲労，不足
- (2) 定着液の汚れ，疲労，不足
- (3) 水洗水の汚れ
- (4) 現像，定着，水洗タンクの汚れ
- (5) クロスオーバー・アセンブリーの汚れ，付着物，傷
- (6) 自動現像機自身が発生するサビなどによる汚れ
- (7) 砂塵などの混入による汚れ
- (8) 増感紙の汚れ
- (9) フィルムの汚れ
- (10) 温度コントロール
- (11) フィルム処理スピード・コントロール

以上について，それぞれ調べ次の様な対策を構じた。

(1) 現像液

新しい液との全量交換と毎日使用前に試験フィルムによる確認を行なう。

(2) 定着液

新しい液との全量交換と毎日使用前に試験フィルムによる確認を行なう。

(3) 水洗水

水洗水用のフィルターは従来 25 μ のフィルターを通していたが，15 μ ，10 μ 最終的には 5 μ のものと交換して使用した。

(4) 現像，定着，水洗タンク

現像，定着，水洗の各タンクの洗浄を行なった。

(5) クロスオーバー・アセンブリー

現像，定着，水洗の各クロスオーバー・アセンブリーの洗浄および傷や付着物などの修正除去を行なった。

(6) 自動現像機

自動現像機の構造物（金属製）のサビ，塗料およびメッキ部の剥離屑などの発生はフィルム処理液，水洗水などを汚染し，フィルムの汚れの原因となる，これらを防止するため，送風用吸，排気口にフィロン・エアー・フィルターを取付けた。

(7) 砂塵

暗室の砂塵などはフィルム処理液や水洗水などの汚染の原因となる，これを防ぐため，自動現像機のコーナー部などの目張りなどを行なった。

(8) 増感紙の汚れ

増感紙は使用前に全面サンクリーナーによって拭きとり，粉塵などの付着物を取り除いた。

(9) フィルム

フィルムの出入時における粉塵の付着を防止するため，グリーン・ベンチを使用し，その中でフィルムの装填を行なった。

(10) 温度コントロール

フィルムの処理温度のコントロール系のチェックと修正を行なった。

(11) フィルム処理スピード

フィルム処理スピード，コントロール系のチェックと修正を行なった。

これらの対策の結果，フィルム上の疑似欠陥はかなり減少したが，根本的に解消するには至らなかった。

したがって，自動現像機による現像・定着処理を一時見合せ，非能率的ではあったが，タンク現像・処理を行なわざるをえなかった。

そして，自動現像機は水洗，乾燥系のみ使用した。

3-4 観察系による要因

フィルムの観察にはシャーカステンの照度，暗室の環境などが問題になるが，いずれの場合も観察を行なう条件を満すものであった。

4. 考 察

4-1 撮影系による要因

撮影系に最も影響を及ぼすものとして、管電圧と管電流が考えられ、それに基づく実験を行なった。

その結果管電流の変動は、X線制御装置の設定値に対し、使用開始時点では8%強多く流れ、また使用時間とともに変化し設定より8%弱不足することが判明した。

これらが「ふげん」の様な核燃料棒溶接部の微小欠陥の検出にどの程度影響を与えているかを検討した。

4-1-1 管電圧の変化

X線の減衰はX線の透過過程における相互作用によって行なわれる。

即ち、吸収係数 μ は次式によって与えられる。

$$\mu = \tau + \sigma_r + \sigma_c + \sigma_p \quad (2)$$

τ : 光電効果による真吸収係数

σ_r : 弾性散乱 (トムソン散乱)

σ_c : 非弾性散乱 (コンプトン散乱)

σ_p : 電子対生成

μ をその物質の密度 ρ で割った値 $\frac{\mu}{\rho}$ は質量吸収係数である。

またその物質の原子番号 Z 、原子量 A 、入射するX線の波長 λ 、比例定数 K とすると質量真吸収係数 $\frac{\tau}{\rho}$ は次式で与えられる。

$$\frac{\tau}{\rho} = K \frac{Z^4 \cdot \lambda^3}{A} \quad (3)$$

$$\tau = K \cdot \rho \cdot \frac{Z^4}{A} \cdot \lambda^3 \quad (4)$$

$Z \cdot A \cdot K \cdot \rho$ は材質によって任意に決り、真吸収係数では波長 λ の3乗に比例することになる。従って λ は管電圧により変化するから、 λ が長くなると τ は増大する。

