

# スリーマイルアイランド原子力 発電所2号機における燃料取り出し -安全性およびリスク低減に向けたプ ロセスの経験：炉心用掘削機の進化

福島第一廃炉国際フォーラム

2017年7月3日

レイク・バレット (Lake H. Barrett)

[Lake@Lbarrett.com](mailto:Lake@Lbarrett.com)

# スリーマイルアイランドにおける経験

- 軽水発電炉で発生した炉心溶融事故
  - 1979年：今から38年前
  - 14年、10億ドルをかけて行われた除染／燃料取り出しプロジェクト
- 福島第一原子力発電所（1F）と比較すると類似点も相違点もある
  - TMI（スリーマイルアイランド）の場合、重大事故であったが技術的苛酷度は1Fよりも低い。
  - 技術／管理／社会的・政治的な課題は類似している。
- 多数の教訓を利用可能
- **TMIでは安全に達成できた。1Fでもできるはずである。**

# スリーマイルアイランド1号機・2号機

1979年3月28日

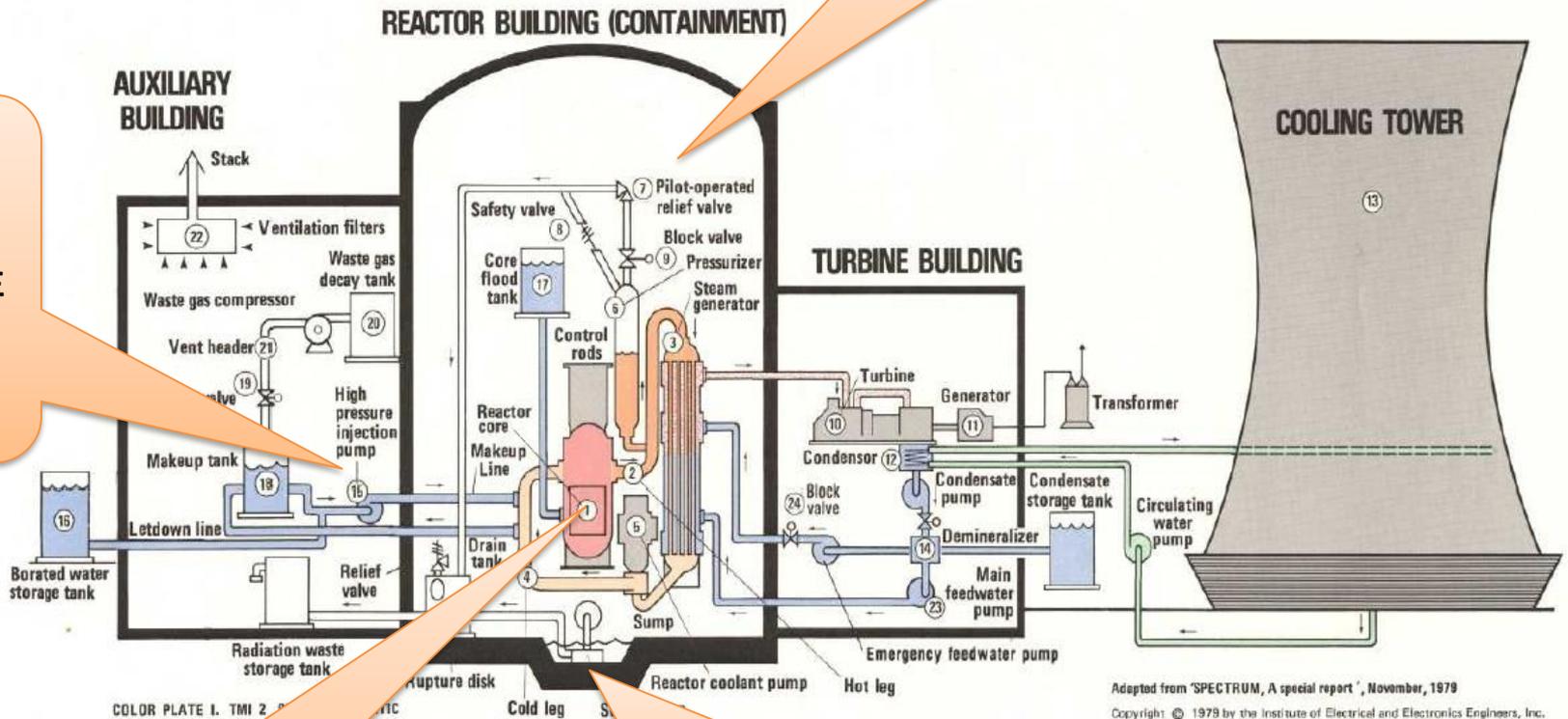


# スリーマイルアイランド2号機の事故

## 1979年3月28日

04:00 安全弁閉止失敗

