



一桁上の安全性を目指す
シンプルで理想的な原子力発電所
NPP-SI シリーズ

研究成果・開発計画発表会

2025年5月13日

山形 浩史

国立大学法人長岡技術科学大学 システム安全工学研究室 教授
株式会社安全科学総合研究所 代表取締役社長・研究所長

自己紹介

やまがた ひろし
山形 浩史 博士(工学)



1987/3 京都大学(修)原子核工学専攻 修了

1987/4 通商産業省(現:経済産業省)

1992/7 エネ庁原子力発電安全企画審査課(AM通知、SA研究、停止時PSA、指針見直し)
NEA、原子力発電課、放射性廃棄物対策調整室長、情報企画室長、IAEA

2011/3 保安院(東電本社、STEP2終了宣言、事故分析、SA対策規制)

2012/9 原子力規制庁

重大事故対策基準統括調整官、国際課長
安全規制管理官(BWR、PWR)、緊急事態対策監
審査チーム長

2021/8 長岡技術科学大学 システム安全工学専攻 教授(2016/12から兼業で実務家教授)

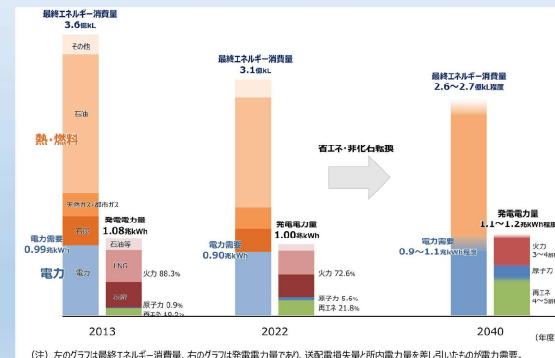
2022/3 (株)安全科学総合研究所を設立、代表取締役社長・研究所長

Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

2

エネルギー需給見通し

第7次エネルギー基本計画(2025年2月)



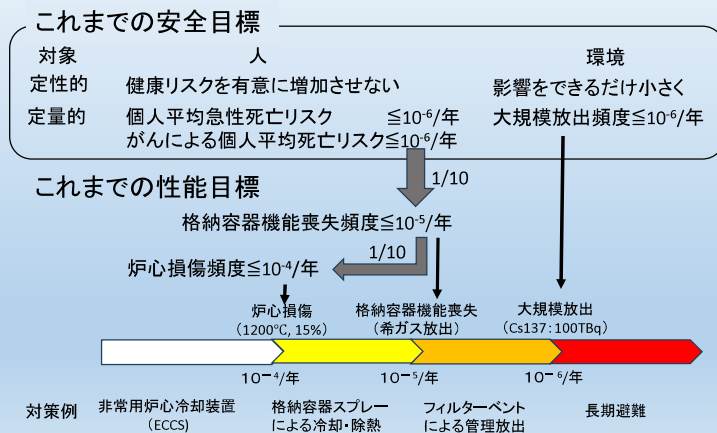
(注) 左のグラフは最終エネルギー消費量、右のグラフは発電電力量であり、送配電損失量と所内電力量を差し引いたものが電力需要。
出典: 資源エネルギー庁、2040年度におけるエネルギー需給の見通し、2025。

Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

3

一桁上の安全性を目指します

これまでの安全目標・性能目標



Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

4

一桁上の安全性を目指します

安全は時代の価値観とともに変化する

安全とは、
現在の社会の価値観に基づいて、
与えられた状況下で、
受け入れられない
リスクのレベルでないこと

ISO/IEC, Guide 51:2014 Safety aspects:
Guidelines for their inclusion in standards

2100年頃の人々の安全とは？

人口10万人当たり交通事故死者数(人)



警察庁、道路交通に関する統計

50年で
1/7

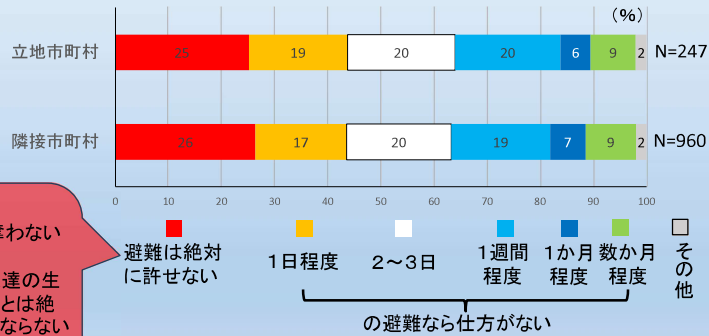
Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

