

アドバンス・シミュレーション 第5回 ・セミナー 2023

2023年 8月 3日(木) 離

プログラム

1. アドバンスソフト株式会社についてと、先生のご紹介 1

招待講演

2. 「原子力安全に必要となる計算科学技術への期待」 3

東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 教授 笠原 直人 様

3. アドバンスソフトからの情報提供 39

講演概要

「原子力安全に必要となる計算科学技術への期待」

東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 教授 笠原 直人 様

設計とは想定した事象に対する備えであり、我が国の原子力発電所は、事故を起こさないことに細心の注意を払ってきた。福島第一原子力発電所事故を教訓として、想定を超える事象に対して事故が起こった後の、影響緩和やレジリエンスの重要性が認識されるようになった。

こうした対策には、事故や破損から安全性能喪失までに至る進展挙動の予測が前提になる。設計用の破損以前までの保守的解析法では不十分であり、非線形挙動をベストエスティメートする必要がある。実験による再現は規模や安全性の面から制限が大きく、実機予測は計算科学が必要となる。

大学での関連研究の紹介と共に、将来への期待を述べる。



アドバンスソフト株式会社 セミナー事務局

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台四丁目3番地 新お茶の水ビルディング 17階西

TEL: 03-6826-3971 FAX: 03-5283-6580

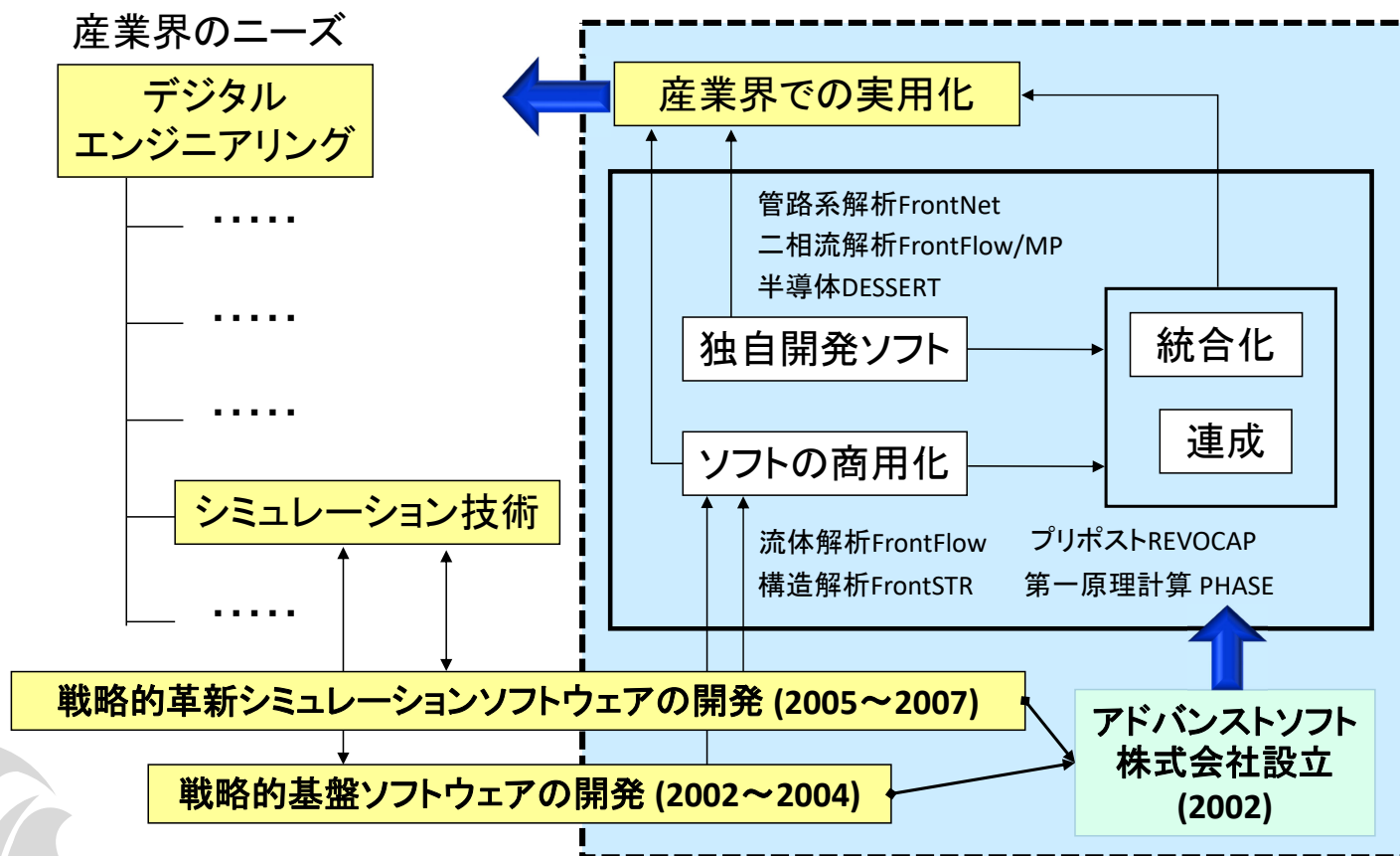
URL: <http://www.advancesoft.jp/> E-mail: office@advancesoft.jp

アドバンスソフト株式会社についてと 先生のご紹介

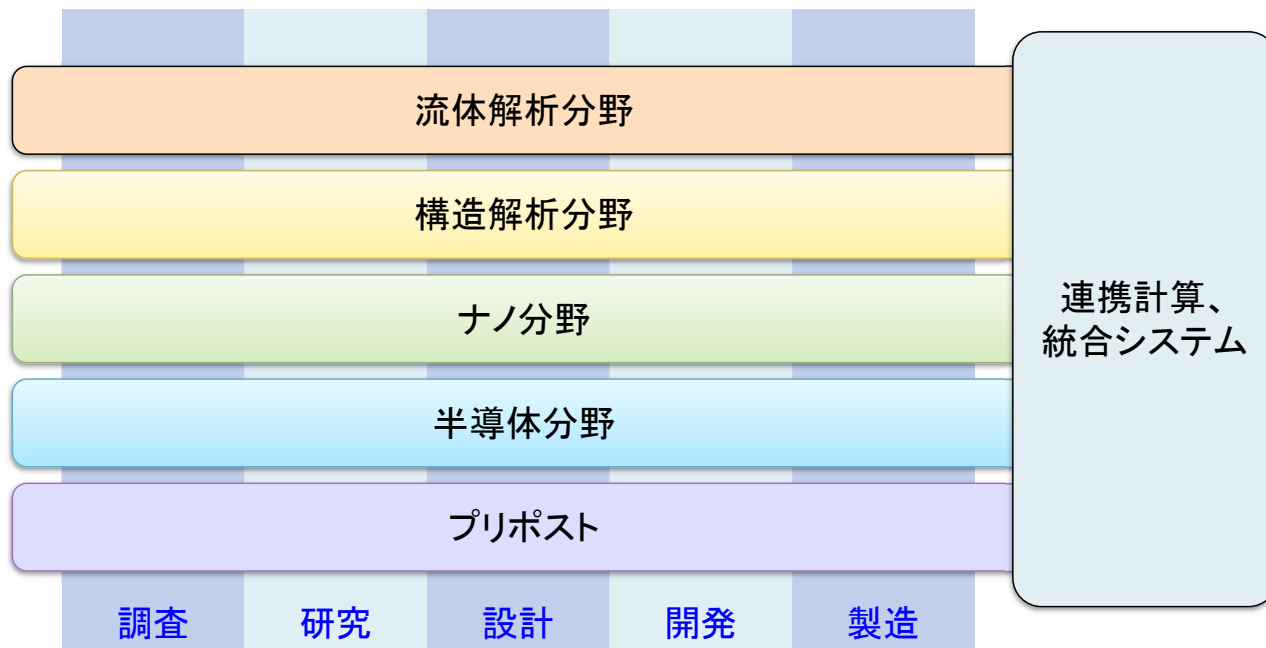
第5回 アドバンス・シミュレーション・セミナー
(東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻
教授 笠原 直人 様)

2023年8月3日 (木) 開催
アドバンスソフト株式会社

アドバンスソフトとは



事業分野



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、科学技術計算によるソリューションをご提供します。

笠原 直人 先生 のご紹介

ご経歴

- 1984年 東京大学大学院 修士課程修了後、動力炉・核燃料開発事業団入社、高速増殖炉の構造設計評価法の研究開発に従事。「もんじゅ」Na漏洩事故時には原因究明に関わる。
- 1999年 フランス原子力庁 客員研究員。
- 2008年 日本原子力研究開発機構から東京大学に移籍。福島第一原子力発電所事故時には専攻長として対策を支援。
- 2022年 日本機械学会 発電用設備規格 委員長。

ご研究内容

設計とは想定した事象に対する備えであり、我が国の原子力発電所は、事故を起こさないことに最新の注意を払ってきた。福島第一原子力発電所事故を教訓として、想定を超える事象に対して事故が起こった後の、影響緩和やレジリエンスの重要性が認識されるようになった。こうした対策には、事故や破損から安全性能喪失までに至る進展挙動の予測が前提になる。設計用の破損以前までの保守的解析法では不十分であり、非線形挙動をベストエスティメートする必要が出てくる。実験による再現は規模や安全性の面から制限が大きく、実機予測は計算科学が必要となる。大学での関連研究の紹介と共に、将来への期待を述べる。

原子力安全に必要なとなる 計算科学技術への期待

2023年8月3日

東京大学 大学院工学系研究科 原子力国際専攻
笠原直人

※本報告の一部は、文部科学省原子力システム研究開発事業JPMXD0220353828の成果を含んだものです。



1

内 容

事故から学んだ原子力安全

次世代革新炉の開発

原子力安全のニーズ

大学研究の紹介

計算科学への期待



2

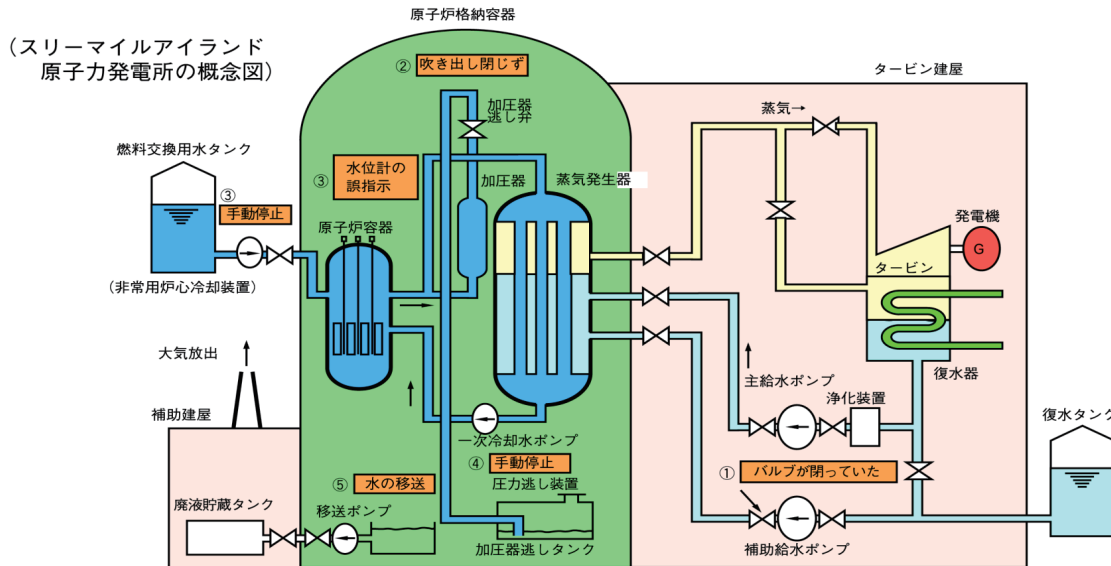
スリーマイルアイランド原子力発電所事故の概要

○事故の主な経緯

1979年3月28日、アメリカのペンシルバニア州スリーマイルアイランド（TMI）原子力発電所2号機で主給水ポンプが停止。補助給水ポンプが自動起動したものの、ポンプ出口弁全閉で二次冷却水循環水が循環せず、また、自動起動したECCSを運転員が誤判断し、手動で停止したなど機器の故障や誤操作の結果、炉内構造物が一部溶解した。

○事故の影響

周辺の公衆が受けた放射線の量は最大で1ミリシーベルト、平均0.01ミリシーベルトと健康上影響のない極めて低いレベルであった。



出典：三島良績監修「わかりやすい原子力」他

設計安全から運転安全へ

■スリーマイルアイランド原子力発電所で、安全の網の目を潜り抜けて、炉心溶融事故が起きた。

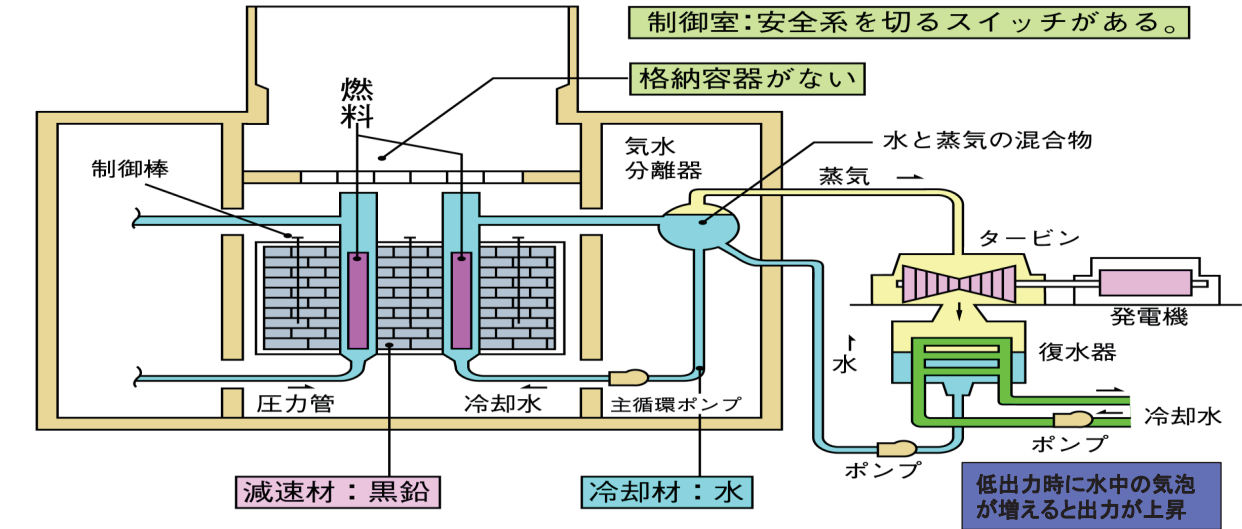
■事故原因は保守点検のまずさや運転員の不適切な対応であった。

■固有の安全性に裏付けされ、先端技術でバックアップされた安全の大切さが再認識された。

■原子力安全の議論は、それまでの設計安全中心のものから運転安全を含むものへと変わっていった。

チェルノブイリ原子力発電所の構造

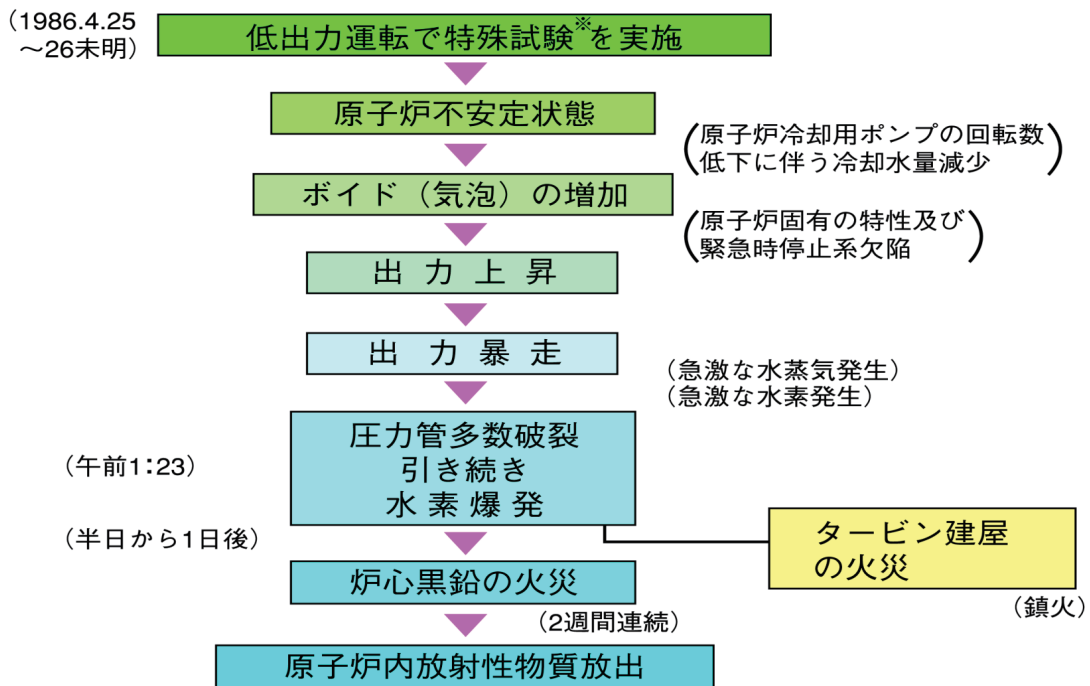
(黒鉛減速軽水冷却沸騰水型炉 RBMK)