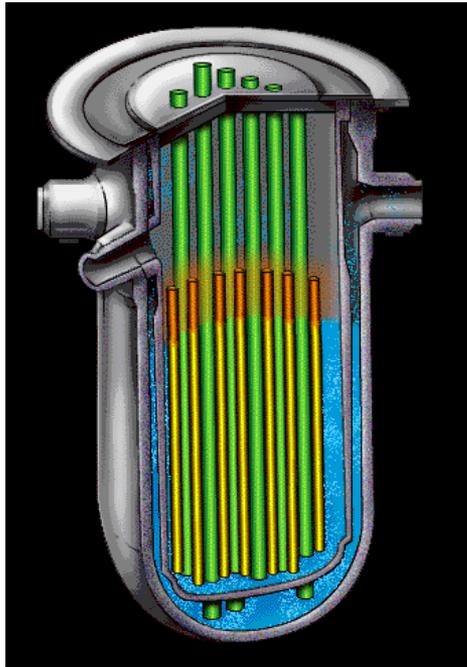
運転員が水位満杯と判断し、高圧注入ポンプを停止



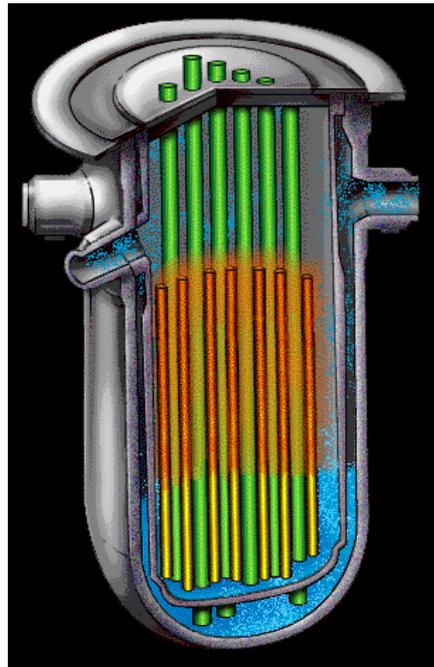
炉心が露出して燃料が過熱／破損／最大で50%溶融

65万ガロンの高レベル放射性汚染水が滞留

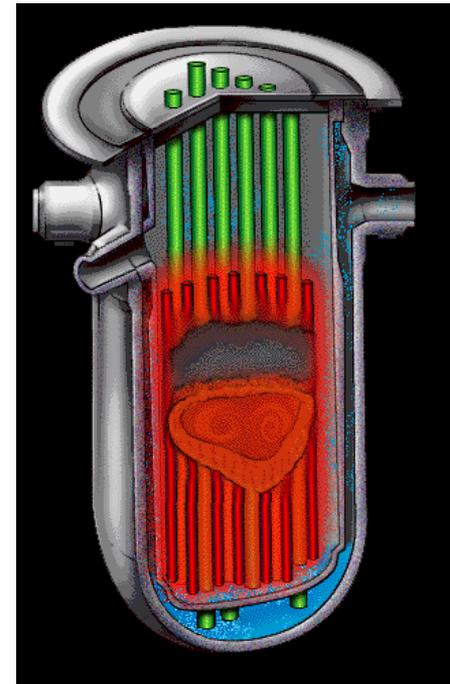
# TMI炉心損傷シーケンス



120分以内に炉心が露出—  
損傷開始  
800°Cで破損（～06:00）



150分以内に炉心の被  
覆管が酸化、温度は最  
大1,800°C（～06:30）



226分以内に炉心溶  
融、温度は最大  
2,700°C（～07:30）

# TMIにおける 廃炉・除染（D&D）の アプローチ

- 安全かつコスト効果の高い迅速な浄化
  - 管理、封じ込め、リスク低減、安定化
- 最終状態における焦点の明確化：損傷した炉心の取り出し
- 想定外への備え
  - 監視し、自己学習し、順応して成功へつなげた
- 常に簡単に
  - 既存の技術をできるだけ多く使用
- 安全を重視し，外側から中に向かって作業を進める。
  - 常にフィードバックしながら段階的に実施
- 常に、考え、学習し、創造し、改善

