

原子力発電所のコンクリート建家に使用する 耐放射線性塗料に関する性能試験 (その3)

喜田大三
住野正博

Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 3)

Daizo Kita
Masahiro Sumino

Abstract

It is desirable for irradiation resisting paints used for concrete surface coatings to protect facilities in nuclear power plants from radioactive contamination to have low contaminability, high decontaminability and radiation resistability. In order to investigate the influence of paint type, coating surface conditions and γ -ray radiation on the protective qualities of the paints, seven kinds of epoxy and phenolic paints were tested.

Results showed that the decontaminability of a paint was not affected by γ -ray radiation, but by the texture of the coating surface of the paint. The decontaminability was not related to radiation resistability, and stability in chemical solution under conditions of heat and pressure. A study was made on the thinking to be followed in selection of a paint.

概 要

原子力発電所のコンクリート部用耐放射線性塗料には耐放射線性、耐熱水性と同時に放射性汚染防護上、特に汚染性が小さく、かつ除染性が大であることが要求される。そこで、エポキシ系5種類、フェノール系2種類の塗料を供試し、放射性3核種 ($^{137}\text{Cs}^+$, $^{60}\text{Co}^{2+}$, $^{144}\text{Ce}^{3+}$) を使用し、 γ 線照射前後の耐汚染性および除染性の試験を行い、次のことが判明した。

耐汚染性および除染性は γ 線照射にほとんど悪影響を受けなかった。核種および塗料相互間で耐汚染性および除染性は異っていたが、それは塗料樹脂の種類とは関係なく、塗膜表面の粗密性に主として影響を受けていた。また、これら性質と耐放射線性、耐熱水性とのあいだには何ら系統的な関係が認められなかった。そこで、耐放射線性塗料を選択する際の考え方について考察を加えた。

1. まえがき

原子力発電所の原子炉建家、タービン建家、補機建家の床、壁、天井などのコンクリート部分には耐放射線性、耐熱水性、耐汚染性などに優れた性能を有す耐放射線性塗料が塗装されている。

報告書その1¹⁾、その2²⁾ではコンクリート部用として現在市販されている国産のエポキシ樹脂塗料、フェノール変性エポキシ樹脂塗料について選択指針を得るために耐放射線性、耐熱水性および機械的強度の観点から塗料性能を比較検討した。

しかし、耐放射線性塗料には前記性能のほかに放射性汚染防護上、汚染除去性が同じ重要度で要求されており、また、各メーカーからの資料にもそれは必ず添えられている。ところが、一定の基準がないために試

験方法や結果の表示方法が各メーカーごとに異なり、データの相互比較ができなかった。そこで、一定基準の試験方法および結果の表示方法で塗料相互を比較検討してみる必要が生じた。

ここで、汚染についての和達らの考え方³⁾にしたがって定義し、以下に示す。

水洗によって簡単に除去される汚染は物理的吸着や付着による汚染であり、そのさい除去されずに残る分を真の汚染とする。このように定義すると、水洗によって得られる除去率(%)が大なることは真の汚染が少ないこと、すなわち汚染性が小であることに対応し、言い換えると、耐汚染性が大であることに対応する。さらに水洗後、同一試料をpH 2の塩酸水溶液で洗浄した場合は、 H^+ によるイオン交換除去作用で汚染物質の表面イオン吸着汚染が除去されるので、除去率

(%)はさらに増加する。ここで、この除去率(%)の増加分が除染性に対応することになる。

本報では、前記定義に基づき標準的試験方法として水洗法および水洗・酸洗法を、表示方法として除去率(%)を採用し、塗料の耐汚染性、除染性におよぼす影響を検討した。また、耐汚染性ならびに除染性と耐放射線性、耐熱水性との関連についても比較検討した。

2. 供試塗料および試料の作製

2.1. 供試塗料

表一に供試した7種類の耐放射線性塗料を示している。すなわち、エポキシ樹脂塗料のうちアミン硬化型2種類(I, II), ポリアミド硬化型3種類(III, IV, V)およびフェノール変性エポキシ樹脂塗料2種類(VI, VII)である。