	日本の原子炉	チェルノブイリの原子炉
自己制御性	あり	なくなる場合がある
冷却材	水	水
中性子の減速材	水	黒鉛
安全装置	インターロックにより危険操作の防止	容易にはずせる
原子炉をカバーする丈夫な格納容器	あり	なし

出典:資源エネルギー庁パンフレット

チェルノブイリ原子力発電所事故の経過



※外部からの電力の供給を停止した時に、タービン発電機の慣性回転エネルギーを電気出力としてどこまで利用できるか確認するための特殊な試験

出典:旧科学技術庁パンフレット

チェルノブイリ原子力発電所事故の原因

セイフティーカルチャーの欠如

設計上の問題点

- 格納容器がない
- 安全装置が簡単に切れる設計
- 低出力時に、冷却水中のボイド(気泡)が増えると出力が上昇するという特性(正のボイド係数)など

運転員の規則違反

- 制御棒の規定以上の引き抜き
 - 非常用炉心冷却装置(ECCS)を切って運転を実施
 - 計画を下回る低出力での特殊試験
- 〔低出力領域(全出力の20%以下)では不安定なため連続運転は禁止されていた〕
など

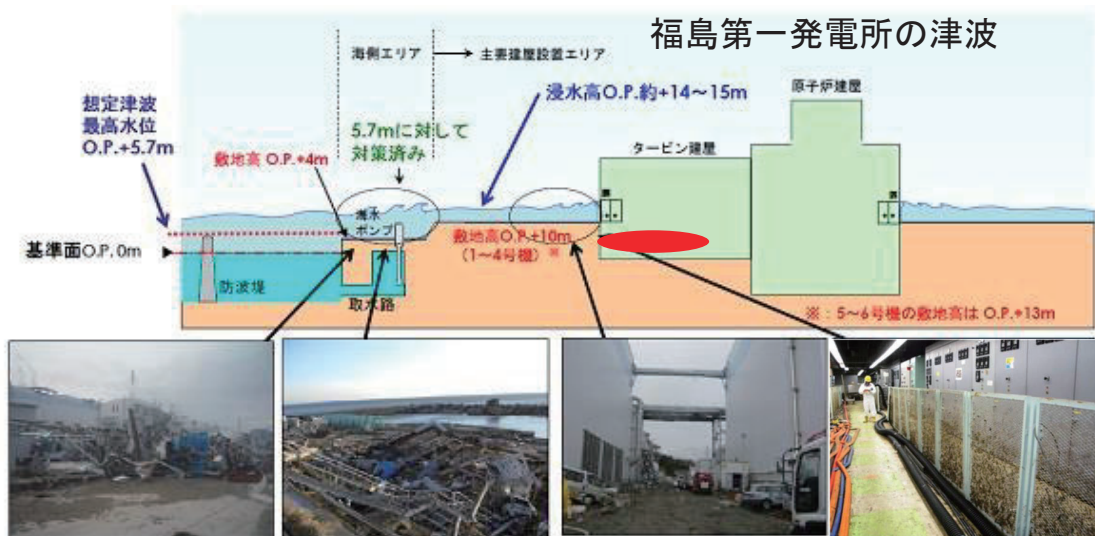
運転管理上の問題

- 原子炉の専門家でないものが指揮
 - 正規の手続や発電所全体の合意なしに特殊試験を実施
 - 安全対策の検討が不十分
- など

出典：資源エネルギー庁パンフレット

福島原子力発電所事故の直接の原因と根本原因

■ 地震発生直後に制御棒が一斉挿入され原子炉を「止める」ことには成功した

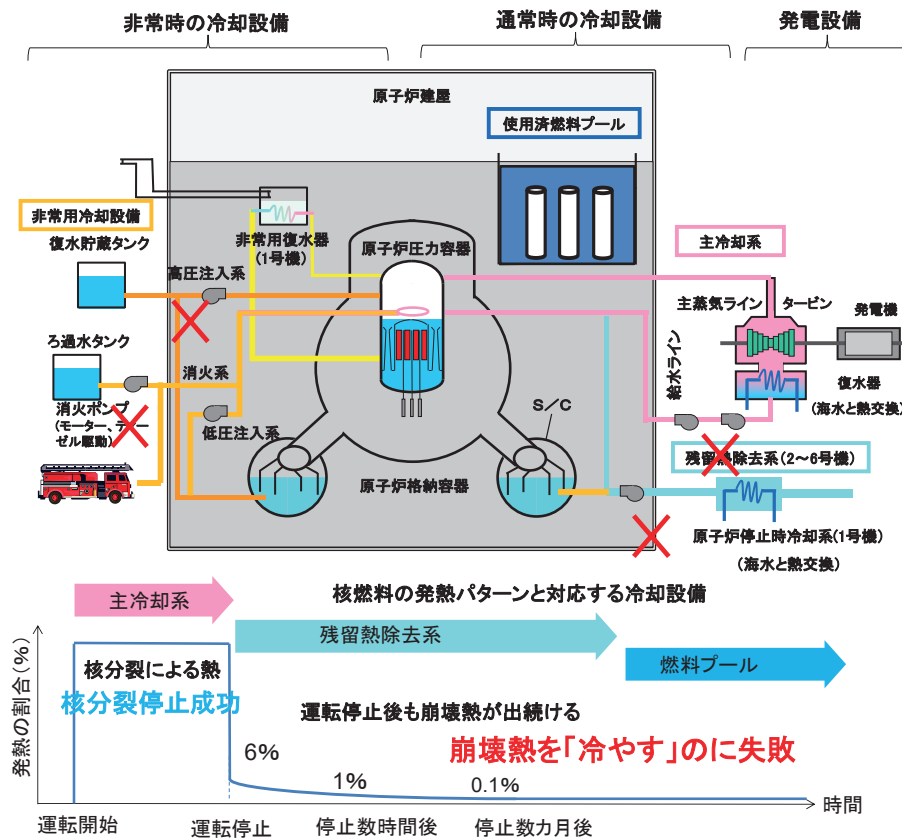


<http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110413006/20110413006.pdf>

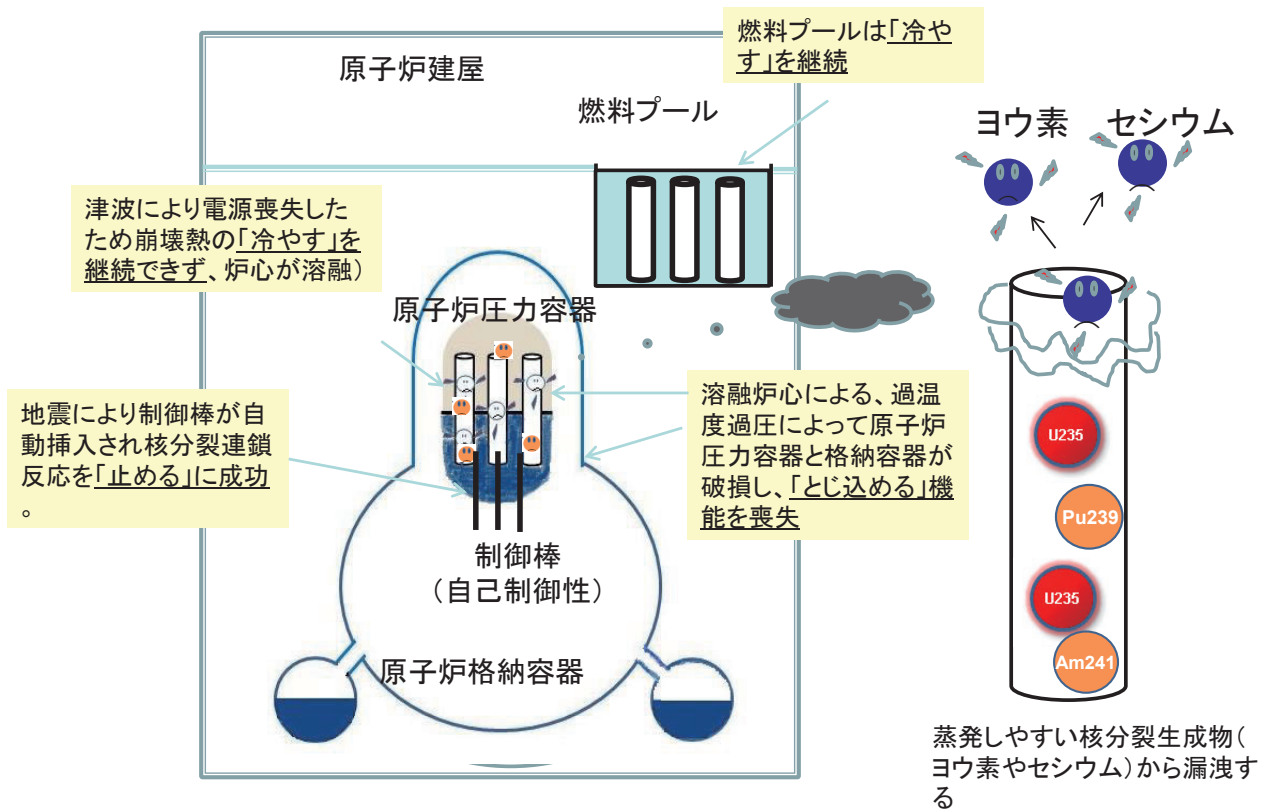
■ 約1時間後に到達した津波により配電盤が浸水し全電源を喪失した

出典：淵上,笠原,畑村,福島原発で何が起きたか,政府事故調技術解説,日刊工業(2013)

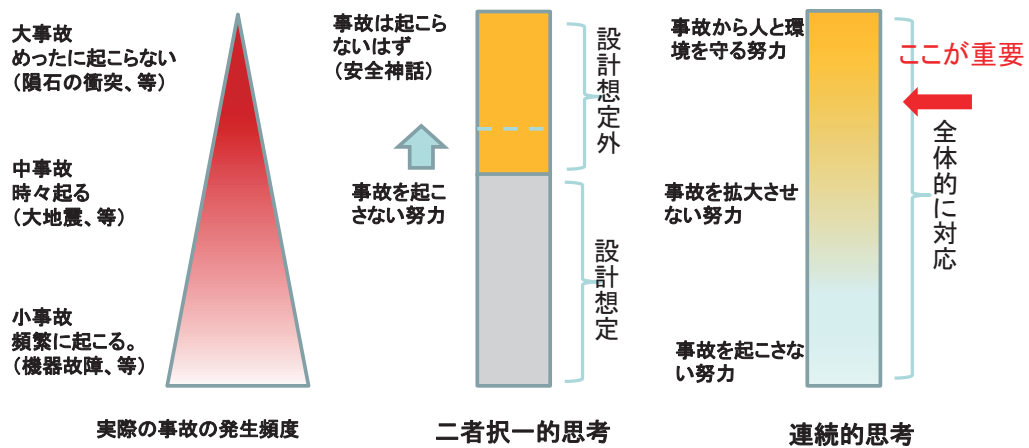
電源を喪失して崩壊熱の冷却設備が使えなくなった



崩壊熱冷却失敗により燃料が溶融し核分裂生成物の「閉じ込め」に失敗

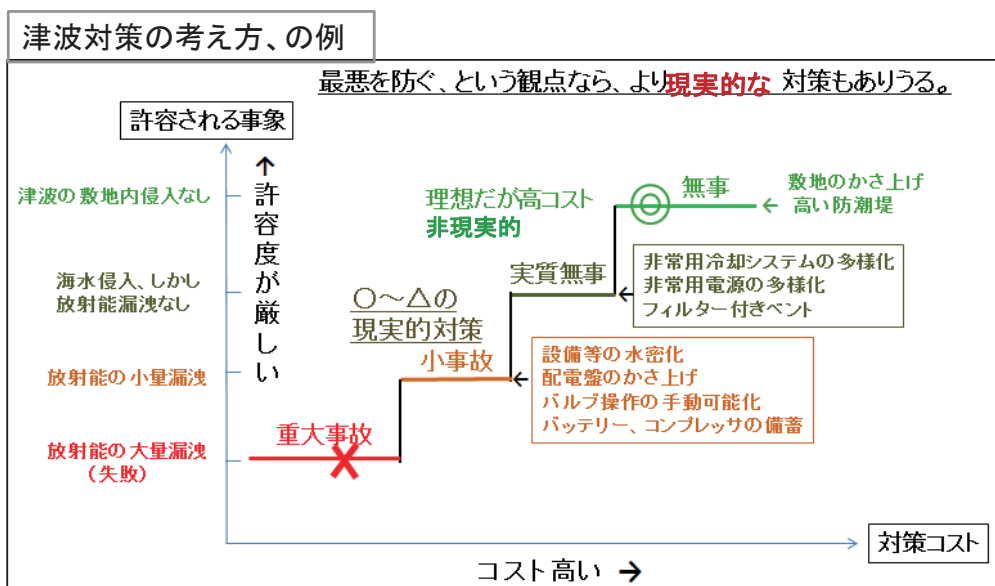


設計想定事象と設計想定を超える事象に対するアプローチの違い



- 設計の目的は事故の防止
- 設計基準外事象や自然災害などの外部事象に対して絶対事故を壊さないようにするのは不可能
- たとえ事故が起こったとしても、拡大を防ぎ環境への影響を緩和することが目的

安全管理最高責任者は、「起こりえること」への対処方法を**不断**に考える。
 。費用対効果上有効な対策から実施する努力を払い続ける。
 100点か0点かではなく、粘り強い減災を！



内 容

事故から学んだ原子力安全

次世代革新炉の開発

原子力安全のニーズ

大学研究の紹介

計算科学への期待

次世代革新炉開発への期待

カーボンニュートラル(再生可能エネルギーとの組み合わせ)
とエネルギー・経済安全保障(ウクライナで顕在化)の両立

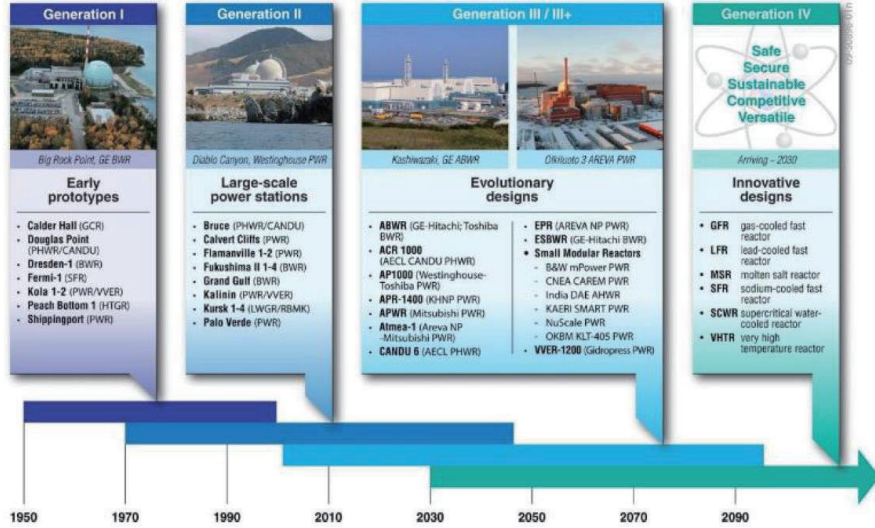
革新炉の種類

革新炉の区分		
革新炉 <定義>	大型	小型
軽水炉	革新軽水炉	小型モジュール 炉 (SMR)
第4世代炉等	大型第4世代炉	

[文献] 資源エネルギー庁, エネルギーを巡る社会動向を踏まえた革新炉開発の価値(2022)

原子力発電の進化

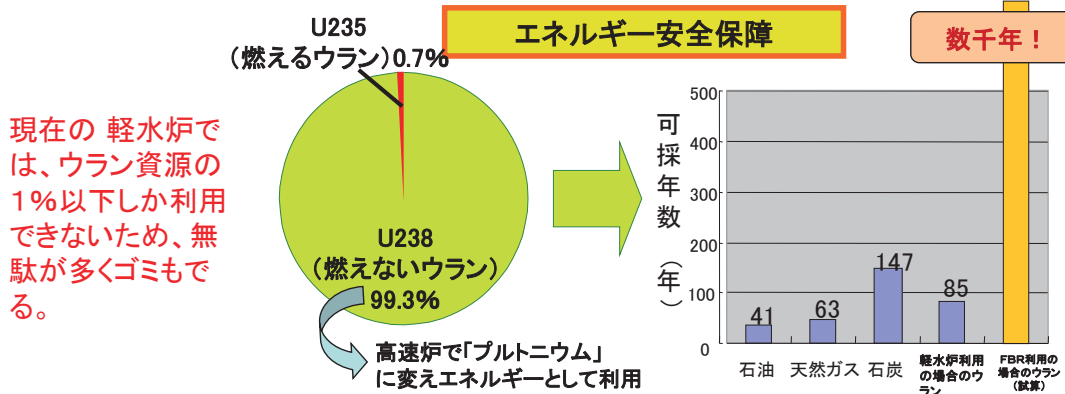
- 稼働中の発電用原子炉は、概ね第2～第3世代原子炉
- 今後の次世代原子炉として、第3+世代炉(EPR、ESBWR等)や第4世代炉がある。
 - 第3+世代炉は、第3世代炉に対してより先進的な安全方策を導入
 - 第4世代炉は、2030年頃の実用化を目標として、第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF: Generation IV International Forum)の場等で開発が進められている。



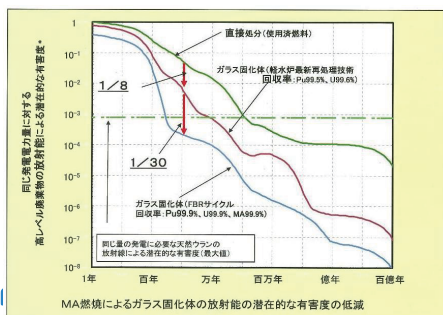
[文献] Gen-IV International Forum, https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_9260/public