# TMIのD&Dを担う組織

- ゼネラル・パブリック・ユーティリティ・ニュークリア社  
(General Public Utilities Nuclear) (GPUN) -所有者／許認可取得者-D&D作業に責任
- 米国原子力規制委員会(USNRC)
  - 新設されたTMI廃炉計画局 (TMI Program Office) (TMIPO) へ権限を委譲
- 米国エネルギー省 (DOE)
  - 連邦政府として研究開発を支援：
  - DOE傘下の研究所に対して、NRC固有のタスクなどに対する独立的支援を許可
- 原子力産業界
  - 以下の組織がGPUNを支援
  - 米国電力研究所 (EPRI) が技術的支援を提供
  - 原子力協力企業
    - ベクテル・ナショナル社など
      - ベクテル社とGPUN組織が統合
  - レビュー・支援グループに米海軍および学識経験豊富なアドバイザーを配置

# 安全上のリスク低減 に向けた焦点

- **燃料を安全・迅速に取り出し、損傷した燃料／放射性物質を安全に設計された容器へ格納**
  - 事故後の設計想定外状況による時間が重要
  - 放射性物質の管理と封じ込め
- **高レベル放射性廃棄物容器の安全性**
  - 新たな安全問題。例：水素発生

# 安全レビュー・プロセス

- 段階的・進化的プロセス
  - GPUNが個々の重要なD&Dステップの安全評価を実施
    - DOEはGPUNに対し、安全に関する課題について支援
  - 米国NRCによるレビュー／認可
    - リスク情報を活用した敷地内レビュー
    - NRCによる計画環境影響声明書（PEIS）の範囲内に収まるか否か
    - D&Dの活動に関し、通常の原子炉事故リスクの範囲内で安全解析を実施

# 炉心用掘削機の進化

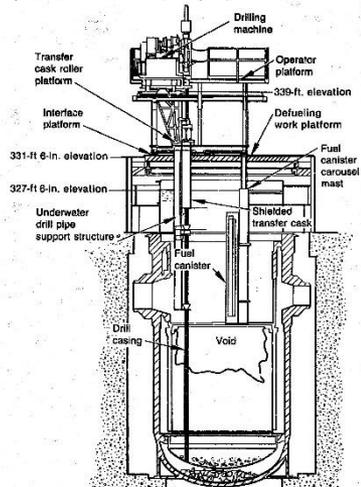
- **開始-フェーズ1：炉心の多層サンプリングを行う  
工作機のR&Dについてデータを採取**
  - 1980～1986年
  - DOE／アイダホ国立研究所（INL）が主導、GPUNが支援
- **フェーズ2：炉心塊破碎用工作機**
  - 1986年
  - GPUNが主導、DOE/INLが支援
- **フェーズ3：鋼構造物切断機**
  - GPUNが主導、DOE/INLが支援
  - 1987～1988年