なお、本報の除染後の試験結果と関連づけるためにすでに行った耐放射線性および耐熱水性試験結果を掲載しておいた。

2.2. 試料の作製

溶剤で脱脂した厚さ0.5mm、一辺30mmの正方形ニッケル板の一面に供試塗料を刷毛で2回塗りし、塗装後、室温に約2カ月放置したものを未照射試料として供試した。また、同様にして作製した試料に日本原子力研究所・高崎研究所のコバルト60- γ 線照射装置で 1×10^8 Rの線量を照射し、これを放射線照射後の試料として供試した。なお、放射線照射後の試料は未照射試料の末尾にR(Radiation)をつけて表現することにする。

このように作製した放射線照射前後の試料の塗膜表面を0.5%の合成洗剤水溶液で洗浄後、水洗し室温で自然乾燥する。次いで放射性汚染物質の塩化セシウム ^{137}Cs 、塩化コバルト60(^{60}Co)および塩化セリウム144(^{144}Ce)の塩酸酸性混合水溶液(pH 2)を試料の中央に0.1ml滴下し、約 1cm^2 の面積に広げて汚染させる。その後、フード内に一昼夜、室温放置し自然乾燥させたものを汚染試料として供試した。

3. 試験方法と結果の表示法

3.1. 耐汚染性・除染性試験方法

まえがきに述べたように各種行われている試験方法を検討し、下記のような方法を標準方法として採用することにした。

3.1.1. 耐汚染性試験 水洗による汚染除去は、容量500mlの仕切板付洗浄びんに3枚の汚染試料を入れこれにイオン交換水200mlを加え、標準洗浄試験機(島津製作所製、ラウンダーテスターLT8型)を用い

て液温 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 、42rpmの条件で10分間行う。そして除染後の試料はフード内に室温放置し自然乾燥する。

3.1.2. 除染性試験 水洗・酸洗による汚染除去は3.1.1.で水洗後の試料をフード内に約1週間放置後、希塩酸水溶液(pH 2)を用いて水洗の場合と同じ条件で行う。なお、希塩酸の調整にはガラス電極pHメーターを用いた。

試料の汚染放射能、水洗後および水洗・酸洗後の残存放射能は、それぞれ同一条件にて自動試料交換装置付端窓型GM計数管装置(Aloka製、TDC-5型)で測定する。

3.2. 結果の表示法

3.2.1. 耐汚染性 汚染放射能に対する残存放射能の百分率、すなわち除去率(%)で表示する。

3.2.2. 除染性 汚染放射能に対する水洗・酸洗後の残存放射能の百分率、すなわち除去率(%)で表示する。

3.2.3. 耐放射線性 報告書その1に準ずる。

3.2.4. 耐熱水性 試料面積(100cm^2)に占めるふくれ面積の百分率およびきれつの有無で表示する。

4. 試験結果と検討

4.1. 耐汚染性・除染性試験

γ 線照射前後における水洗による除去効果、水洗・酸洗による除去効果を表一に示す。同表から同一塗料においても除染方法によって除去効果は異なり、また、核種間においても除去効果の異なることが明らかである。

そこで、水洗法および水洗・酸洗法に分け個々の核種の除去効果について以下に説明し、次いで γ 線照射の影響、塗膜表面状態の影響などについて説明する。

4.1.1. 水洗法の汚染除去効果 未照射塗料の場合それぞれの核種における除去率の最大、最小の範囲は $^{137}\text{Cs}^+$ では48~97%、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ では4~80%、 $^{144}\text{Ce}^{3+}$ では28~87%である。

ところで、未照射塗料のうち $^{137}\text{Cs}^+$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料V(97%)、III(90%)であり、悪い塗料は塗料II(48%)、VI(68%)である。 $^{60}\text{Co}^{2+}$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料V(80%)、II(77%)であり、悪い塗料は塗料IV(4%)、VI(21%)である。また、 $^{144}\text{Ce}^{3+}$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料V(83%)、VI(87%)であり、悪い塗料は塗料II(28%)、IV(39%)である。

一方、 γ 線照射後の塗料の場合、それぞれの核種における除去率の最大、最小の範囲は $^{137}\text{Cs}^+$ では61~96%、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ では7~87%、 $^{144}\text{Ce}^{3+}$ では29~91%で