5

一桁上の安全性を目指します

住民の避難に対する意識

問：原子力発電所の事故の際に、どの程度の避難なら許せますか？



【自由記述欄】

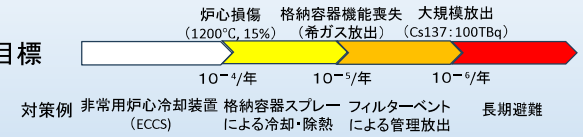
- 今の生活を奪わないでほしい
- 住んでいる人達の生活を脅かすことは絶対にあってはならない
- 子供がいるため避難は難しい

Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

6

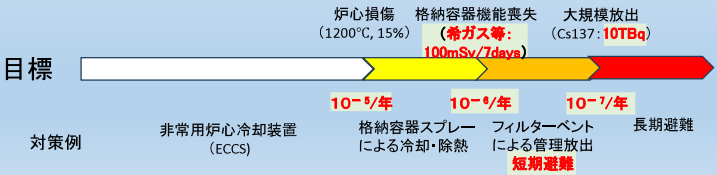
一桁上の安全性を目指します

これまでの性能目標



一桁上の安全性を目指す
短期避難を不要とする目標を明確にする

新設原発の性能目標



Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

7

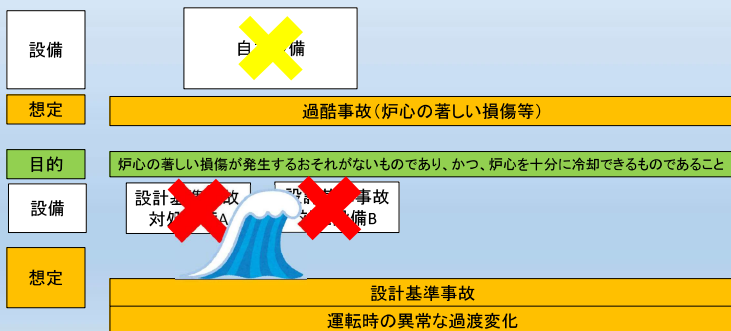
シンプルで強固な深層防護

1F事故前の深層防護

V

IV