高速炉と核燃料サイクルを組み合わせた資源・廃棄物問題への貢献

①ウラン資源を無駄にせず長期のエネルギー安全保障を実現



②高レベル放射性廃棄物による環境への負荷を大幅に低減






	潜在的有害度の減衰
ワンスルー	10万年
プルサーマル	1万年
高速増殖炉サイクル	200~300年

ワンスルー: 使用済燃料を再処理せずに、ある期間冷却保管した後に廃棄物処分(直接処分)するという考え方(使い捨て方式)

米英加で加速する革新炉開発に対する支援

- 大型炉建設計画に加え、米英加では負荷追従、水素・熱利用を含め、**多様な利用形態・ユーザーの革新炉モデルを追求**。2015年頃より大型予算で**小型モジュール炉（SMR）**を支援、最近では**高温ガス炉、高速炉等の革新炉実証**にも大型予算を配分中。

	軽水炉SMR	革新炉（非軽水炉SMRを含む）
 米国	NuScale SMR 運開目標：2029年 政府支援：2013年以降、\$530M（約530億円）。 昨年10月、 10年間で\$1.355B（約1355億円）の追加支援発表 。	ARDP：革新炉実証炉建設に向けた支援（2020年～） 支援対象（7年以内に連関する炉型）： ①X-Energy社 高温ガス炉 ②Terra Power社 ナトリウム冷却高速炉 支援額： 初期支援\$80M（80億円）+ 7年間で\$3.2B（3200億円） を予定（50%のコストシェア）
 英国	ロールスロイスSMR 運開目標：2029年 政府支援：£18M（約25.2億円）	AMR：非軽水炉SMRを対象とした開発支援（第一フェーズ2017年～、第二フェーズ2020年～） 第2フェーズ支援対象： ①WH社 鉛冷却高速炉 ②U-Battery社 高温ガス炉 ③Tokamak Energy社 核融合炉 支援額：2年間で£40M（54億円） 革新原子力ファンド（2020年～） 支援額： 国産SMRに£215M（325億円） 高温等が利用可能な 革新炉に£170M（257億円）
 カナダ	SMRロードマップ（2018年）、SMRアクションプラン（2020年） ：2020年代後半までにSMR初号機運開を目指す 革新炉導入に向けた各州の取組 ： オンタリオ州：州内でのSMR建設のため、GEH社（ 軽水炉SMR BWRX-300 ）、X-energy社（ 高温ガス炉 ）、テレストリアル社（ 熔融塩炉 ）を候補に検討中。最速2028年の導入を目指す。 ニューブランズウィック州：ポイントルプロー原子力発電所へのARC社 高速炉 、Moltex社 熔融塩炉 導入を支援。	CNRI：国研のサイト提供を含むSMR開発支援（2019年～） 支援対象： 熔融塩炉 （①Moltex社 ②Kairos Power社 ③Terrestrial Energy社）、 高温ガス炉 （④Ultra Safe Nuclear社）

【文献】資源エネルギー庁、原子力人材・技術・産業基盤の維持・強化について。第23回原子力小委員会（2021）

原子力イノベーションの創出に向けた支援

NEXIP : Nuclear Energy × Innovation Promotion

技術開発支援、研究開発基盤の供用、人材育成・産業基盤強化を通じて原子力イノベーションを創出



技術開発支援

- 安全性向上技術開発予算：**25.0億円** ⇒ 東電福島事故の教訓を踏まえ安全性向上を追求。
- 高速炉開発予算：**49.0億円** ⇒ 「戦略ロードマップ」に基づき開発を推進。
- 革新技術開発予算：**12.0億円** ⇒ 多様な革新的技術のF/S（フィジビリティ・スタディ）を実施。
- 水素製造技術実証：**9.0億円（新規）** ⇒ 原子力の超高温を活用した水素製造要素技術開発。

研究開発基盤の供用

- JAEAが持つ研究施設・解析コード・知見等の**研究基盤の供用を通じ**、原子力イノベーションの創出を支援。
- 産業界・大学・海外を繋ぐハブへ。

人材育成・産業基盤強化

- 産業基盤強化事業：**13.0億円** ⇒ 原子力利用を支えるサプライチェーンを強化。
原子力安全の最前線を担う人材の育成。

※予算額は令和4年度概算要求額

内 容

事故から学んだ原子力安全

次世代革新炉の開発

原子力安全のニーズ

大学研究の紹介

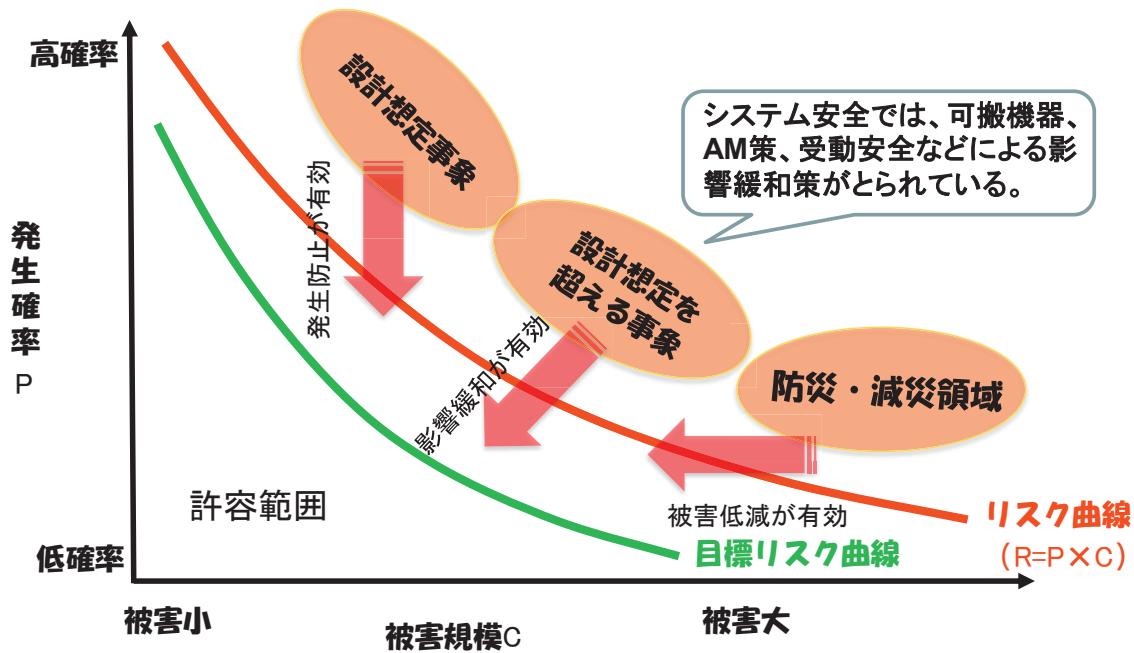
計算科学への期待

福島第一原子力発電所事故を教訓としたリスク低減

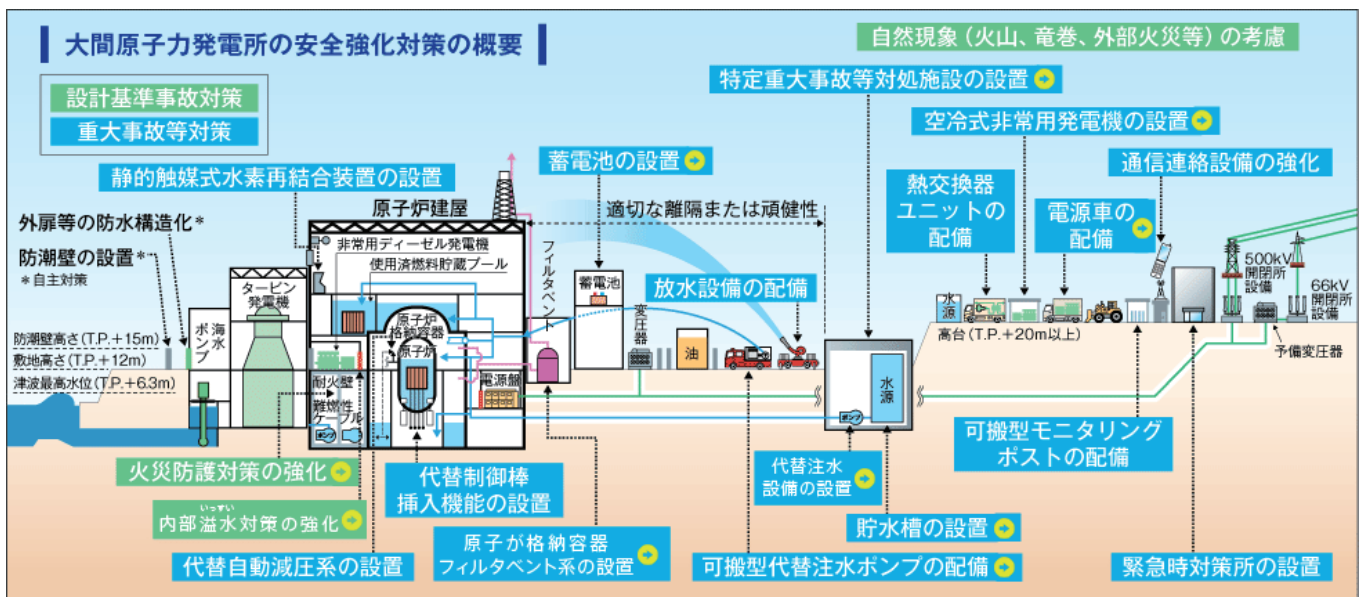
- 福島第一原子力発電所事故を教訓として、設計想定事象(DBE)と設計想定を超える事象(BDBE)の全体を通したリスク低減を目指すようになった。
- これは、リスクを許容レベル以下に抑制するという、IAEAやISOにおける安全の定義とも整合する。
- またリスク低減のために、リスク情報を活用したパフォーマンスベースの方法論を、我が国も適用始めている。
- 例えばシステム安全の分野では、PRAを活用し、恒久安全設備のみでなく可搬設備や緊急時対策などを総動員して、安全パフォーマンス高めようしている。
- 次世代革新炉では、全電源喪失事故時のリスクを低減する受動安全の考え方で、それに基づく自然冷却システムなどの新しい設備が導入されている。

Key words: 設計想定事象(DBE) 設計想定を超える事象(BDBE)

設計想定事象から想定を超える事象の全体を通したリスク低減
 システム安全では領域に応じて合理的に達成可能なアプローチを採用
 (ALARA: As Low As Reasonably Achievable)



システム安全におけるリスク低減(安全強化)対策例



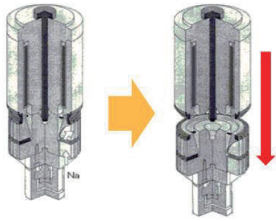
[文献] J -Power https://www.jpowers.co.jp/bs/nuclear/safety_measure/overview.html

次世代革新炉における受動安全システムによるリスク低減

- 受動的安全性とは、システムの安全機能が、外部からのエネルギーあるいは信号、操作なしにそれ自体の有するメカニズムによって確保されること。
- 冷却液体の重力による注入や、自然循環による冷却といった自然法則を安全機能に採用した受動的安全炉の開発・導入が東京電力福島第一原子力発電所事故後も進む。

事故時に制御棒自動挿入

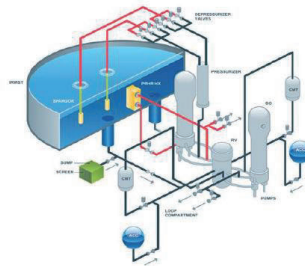
事故時の温度上昇で磁力を喪失し制御棒が重力で落下して挿入されるため、自然に反応が止まる



ナトリウム冷却高速炉
(日本原子力研究開発機構)

重力や蓄圧を使って注水

重力や蓄圧といった自然力を用いるため事故時に電源や人的対応が不要

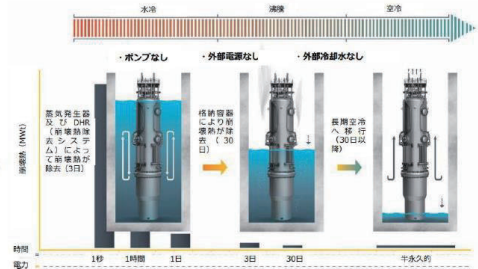


軽水炉 AP1000
(ウエスチングハウス)

その他の事例：EPR, 三菱次世代軽水炉, ESBWR, 華龍1号等

自然循環で冷却

冷却に使われる液体や空気が炉心の熱で密度差が生じて自然循環し確実な冷却



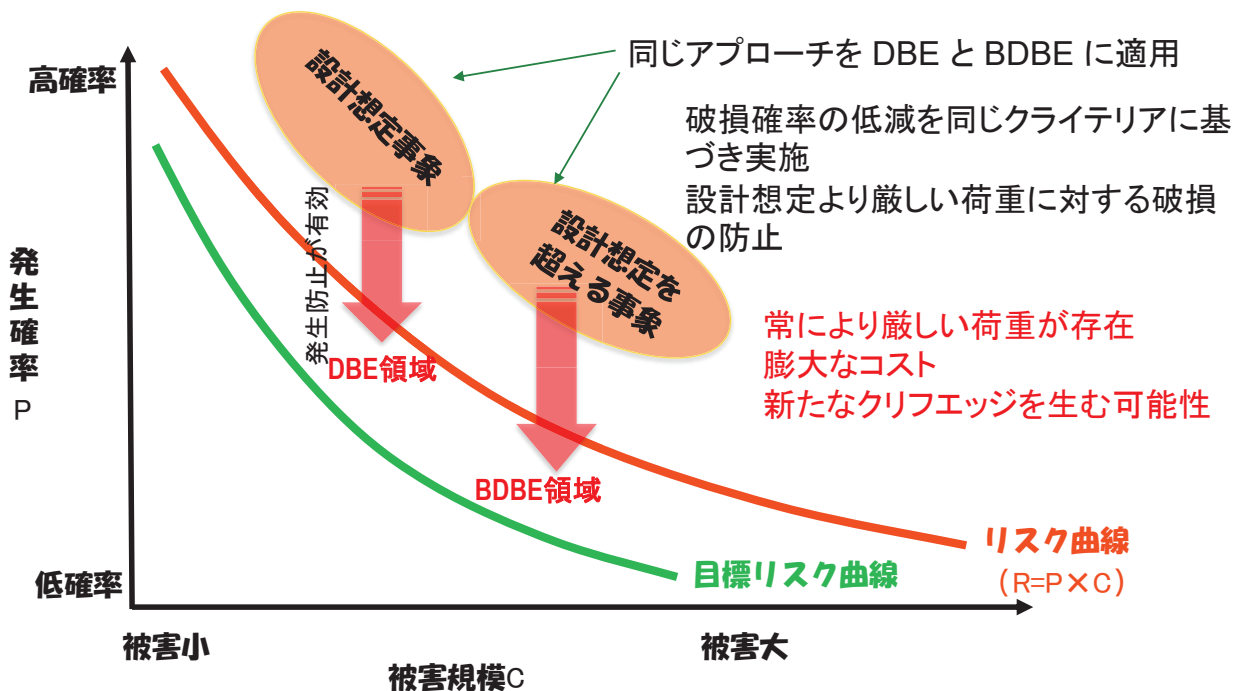
小型軽水炉 VOYGR
(NuScale)

その他の事例：AP1000, 三菱小型軽水炉, iB1350, BWRX-300等

[文献] 資源エネルギー庁, エネルギーを巡る社会動向を踏まえた革新炉開発の価値(2022)

