

TMI原子力発電所事故後処理における 放射線被曝管理

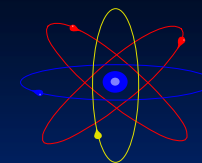
東京大学

2011年11月28日

ロジャー P. ショー, CHP
ショー・パートナーズ社長

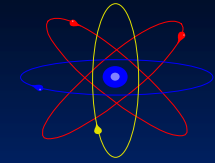


経歴



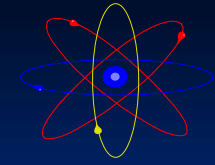
- ・ 元TMI原子力発電所(事故後)放射線管理部長
- ・ 最初のTMI-1号機及び2号機の放射線管理部長
 - ・ 放射線区域での運用、放射線工学、放射線健康管理、放射線計測、放射線被曝測定
- ・ 業務安全及び保健部長

経歴

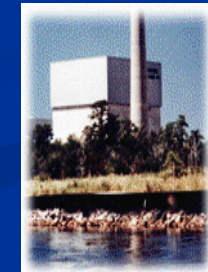


- 1988年から1993年の最後の損傷燃料のDOE アイダホ国立研究所への輸送、及び燃料取り出し後の監視保管の達成までの期間、TMI-2号機の放射線管理プログラムを監督
- 放射線作業のためにTMI-2号機の被害を受けた格納容器(エントリー#66)に最初に立ち入り、原子炉冷却材ポンプ及び加圧器の放射線サーベイを実施 (1983) – 15-20 レム/時 (150-200 ミリシーベルト/時)

経歴

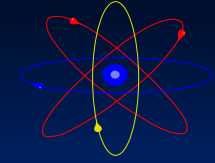


- オイスター・クリーク原子力発電所において放射線管理及び業務安全プログラムの部長
(1993-1997)



- BWR-2 商業運転 1969
～ 福島第一原子力発電所1-4号機の「姉妹」プラント

TMI-2号機



- 加圧水型炉 (PWR)
- 原子力蒸気供給系: バブコック & ウィルコックス (B&W) – 880 MWe
- 設計: Burns & Roe and Gilbert
- 建設者: United Engineers and Constructors
- 初臨界: 1978年3月28日
- 商業運転: 1978年10月30日
- 事故発生: 1979年3月28日
- 全出力換算日数 (EFPD) – <100 !

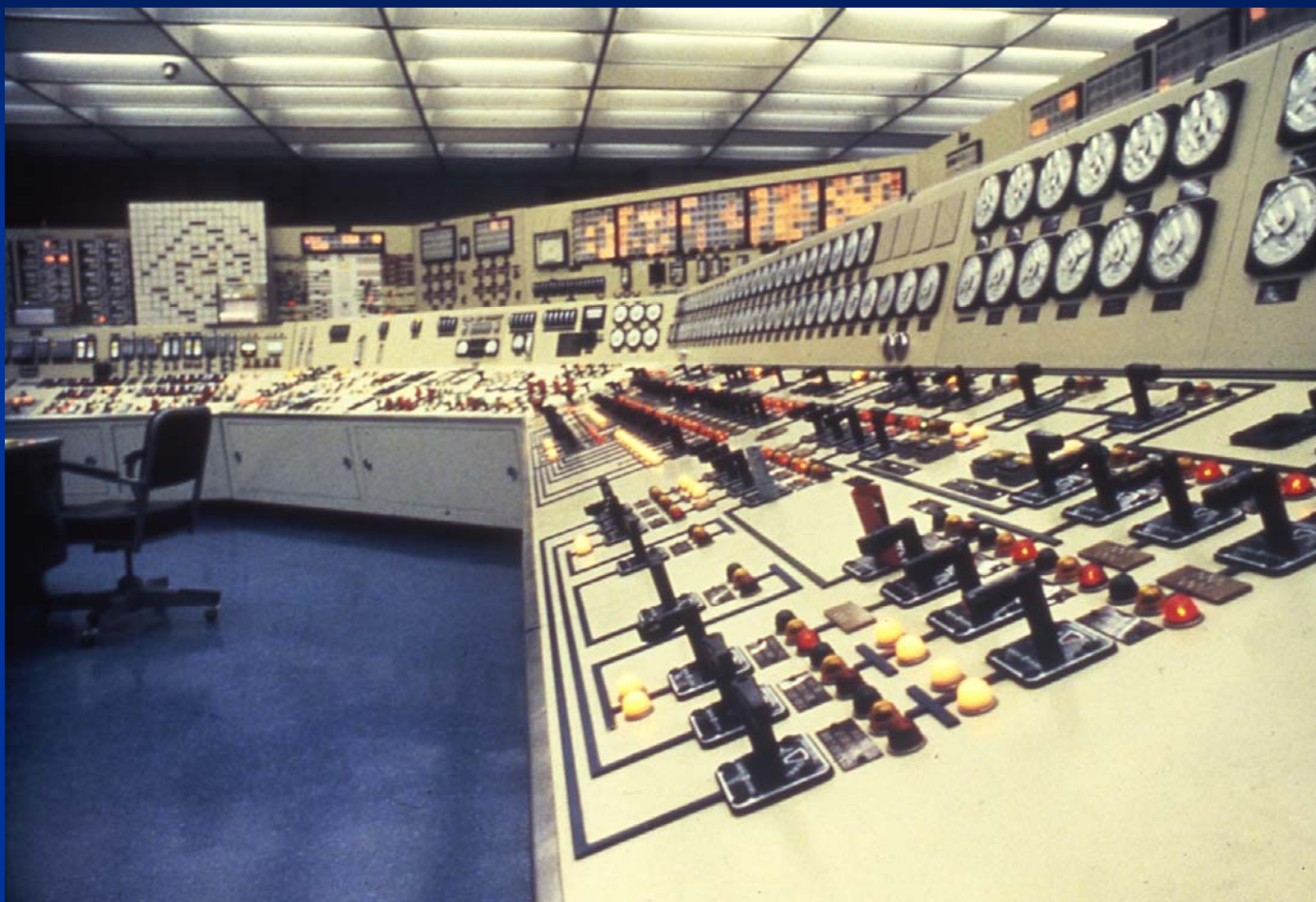


TMI-1号機及び2号機

TMI原子力発電所 - 配置



TMI-2 号機制御室

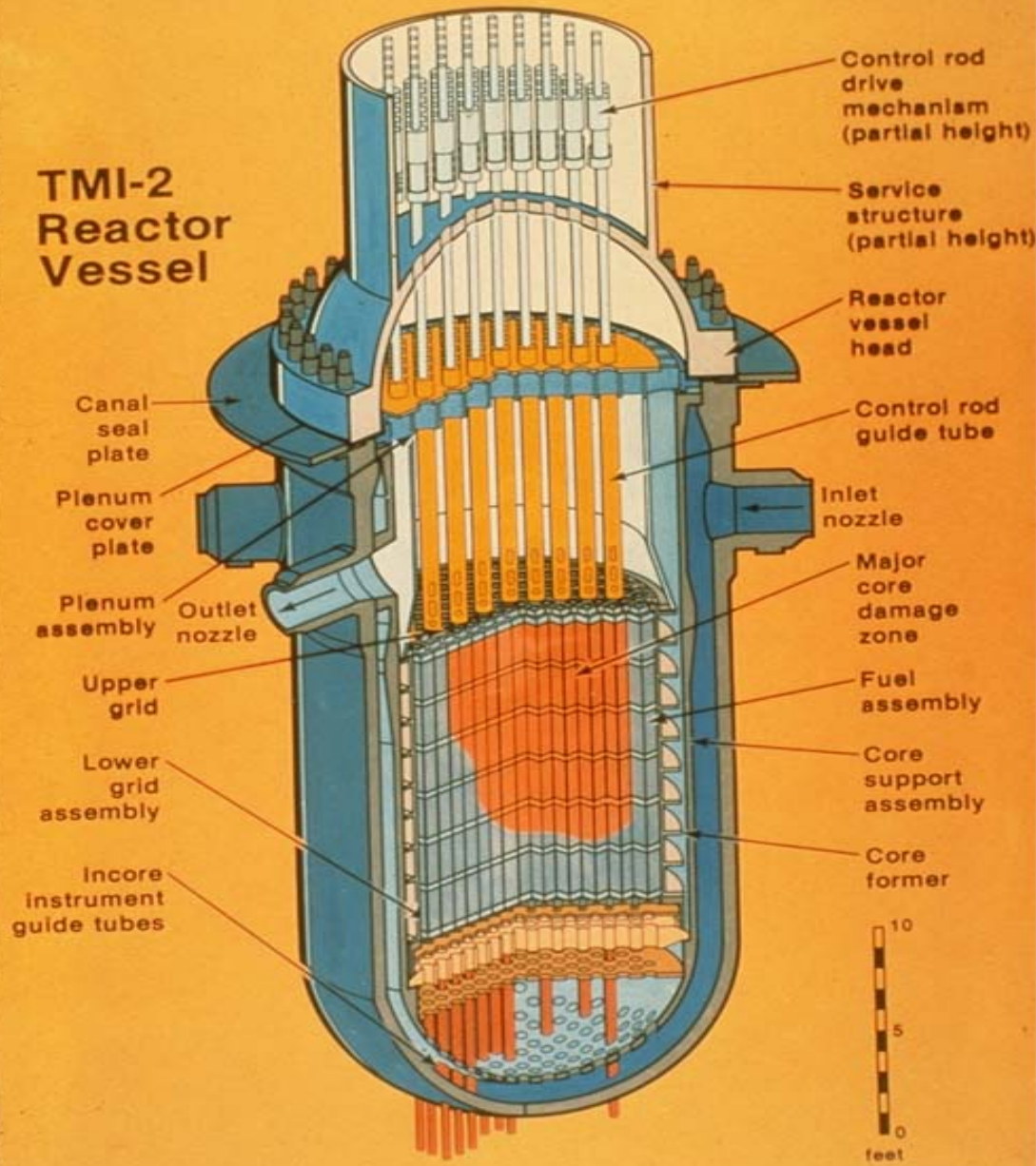


サイトの訓連用シミュレータ- 現状と異なる

TMI-2号機 事故の履歴

- 1979年3月28日 – 32 年前
- 1979年3月16日 映画“チャイナシンドローム”TMI原子力発電所周辺の映画館で公開
- 1980年7月23日 –原子炉建屋への最初の立ち入り
- 1984年7月 –原子炉容器上蓋取り外し
- 1985年10月 – 燃料取り出し開始
- 1986年7月 – 炉心デブリの所外への輸送開始
- 1990 年1月– 燃料取り出し完了
- 1993年12月28日 -NRCによりPDMS(燃料撤去後監視下貯蔵)承認
- アイダホ国立研究所で燃料を乾式貯蔵