III



Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

8

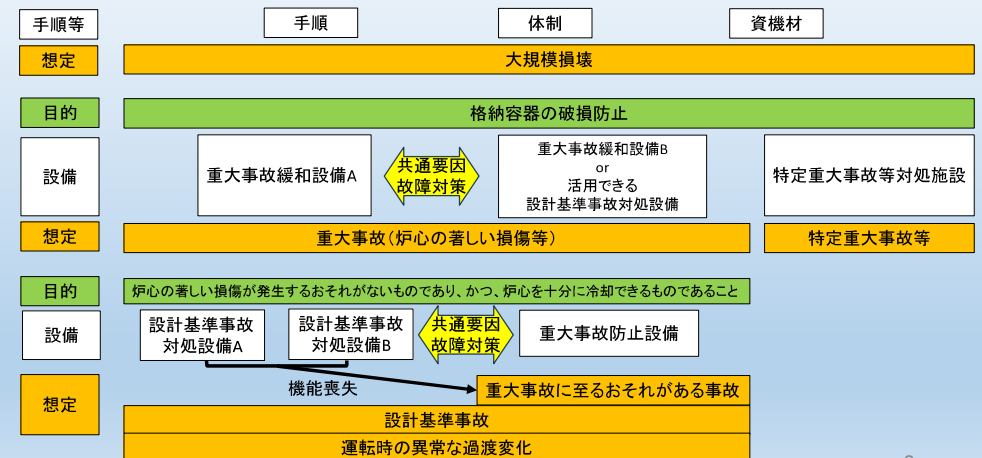
シンプルで強固な深層防護

新規制基準（既設原子力発電所）の深層防護

V

IV

III

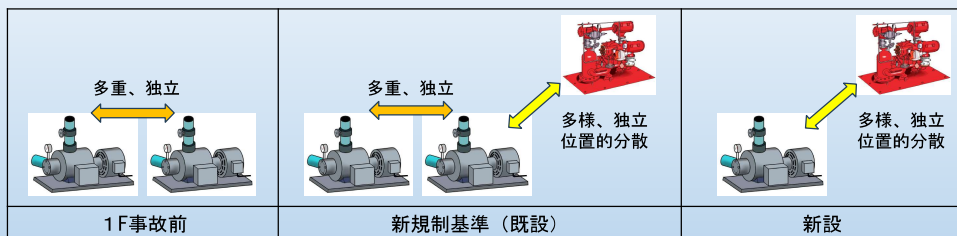


Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

9

シンプルで強固な深層防護

炉心損傷防止対策の信頼性



新設では
「重大事故防止設備」
「重大事故に至るおそれがある事故」
これらの「有効性評価」
という考え方が無くなる

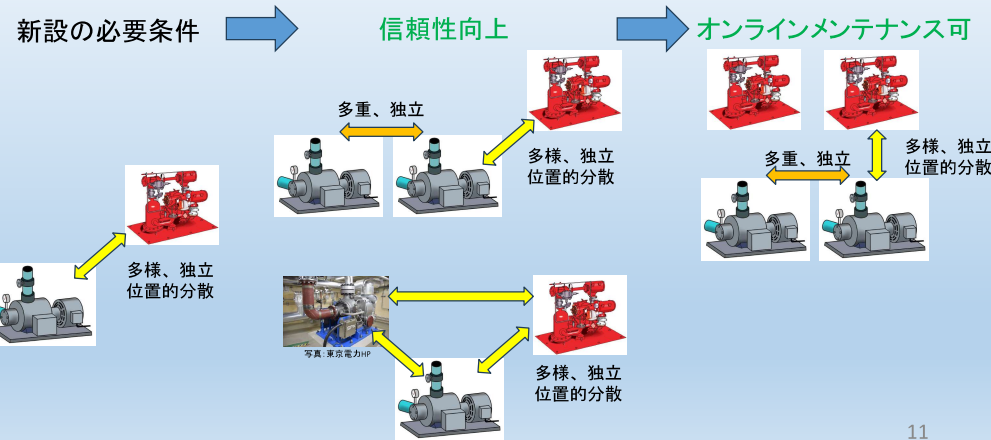
- 「設計基準事故対処設備」は多様性、独立性、位置的分散
- 各区分において「炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであること」を確認

Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

10

シンプルで強固な深層防護

信頼性向上、オンラインメンテナンス

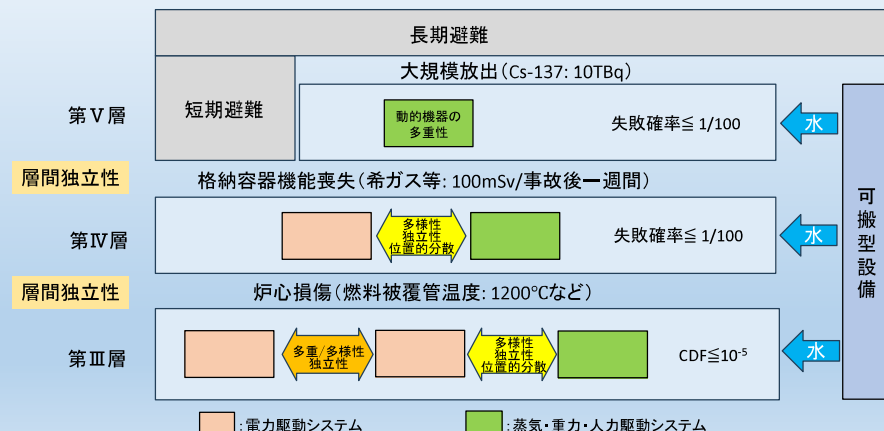


Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

11

シンプルで強固な深層防護

新設原子力発電所の深層防護

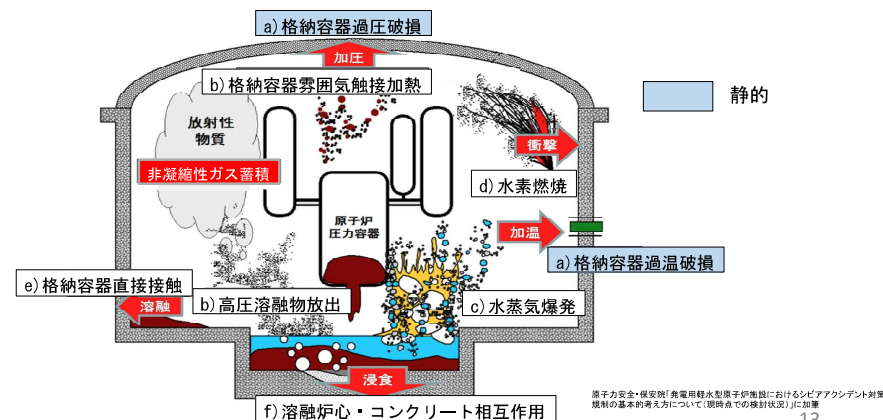


Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

12

第IV層の信頼性強化

6つの格納容器破損モード

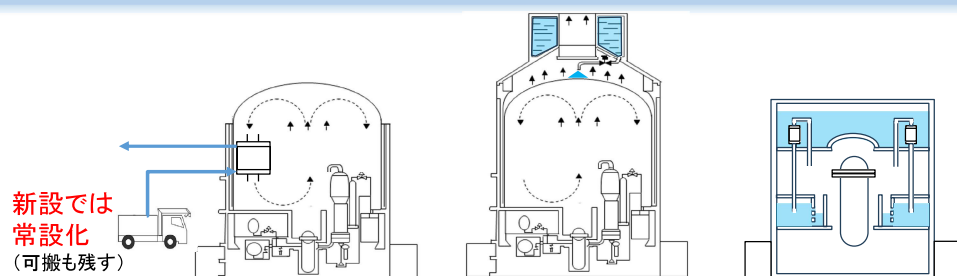


Copyright© 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

13

第IV層の信頼性強化

静的負荷に対する格納容器冷却除熱システム



動的格納容器冷却除熱システム	AP-1000	ESBWR
	静的格納容器冷却除熱システム	
日本の既設炉	海外事例	

新設では動的システムと静的システムによる多様性

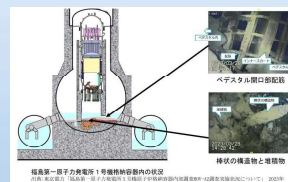
Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