このことは管電圧によって、真吸収係数の値を変化させることになる。

即ち、これがフィルム濃度変化の要因の一つとして現われる。今回の実験により管電圧のフィルム濃度、コントラストに与える影響はX線発生装置の電源電圧自動追従機構の働きによって管電圧は安定しており、そのバラツキがなく、フィルム濃度、コントラストの変化を与える要因となっていないことが分った。

また、 τ は λ^3 に より 変 化 す る こ と か ら、管電圧の設定が真吸収係数の大小を決定し欠陥検出に大きく及ぼすことが分る。

4-1-2 管電流の変化

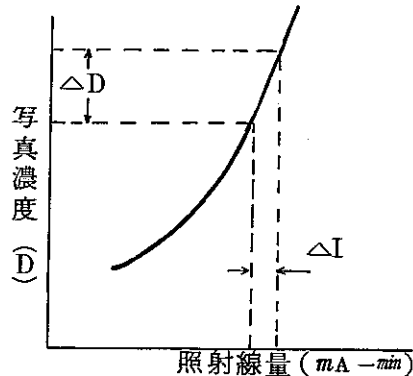
一般に露出係数が一定ならば写真濃度は変化しないと考えるよゐから、実的に露出係数は次式で与えられる。

$$\frac{\text{管電流} \times \text{露出時間}}{(\text{焦点フィルム間距離})^2} = \text{露出係数} \quad (5)$$

実的に焦点-フィルム間距離を一定とすると、露出係数は管電流×露出時間だけを考へればよゐことになる。従って管電流の変化は露出係数を変化させることになるからフィルム濃度を変化させる大きな要因となりうる。

このことは今回の実験からも明らかであった。即ち線量の変化 ΔI は濃度 ΔD に大きく影響する。

図 12 線量の差によって得られるフィルム濃度差



JIS等で定められている一般鉄鋼の溶接部の撮影の様に最大照射時間が3分位の短時間の場合は管電流の設定値に対し、±10%位の変動があつても、フィルム濃度とコントラストを大きく変化させるものではない。これに対し低管電圧領域で長時間照射される場合は設定管電流が一定であれば照射線量は照射時間に比例して増加する。

従って少量の管電流の増減でも長時間露出されると ΔI が大きな値となり ΔD の差が大きくなる。即ちフィルム濃度とコントラストを大きく変化させる結果となり得る。

この対策として、管電流を連続的にレコーダに記録し、その管電流の平均値を求め、照射時間で補正して、一定線量とする方法をとつた。

4-2 撮影条件と感光材料

4-2-1 フィルムおよび増感紙

フィルムおよび増感紙は実験的に求め、フィルムはコダック DR, 増感紙は鉛箔製フロント 0.03 mm 厚, バック 0.10 mm 厚さの組合せが, 最も良好なフィルム・コントラストを得ることができたため, この条件で使用する事とした。

4-2-2 カセット

カセットのノデ蓄裏面のフェルトをウレタン・ラバーに換えて, 糸屑がフィルムに付着するのを防止した。フィルム上白く抜ける現象は糸屑を吸着したフィルムは X 線照射により発生した二次電子の散乱を起して, 糸屑の部分で現像核の成長が妨げられ, その部分が白く抜けるためであると考えられるものであった。

この現象はフェルトをウレタン・ラバーに換えることによって防止できた点から判断しても明らかであった。

4-2-3 フィルム濃度と撮影配置

フィルム濃度については実験的に求め, 露出量 270 mA-min とした場合の濃度 2.3 ~ 2.8 位の範囲が最も微小欠陥の判定に適していたため, この値を最適条件とした。

