

資料-41-2-4

フランス、スイス
PCV Vent、ストレス・テスト出張報告
2011. 11. 7~11

IAEA, NEA ISOE 第7代議長
Severe Accident Management 委員会 議長
水町 渉

出張スケジュール

2011. 11. 7～11 フランスとスイスへ出張

- 11. 7 OECD/NEA: 欧州のStress Testの状況
- 11. 8 EDF: PCV Ventについて
- 11. 9 Chooz B原子力発電所: PCV Vent
- 11. 10 ANS(フランス原子力安全規制局):
Stress Test、PCV Vent
- 11. 11 スイス Leibstadt原子力発電所:
Stress Test、PCV Vent

ヨーロッパのストレス・テスト

- 3月11日の福島事故に関し、3月15日にEUの原子力安全規制機関は、臨時会議を開き、EU内の全原子力発電所のストレス・テストを2011年末までに共同で行うことを決定。
 - 3月25日の欧州理事会で決議された。
 - 5月25日WENRAが作成したテストの内容、仕様合意
 - 6月1日から近隣のスイス、ロシア、ウクライナ、アルメニアも参加して、テスト開始。
 - 9月15日国別の中間報告
 - 12月31日国別の最終報告
 - 2012年4月末 各国の専門家によるピア・レビューの実施。
 - 2012年6月欧州理事会に報告。

ヨーロッパの結果

- ・ ヨーロッパでは、EU加盟国の27ヶ国のうち、原子力発電所を導入している14ヶ国が、ストレス・テストの中間報告を9月15日に発表した。
- ・ ヨーロッパの148基が対象となっており、「洪水や地震への耐久性を確認したところ、原子炉の閉鎖が必要となる深刻なプラントはなし。」という結果であった。
- ・ 12月までに規制機関が評価を行い、来年の夏までにIAEAに報告され、最終評価が行われる予定である。

ヨーロッパにおけるストレス・テストの内容

ストレス・テストは次の項目のシミュレーションを行う。

- ① 起因事象として、地震と洪水
- ② 起因事象の結果として考えられる安全機能の喪失、即ち、電源喪失(SBO)及び最終所内熱源の喪失、並びに両者の組み合わせ
- ③ 苛酷事故マネージメントの問題として、炉心冷却機能喪失の防止及び管理方策、使用済み燃料貯蔵プールの冷却機能喪失の防止及び管理方策、格納容器健全性喪失の防止及び管理

フランスの結果

- 58基が運転中のヨーロッパ最大の原子力大国であるフランスでは、建設中のフラマンビル3号機や研究施設を含めて、150ヶ所の安全性を調査した。
- その結果として、迅速に緊急的な対応を採る必要はないと結論付けている。
- その理由として、福島事故では、地震と津波が引き金となっており、気象条件が異なっており、フランスでは、同程度の現象が起きることは、基本的にないと結論付けている。



Complementary Safety Assessments of French nuclear installations

15 September 2011

イギリスは追加策が必要

- イギリスでは、同様の結論であるが、追加の対応は必要という結論で、他の国とニュアンスの差が出ている。
- イギリスでは、洪水から原子力発電所を守る手段や、原子炉の冷却機能、及びバックアップ電源を確保するための追加策は必要と指摘した上で、基本的にイギリスの原子力発電所に、根本的な弱さは認められないと結論付けている。
- これらの追加策は中長期的な課題として扱っている。

オランダのみは異例のやり直し

- ・ 原子力発電所が1基のオランダでは、「事業者からの中間報告は不十分であり、評価できない。」として、中間報告をやり直すなどの異例な対応となった。
- ・ 但し、提出内容が不十分であったため、規制側のリクエストや、事業者側との協議により、今後は10月末提出予定の最終報告書に向けて、十分な内容にするべく努力するという一方で、中間報告の出し直しということはない。

スイスのミューレベルグ原子力発電所のみ改造

- 以上のように、ヨーロッパ各国では、迅速に緊急的な対応を採る必要はないと結論付けているが、**唯一、スイスのミューレベルグ原子力発電所が、福島事故対応として改造を行った。**
- これは取水をしている**アーレ川の1万年に一度の洪水を考慮した対策である。**
- **アーレ川の洪水により、既存の取水口が、漂流物や泥により閉塞される恐れがあるという指摘から、新たな取水管をアーレ川に設置した。**
- **この対策により、洪水に対する耐性が証明され、運転を再開する条件が満たされた。**
- **この工事は防御構造物を固定するためのボーリング重機を搭載した浮体式プラットフォームを設置し、6本の支柱を設置する作業を水中でダイバーによって行われた。**
- **この新取水口の設置により、海外で唯一、福島事故により運転停止していたミューレベルグ原子力発電所の運転再開が認められた。**

ヨーロッパの今後の予定

- 12月31日国別の最終報告
- 2012年4月末 各国の専門家によるピア・レビューの実施。
- 2012年6月欧州理事会に報告。

12月末にフランスのラコステASN長官が爆弾発言
「フランスの58基の原子力発電所は、福島事故
に対しては、不安全であり、改造が必要。」

EDFは、数千億円から1兆円規模の改造が必要と
発表。主に電源、炉心注水系、燃料プールなど。¹¹

欧米諸国における格納容器ベントの概要

欧米諸国において、各種の格納容器ベントシステムが1980年代後半から1990年代後半までに設置された。欧州の格納容器ベントラインには外付けのフィルタ付ベントシステムが設置され、米国のBWR格納容器ベントライン^{平成23年9月27日}ではベント時の圧力に耐えるよう耐圧強化ベントが設置された。

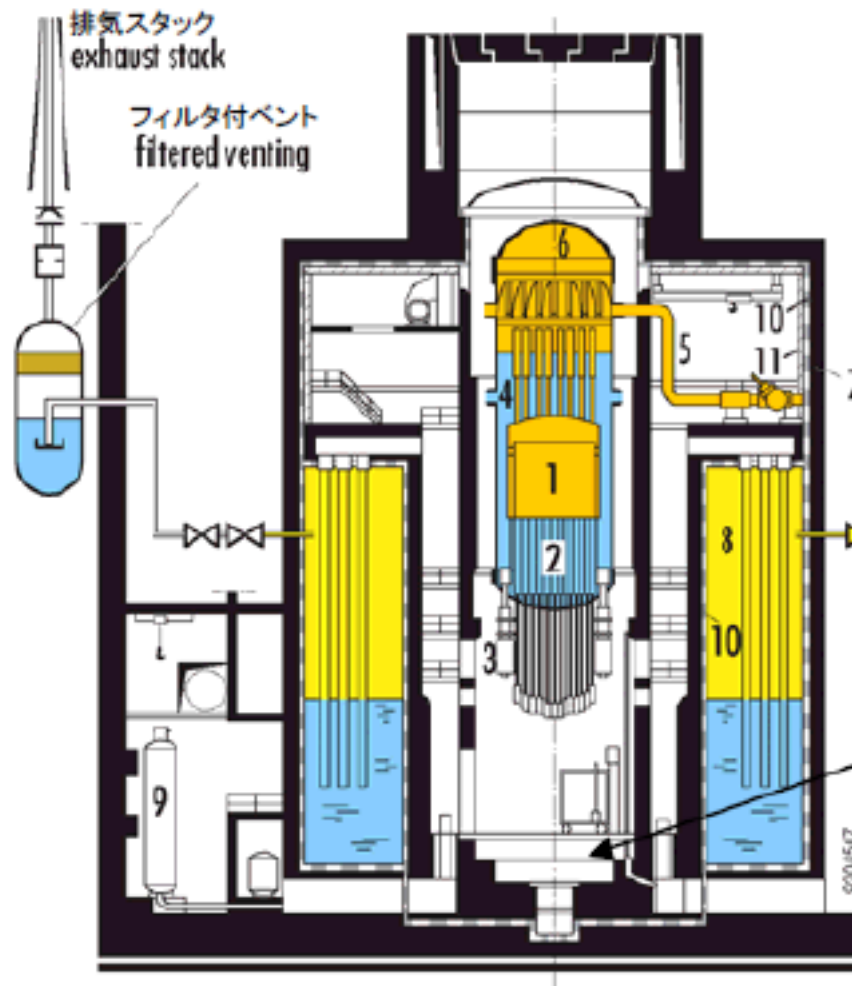
北欧では、チェルノビル事故による放射能を最初に検知した経験から、PCVベントは絶対的に必要と考えて、まじめに設計された。

PCVフィルタ付ベントシステムの仕様

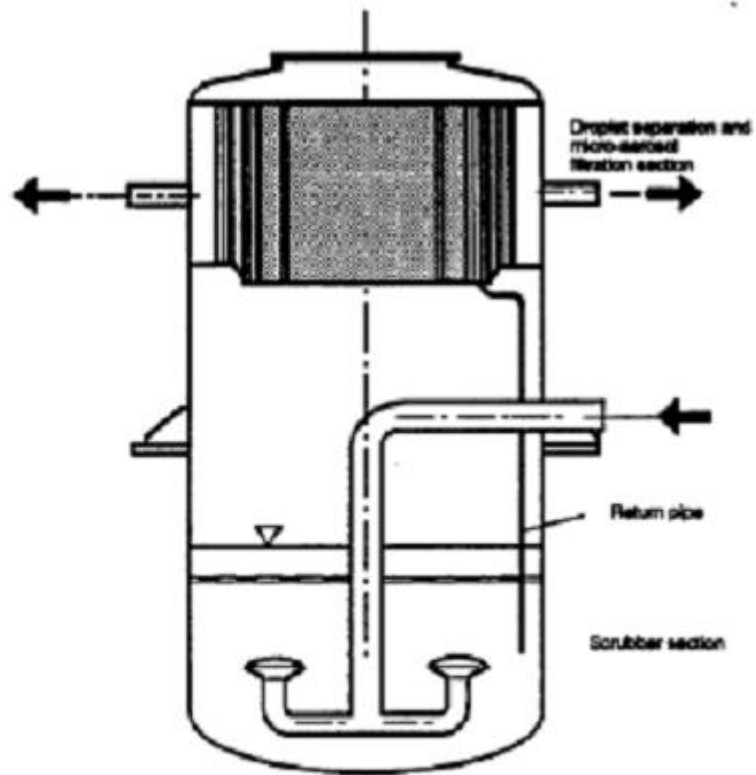
各国とも、独自の目標を設定し、設備の設計仕様を定めている。

- フランス(PWR): サンドフィルタ(DF 10)
- ドイツ(BWR): ベンチュリースクラバ(捕集効率99.99%)
- スウェーデン: マルチベンチュリースクラバ(最小DF 100)
- フィンランド: SAMスクラバ(粒子状捕集効率99.9%)
- 米国(BWR): 耐圧強化ベント
(マークIでのスクラビングに対して許認可上、DF 5)

ドイツの BWR



cavity = control rod driving room inside containment



Scrubber design data:

Mass flow	< 13.5 kg/s
Types of flow	Air/steam and mixtures
Diameter	4 m
Height	8 m

Containment Venting
Fig.2: Venturi Scrubber Unit

ベンチュリスクラバ (Siemens 社製)

スウェーデン



FILTRA/MVSS (cylindrical building shown at the lower left corner) at Forsmark 3, Sweden. Photo: Hans Blomberg.