14

第IV層の信頼性強化

エナジェティック現象の発生防止

デブリの広がりに不確実性が高い
輻射熱などによりコンクリートを損傷



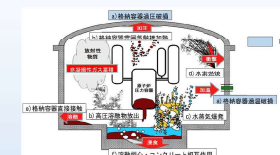
溶融炉心は水没が基本

さらに、水蒸気爆発、シェルアタック、MCCIを防止するコアキャッチャー

圧力容器急速減圧の多重化

高压溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱
発生防止

水素の早期燃焼、火炎伝搬阻止
フレイムアレスター付き電気点火器

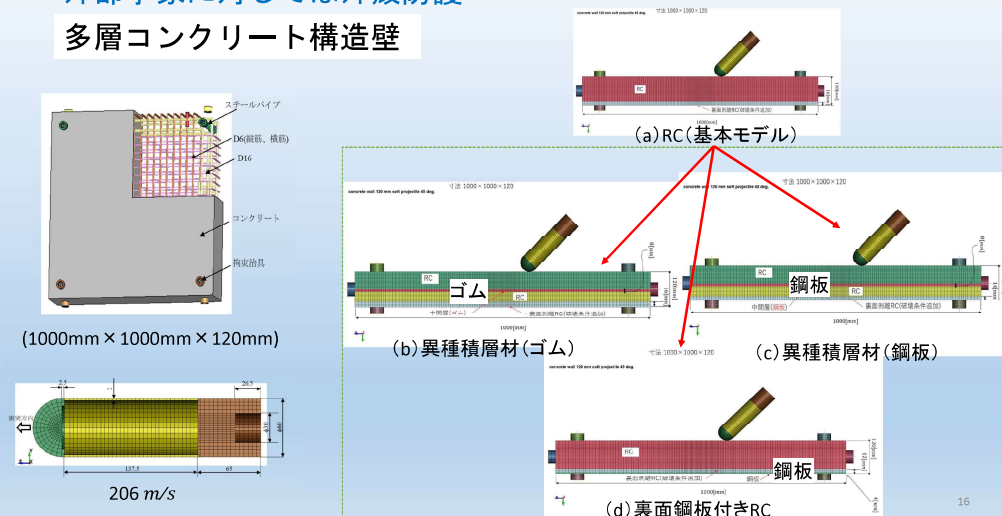


Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

15

外部事象に対しては外殻防護

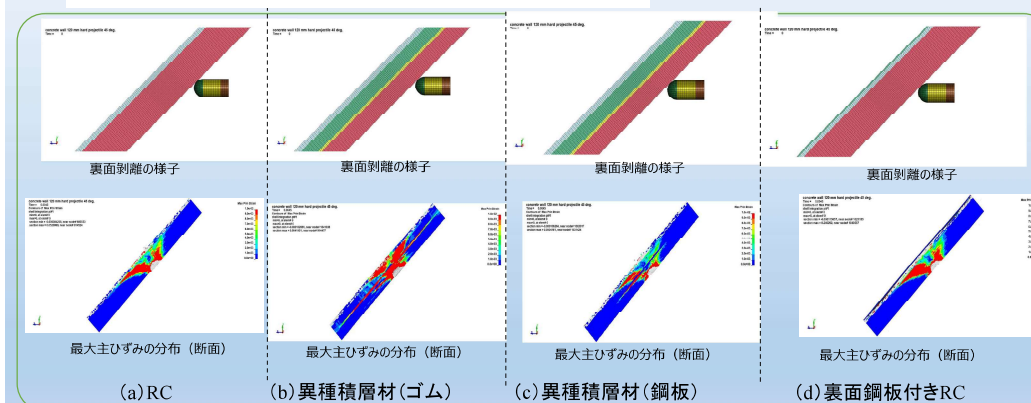
多層コンクリート構造壁



16

外部事象に対しては外殻防護

多層コンクリート構造壁の有限要素解析

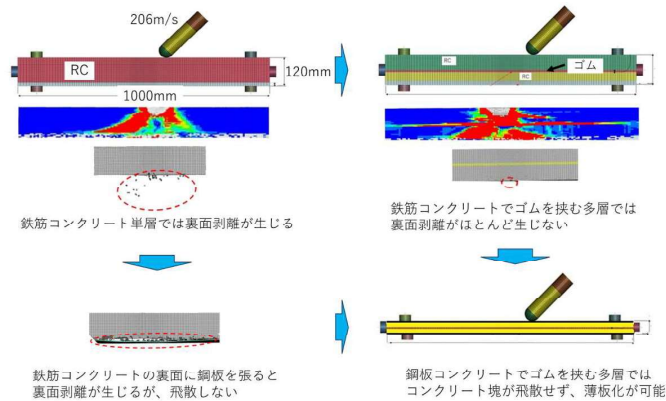


異種積層材（ゴム）では裏面剥離が大幅に低減できた

17

外部事象に対しては外殻防護

多層コンクリート構造壁による薄板化



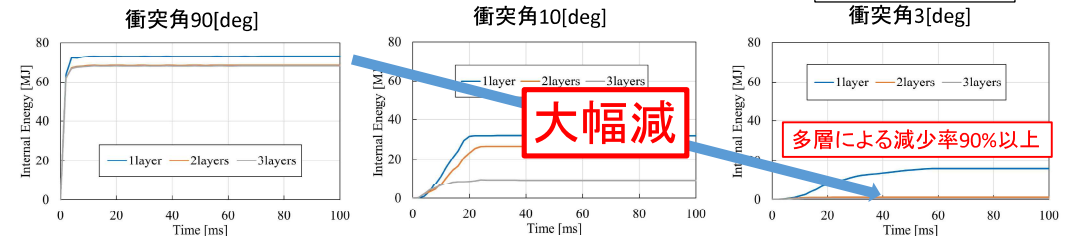
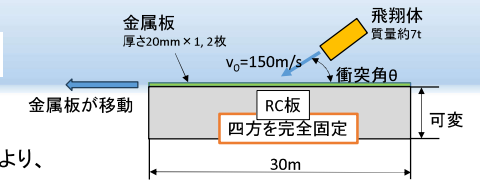
Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