ここで写真の識別状況に寄与するものとして, 写真のコントラストがあるが, 微小欠陥の写真コントラストが撮影条件によってどの様に変化するか求めてた。

微小欠陥 (Δx) による写真コントラスト (ΔD) は次の式 6 によって求められる。

$$\Delta D = -0.434 \mu \gamma \cdot \Delta x / (1+n) \quad (6)$$

μ : 吸収係数

γ : フィルムの γ 値

n : 散乱による効果

式 6 によって求めた各撮影条件による写真コントラストを表 2 に示す。

表 2 撮影条件による写真コントラスト

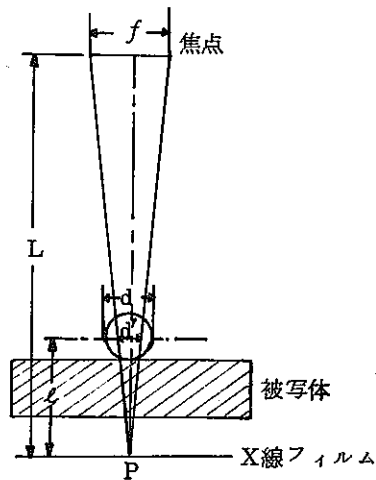
管電圧	フィルム濃度	μ 値	γ 値	1 mm に対するコントラスト ΔD	0.3 mm に対するコントラスト ΔD
230 ^{KVP}	2.5	6.5	DR=0.35	0.987	0.296
230	2.5	6.5	#50=0.3	0.846	0.254
240	2.5	4	DR=0.35	0.607	0.182
240	2.5	4	#50=0.3	0.502	0.150
250	2.5	3.5	DR=0.35	0.531	0.159
250	2.5	3.5	#50=0.3	0.455	0.136
260	2.5	2	DR=0.35	0.308	0.092
260	2.5	2	#50=0.3	0.260	0.07

この計算結果から 0.3mm ϕ に対する写真コントラスト ΔD は約 0.3 の値 (管電圧 230 KVP) を示している, この値は目視による判別限界に近い値であると同時に, 今回の「ふげん燃料 X 線検査」の条件として最良のものであると言える。

また撮影配置について最も重要なものとして, 線源寸法による幾何学的なぼけがある。幾何学的ぼけは計算的に 7 式によって求められる。

$$d' = fl / L \quad (7)$$

図 13 X 線の吸収



f : 焦点寸法

L : 焦点 - フィルム間距離

l : 透過度計 - フィルム間距離

d : 直径

またフィルム上の径の大きさ W は 8 式によって求められ、拡大率 m は 9 式によって求められる。

$$W = (d + d') \quad (8)$$

$$m = \frac{L}{L - \ell} \quad (9)$$

これらの式から今回の実験によって求められた条件を計算すると、

$$\begin{aligned} d' &= \frac{4.0 \times 25}{1090} \\ &= 0.092 \end{aligned}$$

となり、最小検出欠陥径を 0.3 ($d = 0.3$) とすると、

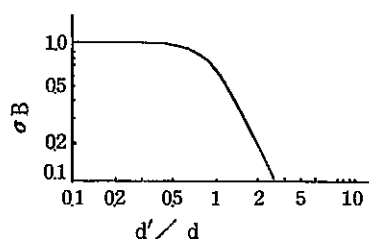
$$d'/d = 0.307$$

となる。

従って幾何学的なぼけに対する係数 σ_B は約 1 となり、フィルム上での実測値が、即ち欠陥の大きさと判定してよいといえることができる。

以上の結果から焦点-フィルム間距離 1090 mm は、今回の様子微小欠陥の撮影には十分な撮影距離といえることができる。

図 14 d'/d と σ_B との関係



撮影距離 1090 mm における X 線線量分布とフィルム濃度分布を示したものが図 15, 16 の Heel 効果特性曲線であるが、この図から、撮影位置と濃度の差により欠陥検出のバラつきは、フィルム γ 値から求めると微小であることから無視できる値であった。