試験項目 塗料分類		No.	耐放射線性試験			耐熱水性試験				
			耐衝撃性	密着性	耐摩耗性	200 μ	400 μ	600 μ	必要膜厚	メーカー指定膜厚
エポキシ樹脂塗料	アミンアダクト硬化型	I	Δ (Δ)	25 (23) ^{kg-cm}	544(245) ^{mg}	11.0 ³⁰⁾ %	3.0 ⁶⁾ %	1.2 ¹⁾ %	500 μ	400 μ
		II	\circ (Δ)	40 (50)	605(314)	52.0	53.0	36.0	600以上	400
	ポリアミド硬化型	III	Δ (Δ)	43 (54)	180(140)	6.4	7.4	2.7 ^{1.8)}	600	400
		IV	Δ (Δ)	52 (70)	430(210)	15.4	5.4	1.0	400	400
		IV'	Δ (Δ)	46 (60)	384(264)	6.0	1.7 ^{2.2)}	1.0 ^{1.4)}	500	400
		V	\odot (\circ)	43 (46)	383(156)	22.0 ³⁵⁾	23.0 ²²⁾	20.0 ¹⁾	600以上	600
		フェノール変性エポキシ樹脂塗料	VI	\circ (Δ)	40 (48)	525(271)	1.0 ²⁾	2.0 ^{0.3)}	2.0 ^{0.2)}	500
VII	\circ (Δ)	40 (50)	512(236)	1.5	1.6	-	325	375		

注1) 塗料IV'は塗料IVの下塗り塗料を違えたものである。

注2) ()は $1 \times 10^8 R$ の γ 線照射後の結果であることを示す。

注3) 耐熱水性試験で右肩に記した数字は、1つの試料に発生した長さ2~5mmのきれつの本数を示す。

表一 耐放射線性、耐熱水性試験結果の一例

試験項目 除去法 塗料分類		No.	耐汚染性試験			除染性試験		
			水洗法			水洗・酸洗法		
			¹³⁷ Cs ⁺	⁶⁰ Co ²⁺	¹⁴⁴ Ce ³⁺	¹³⁷ Cs ⁺	⁶⁰ Co ²⁺	¹⁴⁴ Ce ³⁺
エポキシ樹脂塗料	アミンアダクト硬化型	I	83 (90)%	43 (65)%	56 (83)%	91 (93)%	57 (70)%	64 (89)%
		II	48 (61)	77 (71)	28 (29)	53 (70)	82 (78)	44 (57)
	ポリアミド硬化型	III	90 (90)	37 (57)	76 (66)	94 (94)	51 (62)	86 (78)
		IV	88 (87)	4 (7)	39 (30)	94 (94)	5 (7)	49 (51)
		V	97 (96)	80 (87)	83 (91)	98 (98)	89 (89)	95 (95)
フェノール変性エポキシ樹脂塗料	VI	68 (78)	21 (17)	87 (70)	77 (83)	36 (24)	94 (79)	
	VII	76 (66)	38 (33)	75 (67)	78 (73)	55 (57)	87 (89)	

注) ()は $1 \times 10^8 R$ の γ 線照射後の結果であることを示す。

表二 耐汚染性および除染性試験結果

ある。

ところで、 γ 線照射後の塗料のうち¹³⁷Cs⁺汚染に対し除去率の良い塗料は塗料V-R (96%)、I-R (90%)、III-R (90%)であり、悪い塗料は塗料II-R (61%)、VII-R (66%)である。⁶⁰Co²⁺汚染に対し除去率の良い塗料は塗料II-R (71%)、V-R (87%)であり、悪い塗料は塗料IV-R (7%)、VI-R (17%)である。また、¹⁴⁴Ce³⁺汚染に対し除去率の良い塗料は塗料I-R (83%)、V-R (91%)であり、悪い塗料は塗料II-R (29%)、IV-R

(30%)である。

以上のことを総合し、 γ 線照射前後における塗料相互間で耐汚染性を比較するとエポキシ樹脂塗料の1種類(塗料番号V)が最も優れ、次いでエポキシ樹脂塗料の2種類(IおよびIII)およびフェノール変性エポキシ樹脂塗料の1種類(VII)が優れている。そして、エポキシ樹脂塗料の1種類(II)およびフェノール変性エポキシ樹脂塗料の1種類(VI)がやや劣り、エポキシ樹脂塗料の1種類(IV)は特に⁶⁰Co²⁺に対して汚