Forsmark 3号機におけるマルチベンチュリスクラバ（左角の円筒型建屋）（[WH社パンフレット](#)）

大気への

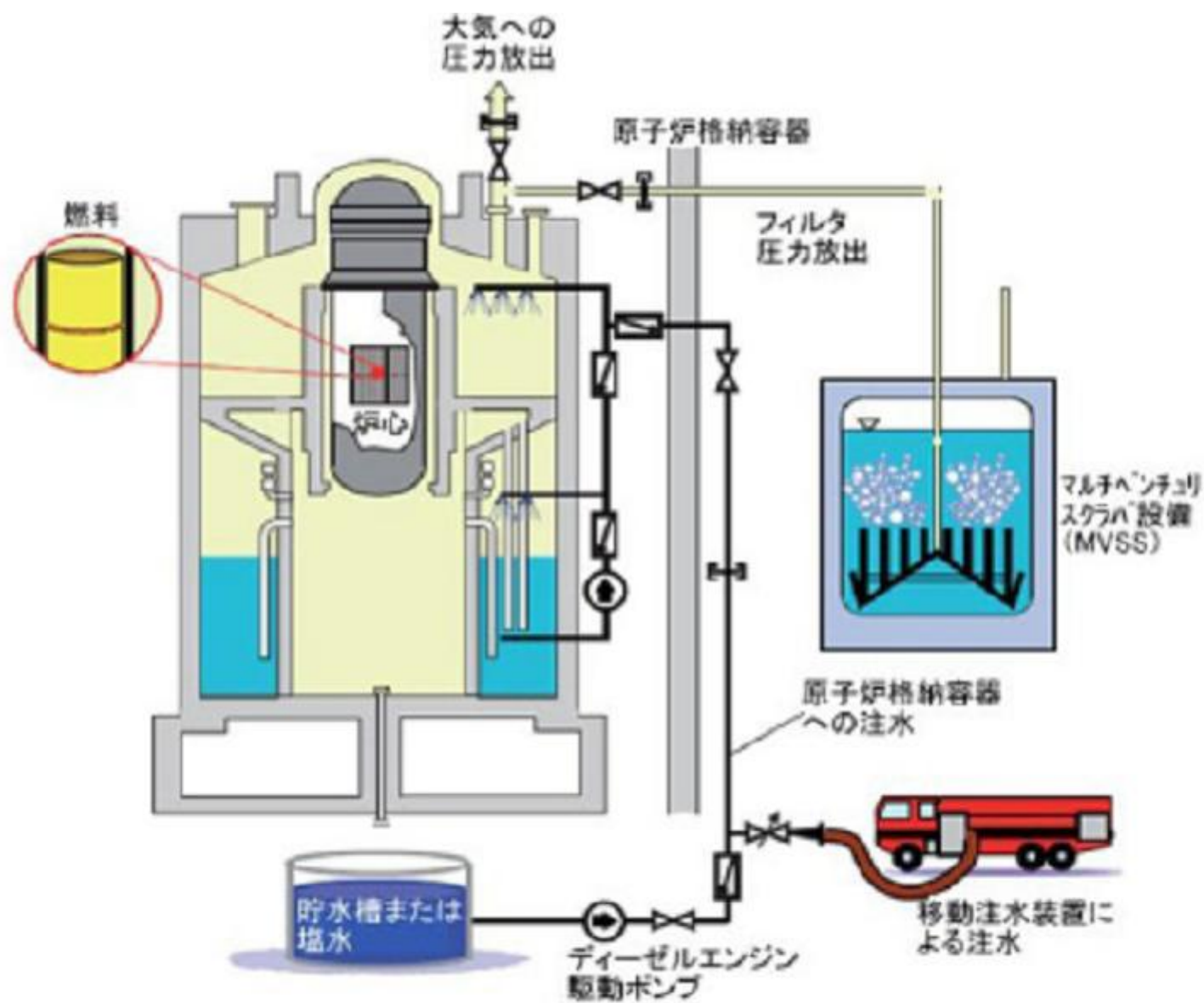
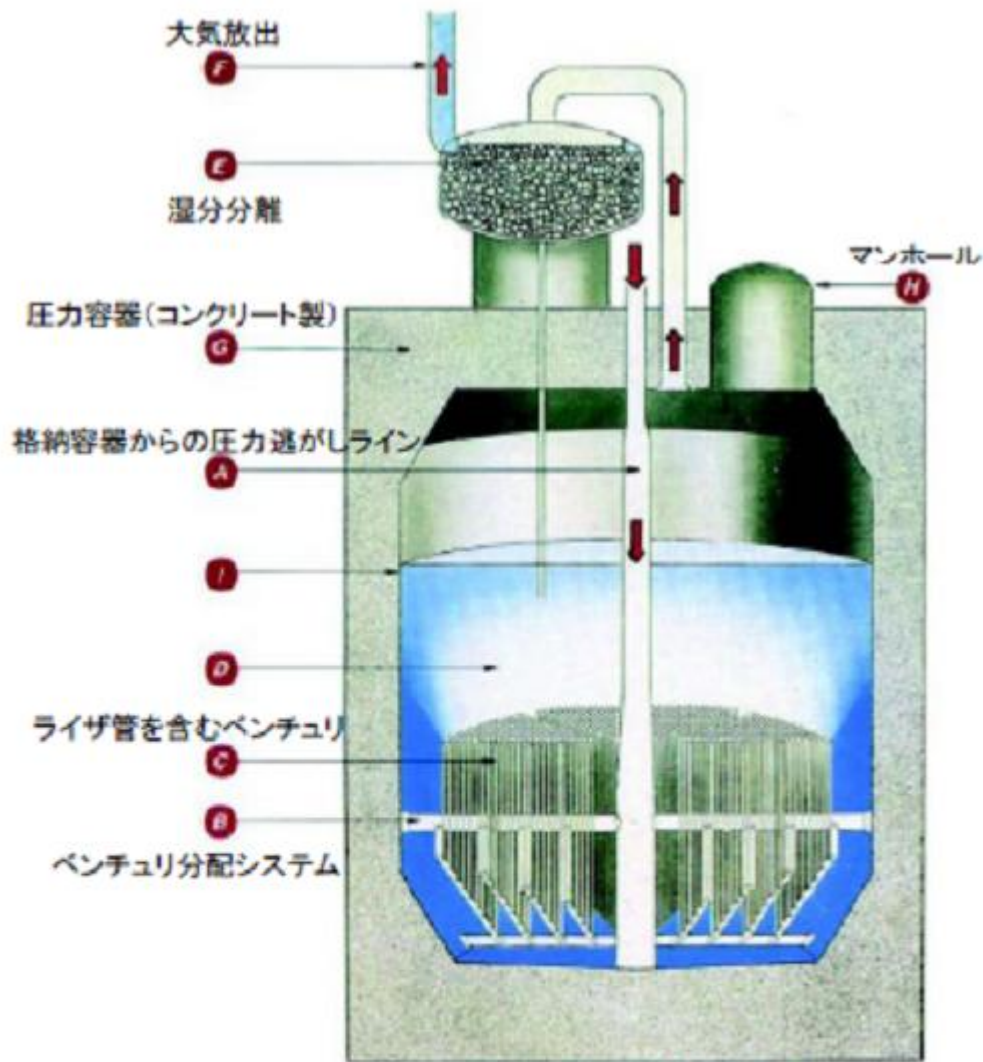


図 1 1980 年代にスウェーデン国内の全原子炉に導入されたシビアアクシデント・マネジメント



マルチベンチュリシステム

- | | |
|--|--------------------------|
| A: Pressure relief line from reactor containment | E: Moisture |
| B: Venturi distribution system | F: Release to atmosphere |
| C: Venturis, including riser pipe | G: Pressure vessel |
| D: Pool | H: Manhole |
| | I: Liner |

主要設計パラメータ

システムはパッシブで、起動後に 30 時間は外部給水を必要としない。

ガス流量: 0.1~13kg/s

エアロゾル平均直径: 1.5 μm

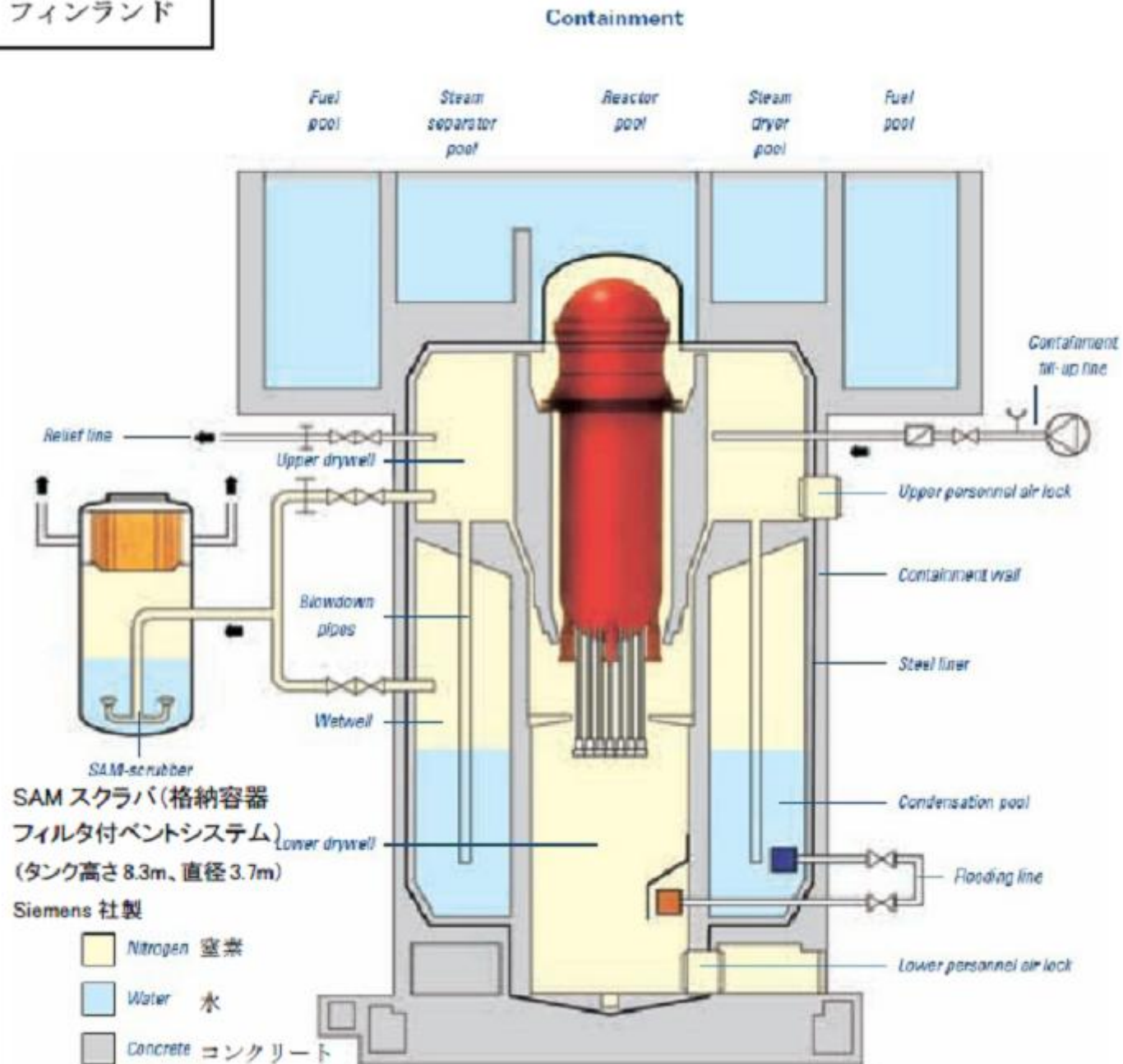
	<u>BWR</u>	<u>PWR</u>
エアロゾル総量:	90kg	180kg
放射性エアロゾル量:	20kg	20kg
必要な最小 DF:	100	500

(エアロゾルとヨウ素)