TMI-2 Reactor Vessel

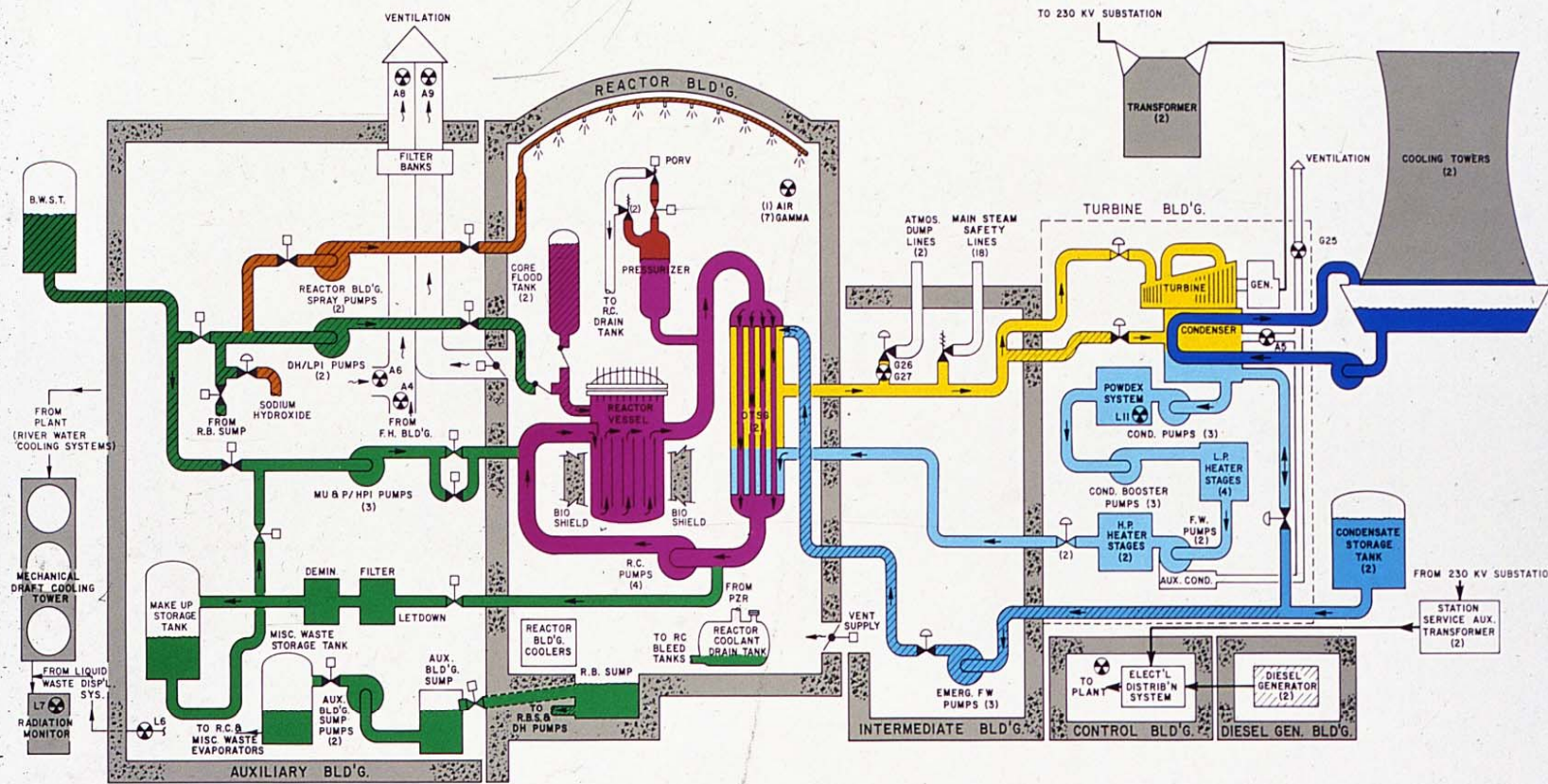


TMI-2号機と福島第一事故の主要点








- 明らかな違い – PWRと BWR
- 事故は単一ユニットと複数ユニット
- 格納容器が健全であった
- 原子炉容器に破損なし
- 補助建屋を経由して放射性物質の流出 (Kr-85以外)
- 使用済み燃料プール - 損傷なく、影響を及ぼさない
- サイトの被害なし (炉心損傷を除く)
- 水素は‘燃焼’したが、水素爆発はなし
- 全交流電源喪失はなく、所外電力も喪失せず
- 大規模な所外への汚染なし
- 一般公衆への緊急避難の命令はなし



タービン建屋は損傷なし(この図はTMI-1号機)



LEGEND

-  - PUMP
-  - RADIATION MONITOR
-  - RELIEF VALVE
-  - MOTOR OPERATED VALVE
-  - AIR OPERATED VALVE
-  - CHECK VALVE
-  - SYSTEMS ON AUTO STANDBY
- BWST - BORATED WATER STORAGE TANK
- R.C. - REACTOR COOLANT
- R.B. - REACTOR BUILDING
- F.W. - FEEDWATER
- AOV - AIR OPERATED VALVE
- CV - CHECK VALVE
- AS - SYSTEMS ON AUTO STANDBY

GPU Nuclear

TMI-1 SYSTEMS

PREPARED BY GPU NUCLEAR CORPORATION
COMMUNICATIONS DIVISION

称賛すべきリーダーシップ

- 強固な安全文化 – NRCが要求する以前
- 強固な上級管理者のリーダーシップ
- 社長/副社長はリコーバ提督(米国原子力海軍の父)の下で業務に従事
- 複数の原子力海軍の将校が取締役として業務に従事
- 長期間 – >20人の NRC検査官が所内に駐在
- ペンシルベニア州の監視
- 当初の不手際に対して改善された地域への支援
 - 不適切に妊娠中絶が推奨されたため、その後地域の医師への教育実施
 - ホールボディカウンタによる測定を一般公衆に実施



優れた放射線管理

- 強固な作業管理
- 優秀なスタッフ
- 上級管理職の最優先事項
 - 放射線防護の方針
 - 放射線防護の計画
 - 放射線管理の手順 – 一語一語に対する遵守
 - ALARA 委員会
 - モックアップ
 - 高度な放射線管理作業者の訓練
 - 放射線技術者レベルでの業務権限は停止
 - 作業前後の説明
- 優秀であることに情熱を注ぐ

放射線管理の革新

- デジタル線量計 (DRD)
- 呼吸する範囲 (襟)の空気サンプラー
- 駆動式空気純化人工呼吸器 (PAPR)
- 全身汚染モニター
- 作業者の冷却のためのアイスベスト及びボルテックススーツ
- 高温区域への立ち入りの場合の水分補給
- 原子炉建屋入口での作業員保護装備 (PPE) 着脱の完全支援-救護要員
- 照射レベルに階層が有るため必要な場所で多重線量計パック (線量計10個まで) を使用
- 原子炉建屋立ち入りのための指令及び管理室

除染及び廃止措置の技術計画(1980年12月)の概要

TMI-2号機の除染と燃料取り出し計画の主な目的:

- 原子炉を安全な状態に維持する
- プラントの除染
- 飛散した核分裂生成物の処理と固定化
- 炉心の除去及び処理、それを公衆の健康と安全を最大限確保して実施

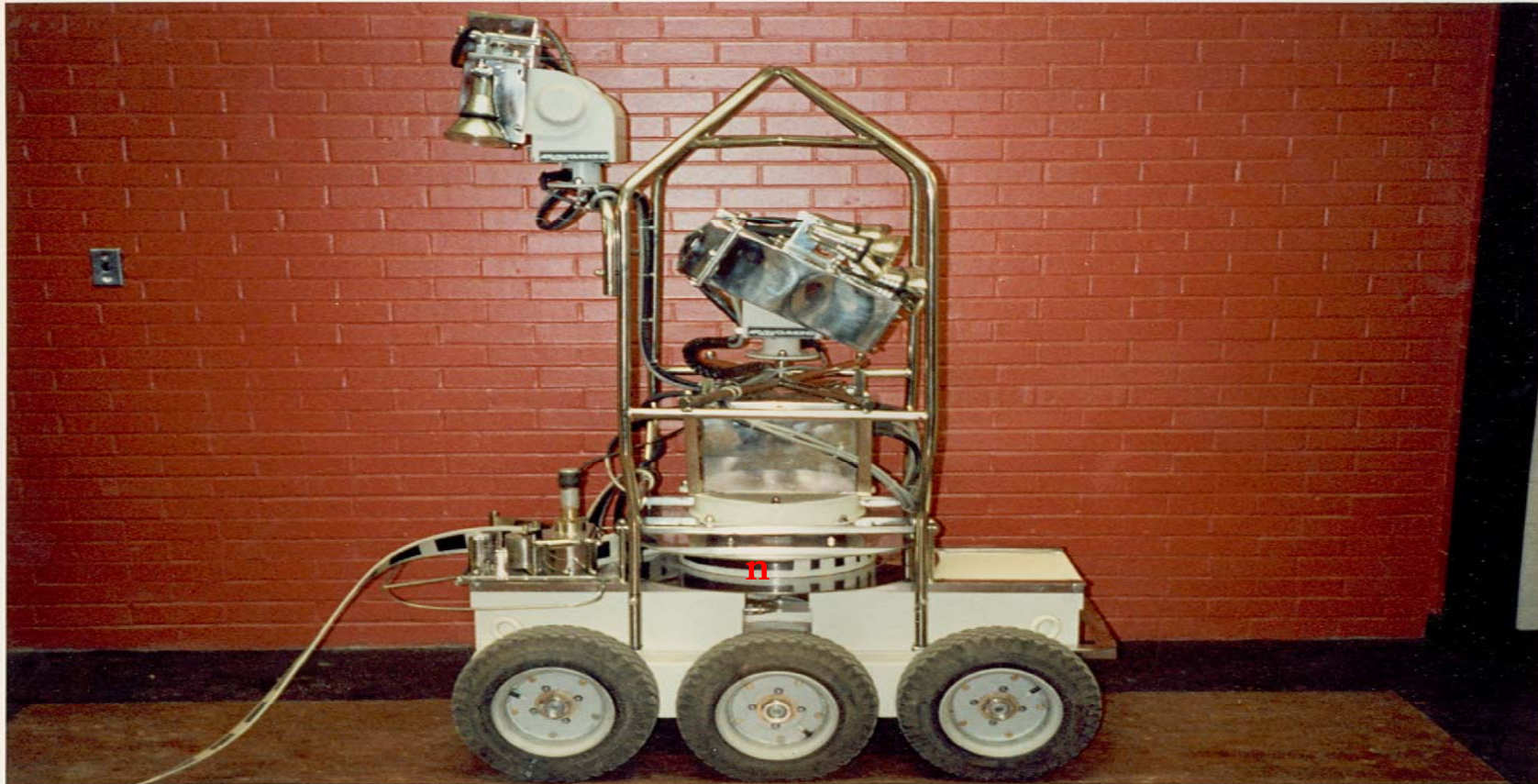
TMI-2号機PDMS（燃料撤去後監視下貯蔵）

要件

- 残留している損傷燃料が<1%
- 液体及び空中浮遊物の流出の可能性がないこと
原子炉建屋 – 受動換気システムを持った“ブリーザー”システム – 大気圧で維持)
浸入/流出地下水に対する液体サンプリング
- 火災による被害の可能性がないこと
- すべての事故で発生した液体 (AGW) が処理されていること
- 長期の放射線監視プログラムが整備されていること
- 第三者預託での廃止措置基金
- 2号機は1号機と同時に廃止措置を行う
- その他

回復及び燃料取り出し事項

- 幅広いエンジニアリングの活用
- 幅広い放射線管理への挑戦
- 以前実施されなかった作業の実施
- 燃料及び原子炉インターナルのプラズマアークによる切断
- 延長操作器具の使用
- 特別設計の機器
- 事業者の指導下で必要とされる特別な契約者
- ロボットの活用



T.M.I. Rover

Designed for Use at Three Mile Island Nuclear Power Plant, Pittsburgh, Pennsylvania – Standard's six wheel, 570 lb. undercarriage was developed for use in contaminated areas for initial surveillance as part of the radioactive waste cleanup program for the power plant. The undercarriage measures 50" long x 29" wide x 19" high and operates electrically by remote control.



ロボットビデオ

除染及び廃止措置 のカテゴリー (米国)

DECON (除染Decontamination)

SAFSTOR (安全貯蔵Safe Storage) – TMI-2
PDMS – 本質的に SAFSTORの要件を満足して
いる

ENTOMB

クリーンアップでの被曝予測

全積算作業員被曝

最小-2000人-レム (20,000 人 - ミリシーベルト)*

最大-8000 人-レム (80,000 人 - ミリシーベルト)*

他の予測 - >20,000 人-レム (>200,000 人 - ミリシーベルト)

*NUREG-0683 - 予測 (1981)

主要なPDMS 活動

TMI-2 WORKER DOSE FOR MAJOR ACTIVITIES

1986 - 1989

<u>ACTIVITY</u>	<u>PERSON-REM</u>
Defueling Operations (reactor vessel only)	698
Defueling Support (tool repairs, water cleanup)	1058
Reactor Building Miscellaneous (robotics, crane ops, radwaste, etc.)	765
Decontamination (outside the reactor building)	424
Routine Operations (ops, chemistry, rad con outside reactor building)	277
Ex-Vessel Defueling (pressurizer, OTSG, etc.)	216
TOTAL	3438

積算の作業員被曝

*PDMSに至るまで(1979-1993)の
予測全被曝量*

~6600 人-レム (66,000 ミリシーベルト)

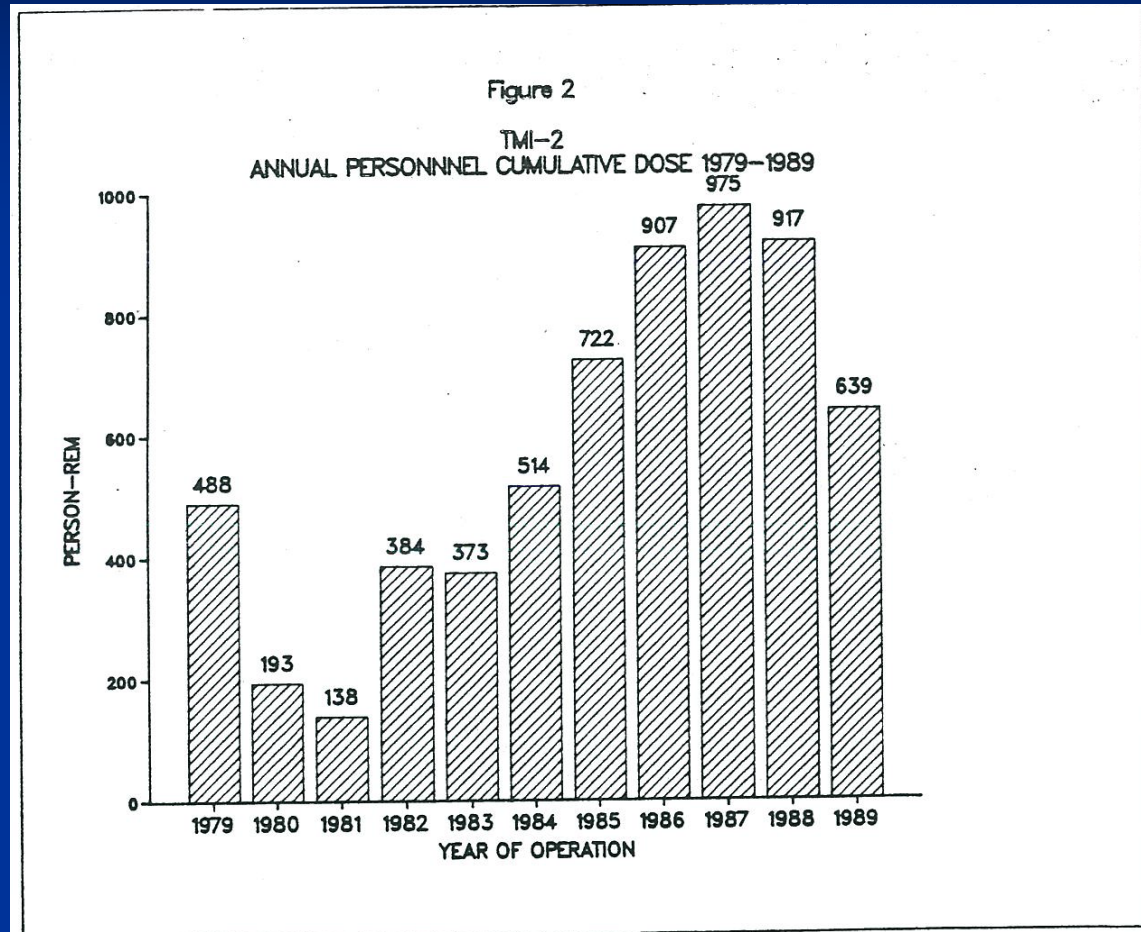
- ~62,500 人-ミリシーベルト*
- ~3,500 人-ミリシーベルト**