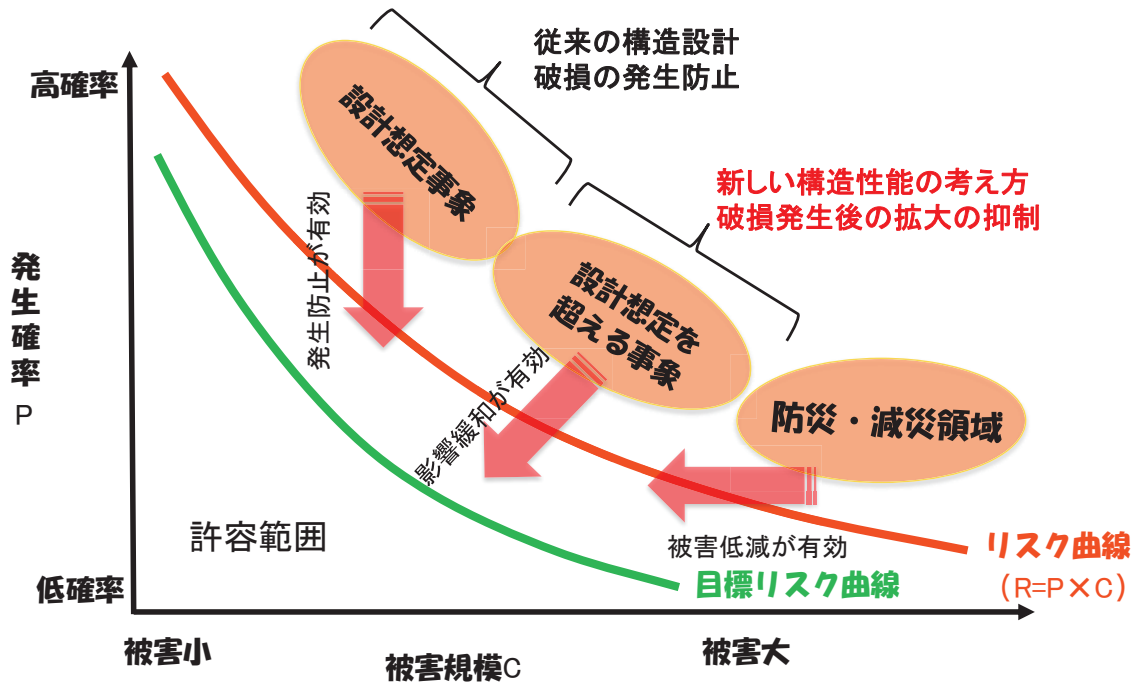
構造強度に関する現状の課題

- 従来の構造設計は、設計想定事象に対する破損発生防止を目的
- 事故発生防止(破損発生防止)が単純に安全性向上とする考え方の弊害



合理的リスク低減のための構造性能の考え方の転換

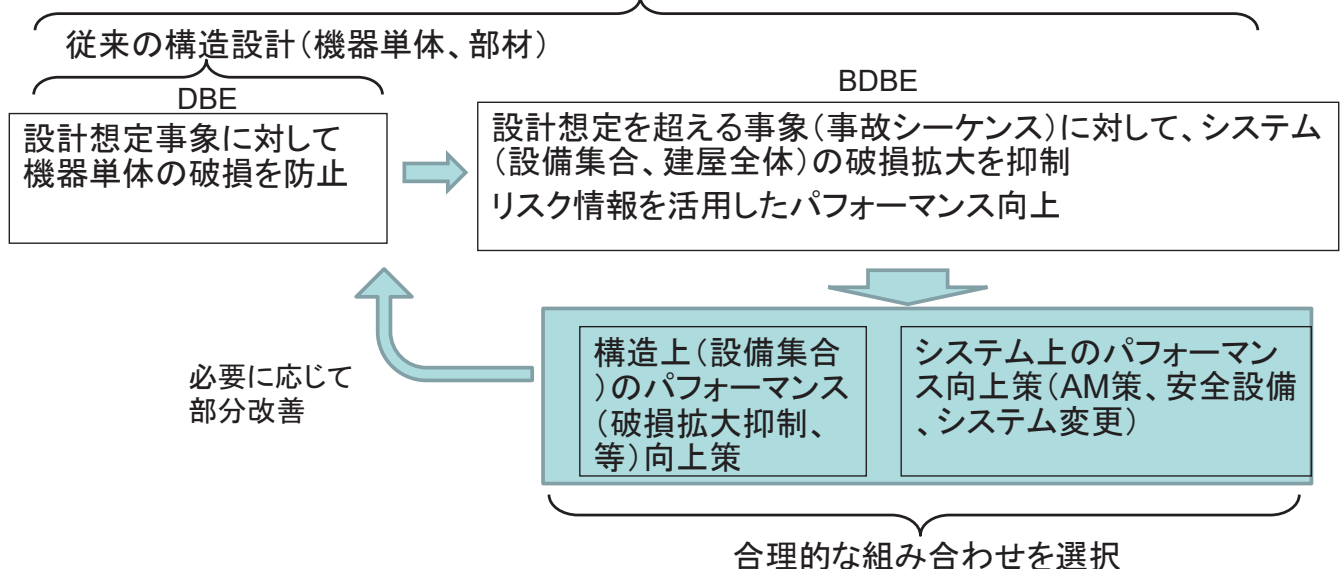
- 従来の構造設計は、DBEに対する破損発生防止を目的
- BDBEに対して、破損影響緩和を目的とした構造性能の考え方の転換が必要



BDBEに対するシステム・構造統合設計

システム・構造統合設計: 設備の設計に加え、深層防護とリスク概念を考慮して、システム(設備集合+人的操作)に対して安全評価手法(PRA等)を用いた設計を追加

システム・構造統合設計(設備集合、建屋全体+人的操作)



[文献] Naoto Kasahara, Proposal of integrated approach between system and structural design for improving resilience of nuclear plants, SMiRT26, Tu.4.D.3 (2022)

原子力安全と核セキュリティの類似性

類似性

- 原子力安全/核セキュリティ
- 保全/AM/妨害破壊行為対策
- 対策の段階性

故障
自然災害

原子力安全
Safety

保全もAMも核セキュリティの一部も、
目的は原子力安全

非国家集団
テロリスト

核セキュリティ
Security

ロシア軍による
ザボロージャNPP占拠

国家

核不拡散
Non-proliferation

(1)プラント異常の早期検知・識別
検知・識別性能の向上

検知の重要性

- 検知失敗で、その後のステップがすべて不動作に

保全
Maintenance

AM対策(BDBE)
Accident
Management

妨害破壊行為対策
Sabotage

盗取対策 Theft
(核兵器、核物質、RI)

国家間条約
Treaty

輸出管理
Export
Control

Step1

検知
Detection

Step2

補修
Repair

Step3

取換
Replace

検知
Detection

遅延
Delay

回復
Recover

検知
Detection

遅延
Delay

対抗
Response

検知
Detection

遅延
Delay

対抗
Response

(3) 想定を超える事故・脅威への対応
「想定外でした」を無くす

(2) 新たな脅威への対策強化

- 内部脅威者の検知
- サイバー攻撃の検知
- スタンドオフ攻撃の検知



(1)プラント異常の早期検知・識別

検知・識別性能の向上

- 異常発生箇所に都合よくセンサーがあるとは限らない
- 異常により生じる周囲のセンサー値の変化から、異常の原因を特定したい

- 多くの深層学習モデルを開発し試行
- 既存モデルを用いるのではなく、それらを要素にさらに複雑な深層学習モデルに組み上げた
- 現状ではAttention(注意機構)を組み込んだモデルが最良のパフォーマンス
- 注意機構を時系列データの異常検知に適用するのはオリジナルのアイデア

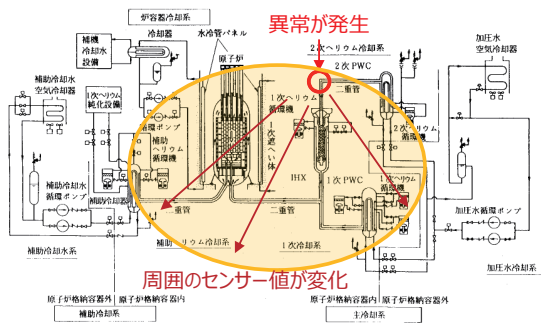
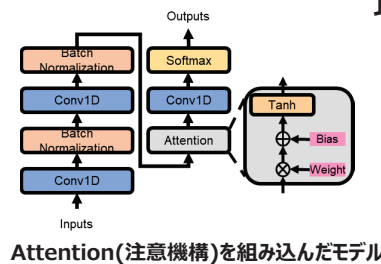


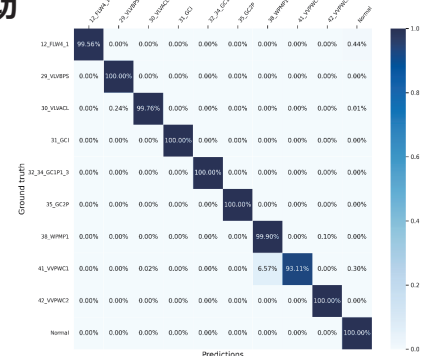
Fig. 2.4 Schematic diagram of cooling system for the HTTR

原子力プラント(HTTR)の冷却系の構造
出典：竹田武司 他. JAERI-Data/Code 96-032 (1996).



Attention(注意機構)を組み込んだモデル

HTTR主要機器の機能喪失時の異常の検知・識別にほぼ100%の精度で成功

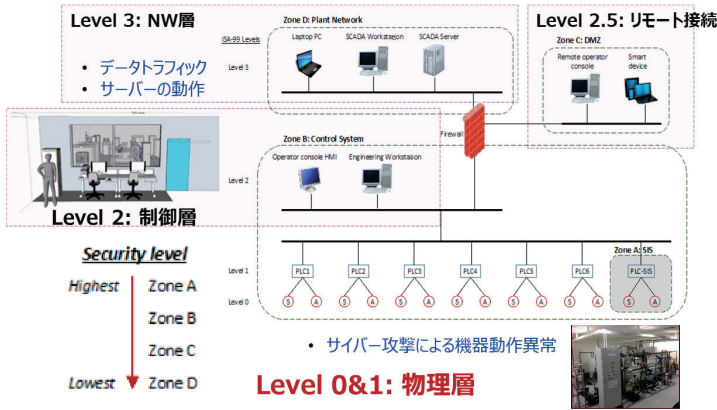


(2) 新たな脅威への対策強化

b.サイバー攻撃の検知

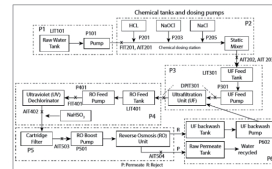
- サイバーテロは原子力発電所テロのなかで最も発生可能性の高い脅威
- 通常のサイバーセキュリティは、主にNW層のデータトラフィックとサーバー動作を監視
- 多重防護の観点から物理層侵入後のサイバーセキュリティに注目

注意機構を用いて物理層上の機器の異常動作からサイバー攻撃を検知・分類



SWaT データベースを例題とした検知・分類

- 最新水処理プラントの縮小レプリカから収集された
- サイバー攻撃時の機器反応をシミュレーションした51次元データ



SWaT Dataset:
<https://itrust.sutd.edu.sg/te-stbeds/secure-water-treatment-swat/>

サイバー攻撃分類精度

Time steps	Accuracy (F1)	
10	0.874	90%の精度
50	0.885	
100	0.9002	
200	0.8764	
500	0.8162	
600	0.8091	

現状の課題：原子力プラントを対象としたサイバー攻撃DBがない ⇒プラントシミュレータを用いてDB整備中

(3) 想定を超える事故・脅威への対応

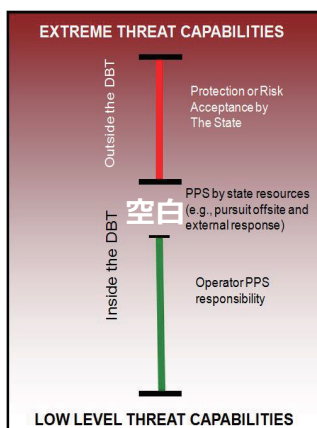
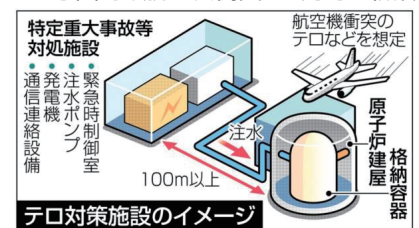
規制も事業者も互いに丸投げし責任回避

規制：航空機衝突などを想定した「特重」で思考停止

事業者：BDBT*1は国の管轄だから「特重」以外は対応しない

脅威の規模も種類も多すぎて何も決められない(by インタビュー)

○意図的な航空機衝突への対応の新設



机上訓練で「想定外でした」を減らす

- 検討すべき状況が多様過ぎるため、まずは、コストのかからない机上訓練
- 多様な状況を想定し、現在の「人」と「ハード」でどこまで対応可能かを見極める

「人」と「ハード」を最適に組み合わせた最適対応案の導出

- 机上訓練時の多様な状況下での各プレイヤーの行動とその結果のデータセット
- データベースを学習し、「人」と「ハード」の最適対応案を提示
- 充分に対応ができない状況や残る「想定を超える」状況に対しても、想定した検討を活用（検知による時間稼ぎ）
- 安全とセキュリティの共通性が高い → 故障や自然災害時なども対象に
- Society5.0を満たす原子力DXの一つとなりえる。

*1:設計基礎脅威(DBT: Design Basis Threat)、設計想定を超える脅威(BDBT: Beyond Design Basis Threat)

Society5.0を満たす原子力DXとは？

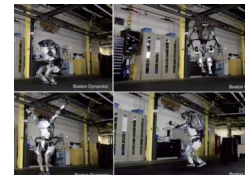
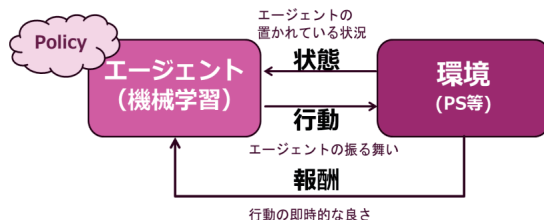
五月雨式の現状の国内DXは、せいぜいSociety4.5なのでは？

AIが人に最適提案 → **強化学習**の導入が不可欠



強化学習とは

- 教師あり／なし学習とは異なる深層学習AI
- 自ら試行錯誤を繰り返し、適切な制御方法を学習



ボストン・ダイナミクスのアクロバットをするロボット

高温ガス炉HTTRのプラントシミュレータ ACCORDのサロゲートAI化には成功

	生成するサンプル数	生成に要する時間
提案手法	約250個	約0.15秒
ACCORD	約250個	数時間程度

日本原子力学会2023年春の年会

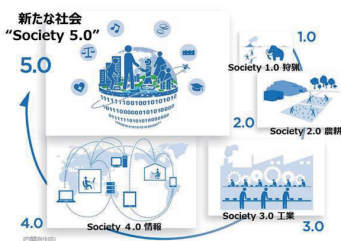
- 計算時間の大幅削減に成功
- 平均二乗誤差MSEは0.03程度

- 行動に対する状態を瞬時に計算できる環境が必要
- 原子力には環境となり得るプラントシミュレータが充分
- しかし、プラントシミュレータでは計算時間が膨大
- サロゲートAI化による高速化が必須

(参考) 原子力が生き残るためのDX

Society5.0とは？

サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会の実現



事業者、メーカー等は、大学と連携してDX開発プロジェクトで積極的に10兆円ファンドを獲りに行くべき

第6期科学技術イノベーション基本計画（第6期基本計画）

- Society5.0実現に向けた2030-2050の中長期計画

JSTに10兆円大学ファンド 統合イノベーション戦略(MEXT)

- 10兆円規模の大学ファンドが牽引する異次元の研究基盤と大学改革
- 2024年度から運用目標益約3000億円を5～7大学に分配 ⇒東工大と東京医科歯科大の統合

脱炭素に向けた次世代技術とイノベーション(資源エネルギー庁)

- 2050年のCNには原子力が必須、原子力には安全の確保が必須
- 2050年に向けたイノベーションのための3つの要請：
 - ①セキュリティ維持、②パリ協定実現、③デジタル化への対応

生き残りのためには、原子力のデジタル化(DX)が必須

(参考) 米国原子力のDX化 : ARPA-E GEMINA

背景と目的

- 米国の原子力発電は高いパフォーマンスにも拘らず約1/4が財政難
- 原子力発電のコストの多くは運転維持費
- 将来のSMRのO & M固定費を現在の1/10に大幅削減することを目指す



⇒ SMRの炉型別に、9つの開発拠点に対しDigital Twin開発を支援

- ① Argonne National Laboratory (ANL) - Maintenance of Advanced Reactor Sensors and Components (MARS)
- ② Electric Power Research Institute (EPRI) - Build-to-Replace: A New Paradigm for Reducing Advanced Reactor O&M Costs
- ③ Framatome - Digital Twin-Based Asset Performance and Reliability Diagnosis for the HTGR Reactor Cavity Cooling System Using MetroScope
- ④ General Electric (GE) Global Research - AI-Enabled Predictive Maintenance Digital Twins for Advanced Nuclear Reactors
- ⑤ Massachusetts Institute of Technology (MIT) - High-Fidelity Digital Twins for BWRX-300 Critical Systems
- ⑥ Massachusetts Institute of Technology (MIT) - Generation of Critical Irradiation Data to Enable Digital Twinning of Molten-Salt Reactors
- ⑦ Moltex Energy - SSR APPLIED - Automated Power Plants: Intelligent, Efficient, and Digitized
- ⑧ University of Michigan - SAFARI: Secure Automation For Advanced Reactor Innovation
- ⑨ X-Energy - Advanced Operation & Maintenance Techniques Implemented in the Xe-100 Plant Digital Twin to Reduce Fixed O&M Cost

<https://arpa-e.energy.gov/technologies/programs/gemina>



33

内 容

事故から学んだ原子力安全

次世代革新炉の開発

原子力安全のニーズ

大学研究の紹介

計算科学への期待



34

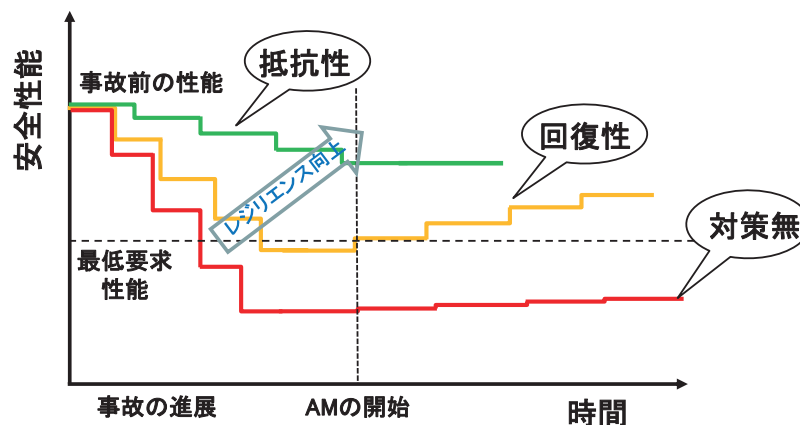
構造強度分野からの安全への貢献提案

- 機器構造物に対してDBEの範囲で求められる性能は供用性と安全性のバランスであり、BDBEに対しては安全性が要求性能となる。両者の間では要求性能が異なることとなることから、別の指標で評価すべきである。
- 従来のDBEに対する構造規格に基づくアプローチは確立されており、それなりに機能していると思われる。
- DBEの範囲を広げずに、BDBEに対して破損後の影響緩和を重視したアプローチを整備することで、トータルリスクの低減を目指す。
- 一例として、破局的壊れ方をしない受動安全構造を東大から提案している。防止よりも緩和に重点を置いた受動安全構造は、外的事象のように不確定性が大きい事象に対しても終局状態が類似になる特徴を持つ。