崩壊熱量: 400kW

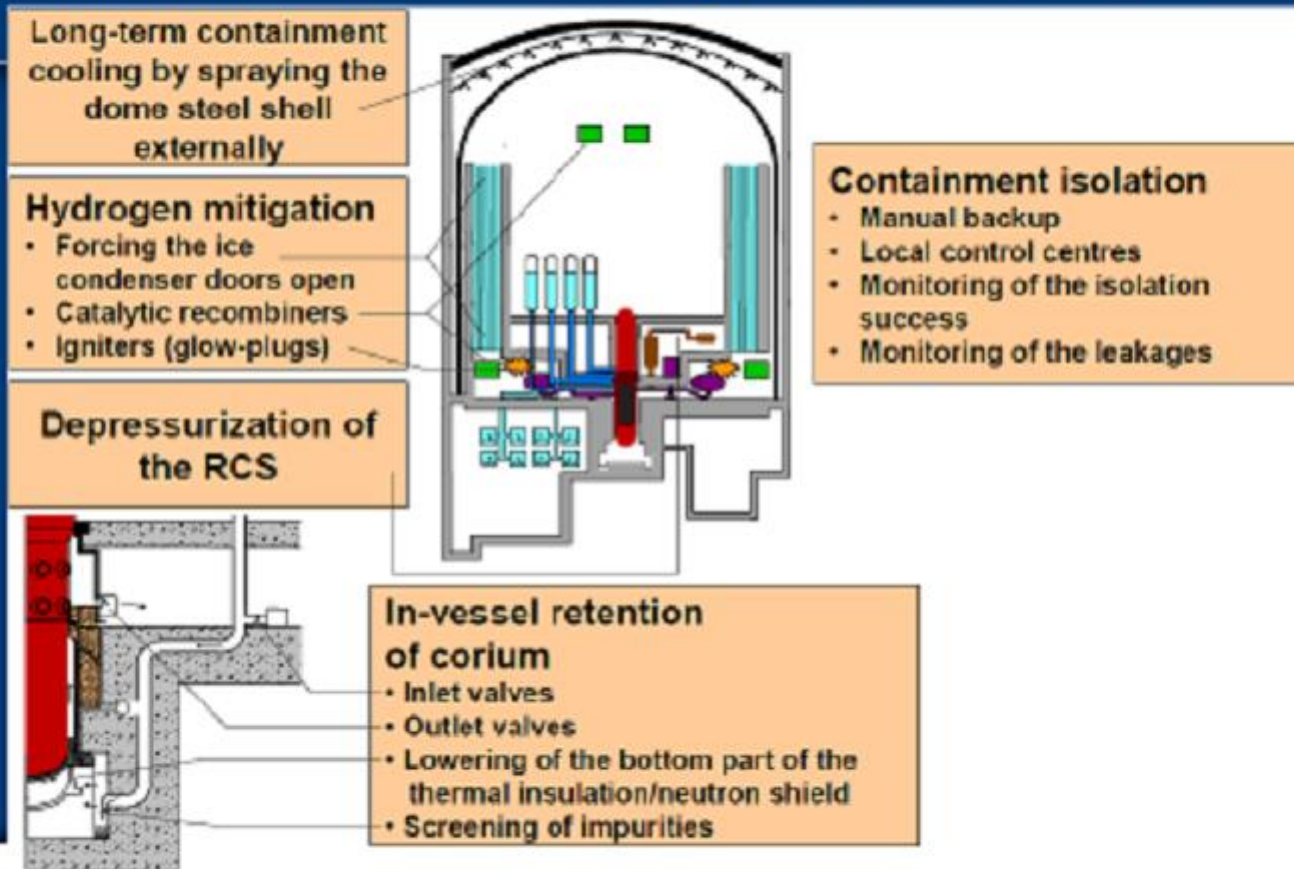
(CSNI Report 148, 1988 年)

フィンランド



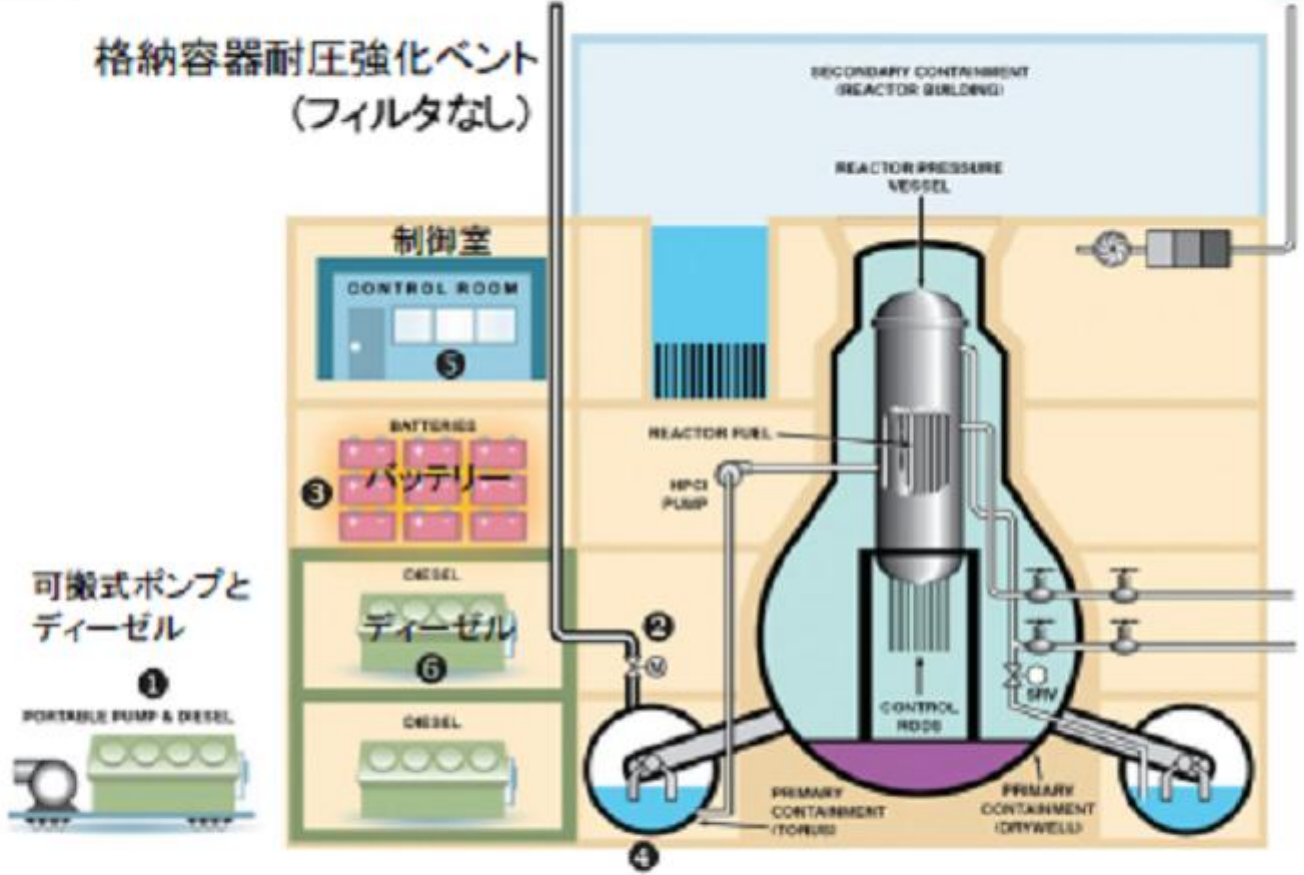
TVO Nuclear Power Plant Units Olkiluoto 1 and Olkiluoto 2 の SAM スクラバ

Loviisa SAM strategy - implementation



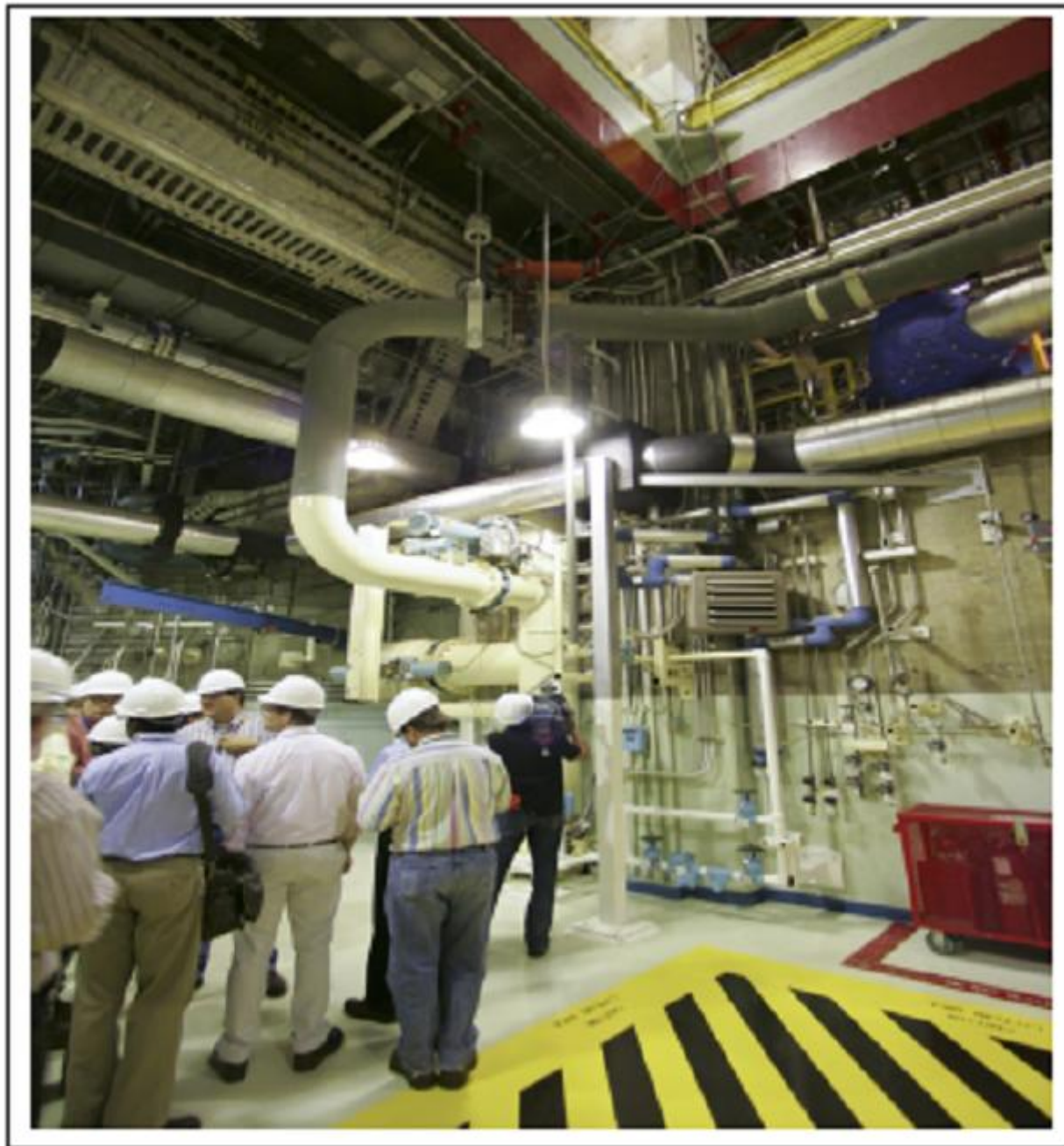
米 国

Major Modifications and Upgrades to U.S. Boiling Water Reactors with Mark I Containment Systems.