*GPU Nuclear TMI-2 Annual Dose Report

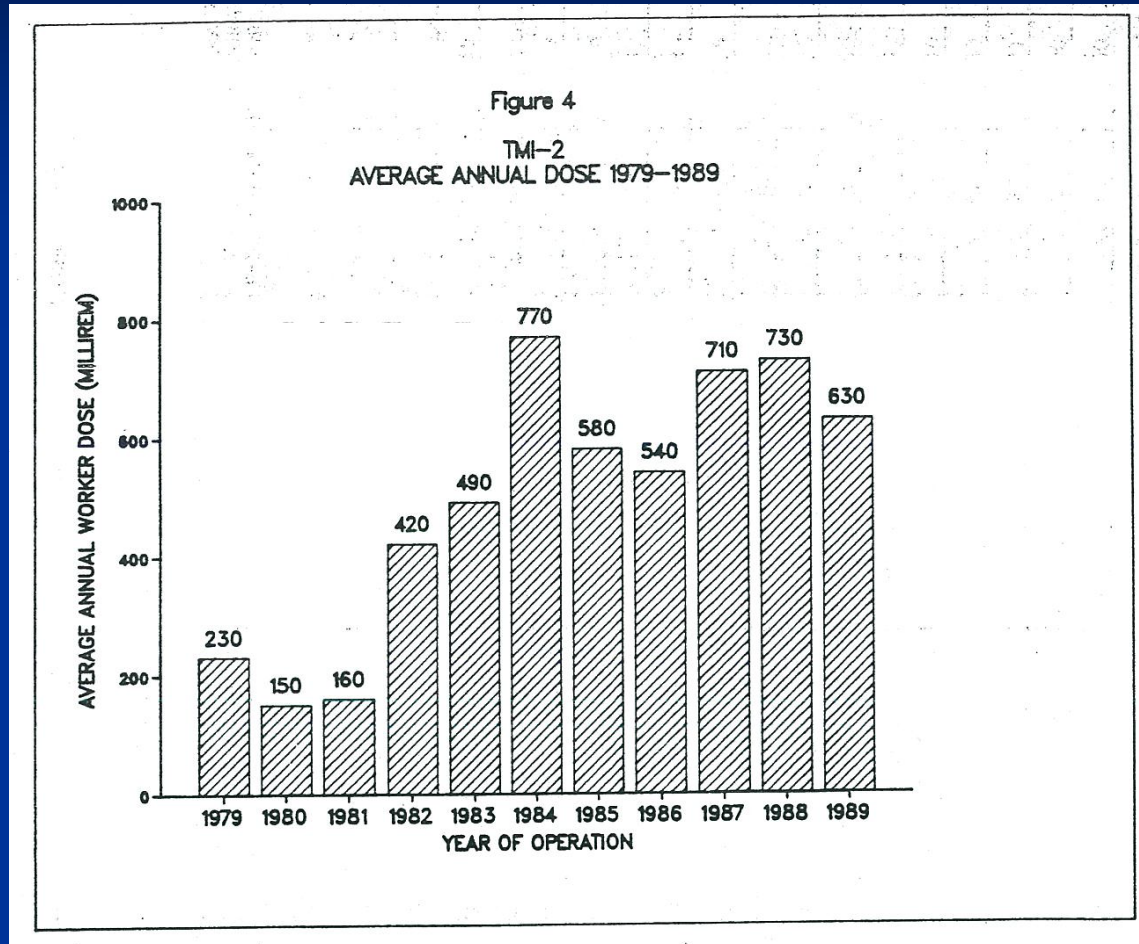
**USNRC NUREG-0713

注: TLD と自己読み取り線量計のデータ

年度ごとの積算被曝量



年度ごとの作業員被曝の平均値



1989年までの積算の作業員被曝

TABLE 5

LIFETIME OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE FOR TMI-2 WORKERS*

<u>LIFETIME DOSE RANGE (millirem)</u>	<u>PERCENTAGE OF TMI-2 WORKERS</u>
Less than 1000	35
1000-3000	11
3000-5000	12
5000-10,000	21
10,000-20,000	17
Greater than 20,000	4
TOTAL	100

* Lifetime exposures include occupational doses received at TMI-2 and all other facilities where persons have worked.

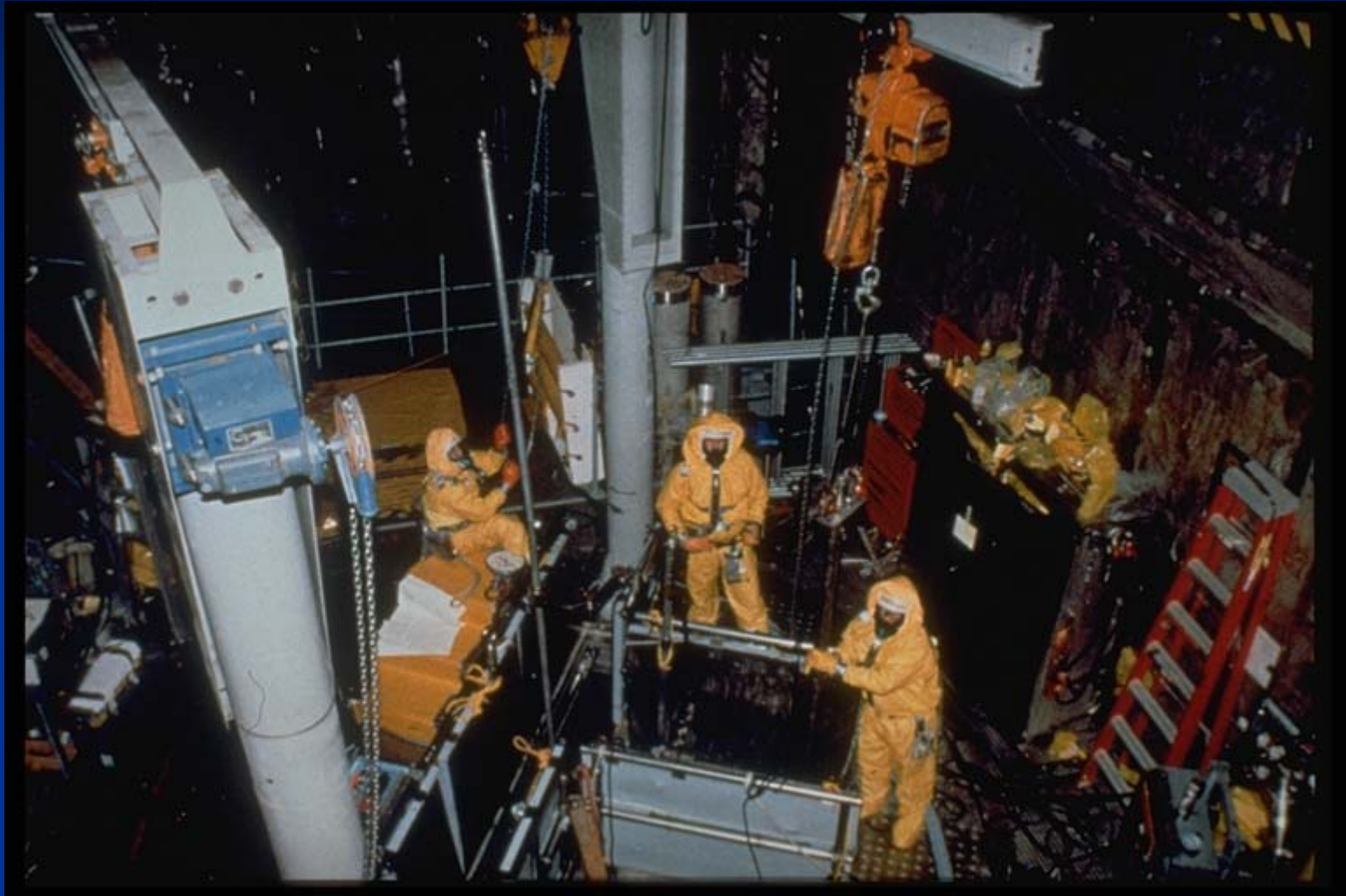
TMI-2号機作業員の過剰被曝

- 初期の事故対応で12の例
- TMI-1号機の事故後サンプルからの全身被曝
4.1レム(41ミリシーベルト) 2 作業員
3.9レム(39ミリシーベルト) 1 作業員
- 1986年に追加の1名 – 燃料の塊の取り扱い
- 深刻な傷害はない
- 各作業員は健康診断を受けた
- 内部被曝は一般に低い – 過剰被曝はなし
- 離散放射性粒子による過剰被曝はない (DRPs 又は “ホットパーティクル”)
- 全過剰照射 = 13

TMI-2号機 作業員過剰被曝

- 全身被曝 (TMI-1号機事故後サンプルから)
 - 4.1レム (41ミリシーベルト) 2例
 - 3.9レム (39ミリシーベルト) 1例
- 皮膚
 - 部分的に 12,000 – 166,000 ミリレム (120-1660 ミリシーベルト) 9例
- 四肢
 - 20,000 ~ 64,000 ミリレム (200-640 ミリシーベルト) 2例
 - 58,000 ミリレム (580 ミリシーベルト) 手のひら (1986)の1例