染されやすいので最も劣っていると判断される。

さて、 γ 線照射後の塗料の除去率は照射前のそれに比べ $^{137}\text{Cs}^+$ では塗料VII-Rを除いて最大14%増大し、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ においても塗料II-R, VI-R, VII-Rでは約5%減少しているが、それ以外の塗料では2~23%増大している。同様に $^{144}\text{Ce}^{3+}$ でも塗料III-R, IV-R, VI-R, VII-Rでは10~17%減少しているが、それ以外の塗料では2~25%増大している。

これらのことより、3核種を通じ γ 線照射後に除去率が大になる傾向、すなわち耐汚染性が大になる傾向の塗料はエポキシ樹脂塗料Iであり、除去率が同程度か増大する傾向にある塗料はエポキシ樹脂塗料Vであるといえる。一方、3核種を通じ除去率が小になる傾向、すなわち耐汚染性が小になる傾向の塗料はフェノール変性エポキシ樹脂塗料VIIであるといえる。しかし、それ以外の塗料においては核種の違いで除去率の増減が相半ばし、一定の傾向は見い出せなかった。

なお、 γ 線照射前後の塗料を通じて水洗で除去されやすい核種は $^{137}\text{Cs}^+$ であり、除去されにくいものは $^{60}\text{Co}^{2+}$ であった。

4.1.2. 水洗・酸洗法の汚染除去効果 表-2の結果は前述の定義から水洗で除去されるもののほかに、 H^+ によるイオン交換除去作用で放射性物質のイオン吸着汚染の除去まで含むものであり、除去率が大なることは除染性が大なることを示すものである。

未照射塗料の場合、それぞれの核種における除去率の最大、最小の範囲は $^{137}\text{Cs}^+$ では53~98%、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ では5~89%、 $^{144}\text{Ce}^{3+}$ では44~95%である。

ところで、未照射塗料のうち $^{137}\text{Cs}^+$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料I(91%)、III(94%)、IV(94%)およびV(98%)であり、悪い塗料は塗料II(53%)である。 $^{60}\text{Co}^{2+}$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料II(82%)、V(89%)であり、悪い塗料は塗料IV(5%)、VI(36%)である。また、 $^{144}\text{Ce}^{3+}$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料III(86%)、V(95%)、VI(93%)およびVII(87%)であり、悪い塗料は塗料II(44%)、IV(49%)である。

一方、 γ 線照射後の場合、それぞれの核種における除去率の最大、最小の範囲は $^{137}\text{Cs}^+$ では70~98%、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ では7~89%、 $^{144}\text{Ce}^{3+}$ では51~95%である。

ところで、 γ 線照射後の塗料のうち $^{137}\text{Cs}^+$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料I-R(93%)、III-R(94%)、IV-R(94%)およびV-R(98%)であり、悪い塗料は塗料II-R(70%)、VII-R(73%)である。 $^{60}\text{Co}^{2+}$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料II-R(78%)、V-R(89%)であり、悪い塗料は塗料IV-R(7%)、VI-R(24%)

である。また、 $^{144}\text{Ce}^{3+}$ 汚染に対し除去率の良い塗料は塗料I-R(89%)、V-R(95%)およびVII-R(89%)であり、悪い塗料は塗料II-R(57%)、IV-R(51%)である。

以上のことより、 γ 線照射前後における塗料相互間の除染性は4.1.1.の耐汚染性とほぼ同じ傾向にあると判断される。

さて、 γ 線照射後の塗料の除去率は照射前のそれに比べ $^{137}\text{Cs}^+$ では塗料VII-Rを除いて最大17%増大し、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ においても塗料II-R, VI-Rを除いて最大12%増大している。同様に $^{144}\text{Ce}^{3+}$ でも塗料III-R, VI-Rを除いて最大24%増大している。

これらのことより、3核種を通じ γ 線照射後に除去率が大になる傾向、すなわち除染性が大になる傾向の塗料はエポキシ樹脂塗料Iであり、除去率が同程度か増大する傾向にある塗料はエポキシ樹脂塗料IVおよびVであるといえる。しかし、それ以外の塗料では水洗の場合と同様、一定の傾向は見い出せなかった。