- 1. Added spare diesel generator and portable water pump – 2002
- 2. Added containment vent – 1992
- 3. More batteries in event of station blackout – 1988
- 4. Strengthened torus – 1980
- 5. Control room reconfiguration – 1980
- 6. Back-up safety systems separated – 1979

米国のマーク I格納容器を有する BWR の主要な改造・改善設備

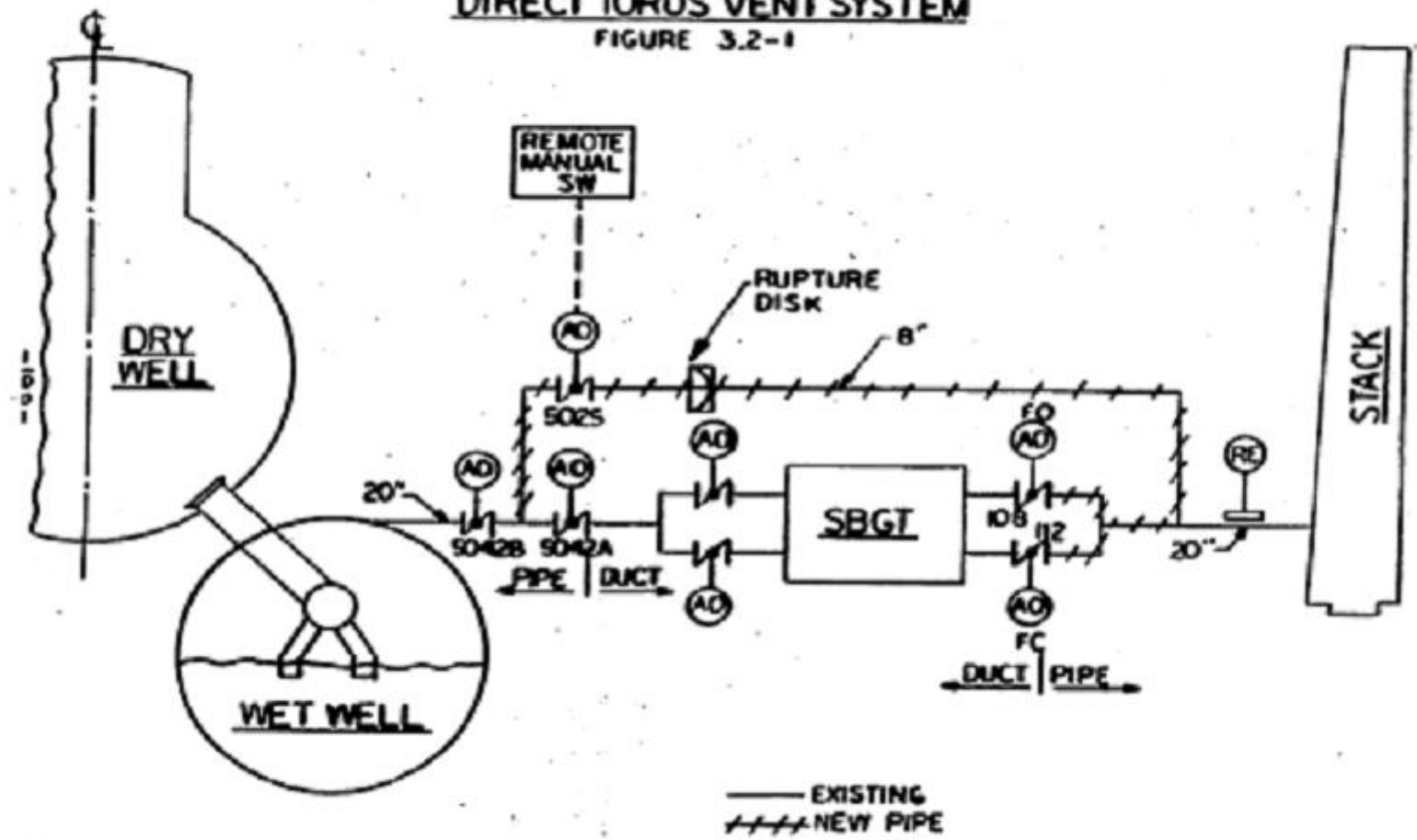


Browns Ferry の耐圧強化ベント管 ([TVA ホームページ](#))

Pilgrim の例

DIRECT TORUS VENT SYSTEM

FIGURE 3.2-1

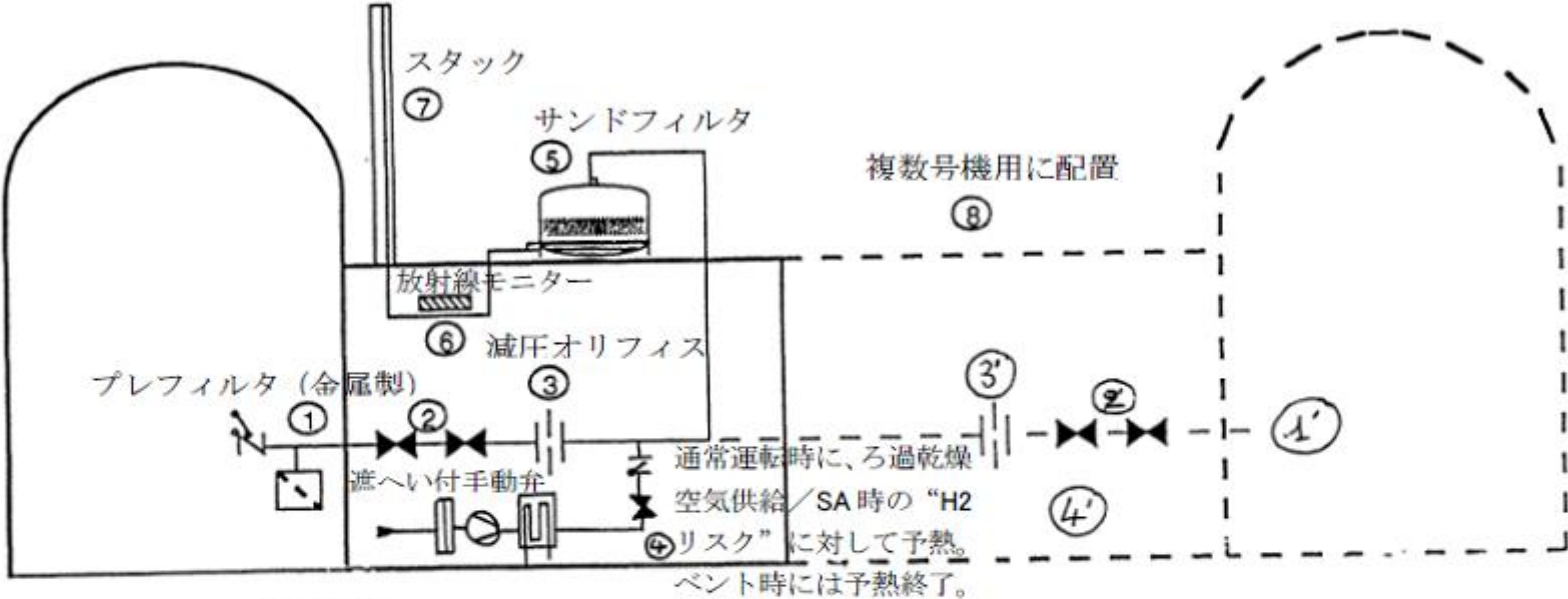


REV. 1 (July 25, 1970)

Pilgrim 発電所における直接トーラスベントシステム (DTVS)

フランス

Figure 1

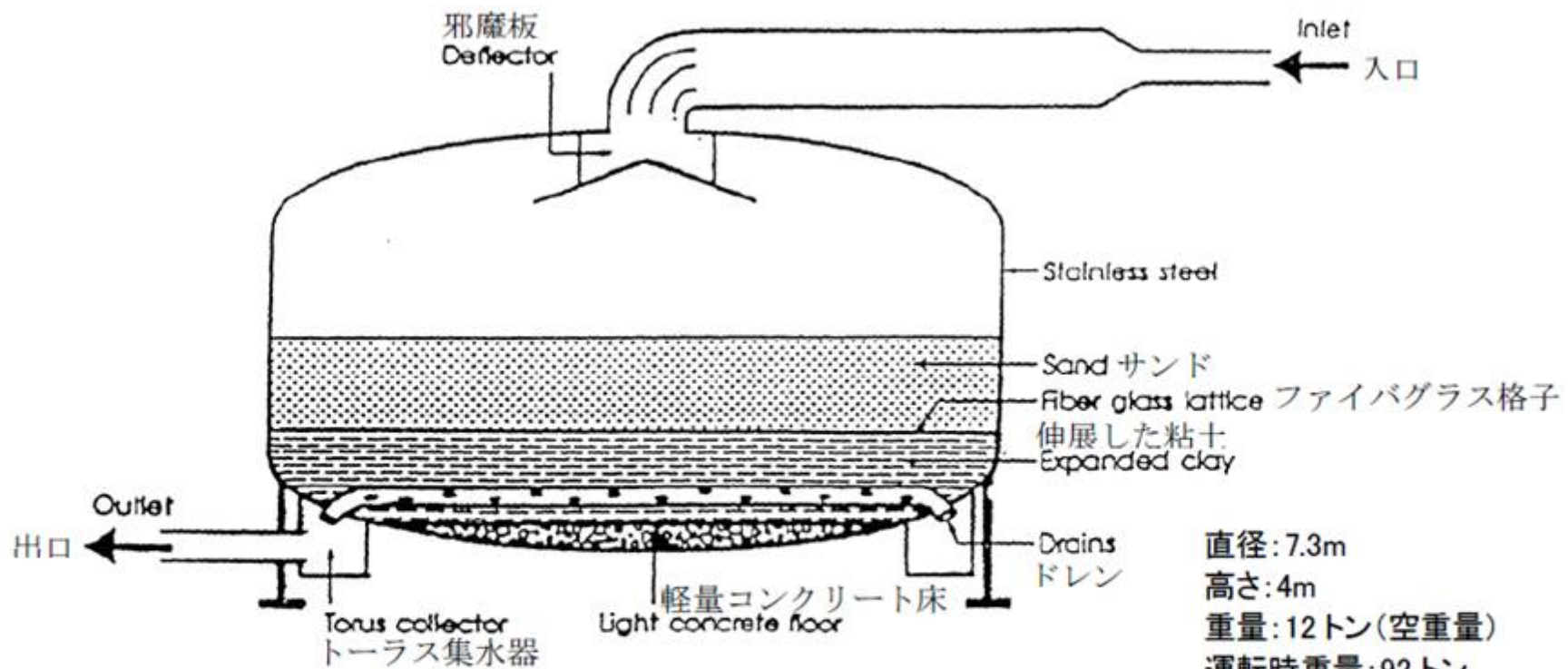


LEGEND:

- 1. Pre-filter;
Existing penetration, 300 mm diameter for 1300MWe plants, 250 mm diameter for 900 MWe plants.
- 2. Manual valves, operated by reach rods from behind shielding.
- 3. Pressure letdown orifice.
- 4. Filtered dry air supply during normal operation / Preheating for "H2 risk" in case of SA
- 5. Sand filter.
- 6. Radiation monitor
- 7. Plant stack, with small vent stack
- 8. Arrangement for twin units (900 MWe)

Schematic diagram of the containment venting system

格納容器ベントシステムの概略構成図



直径: 7.3m
 高さ: 4m
 重量: 12トン(空重量)
 運転時重量: 92トン
 (サンド: 65トン)

サンドベッドフィルタの断面図

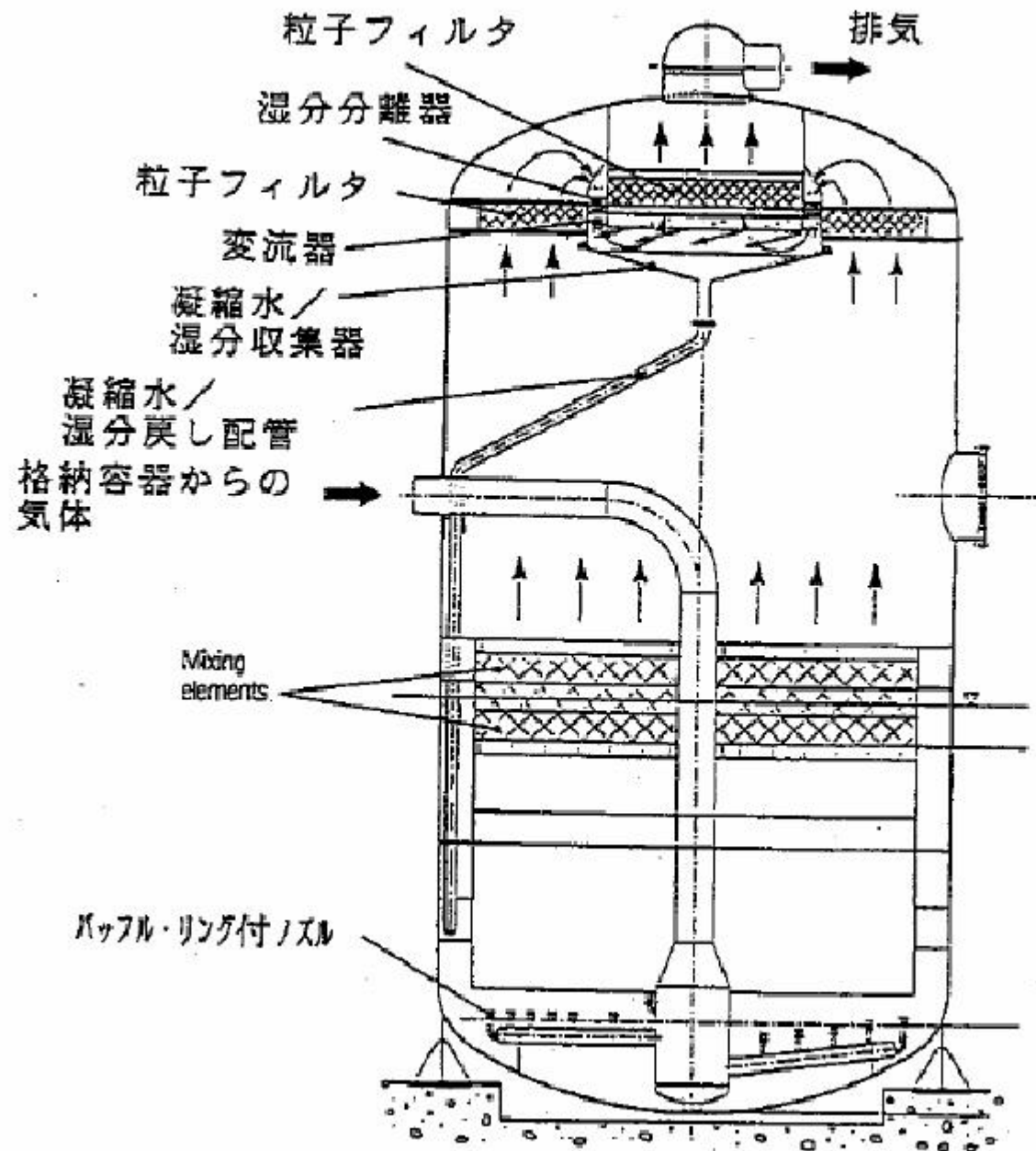
「格納容器損傷の防止 シビアアクシデントマネジメントにおけるサンドベッドフィルタの特性と役割」 [EDF](#)