注:1986年の燃料取り扱い時の被曝以外は事故の数日後までに発生したもの



原子炉容器上部での遠隔燃料取り出し



遠隔遮へい回転式作業台



作業台での作業員保護装備



ENTRY 355-5



作業員の保護装備が重要な役割を演じた

原子炉建屋入り口エアロック





原子炉容器の微生物による濁りの問題

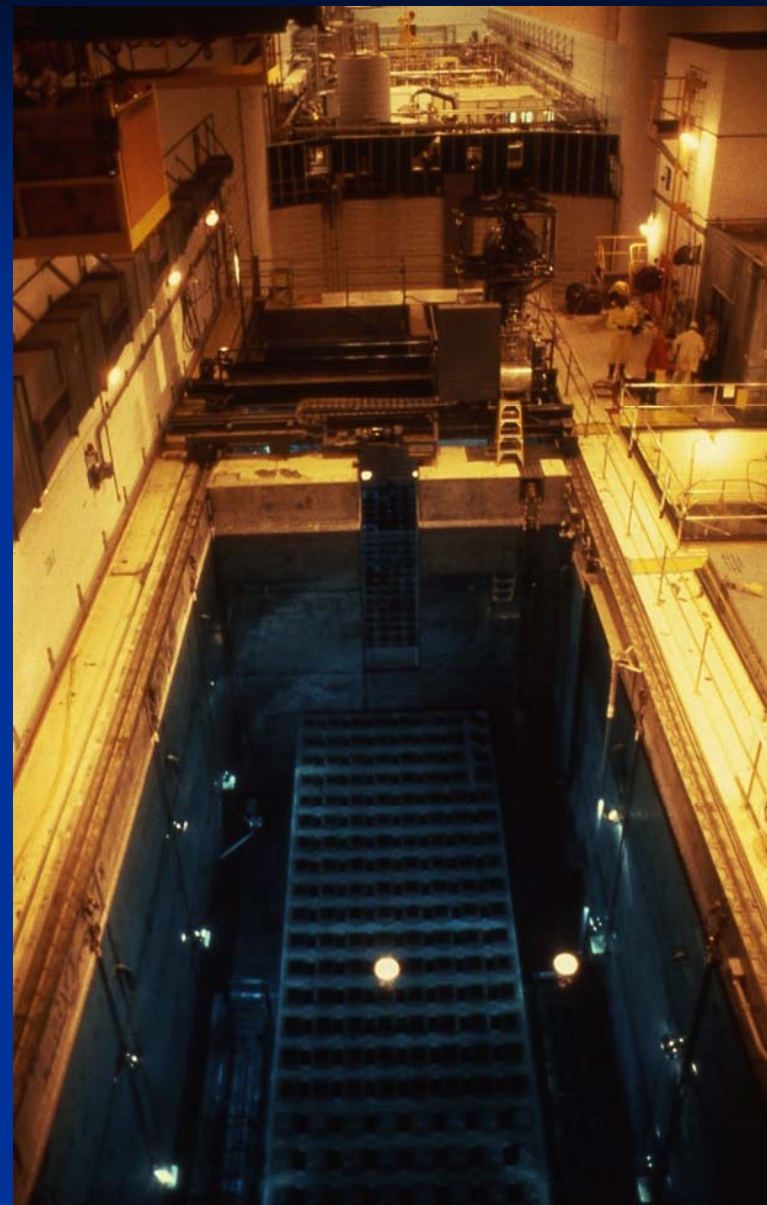


原子炉容器の微生物による濁りの問題

両ユニットの使用済み 燃料プール

写真の下部が
TMI-1号機

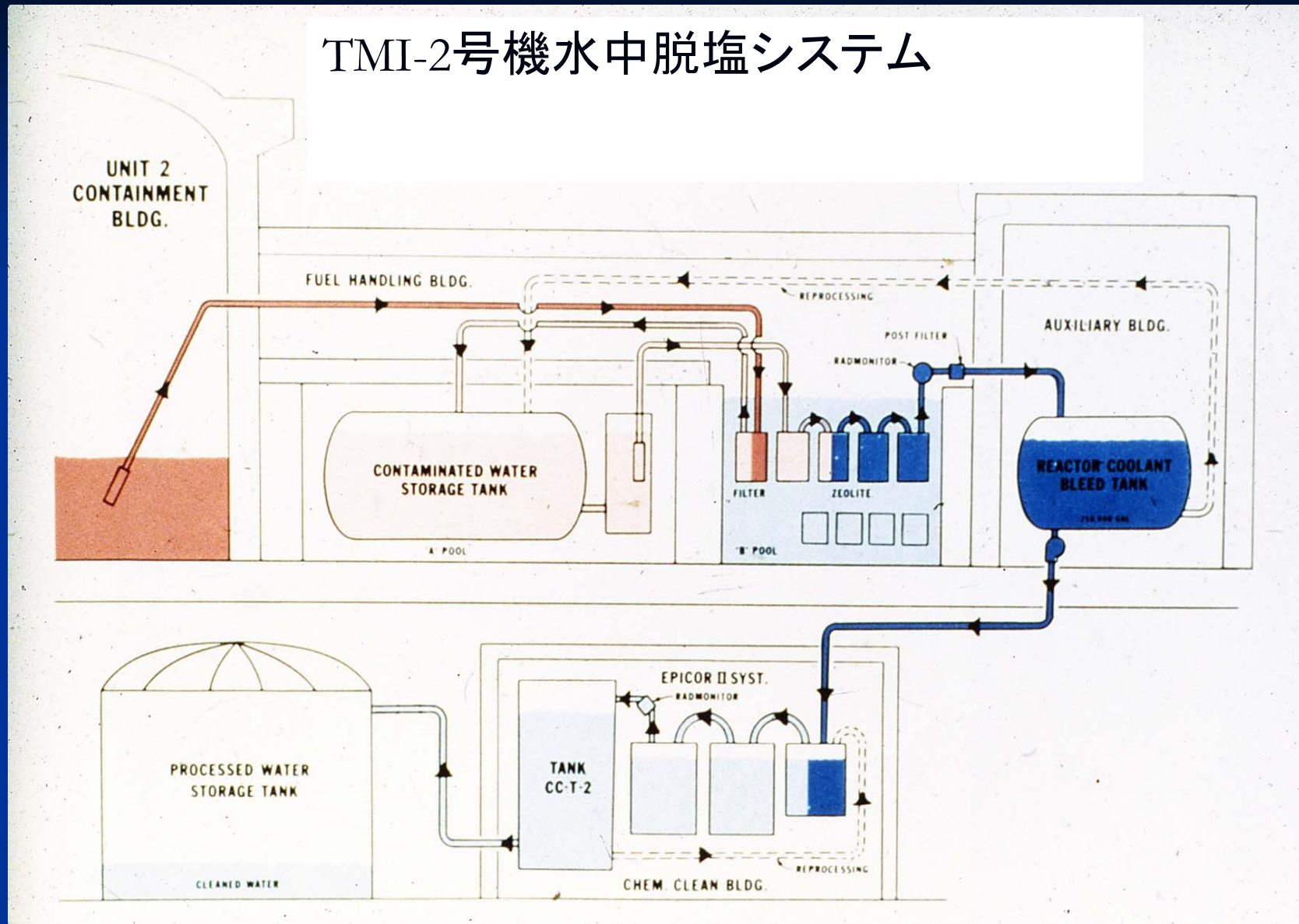
写真の上部が
水中脱塩システムを
設置したTMI-2号機

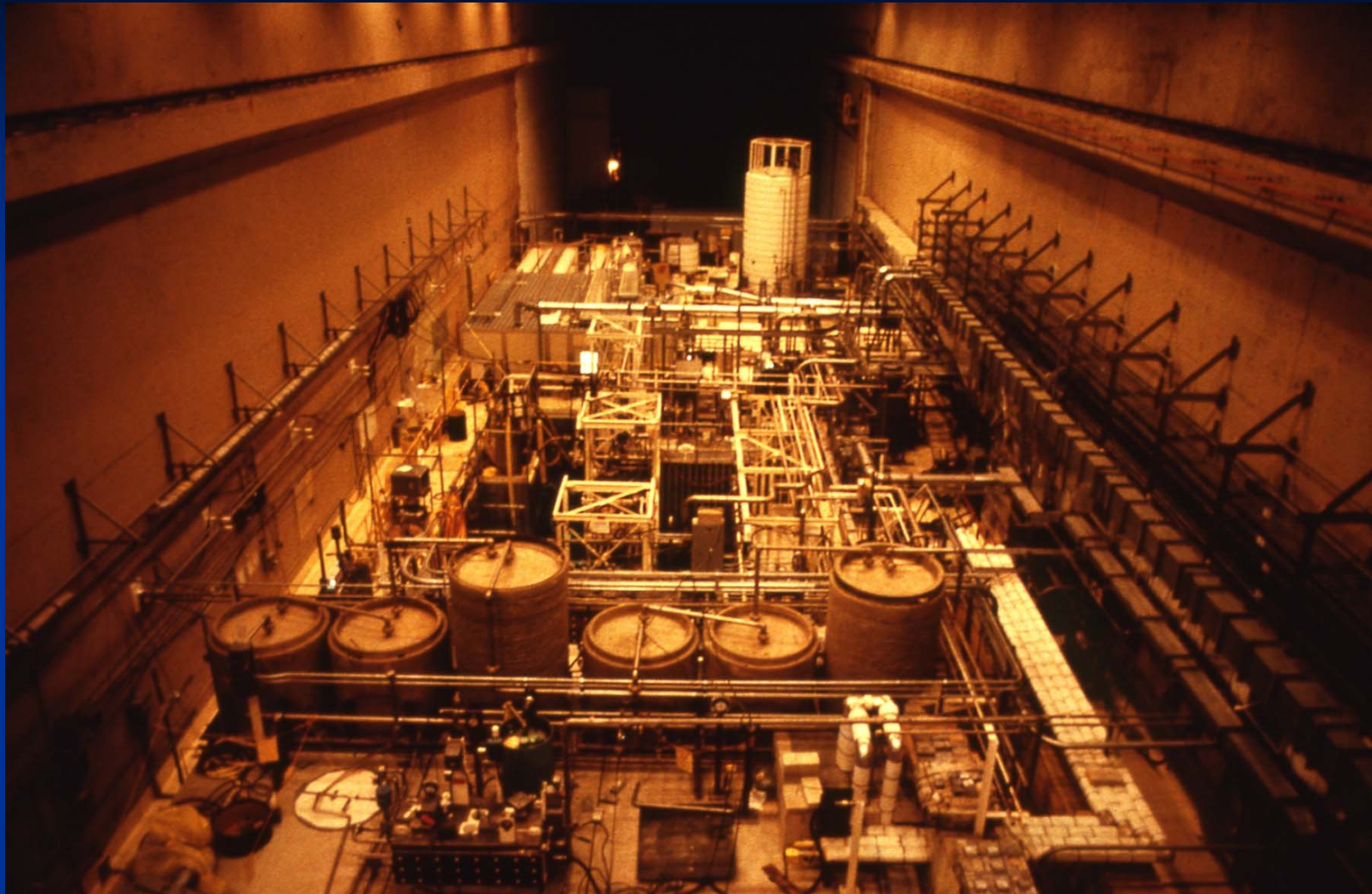


TMI-2号機事故で発生した水 (AGW)

- 訴訟に基づく命令のもとで決められ、管理された
- サスケハンナ川からの下流の飲料水
- 蒸発器を設置し1991年1月より稼動 (1000万ドル)
- 所外の最大個人被曝 ~ 蒸発器から0.001 ミリシーベルト ~ 100万ガロン 1000 キュリー H-3 (37 テラベクレル)
- 空中浮遊物及び水からの被曝 ~ 蒸発器なしの場合と同じ
新しい病院建設は却下された