35

システム安全と組み合わせることでレジリエンスを向上させる受動安全構造の提案

- 受動安全構造: 事故時に軽微な破損が生じても、安全性へ影響する破局的破損モードへの拡大が自己抑制される構造
- 緊急対応に必要な時間余裕が生まれ、復旧範囲が限定されることから、システム安全と組み合わせることで、レジリエンスが向上



36

破損影響緩和を達成する受動安全構造の考え方

他産業の例

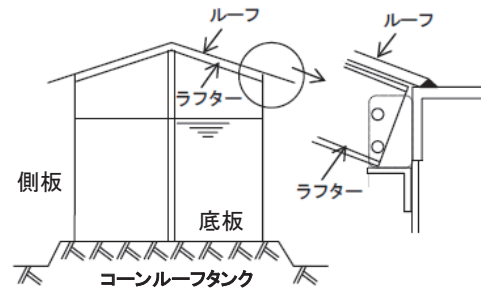
(1) 車体の衝突時安全機能維持



レーシングカー車体
ノーズ部の強度 < コックピット強度

衝突時にノーズ部破壊が先行して衝撃力を低減し
コックピット内のドライバーを保護

(2) 化学プラントコーンルーフタンクの過圧時安全機能維持



化学プラントのコーンルーフタンク
ルーフと側板の接続部の強度 < 側板や底板の強度

何らかの原因で内圧が想定を超えた場合に、ルーフと側板の接続部が先行して壊れ圧力が抜け、側板や底板の圧力による破壊と液の流出を抑制

[文献] 佐藤拓哉、圧力設備の破損モードと応力、日本工業出版 (2013)

37

破局的壊れ方をしない受動安全構造とは

■ 定義

本研究において受動安全構造とは、事故が発生した際に外部からの動力や操作に依存せず自然現象に基づき安全機能を維持する構造と定義する。

■ 原理

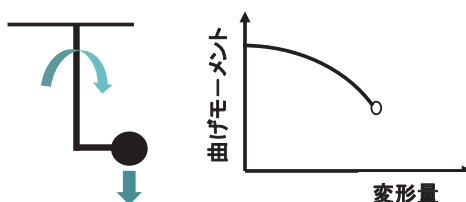
安全機能への影響の小さな破損が先行して荷重や力が自然に低減し、機能喪失に至る破局的な破壊を起こさない。

■ 成立条件

先行する破損が破局的破壊を抑制する場合と、促進する場合があります、前者となる場合に受動安全が成立する。

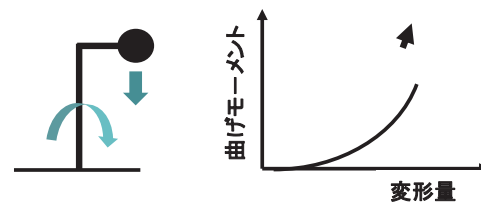
受動安全が成立する例

先行する変形(安全への影響小)により曲げモーメントが減少して崩壊(安全への影響大)に至らない。



受動安全が成立しない例

先行する変形が進むと曲げモーメントが増大していき、やがて崩壊に至る。



[文献] 笠原直人, 山野秀将, 中村いずみ, 出町和之, 佐藤拓哉, 一宮正和、原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発 (20) 壊れ方が安全な構造の提案、日本原子力学会2023年春の年会、1L15 (2023)

原子炉プラントにおける安全性への影響の小さい破損モードと大きな破損モードに着目

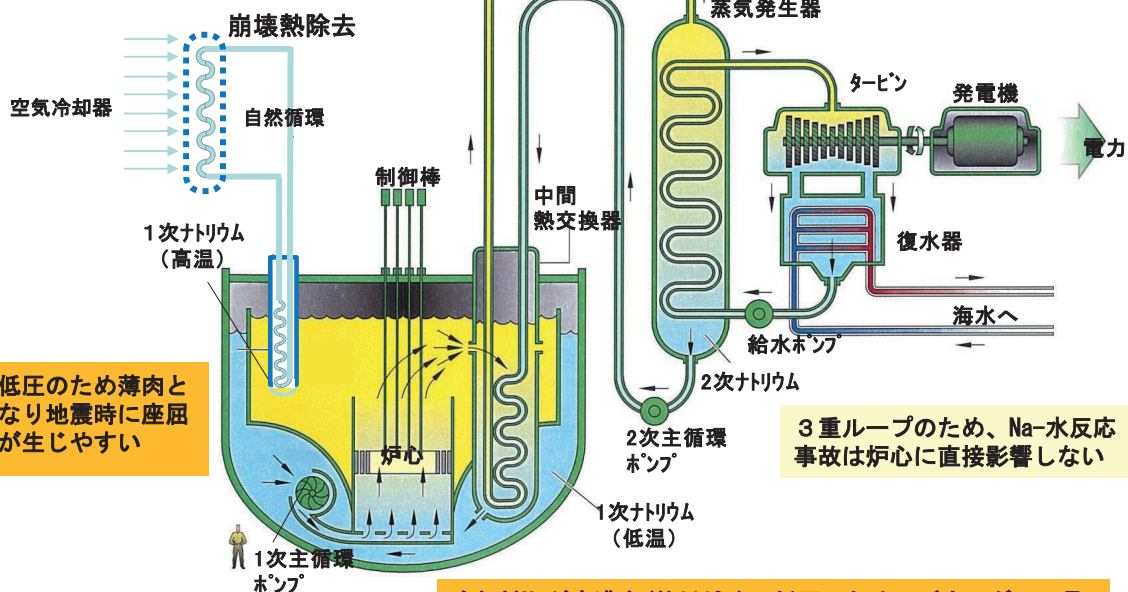
通常の原子炉構造には、安全性への影響の小さい破損モードと大きな破局的破損モードが存在する。これらの扱いは設計想定事象と、設計想定を超える事象で異なる。
例として、以下に容器と配管の破損モードの冷却性能に対する影響を示す。

破損モード	容器	配管	設計想定事象	設計想定を超える事象	
塑性変形					安全機能喪失には至らない
小さなクラック					
崩壊破断					
			全ての破損モードの発生防止	破局的な破損モードの発生防止	

次世代革新炉の一つである高速炉の特徴

冷却材ナトリウムの沸点が高いことから高温であるが低圧となり、冷却機能とバウンダリ維持機能に関して以下の特徴がある

温度落差 (550°C-20°C) が大きいことから崩壊熱は自然循環空冷除熱可能



低圧のため薄肉となり地震時に座屈が生じやすい

3重ループのため、Na-水反応事故は炉心に直接影響しない

冷却材Naが高沸点(約900°C)で低圧のため、バウンダリに貫通亀裂が生じても減圧沸騰による急速喪失が起こらない

超高温事故に対する受動安全構造の提案

■ 荷重や力の低下要因

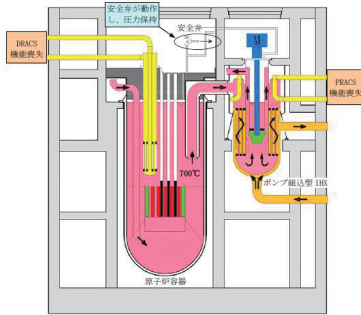
超高温時には材料が軟化して変形が進む。変形により荷重が低下(平坦化)するように支持を工夫する。

■ 容器胴部の例(設備集合の工夫による受動安全性)

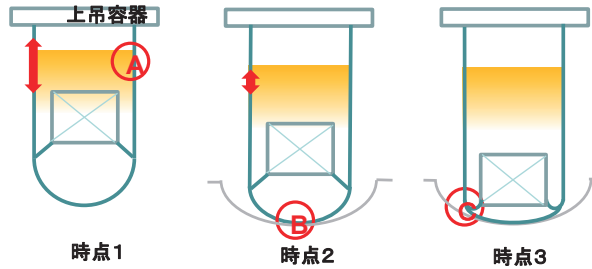
荷重を上部吊り下げ部から床(GV)に再配分させ円筒胴の破局的破壊を防止(A部とB部)

■ 炉心支持構造の例(構造固有の受動安全性)

炉心支持構造の安定的な座屈後挙動による炉心浸漬確保(C部)

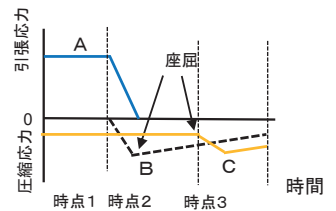


上吊り支持の高速炉原子炉容器



超高温下では材料が軟化し自重による変形が進む

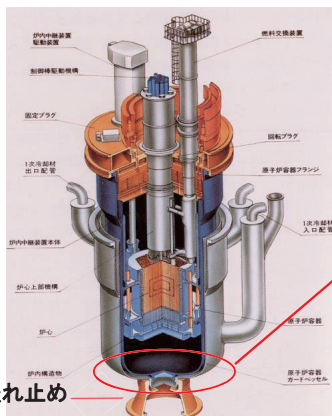
荷重再配分により、最大応力発生箇所がA→B→Cと変化しつつ、応力は低下(平坦化)していく。



[文献] N.Kasahara, H.Yamano, I. Nakamura, K. Demachi, T. Sato, M. Ichimiya, Development Plan of failure mitigation technologies for improving resilience of nuclear structures, SMiRT26, Tu.1.E.3 (2022)

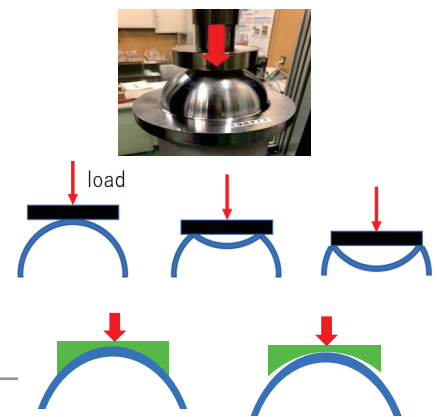
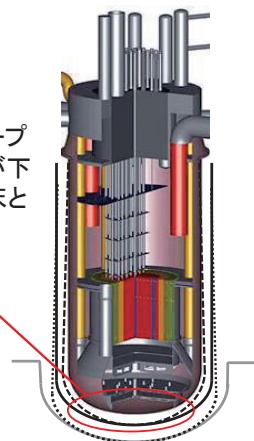
容器鏡座屈と座屈後挙動に関する構造物試験

原子炉容器を模擬した基本形状に対して、弾塑性クリープ変形(応力再配分)や座屈が延性破壊や局部破損に拡大するメカニズムと制御パラメータを解明する。



耐震振れ止め

超高温時の弾塑性クリープ変形により原子炉容器が下降し、ガードベッセルや床と接触する。



構造不連続部付き球殻座屈試験
形状: もんじゅ原子炉容器模擬



単純球殻座屈試験
形状: JSFR原子炉容器模擬

[文献] Naoto Kasahara, Masato Murohara, Takuya Sato, Study on post buckling behaviors of lower heads for fracture, control of reactor vessels under BDBE, ASME PVP2022-84449 (2022)

構造不連続部付き球殻 座屈試験 試験条件

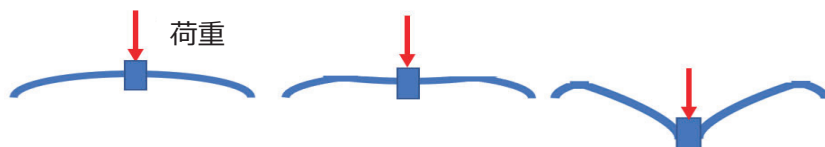
試験温度: 室温(19°C)

材料: 鉛アンチモン合金※

試験条件: 変位制御

周辺部を固定し、構造不連続部上端を一定の変位速度(6.0mm/min)で圧縮

変位に対する荷重を測定



試験の様子

(注) 鉛アンチモン合金。超高温における実機材の変形挙動を室温で模擬できる(前プロジェクトで実証)

[文献] 笠原 直人, 室原将人, 佐藤 拓哉, 原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発, (12) 超高温時破損拡大抑制のための容器鏡座屈と座屈後挙動に関する研究, 日本原子力学会 2022年春の年会 1C15

43

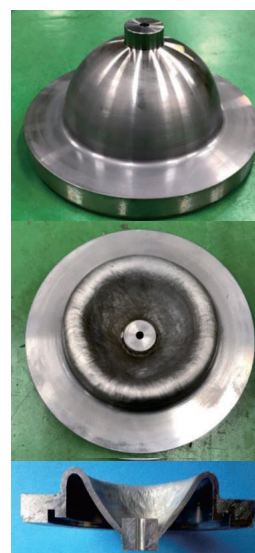
構造不連続部付き球殻 座屈試験 試験結果(変形状態)



浅い球殻(R300)



中間の球殻 (R90)



半球殻 (R66)

浅い球殻、中間の球殻、半球殻すべて同様な挙動

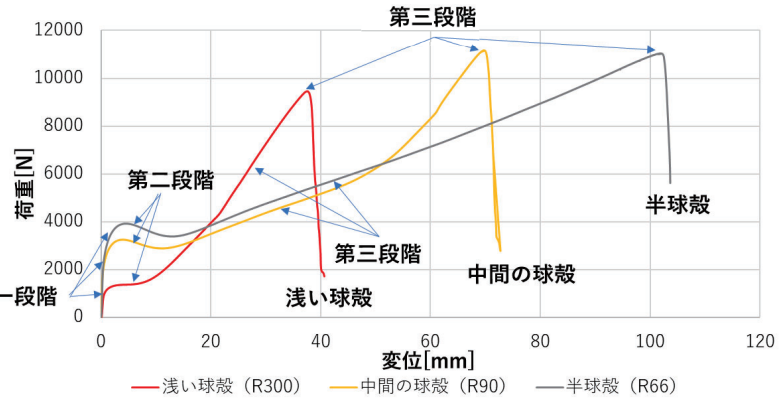
- ・ 上に凸の球面形状から座屈によって凹の球面形状に変形
- ・ 構造不連続部で破壊

[文献] 笠原 直人, 室原将人, 佐藤 拓哉, 原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発, (12) 超高温時破損拡大抑制のための容器鏡座屈と座屈後挙動に関する研究, 日本原子力学会 2022年春の年会 1C15

44

構造不連続部付き球殻 座屈試験 試験結果(荷重と変位)

- (第一段階) 変位1mmまでは傾き大
 - 荷重
 - 剛性が大
- (第二段階) 傾きが0に (飛び移り座屈)
 - 剛性を失い変形
- (第三段階) 再び傾き大
 - 剛性が回復
 - 安定した変形
- (第四段階) 頂点に達した後傾き負
 - 構造不連続部の破壊



座屈強度：浅い球殻 < 中間の球殻 < 半球殻

破壊強度には大きな差がない⇒構造不連続部の強度が影響

破壊時の変形量：浅い球殻 < 中間の球殻 < 半球殻

⇒構造不連続部から固定端までの子午線長さが影響

試験結果から明らかになったこと

座屈強度よりも破壊強度の方が3~10倍大きい

飛び移り座屈が生じて変形してもすぐに破壊には至らない

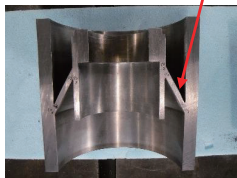
[文献] 笠原 直人, 室原将人, 佐藤 拓哉, 原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発, (12)超高温時破損拡大抑制のための容器鏡座屈と座屈後挙動に関する研究, 日本原子力学会 2022年春の年会 1C15