PCV Ventの仕様

- ろ過される基準流体の主要特性
システム入口の圧力：格納容器圧力（5 bar abs）、もしくは「究極」耐圧力（プラントのタイプの格納容器設計に依存）
 - ・ 温度：140℃（格納容器圧力時）
 - ・ 流量：5kg/s（格納容器圧力時）
 - ・ 密度：4kg/m³（格納容器圧力時）
- 最低ろ過効率：10（エアロゾルに関して）

他の基本設計要件は次のとおり。ただし、事故シーケンスの検討には関連しない。

- フィルタ媒体としてサンドを利用。R&Dプログラム「PITEAS」の実験結果を考慮。主な結論は次のとおり。
 - ・ サンドのコラム高さ：80cm
 - ・ サンドの粒度：0.6mm、最大標準偏差2
 - ・ 最大圧力損失：10⁴Pa



Leibstadt NPS

PCV Filtered
Vent





Schutztüre
Schliessen

ZC240010

ZC240009

307E







TY 10 001

XK 11 1002

XK 11 1001

XK 11 1002

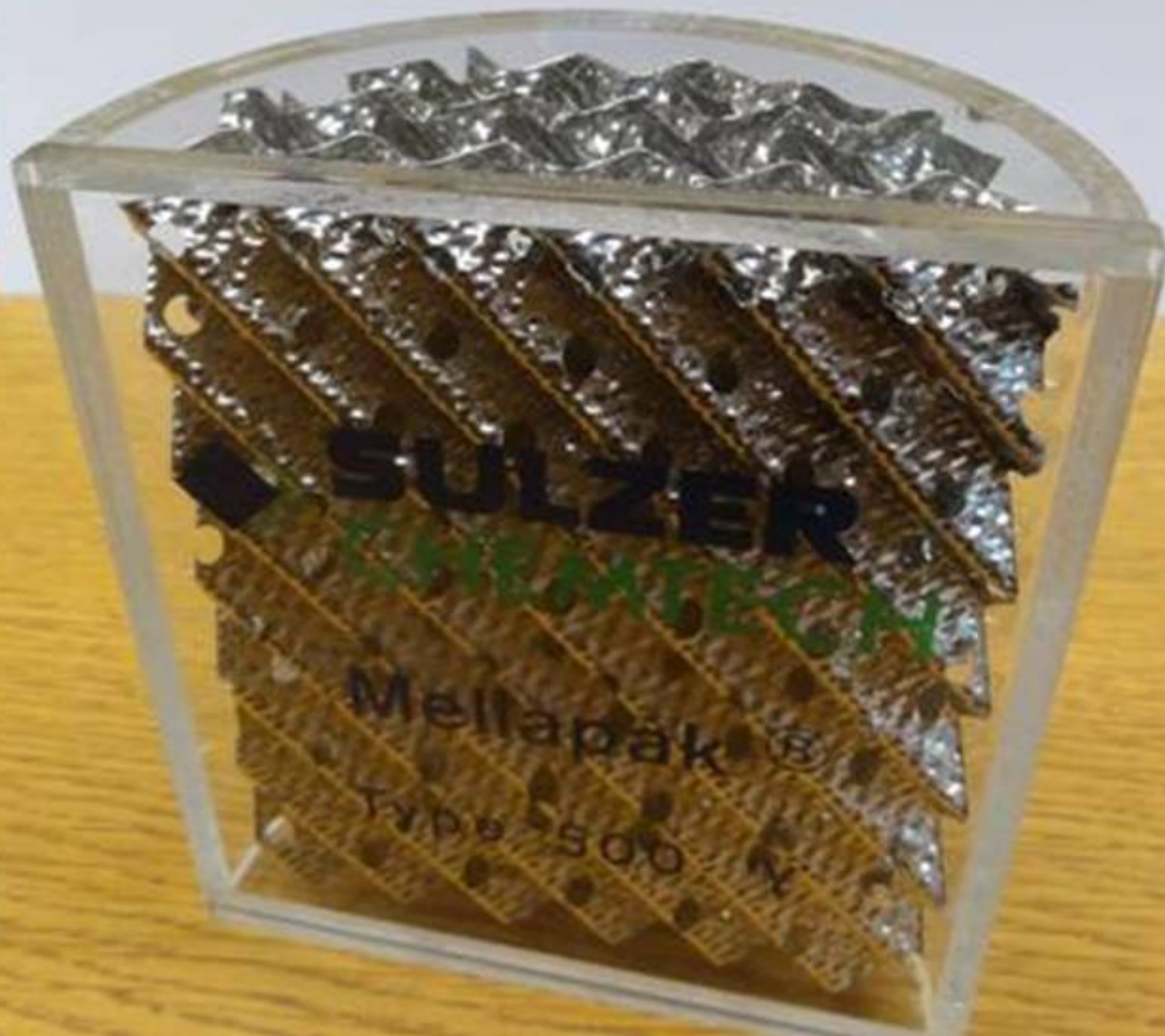
X

XK 11

ZC24D 003

11 102

Strahlenschutz



SULZER

Mellapak 3

Type 500



How does it work?