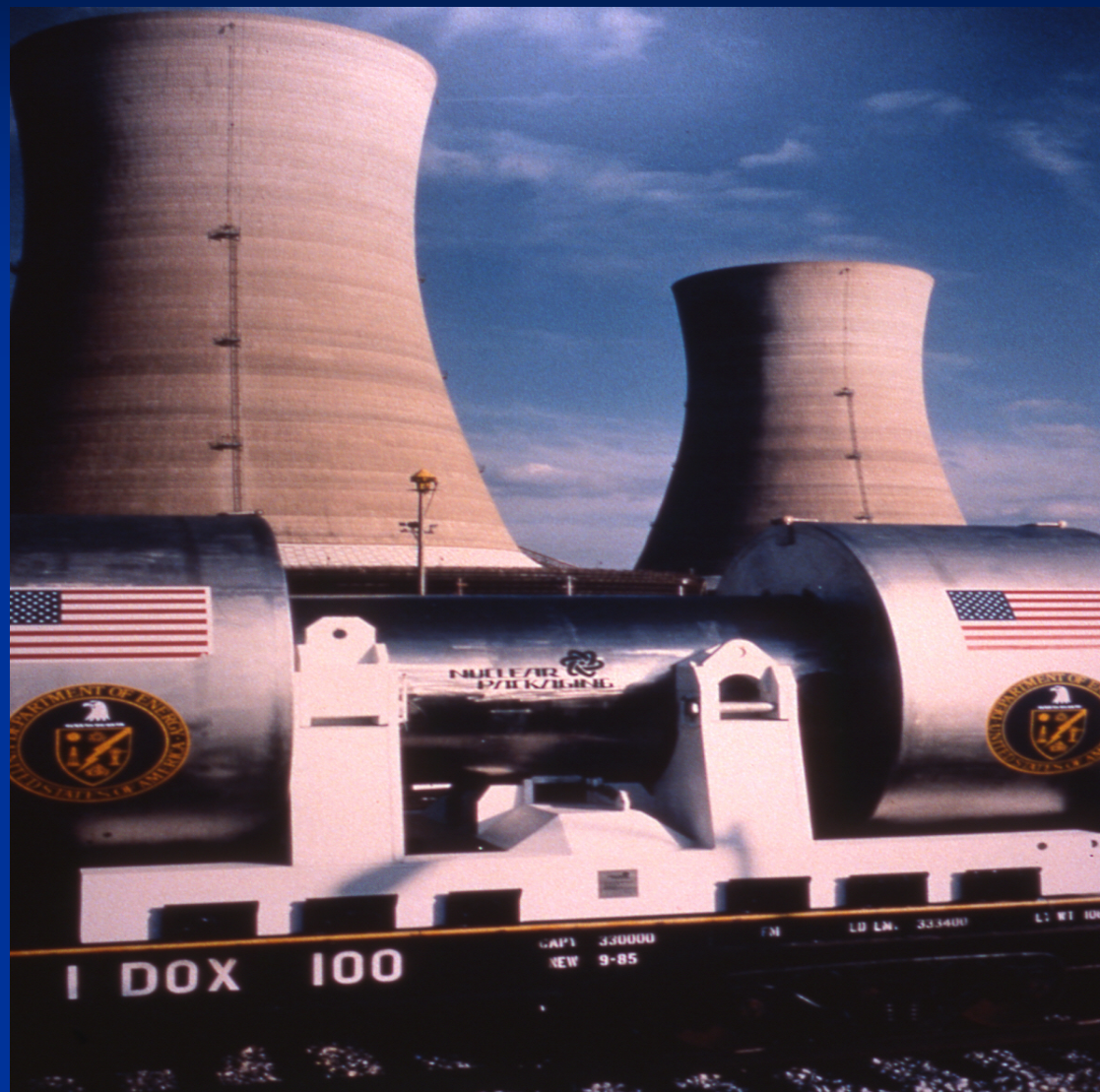
TMI-2号機水中脱塩システム

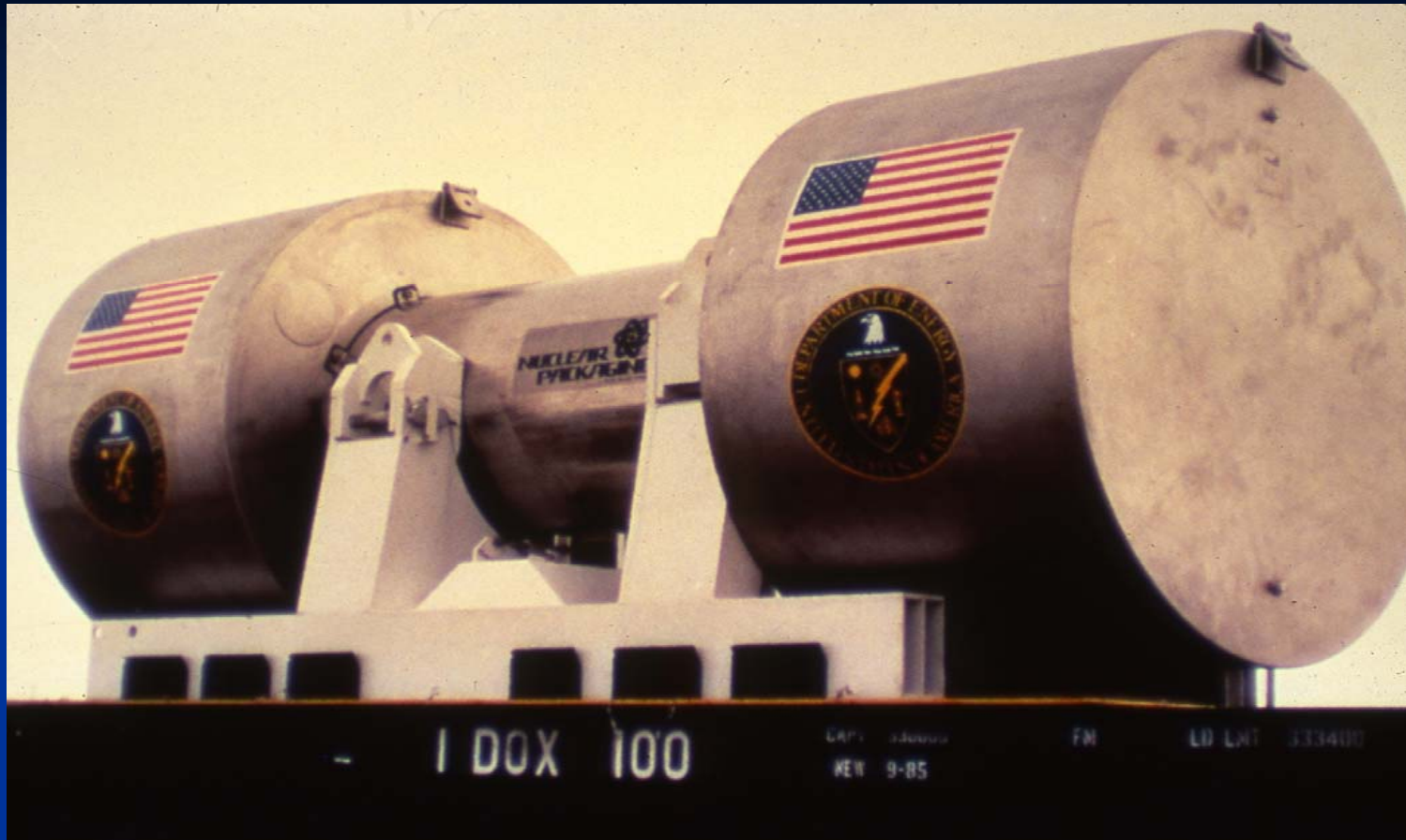




TMI-2号機使用済み燃料プール水中脱塩システム

運輸省は使用済み燃料の鉄道輸送を許可





主要参考文献

NUREG-0683, Vol. 1 and 2 (“PEIS”)

Final Programmatic Impact Statement
Related to decontamination and disposal of
radioactive wastes resulting from March 28, 1979,
accident

Three Mile Island Nuclear Station, Unit 2
Docket No. 50-320

Metropolitan Edison Company
Jersey Central Power & Light Company
Pennsylvania Electric Company

U.S. Regulatory Commission
Office of Nuclear Reactor Regulation
March 1981

Key References

Penn State University Library

Three Mile Island 2 (TMI-2) Recovery and Decontamination Collection

<http://www.libraries.psu.edu/psul/eng/tmi.html>

The Pennsylvania State University Libraries have acquired several thousand of the videotapes, reports, and photographs that were generated during the 1979-1990 cleanup and recovery of the Three Mile Island 2 (TMI-2) nuclear reactor. All of the materials are available for public use, and the contents of the videotape and report collections are searchable through two separate databases that are available on this web site.

6月16日の会議で5名の日本の国会議員に示した主要なポイント

- 単純な結論として福島第一の事故はTMI-2号機のものの3-4倍深刻である
- TMIの8-12倍の脅威があるかもしれない、状況が異なる
- TMI-2号機では大規模のプラント損傷はなかった
- 原子炉容器の貫通はなかった
- 作業は膨大で信じがたい努力と協力を要する
- 最善の知性と才能を持って国内及び国際レベルの努力が必要である

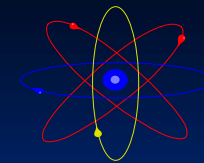
6月16日の会議で5名の日本の国会議員に示した主要なポイント

- 大きなホットスポットが存在する(プラント全体に)
- 燃料の破片 (高放射能) - >10,000 ミリシーベルト/時
- 離散放射性粒子- 燃料, 核分裂生成物及び放射化生成物)
- 離散放射性粒子 'DRP'は目に見えず、帯電によってノミのように動く
- プルトニウム (強い公衆の反発が予測される)
- トリチウム- 放射能を持つ '水' - 粒子のように除去できない (流出の問題がある)