4-2-4 露出時間と管電圧

露出時間は 1 式からも計算することは可能であるが、X 線の様に複数の線質を持っているものは、実験的に求めた方がより实际的であり、一般的でもある。

また管電圧についても同様に実験的に求めた図 17 の吸収特性曲線から吸収係数の大きな点を使用管電圧とした。

図 1 5 Heel 効果特性曲線

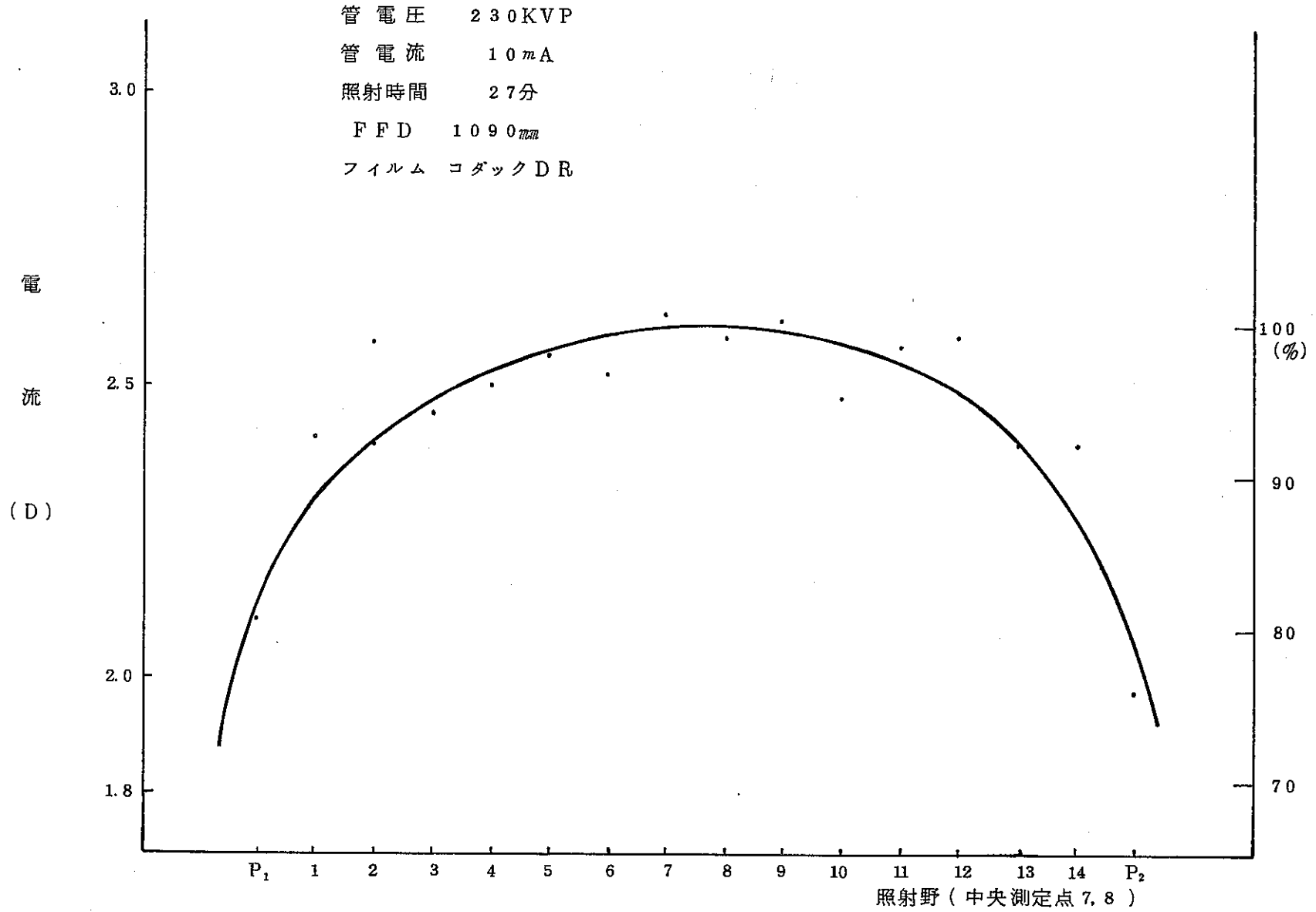


図 16 Heel 効果特性曲線

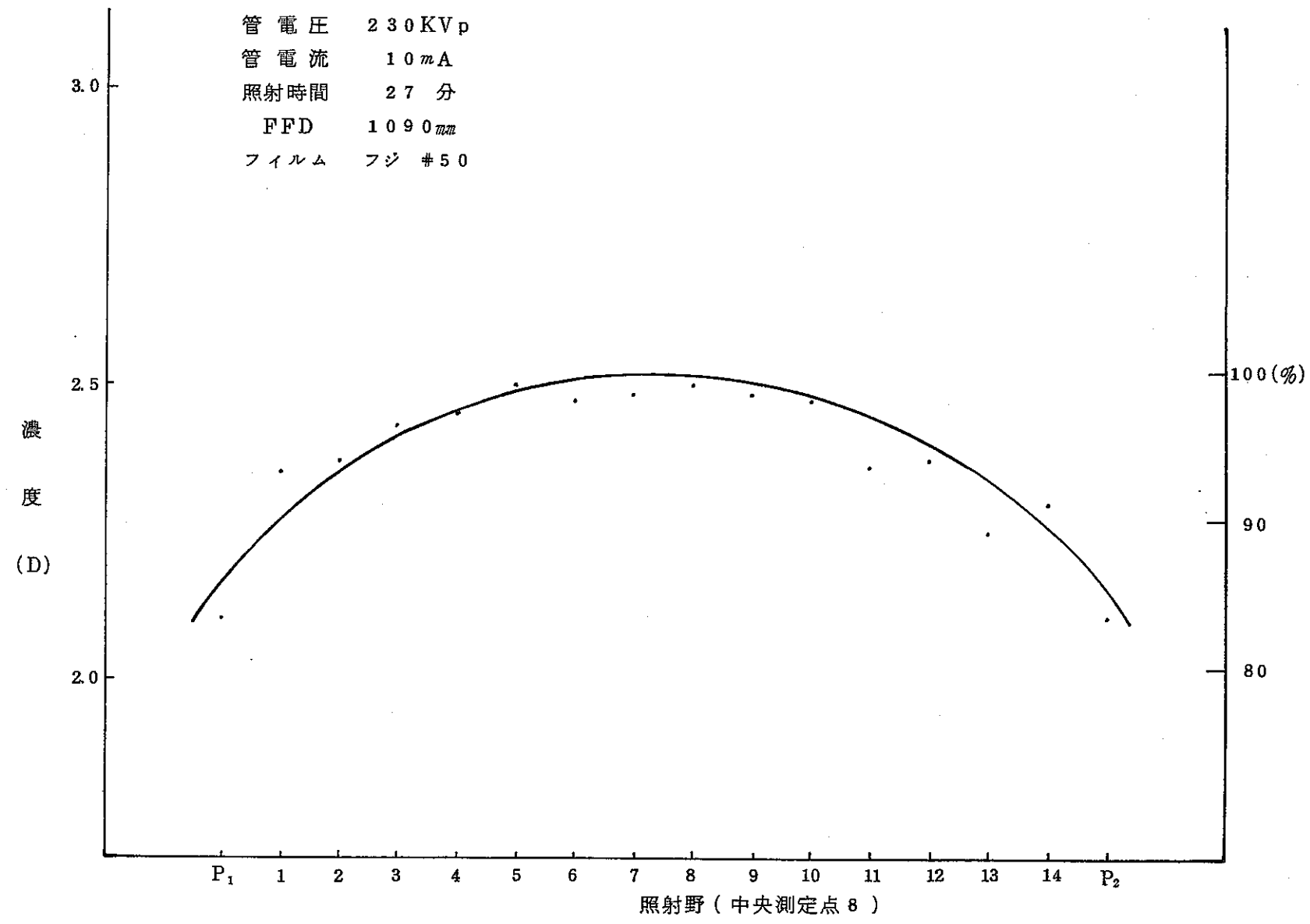
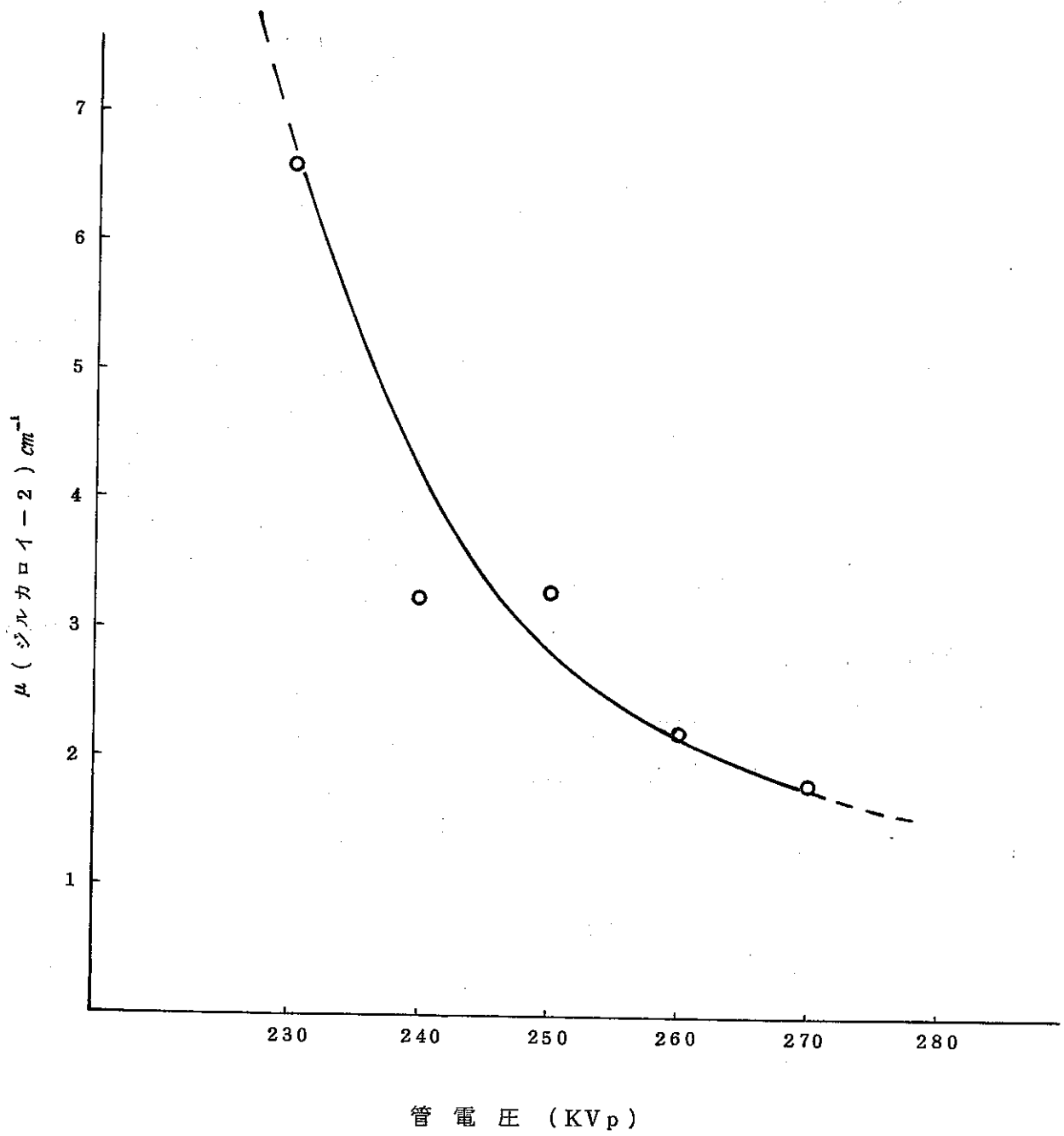