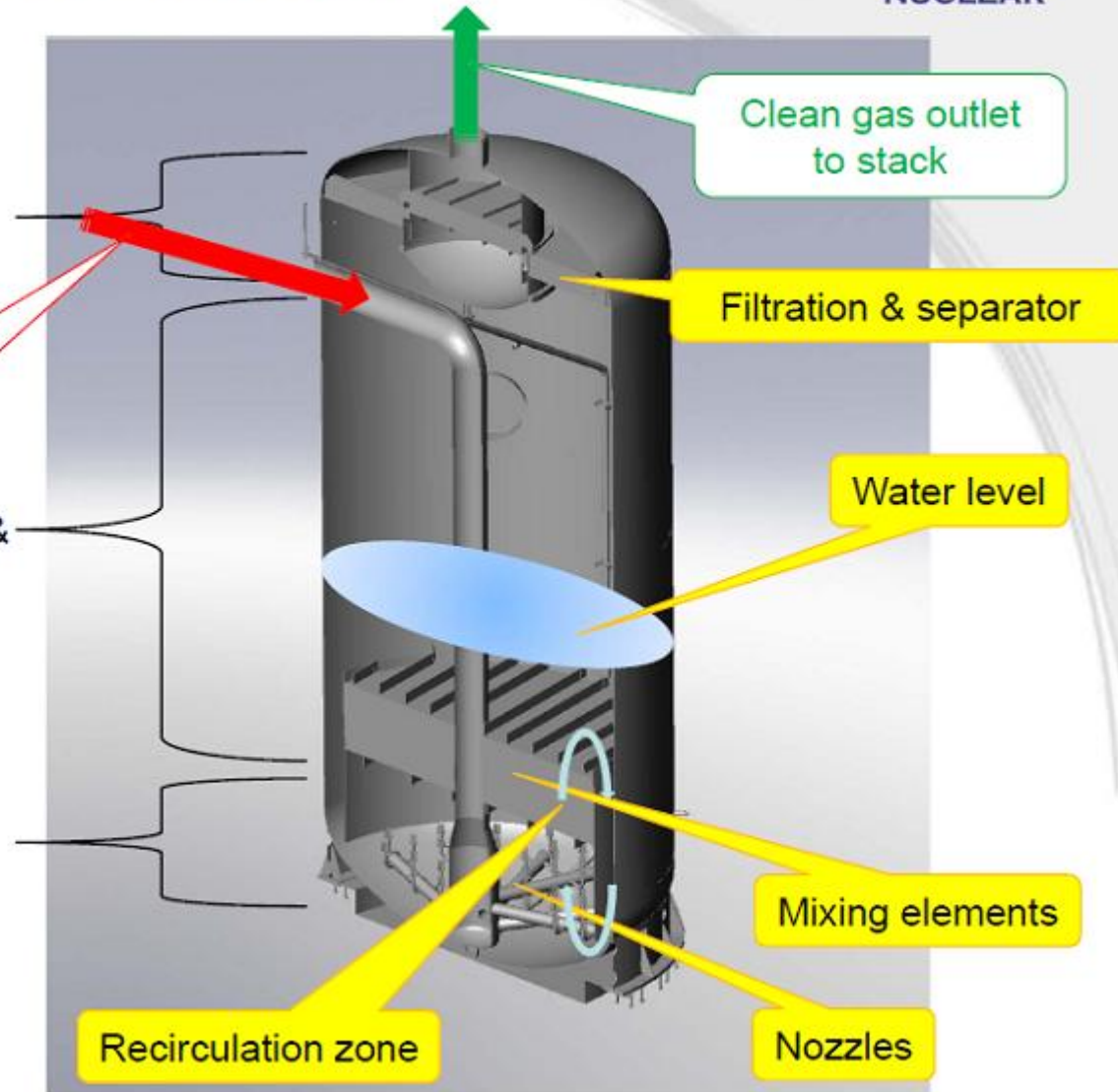
The filter vessel

Stage 3: End Separator

Contaminated gas inlet from containment

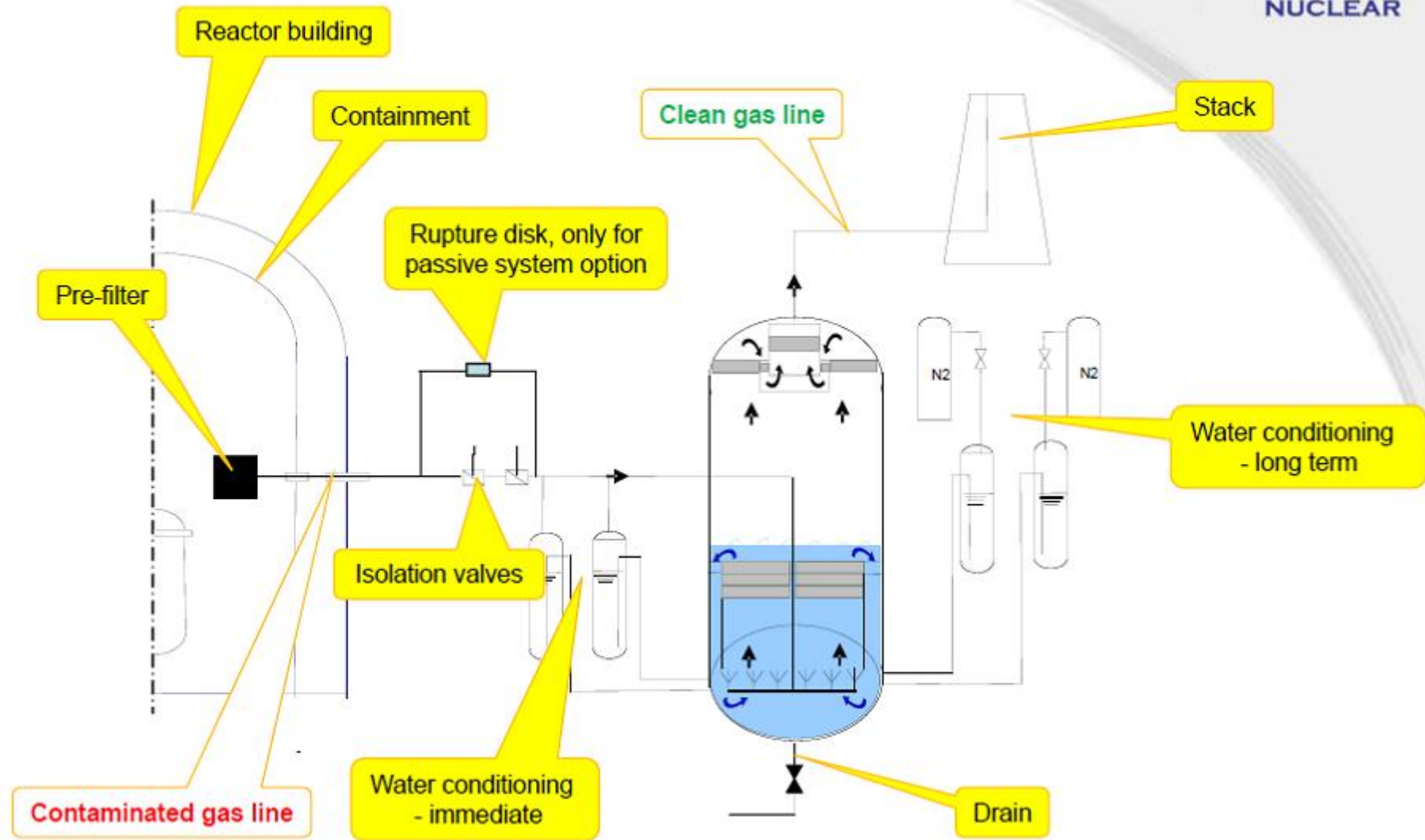
Stage 2: Co-current Scrubber & Gas volume

Stage 1: Nozzle Scrubber



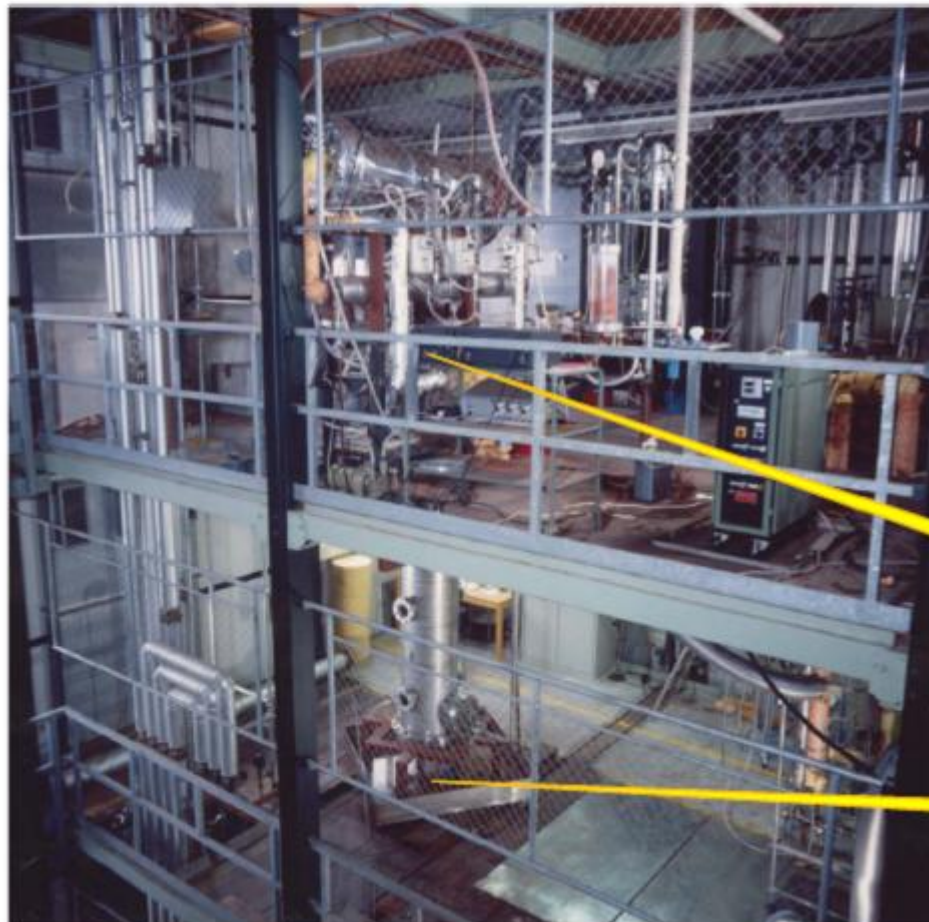
Leibstadt NPS

How does it work – Layout



Experimental data base – Initial R&D

Test loop used for initial development and qualification <1993



Basic Testing of Mixing Elements:

- Co-current scrubber
- Droplet separator
- Scale-up testing / industrial experience

Full Scale Segment Testing:

- Filter qualification and variation of main parameters

Column outlet

Column inlet

Experimental data base – Verification & further tests

Test loop used for Further Qualifications for Aerosol Retention at PSI (1993-1995)



Plasma used to evaporate tin powder. After condensation of tin vapor, SnO₂ particles are generated



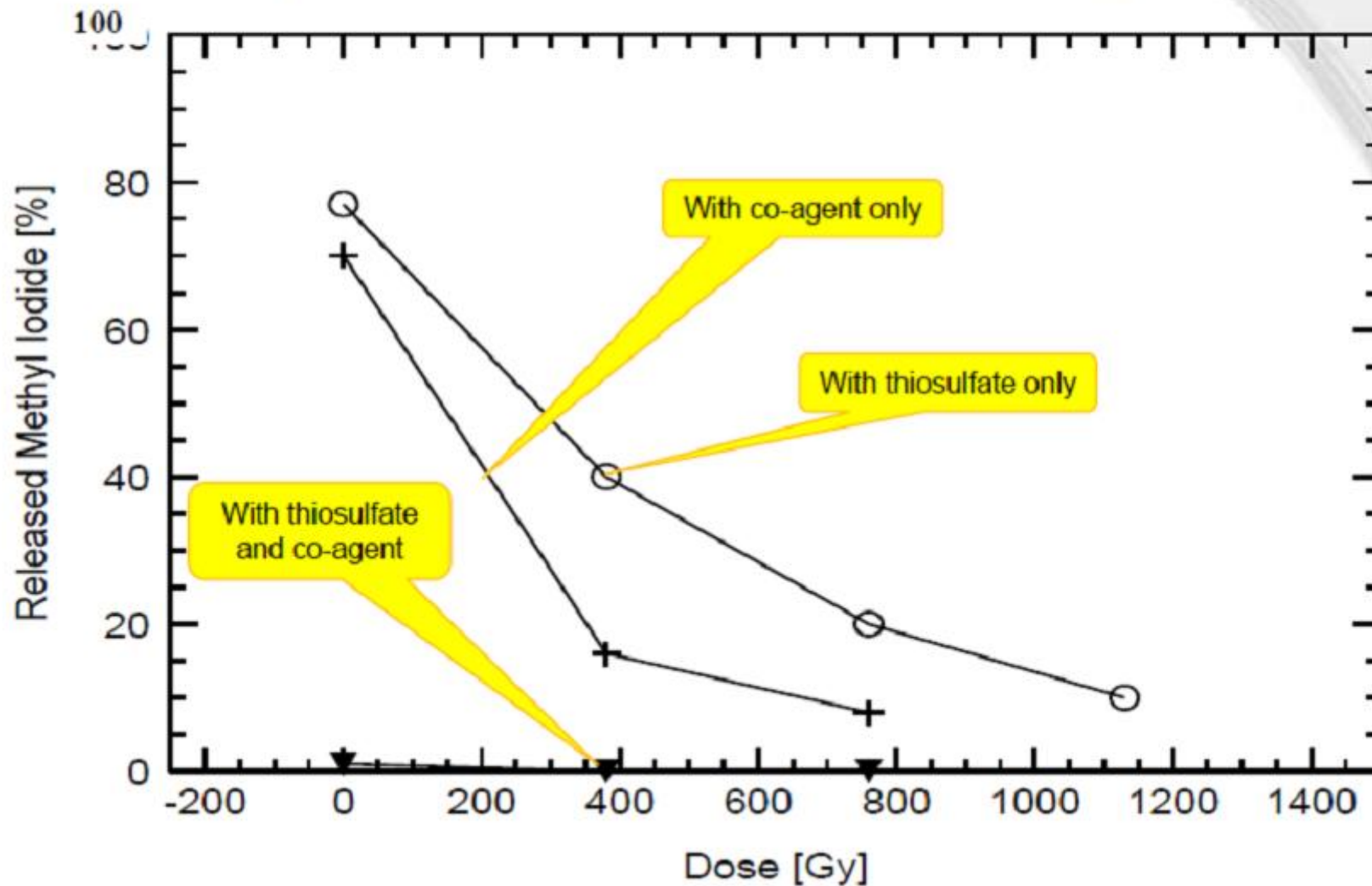
Facility to prepare aerosol laden steam-gas mixture flow



A representative module of FCVS filter used for aerosol tests

Iodine Retention Tests

Methyl Iodide release from solution during irradiation



Experimental data base – Conclusions of the tests



➤ Activity retention

Overall decontamination factors
(minimum values) for the
2nd generation FCVS:

**in comparison with
1st generation FCVS:**

👉	Aerosols	» 10'000	> 1'000
👉	Elemental iodine (I₂)	> 1'000	> 100
👉	Organic iodide (CH₃I)	> 1'000	none!

In the following operational conditions:

- Start-up
- Single/multiple venting operations
- Post venting
- Cold/hot water pool conditions
- Low/high pH
- Radiation dose due to accumulated activity