なお、 γ 線照射前後の塗料を通じて水洗・酸洗で除去されやすい核種は $^{137}\text{Cs}^+$ であり、除去されにくいものは $^{60}\text{Co}^{2+}$ であった。

4.1.3. 塗膜表面状態および γ 線照射の影響 前述の定義から水洗で除去される汚染は物理的吸着や付着による汚染であり、この汚染性には当然、塗膜表面の粗密性が大きな影響を与えると判断され、このことは過去の実験で確認されている³⁾。本実験においても塗膜表面を走査型電子顕微鏡で観察したところ、耐汚染性が最大のエポキシ樹脂塗料Vは他の塗料に比べ緻密で整然とした塗膜表面を有していることが確認された。

ところで、未照射塗料の場合、表-2で耐汚染性が大である塗料が除染性も大になっている。このことから、耐汚染性に重要な役割をはたすことが確認された塗膜表面の粗密性の関係が、除染性の場合にも成り立つと判断される。

一方、 γ 線照射の影響を検討した和達、安中の報告⁴⁾には、 $1 \times 10^8 \text{R}$ の γ 線照射によって塗料は相当に変質し、塗膜表面の光沢および色差に影響が現われ、しかも耐汚染性も一様に小さくなってくると報告されている。しかし、本実験においては色差にこそ影響が現われたが、 γ 線照射後も3核種を通じて除去率が増大している塗料もいくつか存在していた。また、個々の核種について塗料ごとにみた場合、除去率が増大する核種も相半ばし、さらには、除去率が減少していた核種でも、その値は大幅ではなかった。これらのことから $1 \times 10^8 \text{R}$ の γ 線照射は供試塗料の耐汚染性および除染性に対し、あまり悪影響を及ぼしていないと判断

される。さらに、 γ 線照射後の塗膜表面を走査型電子顕微鏡で観察し、照射前のそれと比較したところ、肉眼的にほとんど差が認められなかったことから前述のことは妥当であると判断される。

4.1.4. 塗料樹脂および硬化剤の影響 汚染物質に $^{233}\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ を用いた試験結果³⁾には、エポキシ樹脂塗料でもアミン硬化型およびアミンアダクト硬化型のほうが、ポリアミド硬化型よりも耐汚染性が大きく、かつ除染性が大きいという傾向が認められたが、本実験では硬化剤の違いによると考えられる差が見い出せなかった。また、エポキシ樹脂系塗料のほうがフェノール樹脂系塗料よりも耐汚染性が大きく、かつ除染性が大であると報告されていたが、本実験では顕著な違いは見い出せなかった。

4.2. 耐放射線性および耐熱水性との比較

供試した塗料のうち耐汚染性、除染性に最も優れた性能を示したエポキシ樹脂塗料V、中程度の性能を示したエポキシ樹脂塗料I、やや劣った性能を示したエポキシ樹脂塗料IIおよびフェノール変性エポキシ樹脂塗料VI、最も劣った性能を示したエポキシ樹脂塗料IVを選択し、塗料の耐放射線性、耐熱水性と耐汚染性、除染性とを比較検討すると次のようである。

表一1、表一2から明らかなように耐汚染性、除染性に最も優れている塗料Vは耐衝撃性、密着性にも優れているが、耐熱水性は全くないと判断される。また、中程度の耐汚染性、除染性を示した塗料Iは耐衝撃性、密着性はあまり良好でなく、耐熱水性は厚い膜厚で良好となる。一方、耐汚染性、除染性がやや劣った塗料IIの場合、耐衝撃性、密着性は良好であるが、耐熱水性は膜厚とは無関係に全くないと判断される。しかし、耐汚染性、除染性がややる劣る塗料VIは耐衝撃性、密着性、耐熱水性に優れている。また、耐汚染性、除染性が最も劣る塗料IVは耐衝撃性にやや劣るが、密着性、耐熱水性には優れている。

以上の5種類の塗料を例にして説明したように、一般に耐放射線性、耐熱水性と耐汚染性および除染性とのあいだには何ら系統的な関係がないと判断される。

5. 耐放射線性塗料に対する考え方

前述のことから明らかなように耐放射線性、耐熱水性、耐汚染性および除染性全てに優れた性能を有す塗料は現在のところ見あたらず、性能に関しては各塗料とも一長一短を有している。しかし、耐放射線性塗料が満足すべき基本的な性能を考えた場合、塗膜は、放射線や熱水をおびても劣化せず、放射性物質の下地、例えばコンクリート内部への浸透を防ぐことが要求さ