図 17 ジルカロイ-2 の吸収特性曲線



4-3 現像系による要因

フィルム上の欠陥として、黒点、白点、現像むらなどがあるが、これらの欠陥発生源として調べた自動現像機の

現像 — 定着 — 水洗 — 乾燥

の過程で、特に決定的な要因はつかみ得なかった。しかし自動現像と平行して行なったタンク現像では、自動現像に比べ、明らかにシャープなフィルム仕上がりであった。

これらの違いの原因としては次の3点が考えられる。

- (1) 現像液と液温の相違
- (2) X線線量の相違
- (3) 現像機構上の相違

現像液温は自動現像機 27 °C、タンク現像 20 °Cである、この温度の違いと現像液の違いが現像反応速度と活性化の相違を生みだしているものと思われる。自動現像装置は現像反応速度が速く、現像液が活性であるため、フィルム粒状性が荒れて仕上ることになる。自動現像機で現像する場合は同一フィルム、同一撮影条件でも少ないX線線量で所定の濃度のフィルムが得られる。これに反しタンク現像の場合は液温が低く反応速度が遅いため、所定の濃度を得るため多くの線量を必要とする。以上タンク現像は、多い線量で現像反応速度が遅いことから、フィルム現像核の仕上がりが微細な所まで感光し、フィルムの表面粒子の荒れが少なく、微小欠陥の検出には良好な結果が得られた。

その他に現像機構上の違いとして、自動現像機は3-3で述べた様に機構の複雑さからくる疑似欠陥も多く、その究明が難しい点や、フィルム処理スピードの問題などから、タンク現像の方が明らかに疑似欠陥因子が少ないといえることができる。

4-4 観察系による要因

現在行なっているフィルム観察における、シャーカステンの照度、暗室の環境などいざれも、フィルム観察の諸条件を満足するものであり問題点はなかった。

図 1 8 X線透過厚変化にともなう自現とタンク現像の差