One of the most important lessons is

Preventing C/V rapture

Preventing Radioactive material exhaust

Fukushima Daiichi NPP

#1 C/V 7bar + Vent + H₂ Explosion ~1day

#2 C/V 7bar + No Vent + C/V rapture ~3.5day

#3 C/V 6bar + Vent + H₂ Explosion ~3day

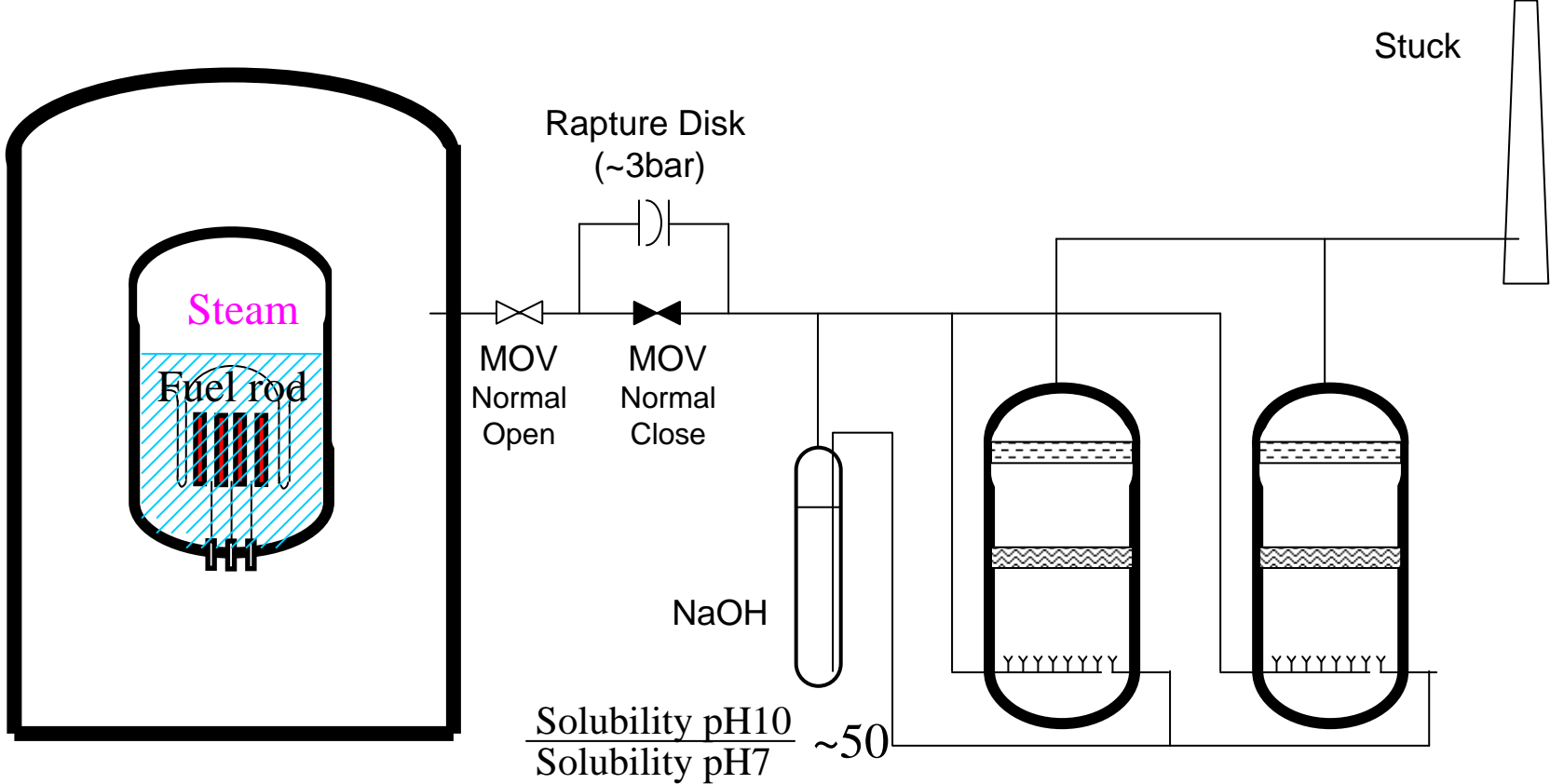
Prevent **over-pressure** C/V rapture + Exhaust of RI and H₂
→ Filtered Containment Venting System (FCVS)

Prevent **over-temperature** C/V rapture + H₂ leakage
→ Special Emergency Heat Removal System (SEHR)

JSME visit Leibstadt NPP, Swiss, on Nov.11,2011

FCVS (*Filtered Containment Venting System*)

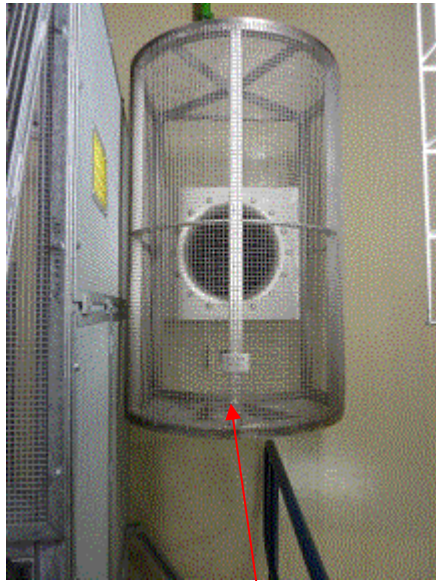
Backfitted on 1992 for DiD4 (mitigation of Sever Accident)



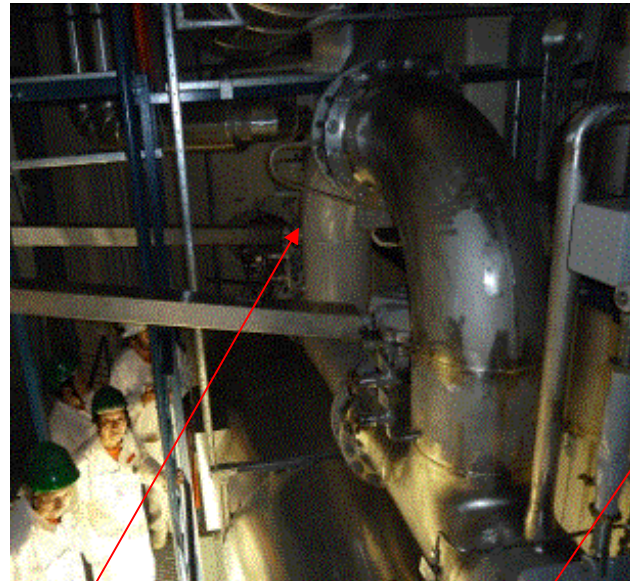
- Prevent C/V overpressure failure
- Capture radioactive materials
- Feed and Bleed under Long SBO & LUHS

DF > 1000 aerosol
> 100 I₂

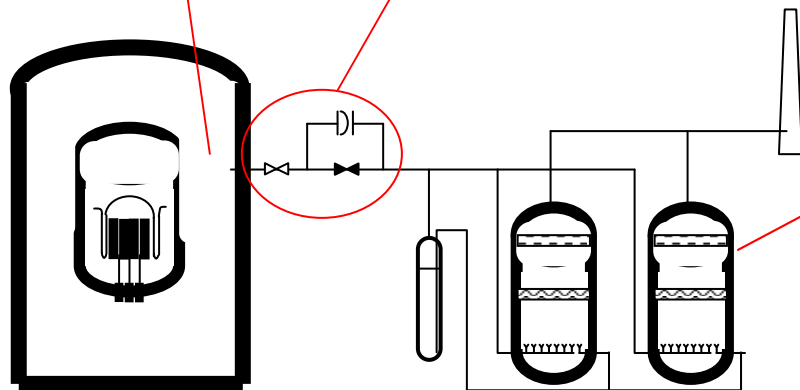
FCVS (Filtered Containment Venting System)



entrance

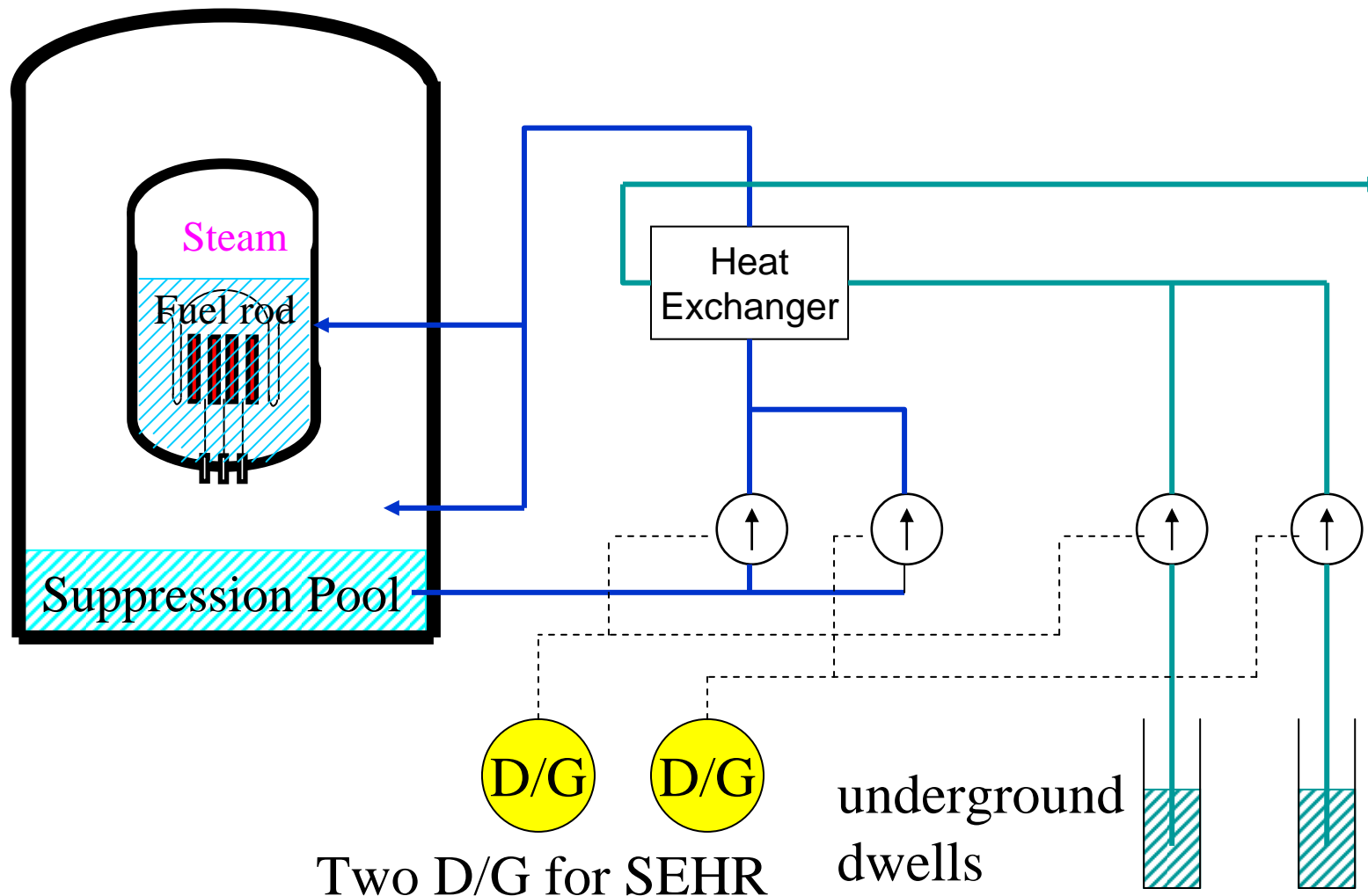


rapture disk



SEHR (*Special Emergency Heat Removal System*)

Backfitted on late '70s for DiD3 (additional C/V cooling)
and DiD4 (mitigation of Sever Accident)



My Thoughts

Exelon.