れる。したがって、耐放射線性、耐熱水性に優れていることが必要である。

一方、これら性能に優れた塗料でも本報で採用した標準的方法で汚染が十分に除去されない場合がある。しかし、この標準的方法は比較検討する際の基準になっているが、この方法で除去できなくてもブラッシング法、その他の方法で除去することができる^{5),6)}。しかも、ブラッシング法などで洗浄する際には、やはり塗膜は損傷を受けないことが要求される。

以上のことから、耐放射線性塗料の選択の際には、耐放射線性、耐熱水性を重視し、その次に耐汚染性および除染性を考慮したほうが良いと判断される。

このような考え方を基準にした場合、原子力発電所のコンクリート建家のうち、原子炉建家に使用する塗料に対しては耐汚染性、除染性は補助的な指標と考え、耐放射線性および耐熱水性を重視して選択するほうが良いと判断される。また、耐熱水性、耐汚染性および除染性があまり要求されない補機建家などには耐衝撃性、密着性、摩耗性に優れた塗料を選択しても良いのではないかと判断される。

6. まとめ

原子力発電所のコンクリート建家に使用する耐放射線性塗料7種類を供試し、 $1 \times 10^5 \text{R}$ の γ 線照射前後の塗料を放射性物質の $^{137}\text{Cs}^+$ 、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ および $^{144}\text{Ce}^{3+}$ で汚染させた。これら物質を水洗さらに酸洗し、それぞれの場合における除去率を測定し、前者から耐汚染性を、後者から除染性を検討した。その結果、以下のことが判明した。

(1) γ 線照射は耐汚染性および除染性にほとんど悪影響を及ぼさなかった。

(2) 核種に対する耐汚染性および除染性は、一般に $^{137}\text{Cs}^+$ および $^{144}\text{Ce}^{3+}$ で良く、 $^{60}\text{Co}^{2+}$ で悪い傾向が見られた。

(3) 塗料相互間の耐汚染性の順位は除染性の順位と同じ傾向であった。そして、塗料樹脂の種類は耐汚染性および除染性に明らかな差異を与えなかったが、塗膜表面の粗密性は大いに影響していた。

(4) 耐汚染性および除染性と耐放射線性あるいは耐熱水性とのあいだには何ら系統的な関係が見い出せなかった。そこで、原子炉建家用塗料を選択する際の考え方について考察を加えた。

謝辞

本実験を実施するに際し、日本原子力研究所・東海研究所の讃井賢造、川野幸夫、長岡幸男、町田忠司、

加藤清, 古平登の方々に多大の御協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 喜田・住野：原子力発電所のコンクリート建家に使用する耐放射線性塗料に関する性能試験(その1) 大林組技術研究所報 No. 6, 177-181 (1972)
- 2) 喜田・住野：原子力発電所のコンクリート建家に使用する耐放射線性塗料に関する性能試験(その2) 大林組技術研究所報 No. 7, 205-209 (1973)
- 3) 和達・安中：原子力および RI 取扱施設の表面材料—塗料について— RADIOISOTOPES Vol. 17, No. 12, 35-38 (1968)
- 4) 和達・安中：原子力および RI 取扱施設の表面材料— γ 線照射が塗料におよぼす影響— RADIOISOTOPES Vol. 18, No. 8, 317-320 (1969)
- 5) J. A. Ayres (Ed.) : Decontamination of Nuclear Reactors and Equipment. (1970), The Ronald Press Co., N. Y.
- 6) G. A. West, C. D. Watson, ORNA-3589 (1965)
- 7) ADOLPHE CHAPIRO, RADIATION CHEMISTRY OF POLIMERIC SYSTEMS. INTERSCIENCE PUBLISHERERS, N. Y.
- 8) C. D. Watson, G. A. : RADIATION EFFECTS ON PAINTS-EFFECTIVE COATINGS VITAL TO NUCLEAR INDUSTRY—Materials Protection, February, 1967