炉心支持構造の座屈後挙動に関する構造物試験

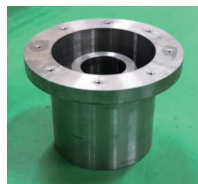


試験方法

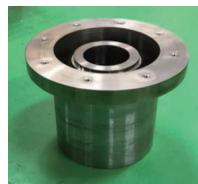
接続角度30°,45°



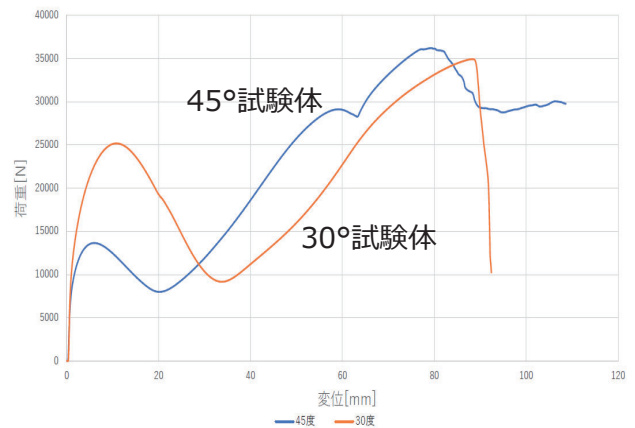
内部構造



45°試験体



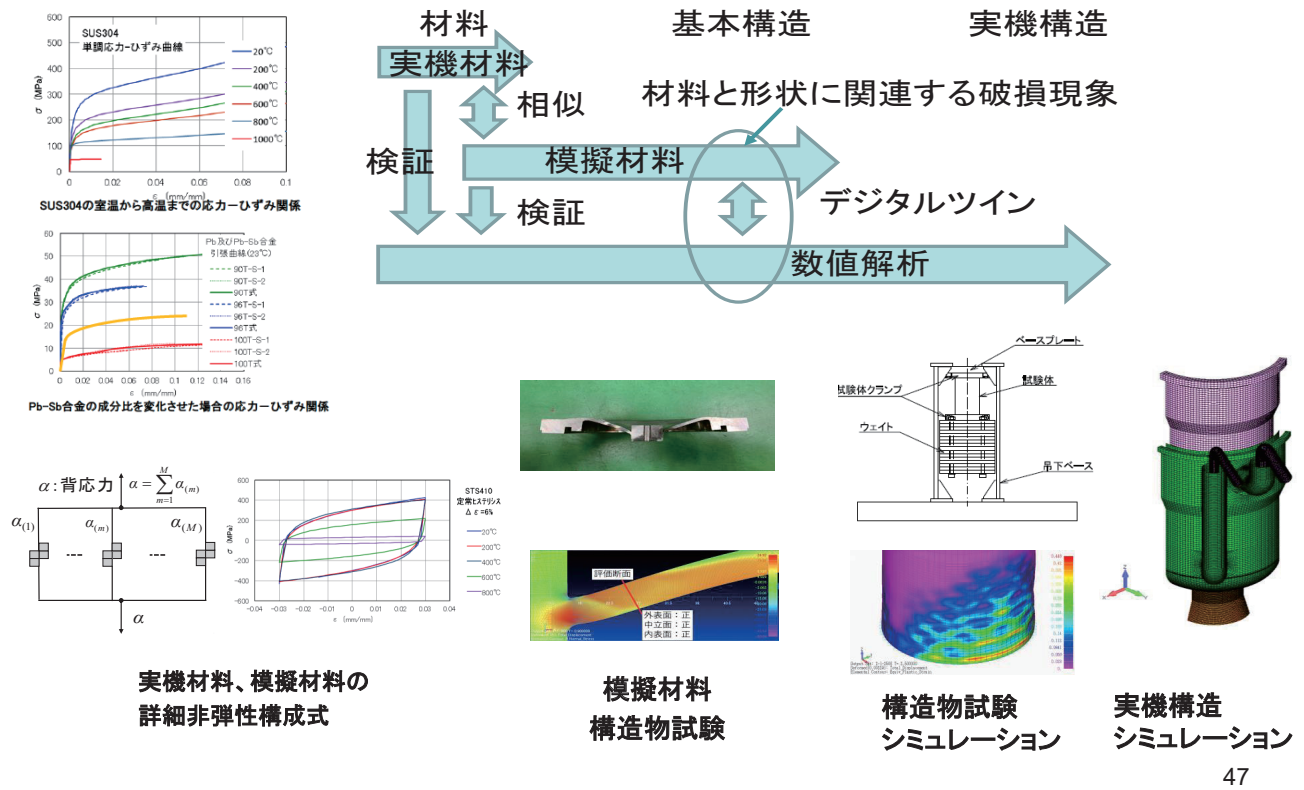
30°試験体



荷重-変位曲線

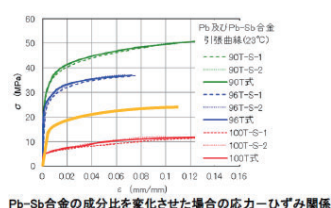
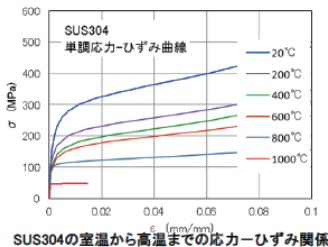
- 座屈が生じて変形が進行しても、飛び移り座屈のため座屈後挙動は安定しており、座屈後直ちには破壊に至らない。
- 座屈後挙動は安定しており、耐荷能力を維持
- 最終的な破壊は内部構造側で生じ、冷却材バウンダリである円筒胴側では生じない。

詳細構成式と模擬材料試験を組み合わせたモデリング



■ マルチリニア移動硬化則構成式: 実機材料と模擬材料の両者の温度依存弾塑性繰返し応力-ひずみ特性を、材料パラメータの変更だけで表現できる詳細構成式の整備

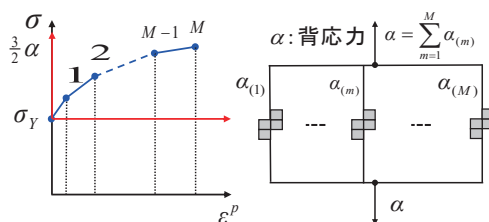
実機材料超高温データ整備
模擬材料データ整備



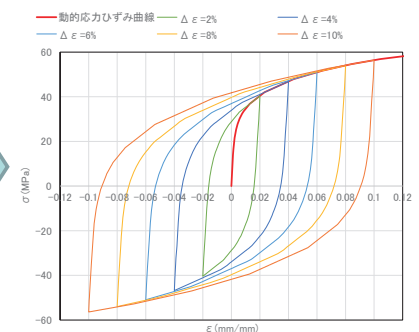
従来の構成式
バイリニア移動硬化則: 初期降伏応力を大きく見積もり、繰返し硬化を小さく見積もる。

マルチリニア等方硬化則: 初期降伏応力を精度良く予測できるが、繰返し硬化を大きく見積もる

新しい構成式
マルチリニア移動硬化則: 両者の長所を組み合わせた考え方(大野-王モデル)を温度依存、繰返し硬化を表現できるように拡張



材料挙動が正しく表現できることの確認



赤い太線: 鉛アンチモン合金の実験から得られた動的応力ひずみ曲線(応力振幅とひずみ振幅の関係)

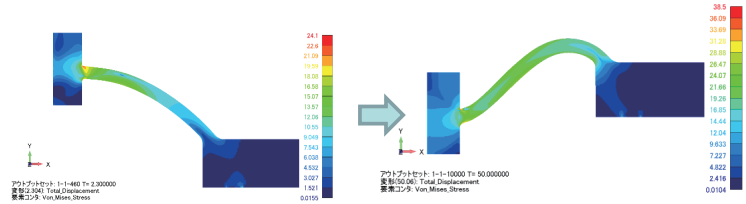
細い線: 整備した詳細構成式による応力ひずみヒステリシスの予測

構造不連続部付き球殻 構造試験の座屈強度と座屈後挙動の予測

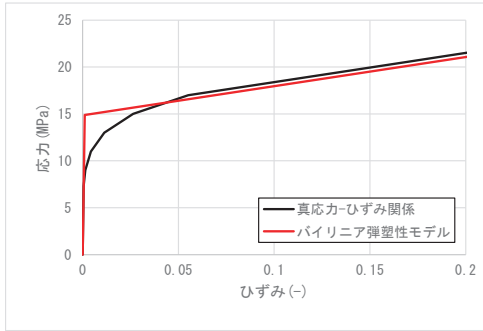
- 開発した構成式を有限要素解析コードFINAS/STARに組み込み、破壊制御の有効性評価に必要となる構造解析機能を確認



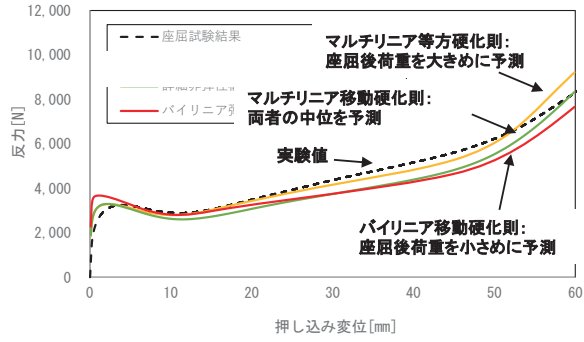
構造不連続部付き球殻座屈試験(鉛アンチモン合金)



大変形解析結果



応力-ひずみ関係式とバイリニアモデル

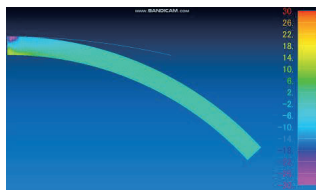


反力-押し込み変位の実験と予測値の比較 (マルチリニア移動硬化則が高精度)

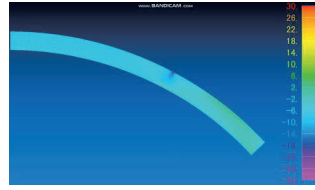
笠原 直人, 室原将人, 佐藤 拓哉, 原子炉構造レジリエンスを向上させる破壊の拡大抑制技術の開発, (12)超高温時破壊拡大抑制のための容器殻座屈と座屈後挙動に関する研究, 日本原子力学会 2022年春の年会 1C15

単純球殻構造試験の座屈強度と座屈後挙動の予測

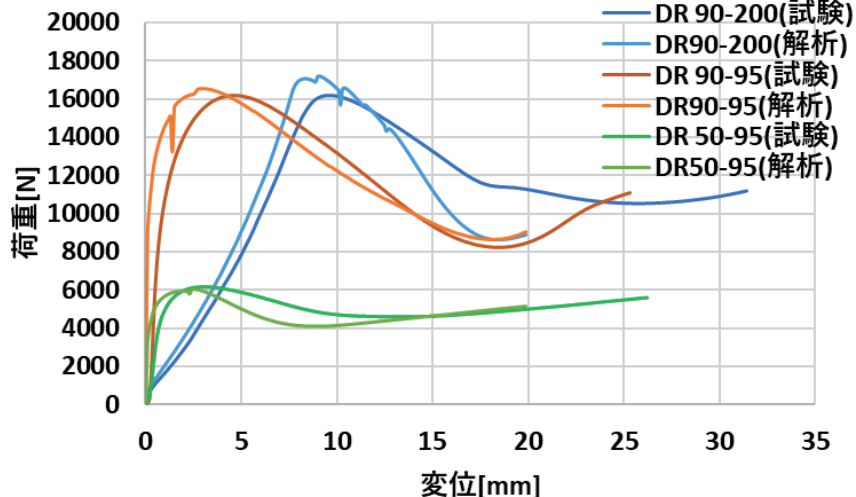
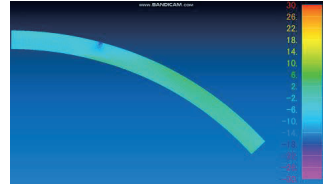
DR 90-200



DR 90-95



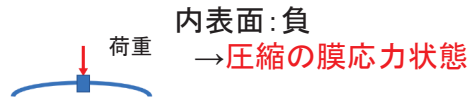
DR 50-95



試験から得られた荷重-変位曲線と同様に、座屈時の最大荷重は直径Dに、剛性は曲率半径Rに依存することがわかる

構造不連続部付き球殻 考察

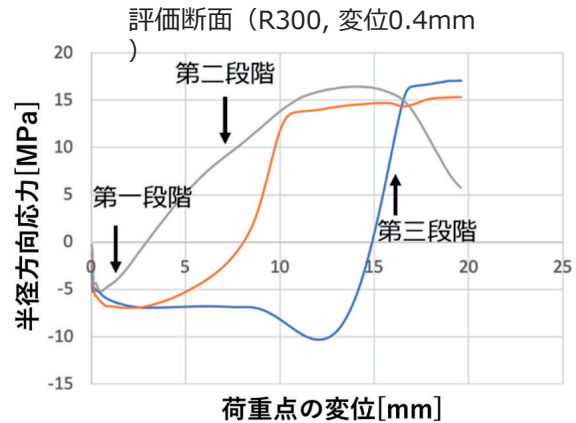
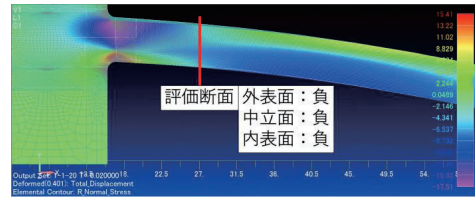
- 評価断面における半径方向応力分布 (第一段階) 外表面: 負



- (第二段階) 外表面: 負
- 内表面: 正
- 曲げ応力状態



- (第三段階) 外表面: 正
- 内表面: 正
- 引張りの膜応力状態



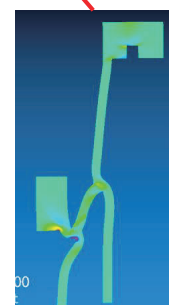
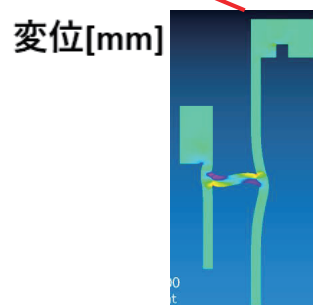
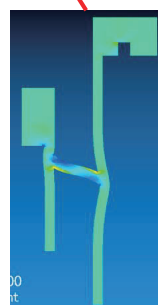
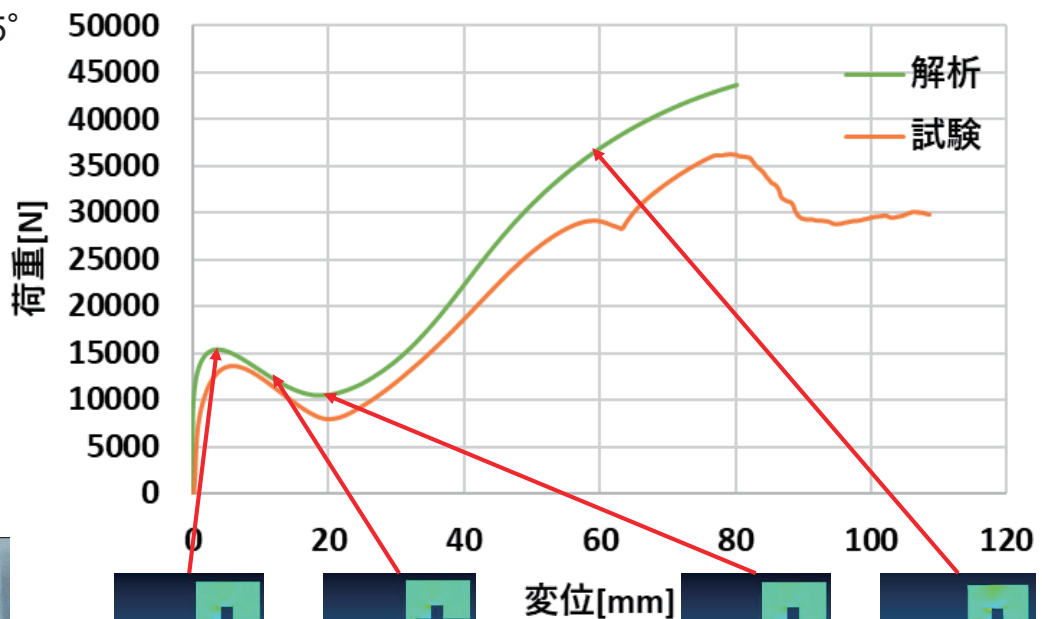
— 外表面 — 中立面 — 内表面
半径方向応力-変位曲線

座屈後挙動が安定する理由は、**引張りの膜応力状態**となること

[文献] 笠原 直人, 室原将人, 佐藤 拓哉, 原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発, (12) 超高温時破損拡大抑制のための容器鏡座屈と座屈後挙動に関する研究, 日本原子力学会 2022年春の年会 1C15

炉心支持構造試験(鉛アンチモン合金)の座屈強度と座屈後挙動の予測

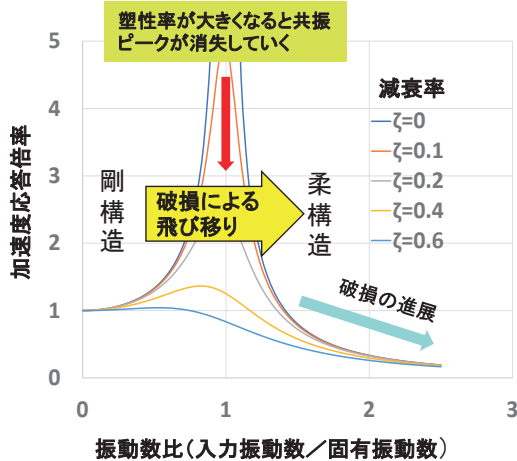
支持角度45°



地震荷重に対する受動安全構造の提案

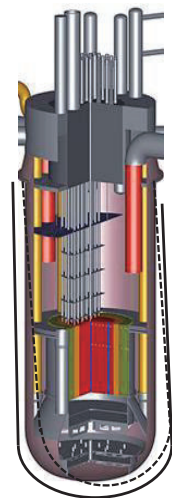
■ 荷重や力の低下要因

破損により、振動数比が1を超えて柔構造化すると、荷重に対する応答が遅れて力が伝わりにくくなる。



■ 容器の例(構造固有の受動安全性)

座屈による柔構造化で力が伝わらず容器の破断を抑制

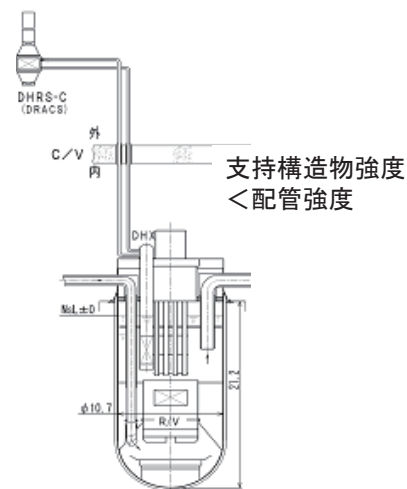


座屈強度 < 破断強度

座屈変形しても直ぐにはバウンダリ破損しない。座屈すると急に柔構造化する。

■ 配管系の例(設備集合の受動安全性)