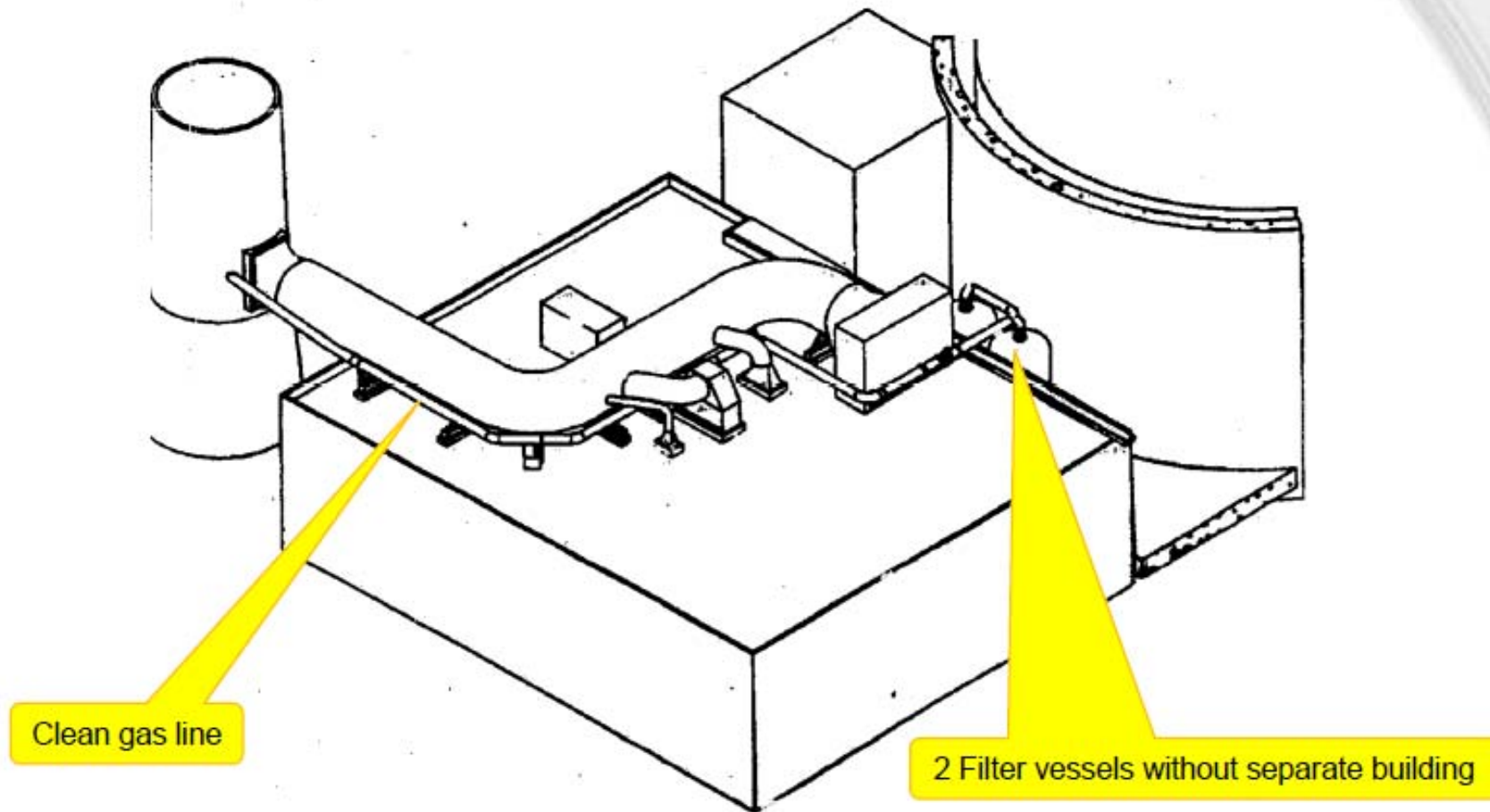
Nuclear Partners

- The challenge is not of technical rather organizational and cultural
- We will overcome Fukushima as we have with TMI and Chernobyl
- We will institutionalize all the learning
- We will protect our critical components beyond design basis and validate the assumptions behind the design basis
- We will improve our hardware and human performance
- We must through R&D change the cladding material
- We strengthen SAMG, SBO, B5B, Harden Pipe, etc.
- We will be a stronger industry
- Nuclear technology will advance and will remain as an essential part of our life

Installed FCVS – Leibstadt Nuclear Power Plant



Layout for General Electric BWR6

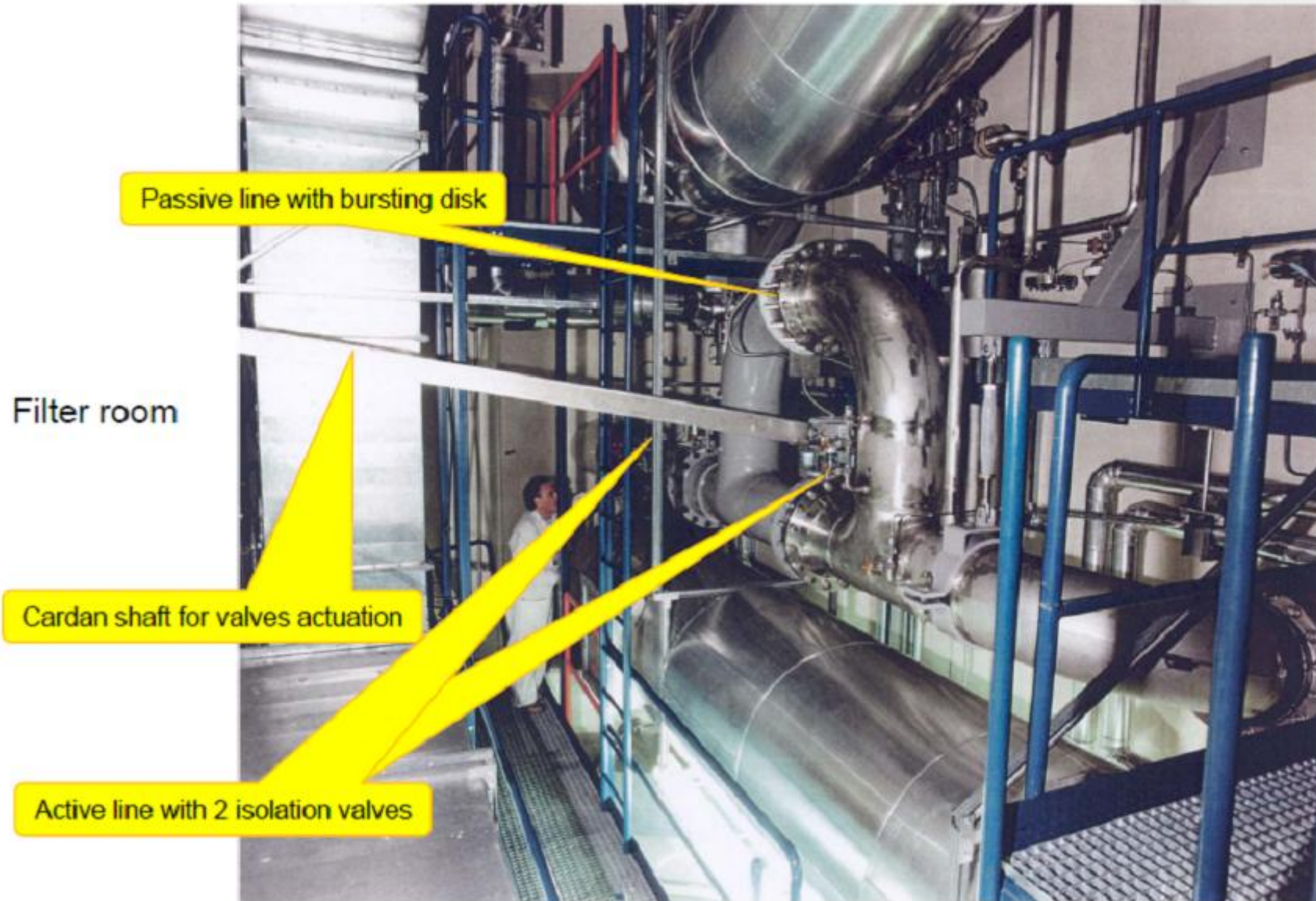


Installed FCVS – Leibstadt Nuclear Power Plant



Delivery of two filter vessels to the NPP Leibstadt

Installed FCVS – Leibstadt Nuclear Power Plant



Installed FCVS – Leibstadt Nuclear Power Plant



Local control room



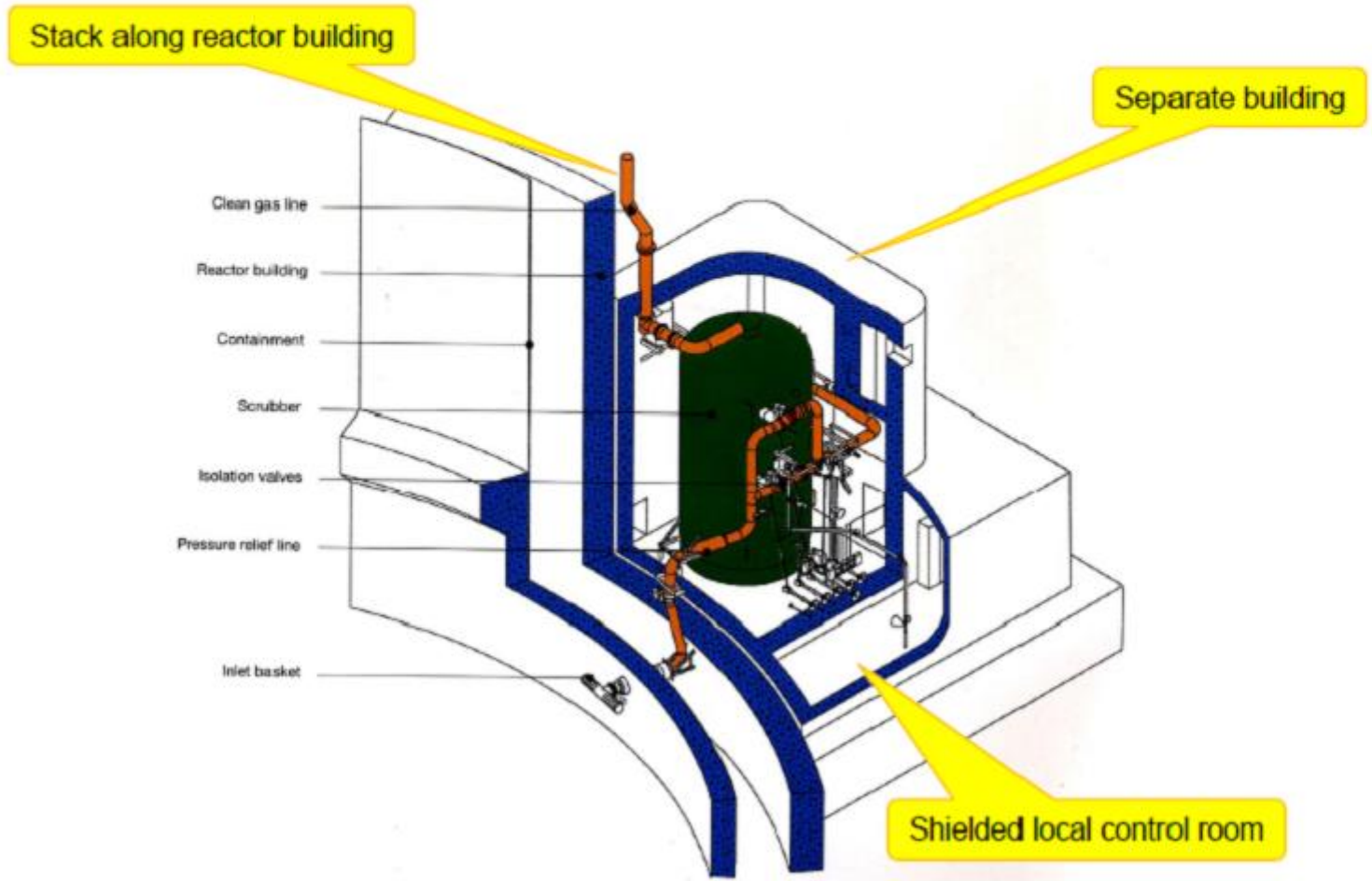
Instrumentation

Manual / electrical actuators

Installed IMI FCVS



Beznau Nuclear Power Plant – Layout for Westinghouse 2 loops PWR



Installed FCVS – Beznau Nuclear Power Plant



Filter room:
Clean gas piping
(bottom up view)



Filter room: Inlet piping



Local control room with manual control
valves and instrumentation

ストレス・テストの結論

- ・ ヨーロッパでは、福島事故のような地震と洪水の結果として考えられる安全機能の喪失、即ち、電源喪失(SBO)及び最終所内熱源の喪失、並びに両者の組み合わせに対して、コンピュータ・シミュレーションを命じた。
- ・ EU加盟国の27ヶ国のうち、原子力発電所を導入している14ヶ国が、ストレス・テストの中間報告を9月発表した。
- ・ ヨーロッパの148基が対象となっており、「洪水や地震への耐久性を確認したところ、原子炉の閉鎖が必要となる深刻なプラントはなし。」という結果であった。
- ・ 12月に規制当局の審査が行われ特にフランスでは、ラコステASN長官が、58基全ての改造を指示し、数千億円の費用が必要と発表されている。
- ・ 但し日本と違い運転は継続して、燃料交換期間に順次改造していく。

PCV Ventの結論

- 原子力の復活には、国民の安心を得る判りやすい対策が必要。
- 炉心冷却のための電源、水、注水ポンプなどの設備強化は実施済み。
 - 閉じ込めの基本は格納容器であり、PCVベントにより、設計圧力を超えることはなく、閉じ込め機能が万全となり、判り易い対策である。
 - 浜岡の18m高さの防波堤の1000億円より、10億円のPCVベントが必須。
 - また温度計、圧力計、水位計等の計装系が重要。