18

外部事象に対しては外殻防護

天井部分へのスライディング機構

天井部分にはスライディング機構を設け、航空機の運動エネルギーの水平成分を逃らすことにより、多層コンクリート構造壁への衝撃を緩和し、天井部分を軽量化

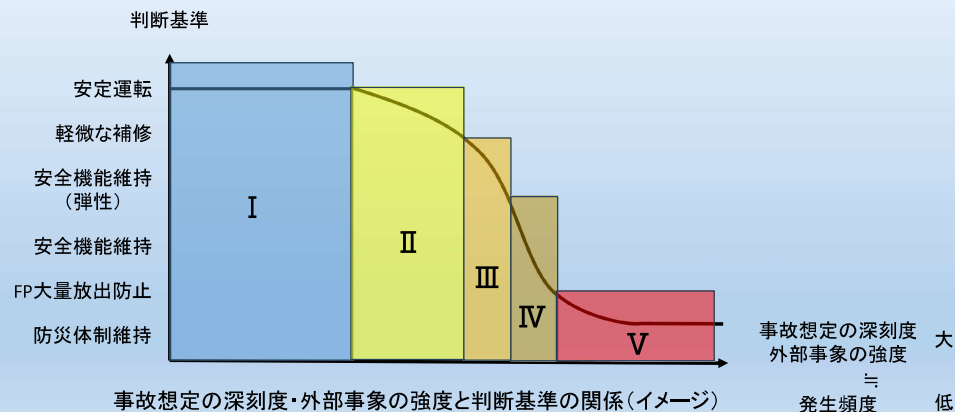


鉄筋コンクリートの内部エネルギーの時刻歴
Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

19

外部事象に対しては外殻防護

強度≒頻度に応じた許容基準



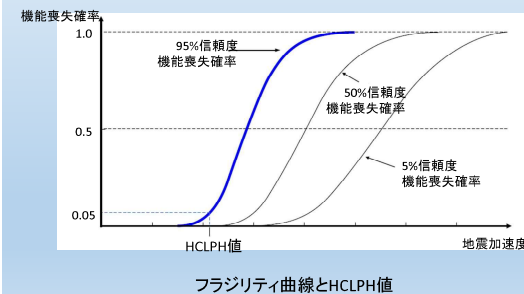
Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

20

外部事象に対しては外殻防護

フィルターベントは発生頻度が一桁低い地震動の考慮を目指す

炉心損傷防止対策(第Ⅲ層)のストレステストでは高信頼度低損傷確率値(HCLPF値)



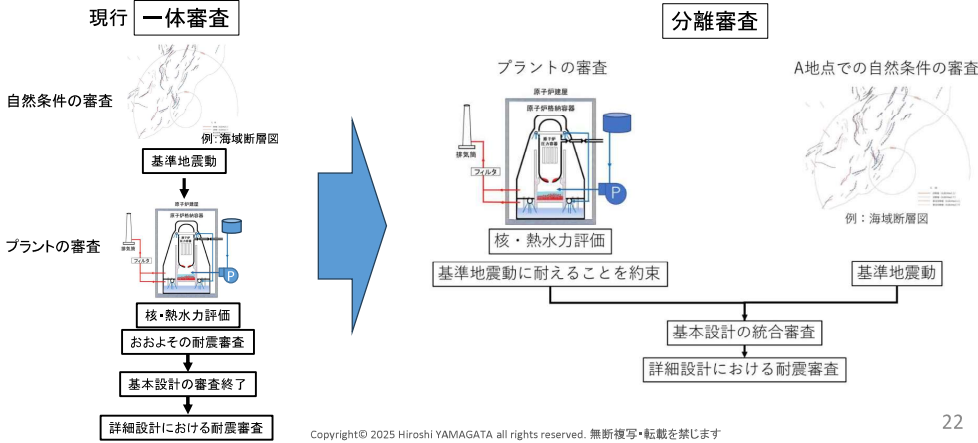
発生頻度が一桁低い地震動に対して
長期的避難を防止するための対策(第Ⅴ層)
すなわち格納容器とフィルターベントには
新たな指標が必要

Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

21

新設を促進するための新たな法整備

規制リスクの低減：地盤審査とプラント審査の分離



22

新設を促進するための新たな法整備

産学規のコミュニケーション

技術者倫理、
原子力安全の基本
理念・原理・原則
についての共有



23

概念設計から基本設計へ

1. 安全機能を実現する技術の選択

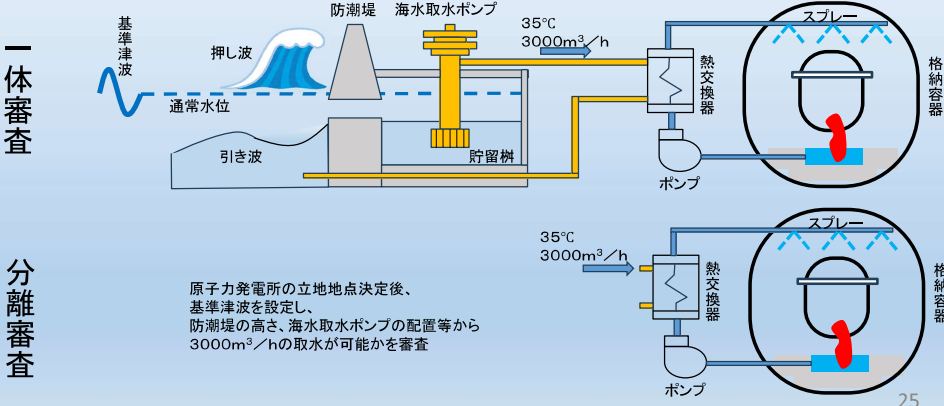
安全機能	候補設備	評価項目					採否
		流量	突出 圧	起動 時間	継続 時間	...	
高圧注水	電動ポンプ						
	蒸気駆動ポンプ						
	復水器 (IC)						
	蓄圧タンク						
	...						

Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

24

概念設計から基本設計へ

2. プラント設計とサイト条件の分離



25

概念設計から基本設計へ

3. 性能目標を達成するためのフィードバック(確率論的リスク評価)

性能目標の達成

層間のバランス

- ・ 深層防護の考え方
- ・ 第IV層の対策による条件付格納容器破損確率が1/10未満
- ・ 第V層の対策による条件付大規模放出確率が1/10未満
- ・ または、現象の不確かさから確率の不確かさが大きいと思われるなら、対策の作動失敗確率を1/100以下

炉心損傷頻度が10-7/年なので、第IV層、第V層の対策がなくても大規模放出頻度が10-7/年となり性能目標を達成しているのはバランスが悪い

層内のバランス

- ・ 起因事象別割合
- ・ 事故シーケンス割合
- ・ FV重要度など

性能目標を達成し、バランスを良くするために技術の選択に戻る

Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

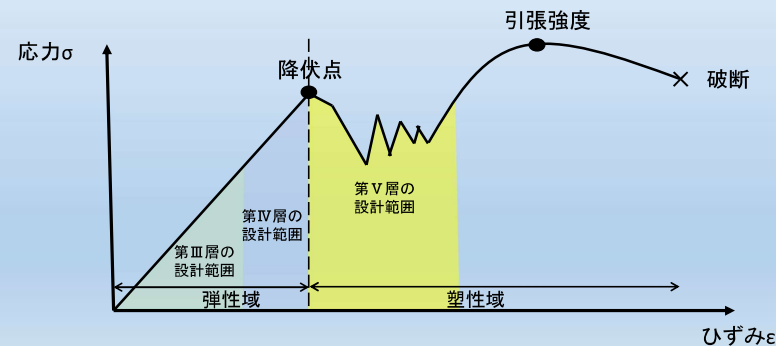
26

概念設計から基本設計へ

4. 核熱水力基準の達成確認(決定論的安全評価)

基本的には、既存の解析コードが利用可能

ただし、判断基準は同じ観点であっても、深層防護における層によって合理的に設定する必要



Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

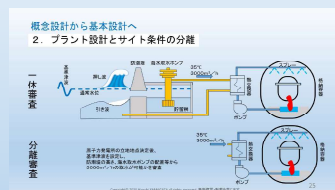
27

研究会(仮称)へ参加を

今後1年間の検討事項

概念設計から基本設計へ
1. 安全機能を実現する技術の選択

安全機能	候補技術	評価項目	採否
電動ポンプ	洗盤	洗盤	
蒸気駆動ポンプ	洗盤	洗盤	
高圧注水	洗盤	洗盤	
高圧タンク	洗盤	洗盤	
...	洗盤	洗盤	



研究会(仮称)へ参加を検討される方は、
アンケート用紙に氏名をご記入ください
後日、詳細をご連絡します

Copyright © 2025 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

28

ご清聴ありがとうございました



山形 浩史 博士(工学)

国立大学法人 長岡技術科学大学
大学院工学研究科 システム安全工学分野
教授

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1
E-mail: yamagata@vos.nagaokaut.ac.jp
HP: http://safety-management.na.coocan.jp/
Tel: 0258-47-9915

株式会社安全科学総合研究所
代表取締役社長・研究所長

〒940-0052 新潟県長岡市神田町1丁目2-9
Email: h.yamagata@spa.nifty.com
Tel: 0258-94-5768

Copyright © 2024 Hiroshi YAMAGATA all rights reserved. 無断複写・転載を禁じます

29