配管に先行する支持構造物破損により系が柔構造化し、力が伝わらず配管の崩壊と破断を抑制



支持構造物が破損しても配管自体はすぐには崩壊・破断に至らない。支持構造物の破損は、柔構造化するまで進行する。

[文献] N.Kasahara,H.Yamano,I. Nakamura,K. Demachi,T. Sato, M. Ichimiya, Development Plan of failure mitigation technologies for improving resilience of nuclear structures, SMIR26,Tu.1.E.3 (2022)

53

水平方向振動荷重下における薄肉円筒試験体の座屈及び座屈後挙動実験概要

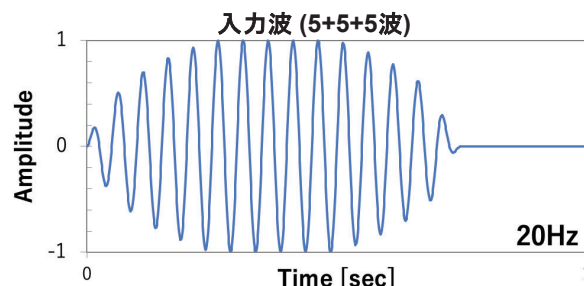
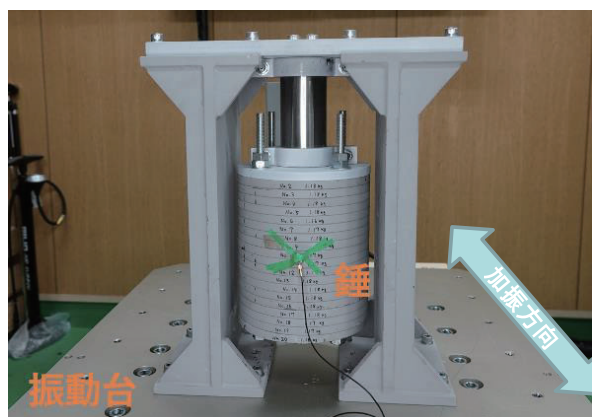
材料：炭素鋼

入力振動数：20Hz

複数の条件の試験体で試験を行なった。

実験条件

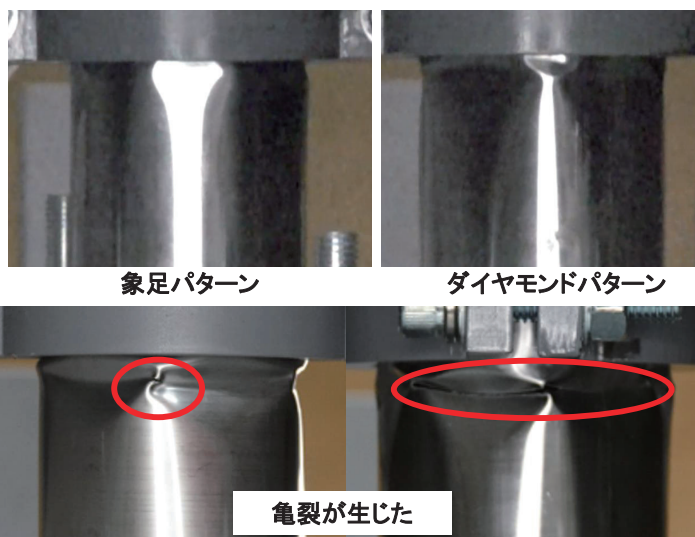
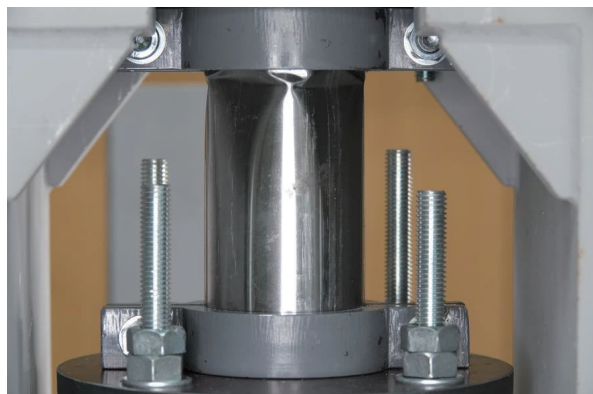
タイプ	半径 (mm)	軸長 (mm)	厚さ (mm)	固有振動数(Hz) (内は錘の重さ)
L2	26.15	78	0.2	44.7(15kg)
L3	26.15	78	0.25	39.7(20kg) 35.1(23kg)
M2	26.15	52	0.2	54.3(15kg)
M3	26.15	52	0.25	49.0(20kg)



[文献] 長谷川翔, 濱田良太, Ye Yiji, 一宮正和, 笠原直人, 過大な振動荷重による円筒の座屈及び座屈後挙動に関する研究 (1)柱試験体と円筒試験体を用いた基礎的研究, 日本機械学会 2022年度年次大会 S081-05

54

実験結果



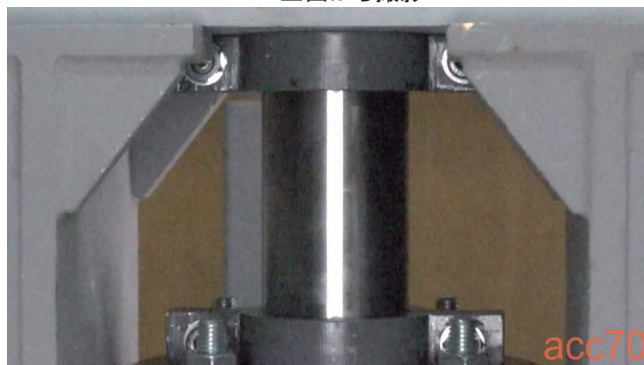
- 座屈後は崩壊へ至ることなく形状は安定していた。
- 座屈は円筒の上部に発生し、2種類の座屈パターンが見られた。
- いくつかのケースでは亀裂が発生した。
- 振動台と試験体の間に位相遅れが生じた。

[文献] 長谷川翔, 濱田良太, Ye Yiji, 一宮正和, 笠原直人, 過大な振動荷重による円筒の座屈及び座屈後挙動に関する研究
(1)柱試験体と円筒試験体を用いた基礎的研究, 日本機械学会 2022年度年次大会 S081-05

55

ハイスピードカメラによるスローモーション動画

正面から撮影



座屈は円筒上部に発生した。

斜めから撮影



振動台と錘の間に位相遅れが生じた。

[文献] 長谷川翔, 濱田良太, Ye Yiji, 一宮正和, 笠原直人, 過大な振動荷重による円筒の座屈及び座屈後挙動に関する研究
(1)柱試験体と円筒試験体を用いた基礎的研究, 日本機械学会 2022年度年次大会 S081-05

56

FEM解析

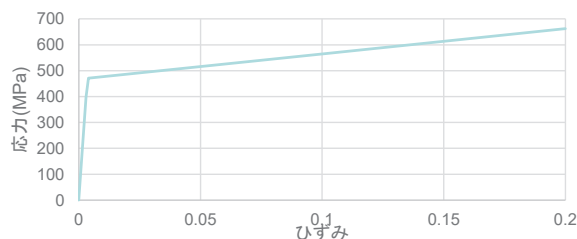
使用コード: FINAS/STAR

解析方法: 大変形を考慮した動的弾塑性時刻歴解析

要素: 四角形シェル要素

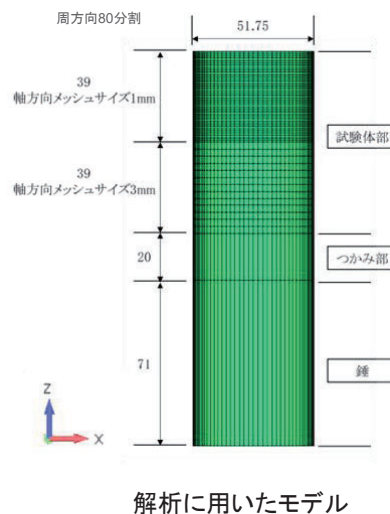
材料: 炭素鋼

ヤング率	133GPa
ポアソン比	0.3
減衰比	0.1%
錘	22.56kg



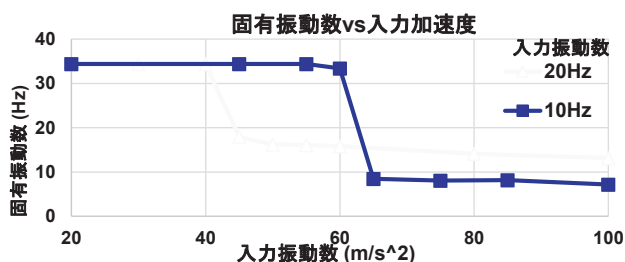
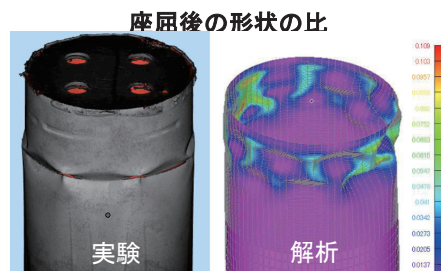
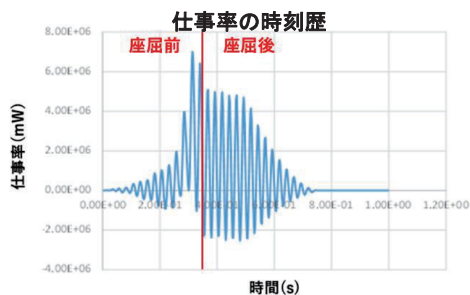
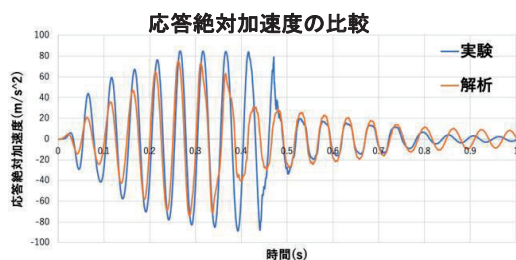
二直線移動硬化モデル

[文献] 長谷川翔, 濱田良太, Ye Yiji, 一宮正和, 笠原直人, 過大な振動荷重による円筒の座屈及び座屈後挙動に関する研究 (1)柱試験体と円筒試験体を用いた基礎的研究, 日本機械学会 2022年度年次大会 S081-05



解析に用いたモデル

FEM解析



- 解析は実験を良く模擬できている。
- 柱試験体と同様に、座屈後はエネルギーが入力されにくくなった。
- 20Hzよりも低い10Hzの入力振動数でも、固有振動数が入力振動数を下回ることが確認できた。

[文献] 長谷川翔, 濱田良太, Ye Yiji, 一宮正和, 笠原直人, 過大な振動荷重による円筒の座屈及び座屈後挙動に関する研究 (1)柱試験体と円筒試験体を用いた基礎的研究, 日本機械学会 2022年度年次大会 S081-05

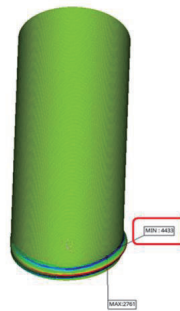
■ 過大地震時の破損拡大予測機能の検証

座屈後の安定性とき裂発生評価のために、以下の2つの予測法が必要となる。

① 容器全体の座屈後応答の予測法

(座屈後に崩壊や破断が生じないことの確認に必要)

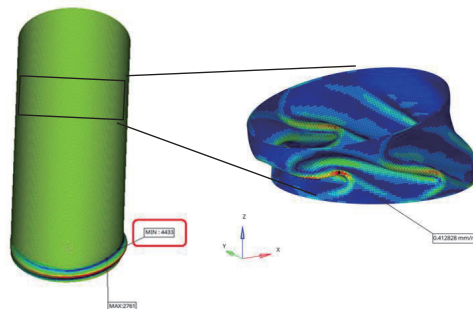
動的FEモデル
(粗メッシュ)



② 局部からの疲労亀裂発生予測法

(液面より下で大きな亀裂が生じないことの確認に必要)

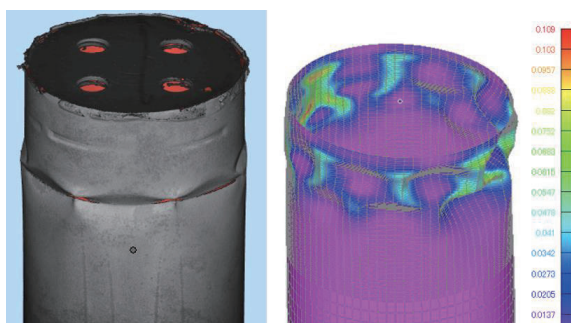
動的FEモデル
(粗メッシュ)



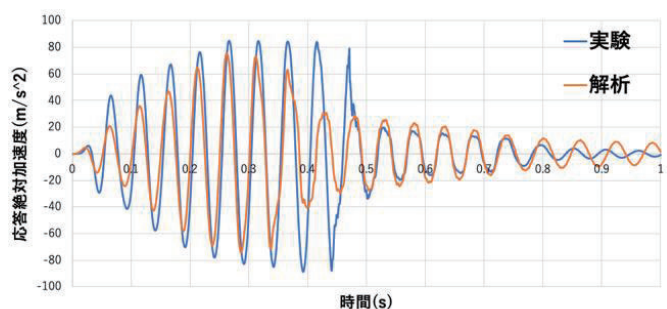
静的FEモデル
(詳細メッシュ)

① 容器全体の座屈後応答の予測法

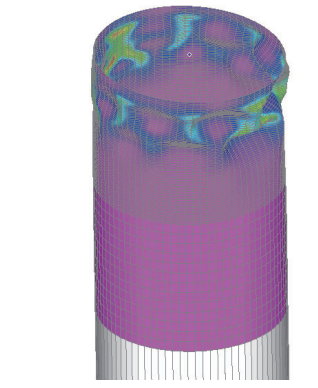
座屈モードを表現できる



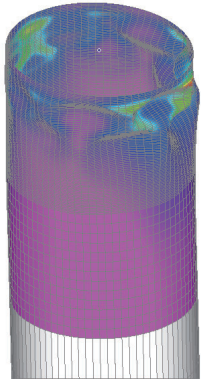
時刻歴応答を表現できる



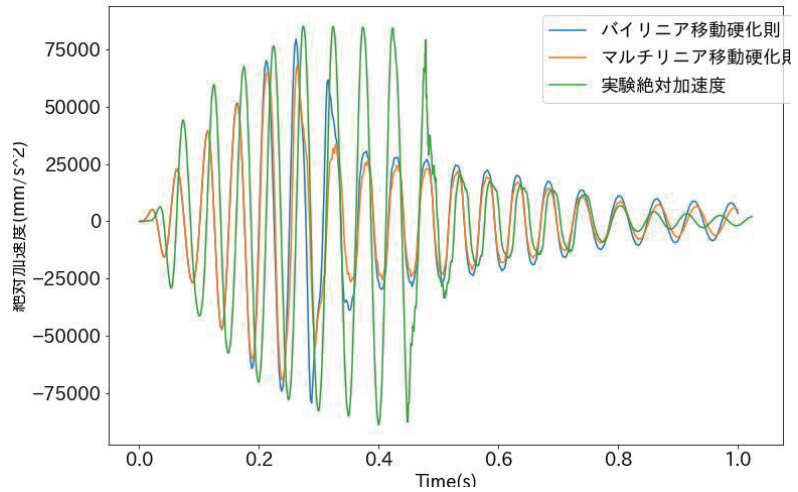
[文献] Yiji Ye, Sho Hasegawa and Naoto Kasahara, Study on dynamic buckling behavior and post-buckling stability on thin-walled cylinders subjected to lateral vibration, ASME, PVP2023-105543 (2023)



バイリニア移動硬化



マルチリニア移動硬化

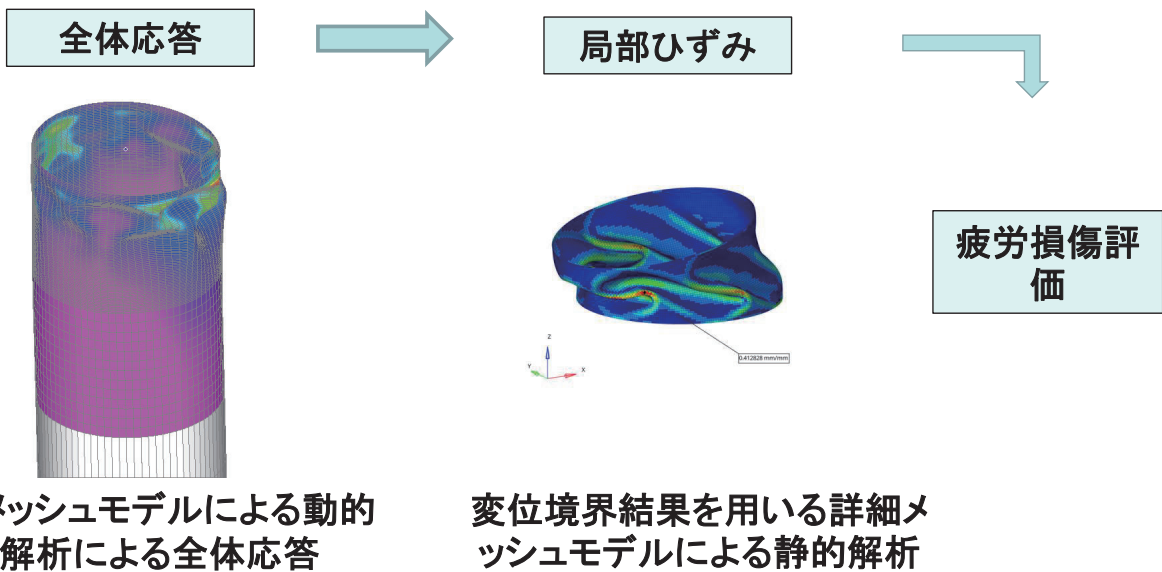


- マルチリニア移動硬化則の精度が良い
- バイリニア移動硬化則は実験に適合するように2直線を調整することが可能であり、計算速度が必要な場合は利用可能

[文献] Yiji Ye, Sho Hasegawa and Naoto Kasahara, Study on dynamic buckling behavior and post-buckling stability on thin-walled cylinders subjected to lateral vibration, ASME, PVP2023-105543 (2023)