# 掘削機の進化

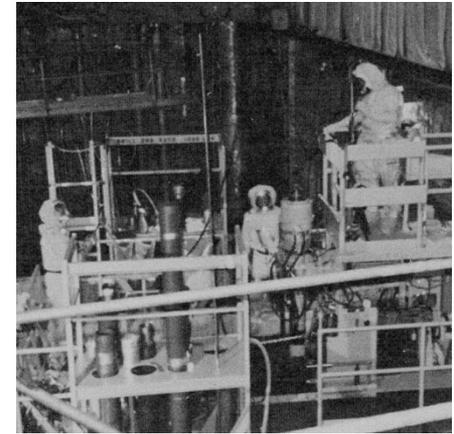
## 分析／知見取得用の 炉心サンプリング

## 炉心の塊の破碎による燃 料取り出し

## 下部に存在する燃料の 取り出しに向け、アク セスするための炉心支 持構造物の除去

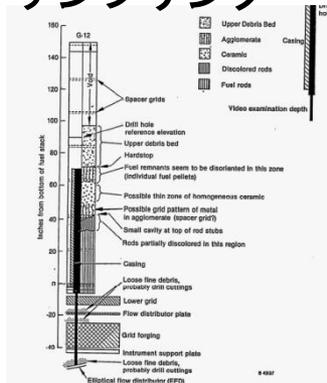


炉心破碎用ビット



掘削作業

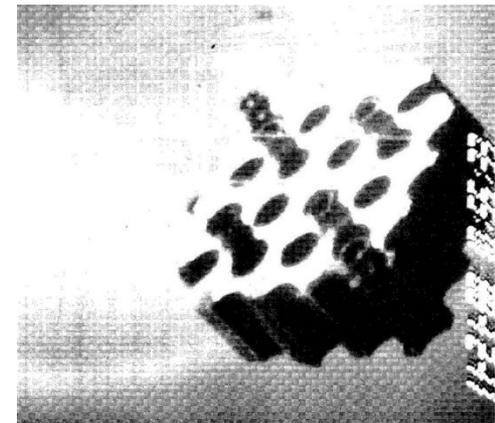
## 炉心ボーリングの サンプリング



分析結果



破碎された炉心中枢部の破砕片



炉心板セグメント

# フェーズ1:

## 炉心ボーリングサンプルの進展

- 1980～1982年：サンプリングの技術開発に議論を要する
- 1981～1983年：DOE/INELが地盤作業用の炉心サンプリング掘削技術の採用について評価
- 1984年：炉心掘削の安全性についての議論後、炉心サンプリング実施（GPUN、DOE、NRC）
- 1985年-8月：GPUNがNRCへ安全に関する提案を提出
- 1986年-6月：NRC/TMIPOが安全評価報告書（SER）を承認
- 1986年-7月：NRCが手順書を承認、実施

# 評価の対象となった安全上の問題

- 放射性物質の放出
- 臨界性
- ほう素希釈溶液
- 水素発生
- 自然発火性
- 火災防護
- 崩壊熱除去
- 原子炉容器の健全性
- 計装への干渉
- 重量物の落下
- 原子炉容器漏えい発生時の制御維持能力
- 従業員被曝
- 未レビューの安全上の問題がないか

## フェーズ2：

### 炉心塊の破碎及び掘削の進展

- 1985～1986年：GPUNは、チームによる良好な経験を踏まえ、コア塊破碎用の燃料取り出しツールとして掘削機を採用。安全上のあらゆる議論を実施。
  - NRCは原子炉容器計装案内管の健全性に対する掘削力について安全上の懸念があった
- 1986年-7月：GPUNがNRCへ安全に関する提案を提出
- 1986年-7月：NRC/TMIPOがSERを承認
  - 容器の健全性を維持するため、掘削位置制限を設定

## **フェーズ2：燃料取り出し用炉心塊破碎機-2**

**1986年-9月：GPUNが案内管の安全性に関する安全解析を実施**

**1986年-10月：NRCが広域にわたる掘削を承認**

**1986年-10月：NRCが手順書を承認、掘削開始**

**1986年-11月：409個の掘削孔をあけ、炉心質量中枢部の破碎に成功**

# フェーズ3：下部炉心構造物切断工具の進展

- 1986～1987年：掘削機を用いた良好な経験を得て、GPUN/EG&G下部燃料アクセスに向けた鋼構造物切断用としてNRCと検討し、適用。
- 1987年-10月：GPUNが下部炉心構造物（LCSA）の切断に向けた安全に関する提案を提出
- 1988年-1月：形状管理を行うことでNRCが承認
- 1988年1月：NRCが手順書を承認。GPUNが切断を順次開始し、うまく切断。

# 安全に関わる教訓のまとめ

- 現場のリスクを常に最重要視すること
- 安全に関わるホールドポイントについては、適応し学習すること
- 過去の経験に基づいた、GPUNおよびNRCによる連続した安全評価
- 初期の安全設計に基づいた基判断準が重要
- 以下の組織間の一貫性・実効性の高いコミュニケーション
  - 科学者／開発者
  - 許認可取得済の技術者／運転者
  - 規制者