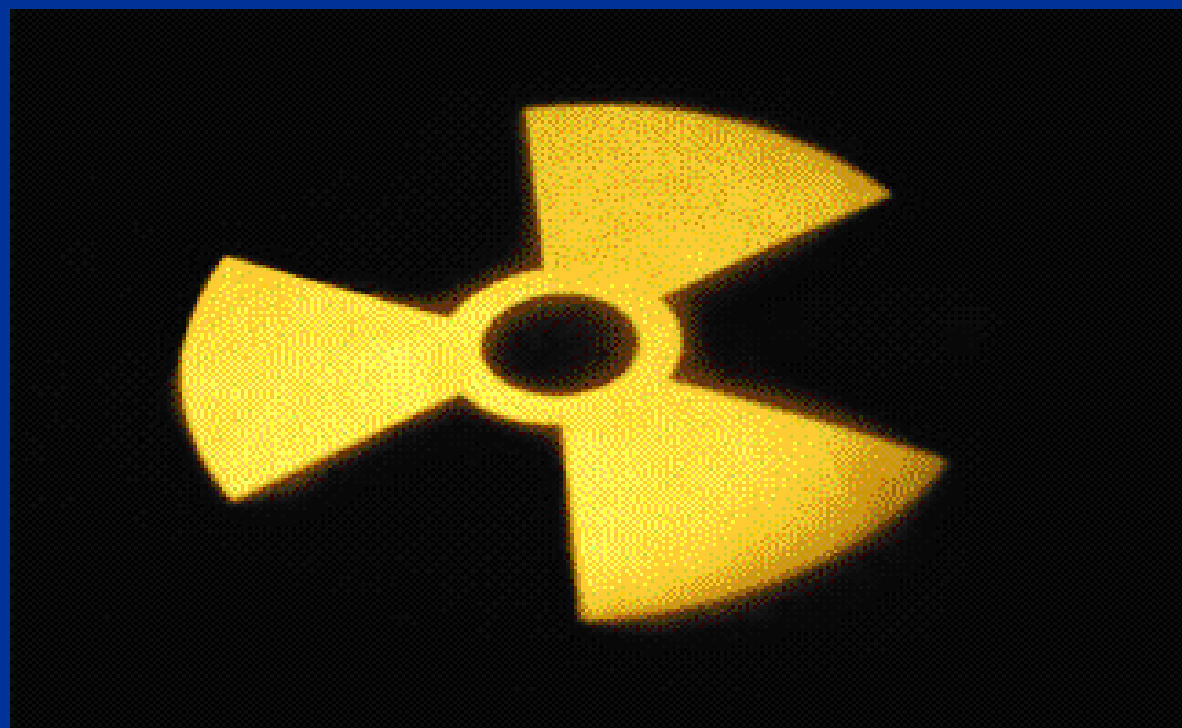
6月16日の会議で5名の日本の国会議員に示した主要なポイント

- 福島第一原子力発電所の各ユニットを包含する航空機タイプの吊り下げ構造物を設置する
- 放射線下での作業員の被曝限度として100ミリシーベルト/5年というような規制の変更が必要になるかもしれない
- 95%までの除去には50000-100000の訓練された放射線下での作業員が必要
- 放射性廃棄物処理及び体積の削減が必須
- 世界中の原子力発電所は15メートルの津波及びマグニチュード9.0の地震を経験したことはない

そして...



有難うございます



CONTINGENCY SLIDES

Recommended Dose Limits ICRP

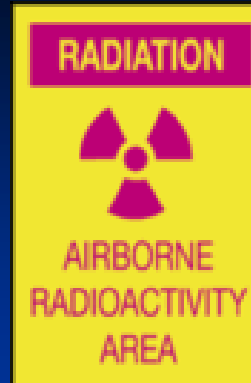
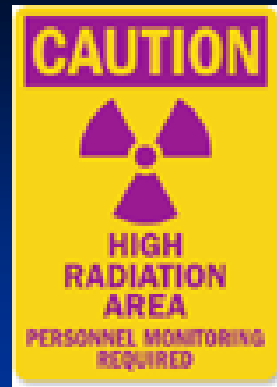
2005

- **Effective Dose Equivalent (EDE)** 2*rem/yr
- **No Cumulative**
- **Lens of Eye Equivalent Dose (ED)** 15 rem/yr
- **Skin (ED)** 50 rem/yr
- **Hands and Feet (ED)** 50 rem/yr
- **Intake of Radionuclides (CED)** 2 rem/yr
- **Fetus (gestation**) (ED)** 0.1 rem
- **Public Exposure (ED)** 0.1 rem/yr

*averaged over defined periods of 5 years

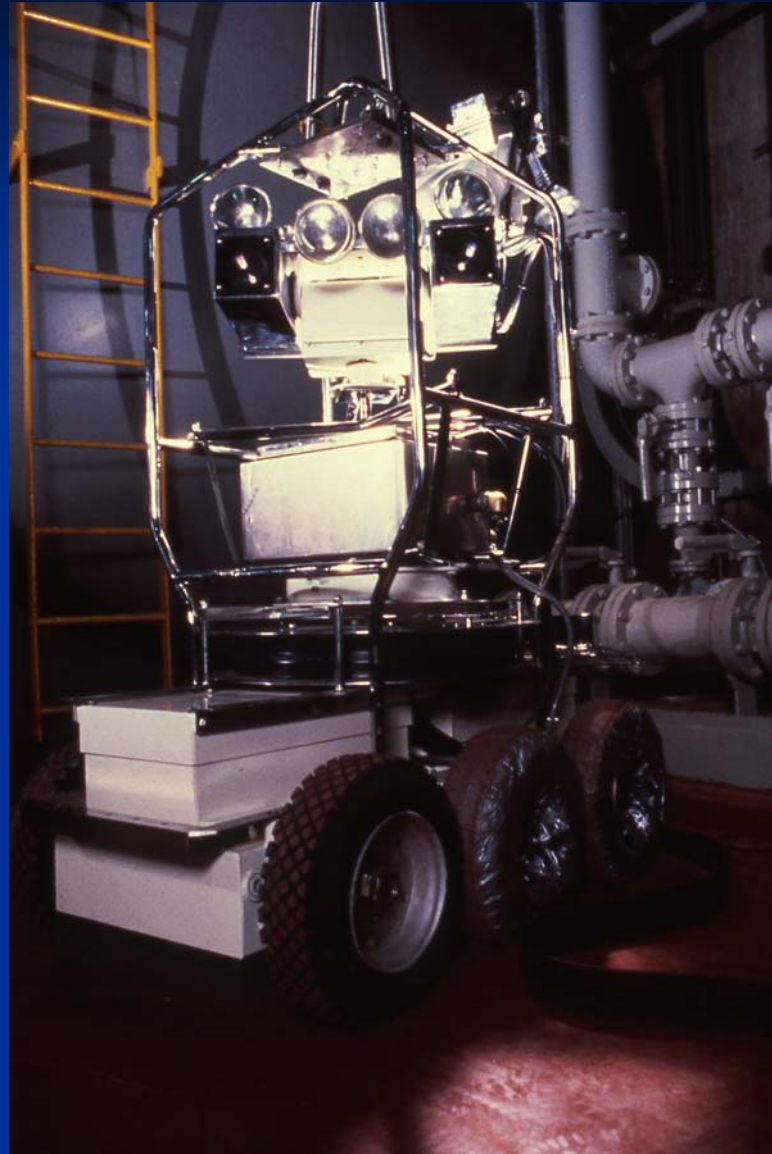
** (remainder of pregnancy)