②全体動的解析と静的局部解析を組み合わせた疲労亀裂発生予測法



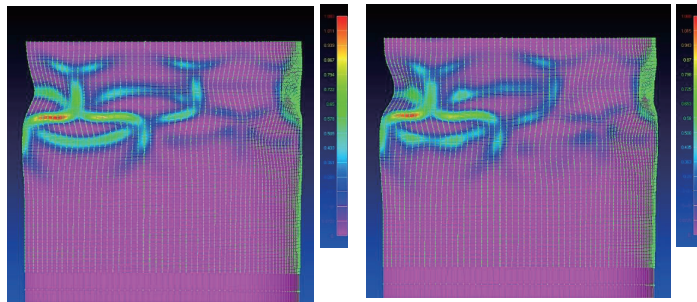
祖メッシュモデルによる動的解析による全体応答

変位境界結果を用いる詳細メッシュモデルによる静的解析

[文献] Yiji Ye, Sho Hasegawa, Masakazu Ichimiya, Naoto Kasahara, Sho Suzuki and Chauanrong Jin, Study on buckling behavior and post-buckling stability of fast reactor vessels during severe earthquakes, JSME, ICONE30-1300 (2023)

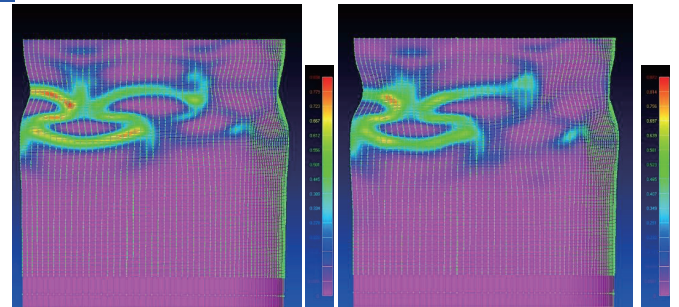


変位境界結果を用いる静的有限要素解析結果と動的有限要素解析結果との比較



両者の座屈モードは一致している

動的有限要素解 静的有限要素解
相当塑性ひずみ(内表面)



動的有限要素解 静的有限要素解
相当塑性ひずみ(外表面)

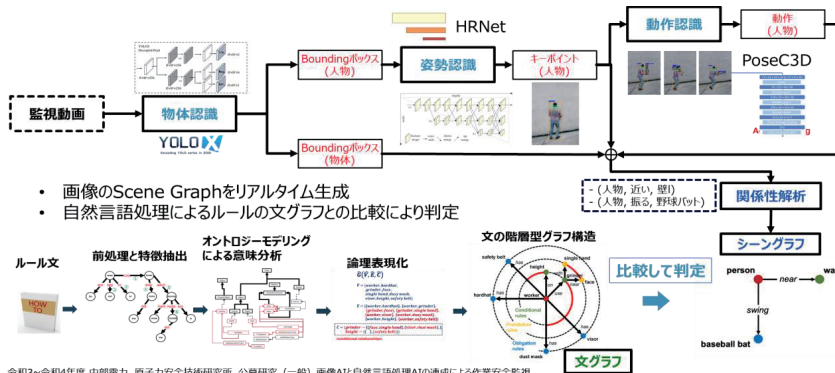
[文献] Yiji Ye, Sho Hasegawa, Masakazu Ichimiya, Naoto Kasahara, Sho Suzuki and Chauanrong Jin, Study on buckling behavior and post-buckling stability of fast reactor vessels during severe earthquakes, JSME, ICONE30-1300 (2023)

核セキュリティへの貢献提案

新たな脅威への対策強化

内部脅威者の検知

- 異種AI融合を開発：画像AIおよび言語AIによる認識結果を、共通のデータ形式(=グラフ)に変換することで、画像の中の悪意行為を禁止・遵守ルールを基準として識別 ⇒ **複雑な判定が可能に**
- 内部脅威者の悪意行為を検知しアラームする第1スクリーニングとして、人の眼による検知をサポート
- c. スタンドオフ攻撃の検知にも適用可能



令和3~令和4年度 中部電力 原子力安全技術研究所 公開研究(一般) 画像AIと自然言語処理AIの連携による作業安全監視

●核物質盗取模擬動画の判定



判定精度
● 適合率: 100%
● 再現性: 64.71%

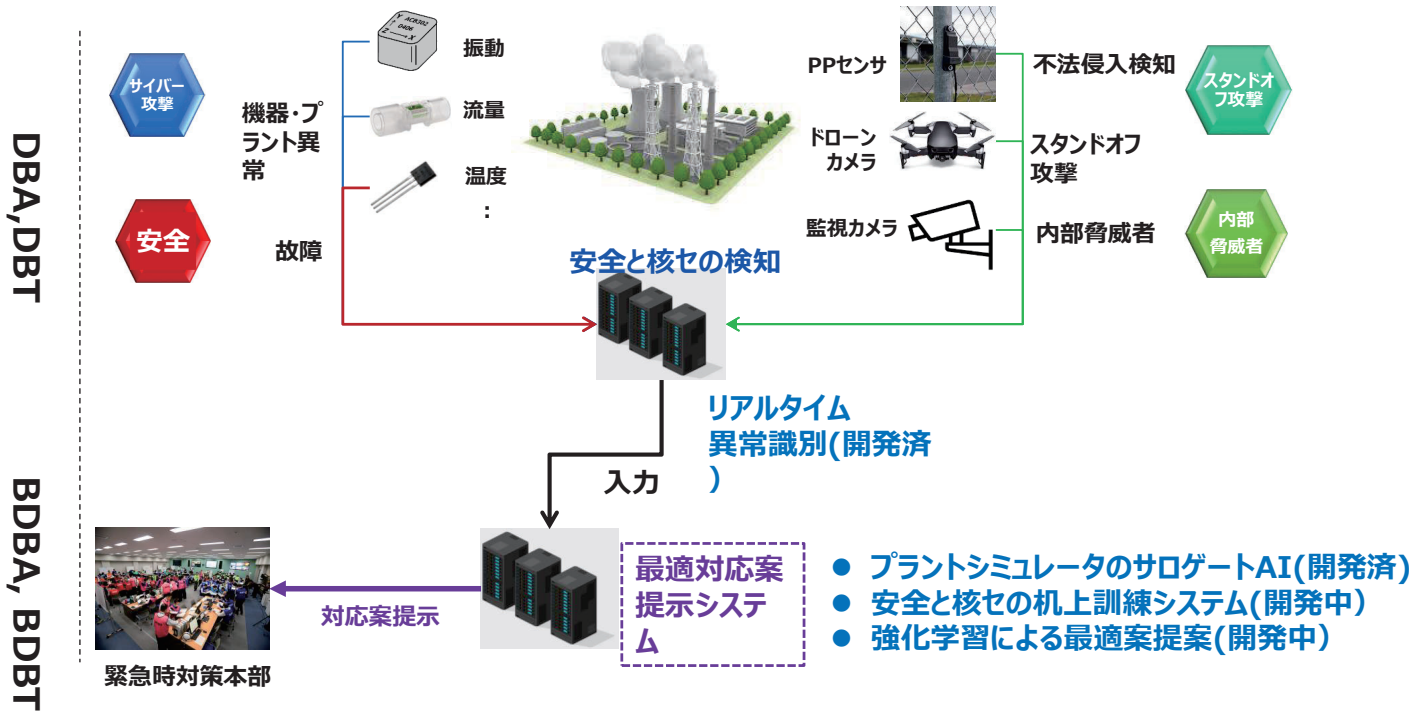
[文献] Kazuyuki Demachi and Shi Chen, "Logical Representation of Rule Sentences for Malicious Acts Identification Using Natural Language Processing", *Journal of Nuclear Materials Management*, Volume 50, Number 2, June 2022, pp. 28-38(11)

現状の課題：悪意行為の画像認識AIのための学習動画が少ない ⇒ Game EngineのCGにより整備中

●CG動画(悪意行為の例)



安全と核セキュリティのための検知および最適対応案提示システム（開発中）



[文献] Feiyan Dong, Shi Chen, Kazuyuki Demachi, Masanori Yoshikawa, Akiyuki Seki, Shigeru Takaya, Nuclear Engineering and Design, Volume 404, 2023, 112161.

内容

事故から学んだ原子力安全

次世代革新炉の開発

原子力安全のニーズ

大学研究の紹介

計算科学への期待

■ 基本思想の転換

- 設計想定内事象(破損防止)と設計想定を超える事象(影響緩和)とは基本思想が異なる。
- 現実的破損挙動の予測(万一破壊する場合、「どの部位が」、「どのような破損モードで」、「どの程度の規模で」破壊するのか)と影響緩和(破局的破損の防止、破損の極限化、等)が目的
- 核セキュリティの課題である、設計想定を超える脅威に関しては、早期検知とその後の影響緩和策が重要であり、安全対策との共通点が多い。

■ 現実的破損クライテリア

- 保守的に設定された設計クライテリアでは、課題の優先順位が見えなくなる。
- 安全性能に影響する破損モードに基づく(建築分野では性能評価の考え方が浸透している)
- 破損規模・影響度の把握(ベストエスティメート、保守性は弊害)

■ 現実的応答解析

- 上記クライテリアを高精度で評価するための解析法とその検証法
- 実現象の予測(ベストエスティメート、弾塑性、保守性は弊害)
- リスク評価および核セキュリティ対策のためには、膨大なパラメータ解析を高速実行する必要がある。

構造の性能を評価し向上させるにはどのような技術が必要か

■ 設計:壊さないことが目的

- 保守的荷重予測+保守的破損クライテリア



■ 合理的設計:不確定性と余分な裕度の合理化が目的

- 保守的高精度荷重予測+保守的高精度破損クライテリア



■ 設計を超える状態:現実的破損現象把握と影響緩和が目的

- 現実的荷重予測+性能評価のための現実的破損クライテリア

両者を合わせてトータルでバランス良く評価する必要がある。

計算科学活用提案

1. 福島第一原子力発電所事故の教訓として設計想定を超える事故に対する備えの重要性が認識された。
2. 上記備えとしてリスク評価と低減、レジリエンス向上努力が進んでおり、事故進展解析が基盤となる。
3. 事故進展解析は、保守的な設計解析と異なり、実挙動に基づくベストエスティメートが必要である。
4. 実験が不可能な大規模な実機解析においては、目的に対する支配因子に着目した解析と検証を実施する。
5. 複雑な連成問題においても、目的に対する支配因子着目した解析と連成を行う。
6. リスク評価や核セキュリティ対策に必要な計算時間短縮のため、サロゲートAI化などのDX活用を図る。

まとめ

事故経験から、設計想定事象に対する事故防止と、設計想定を超える事象に対する影響緩和の両者から、トータルのリスクを低減することが重要であることを学んだ。

システム安全の分野において、ポータブル機器や緊急時対応策により事故発生後の影響緩和策がとられている。次世代革新炉では、受動安全の考え方を適用して、シンプルな構造で影響緩和を図る工夫がなされている。

構造強度の面からも、システム(設備集合、建屋全体)の破損拡大を抑制することで、システム安全策のための時間余裕を作ることが可能で、今後の貢献が期待される。ウクライナ進行により設計想定を超える脅威が高まった核セキュリティも、時間余裕が有効対策に結び付くことで安全対策との共通項が多く、DXの活用が期待されている。

破損拡大を抑制するための大学研究の例として、破局的壊れ方をしない受動安全構造を紹介した。また、核セキュリティ対策のための時間余裕を生む早期検知とそれによる対策に関する研究計画を紹介した。

計算科学への期待として、システム(設備集合、建屋全体)の破損シーケンスを予測するための、実破損と破損後挙動解析が挙げられる。また、様々な脅威に対するプラント挙動を高速に予測するためのDX活用が期待される。

アドバンスソフト
からの情報提供

1. 今後のセミナー予定
2. セミナー資料のダウンロード
3. アーカイブ動画のご案内

Copyright ©2023 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

アドバンスシミュレーション・セミナー2023 開催予定一覧

No.	開催日	講師の先生方	テーマ
第6回	8月28日(月) 14:00~15:30	「フェイクニュースと生成AI」 東京工業大学 環境・社会理工学院 准教授 笹原 和俊 様	生成 AI
第7回	9月14日(木) 14:00~15:30	「量子コンピュータと量子アニーリングマシン :基礎から最先端まで」 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 新原理コンピューティング研究センター 副研究センター長 川畑 史郎 様	量子コンピュータ
第8回	10月6日(金) 14:00~15:30	「爆轟から見える CAE の方向性」 青山学院大学 理工学部 名誉教授 林 光一 様	爆轟
第9回	11月10日(金) 14:00~15:30	「都市のデジタルツイン」 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター 総括研究主幹 中村 良介 様	デジタルツイン
第10回	12月15日(金) 14:00~15:30	「(仮題) ナノシミュレーションの展望」 筑波大学 数理物質系 教授 岡田 晋 様	ナノ

Copyright ©2023 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

下記のURLから、過去のセミナー資料をダウンロード可能です。
<https://www.advancesoft.jp/download/>



シミュレーション図書館 (資料ダウンロード) について

- 初めてご利用いただくお客さまは、「新規メンバー登録 (フォーラム会員登録)」をお願いいたします。ご登録いただきますと、いただいたメールアドレスあてにダウンロード用のログインパスワードをお知らせいたします。
- ログインパスワードをお持ちのお客さまは、お客さまのご登録されたメールアドレスと、こちらからお知らせしましたパスワードで、ログインしてください。ログイン中はどの資料もダウンロードいただけます。
- 会社案内、会社概要、開発実績は、ログイン不要でダウンロードいただけます。
- ご登録いただいたメールアドレスあてに、メールマガジンやアドバンスソフトからのご案内をお送りさせていただきます場合がございますので、ご了承ください。
- 資料に含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。

資料カテゴリー一覧

パッケージソフトウェア▷ ナノ・バイオ 半導体 流体 管路系 二相流 防災 構造 統合環境
 解析・コンサルティング▷ 防災・地震 二相流 2次電池 その他

半導体

【半導体】> セミナー資料 (アドバンスソフトの半導体デバイス、電磁波解析のご紹介 ~DX、グリーンイノベーションを加速する数値解析シミュレーション~) 20221117_all 【全体】

カテゴリー: 半導体 パッケージソフトウェア

【半導体】> セミナー資料 (半導体デバイス3次元TCADシステム Advance/TCAD 最新動向セミナー) 20181225_all 【全体】

カテゴリー: 半導体 パッケージソフトウェア

【半導体】> セミナー資料 (半導体デバイス3次元TCADシステム Advance/TCAD 製品紹介セミナー) 20190828_all 【全体】

カテゴリー: 半導体 パッケージソフトウェア

【半導体】 Advance/TCAD > セミナー資料 (オンラインセミナー「アドバンスソフトの電磁波、半導体デバイス解析のご紹介 ~IoTを支える数値解析シミュレーション~」) 20200825_all 【全体】

カテゴリー: 半導体 パッケージソフトウェア

【半導体】 Advance/TCAD > セミナー資料 (半導体デバイス3次元TCADシステム発売のご紹介セミナー)

Copyright ©2023 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

YouTubeにて、セミナーのアーカイブ動画を配信中
<https://www.youtube.com/user/advancesoft>



- 【セミナー動画】第10回 アドバンス・シミュレーション・セミナー 2023年4月21日 (金) 開催 [防災・インフラ分野でのシミュレーション] advancesoft • 0 回視聴 • 35分前
- 【セミナー動画】第10回 アドバンス・シミュレーション・セミナー 2023年1月20日 (金) 開催 [環境対策を身近に感じることができる...] advancesoft • 34 回視聴 • 2 か月前
- 【セミナー動画】第9回 アドバンス・シミュレーション・セミナー 2022年12月23日 (金) 開催 [「JAMSTECの最先端地球科学」回] advancesoft • 98 回視聴 • 3 か月前
- 【セミナー動画】第6回 アドバンス・シミュレーション・セミナー 2022年11月11日 (金) 開催 (動的破壊進展解析と大規模粒子「...



- 【セミナー動画】 NanoLabo/NeuralMD 新機能紹介セミナー 2023年4月20日 (木) 開催 advancesoft • 2 回視聴 • 6 時間前
- 【セミナー動画】 OpenModelica 活用セミナー 2022年11月30日 (水) 開催 advancesoft • 166 回視聴 • 4 か月前
- 【セミナー動画】 アドバンスソフトの半導体デバイス、電磁波解析のご紹介 ~DX、グリーンイノベーションを加速する数... advancesoft • 70 回視聴 • 4 か月前
- 【セミナー動画】 NanoLabo 新機能、新製品 NeuralMD Pro ご紹介セミナー 2022年11月10日 (木) 開催

Copyright ©2023 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



警告

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立つ用途に限定して無料配布しています。このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。