ICRP 2005 lists SI units



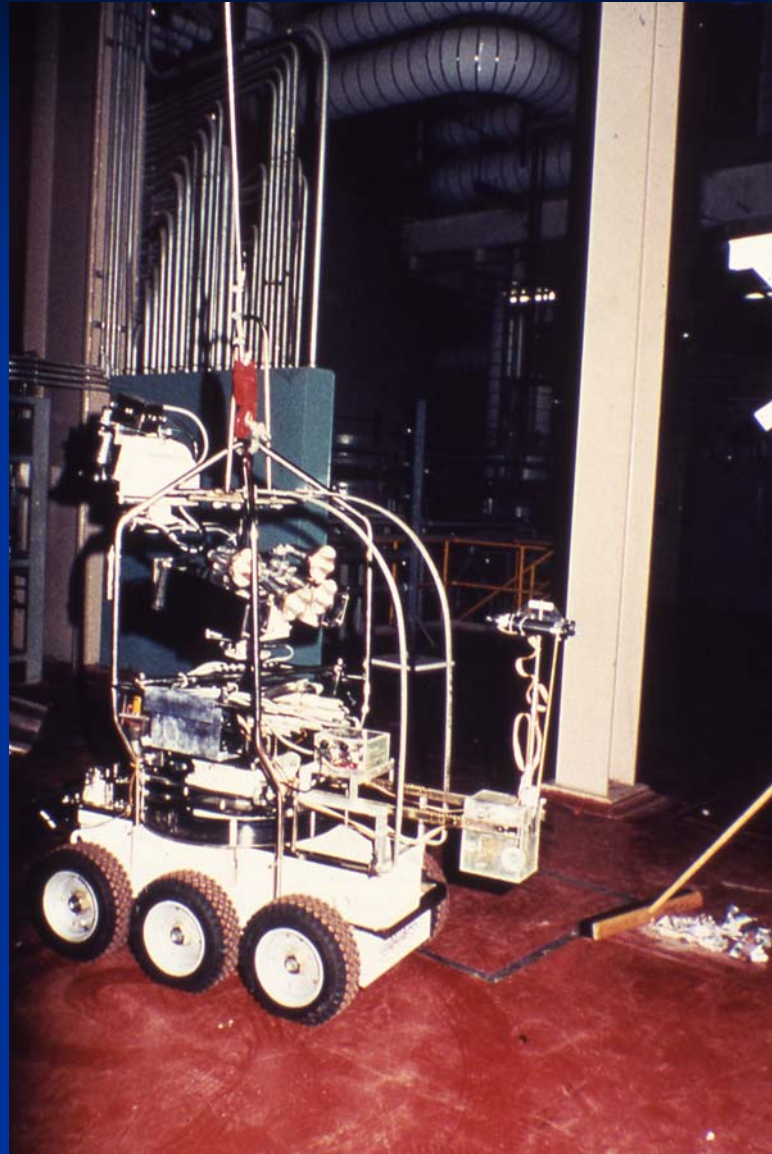


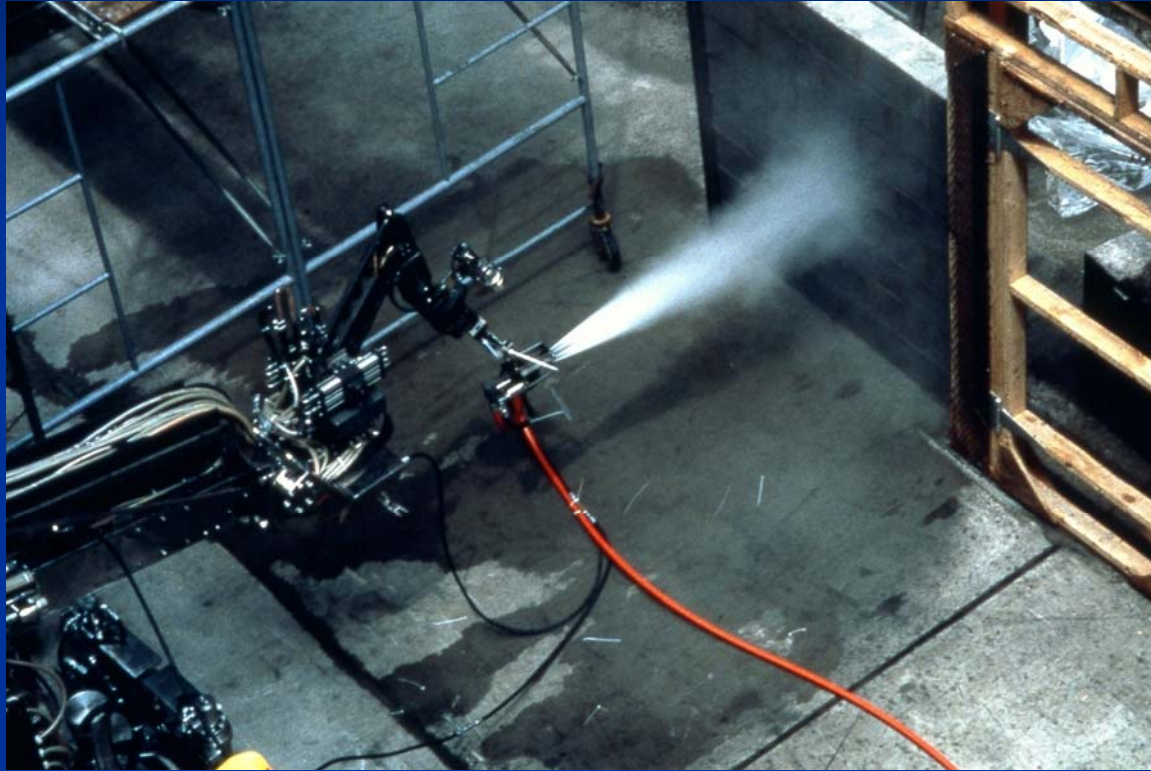
ENTRY 352-11





5-85 LOUIE - 23





D&D Categories

DECON (Decontamination). In DECON, all components and structures that are radioactive are cleaned or dismantled, packaged, and shipped to a low-level waste disposal site, or they are stored temporarily on site. Once this task—which takes five or more years—is completed and the NRC terminates the plant's license, that portion of the site can be reused for other purposes.

SAFSTOR (Safe Storage). In SAFSTOR, the nuclear plant is kept intact and placed in protective storage for up to 60 years. This method, which involves locking that part of the plant containing radioactive materials and monitoring it with an on-site security force, uses time as a decontaminating agent by allowing the radioactive components to decay to stable elements. If a plant is allowed to sit idle for 30 years, for example, the radioactivity from cobalt-60 will be reduced to 1/50th of its original level; after 50 years, the radioactivity will be about 1/1,000th of its original level. Once radioactivity has decayed to lower levels, the unit is taken apart, similar to DECON.

ENTOMB. This option involves encasing radioactive structures, systems and components in a long-lived substance, such as concrete. The encased plant would be appropriately maintained, and surveillance would continue until the radioactivity decays to a level that permits termination of the plant's license, with little or no additional decontamination.

Dose Limits 10CFR20 (Pre-1993)

- Whole body 1.25 rem/qtr
- Eye (included in WB)
- Skin 7.5 rem/qtr
- Extremity 18.75 rem/qtr
- Organ (internal) 520 MPC-hrs/qtr
- Planned Special Exposure NA
- Embryo/Fetus NA
- Member of Public 0.5 rem/yr

Rem x 10 = mSv

Dose Limits 10CFR20 (Pre-1993)

- Whole body 3 rem/qtr*
 - 12 rem/yr
- Organ (internal dose) 520 MPC-hrs/qtr
 - An internal whole body dose of up to 5 rem/yr was allowed (MPC now DAC)

*With a signed Form 4 *and* lifetime dose < 5 (N-18) rem

$$\text{Rem} \times 10 = \text{mSv}$$

Dose Limits 10CFR20 (Post-1993)

- 'Whole body' 5 rem/yr **TEDE***
- Eye 15 rem/yr **LDE**
- Skin 50 rem/yr **SDE-WB**
- Extremity 50 rem/yr **SDE-E**
- Organ 50 rem/yr **TODE**
- Planned Special Exposure 10 rem/yr
25 rem lifetime
- Embryo/Fetus 0.5 rem (gestation)
- Member of Public 0.1 rem/yr **TEDE**

*TEDE (sum of internal + external)

Rem x 10 = mSv

TMI-2 Overexposures

HISTORY OF PERSONNEL EXPOSURES IN EXCESS OF REGULATORY LIMITS

<u>YEAR</u>	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
<u>NUMBER</u>	12 (see below)	None	None	None	None	None	None	None	None	None	1 (see below)

DETAILS OF EXPOSURES

<u>YEAR</u>	<u>TYPE OF EXPOSURE</u>	<u>NUMBER OF INSTANCES</u>	<u>RESULTING DOSE IN 1 QUARTER</u>
1979	• Whole Body	1	• 4100 millirem
1979	• Whole Body and Skin	1	• Whole body dose: 3900 millirem Skin dose: 26,100 millirem
1979	• Skin Only	8	• Doses ranged from 12,000 millirem to 166,000 millirem to portions of the skin. In one case, most of the skin received a dose of 13,200 millirem.
1979	• Whole Body and Extremity	1	• Whole body dose: 4100 millirem Extremity dose: 64,000 millirem.
1979	• Extremities Only	1	• Dose of 20,000 millirem to fingers.
1989	• Extremities Only	1	• Dose of 57,198 millirem to palm of hand.

Experience Utilized to Decommission Saxton Experimental Reactor



THREE MILE ISLAND SCHEMATIC

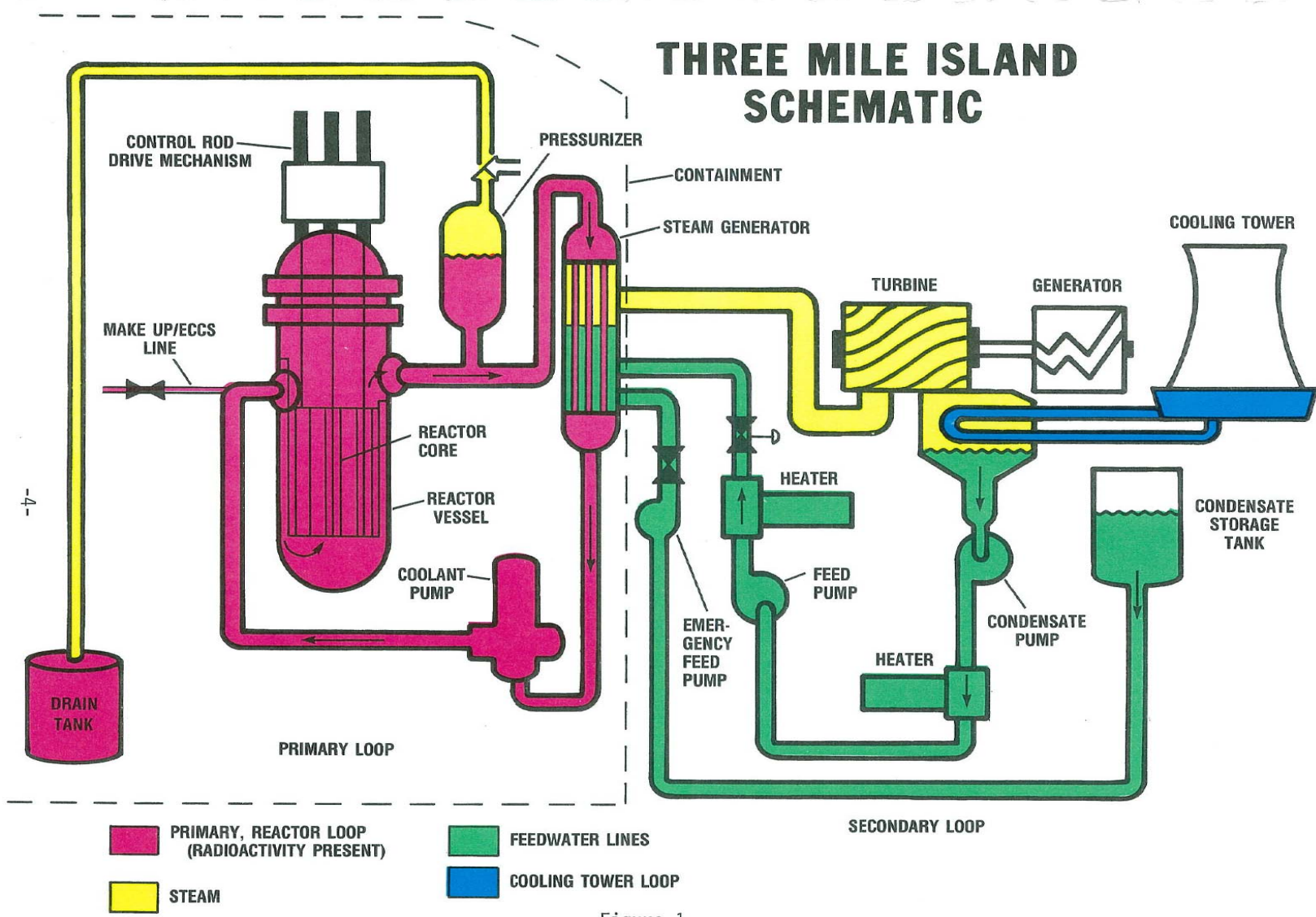


Figure 1



Three Mile Island – Both Units Operating

TMI-2

