

第10回 日本電気協会 原子力規格委員会シンポジウム

原子力業界におけるAI活用の現状と期待 ～AX(AIトランスフォーメーション)の夜明け～

2026年10月26日

MRI 三菱総合研究所

インフラ・都市政策本部

江藤 淳二

目次

1. 米国：原子力業界におけるAI活用の現在地	3
1.1 NRCの取組みの背景・時系列と日本への示唆	
1.2 米国主要国立研究所のAI取組み一覧	
2. 中国：原子力業界におけるAI活用の現在地	9
2.1 発展の全体像・戦略構造とAI活用事例	
2.2 導入上の共通課題と日本が学ぶべきこと	
3. 米中比較から見える日本への示唆と期待	14
3.1 競争軸の違いと今後の我が国の原子力業界における期待 ～AX(AIトランスフォーメーション)の夜明け～	
3.2 日本の課題(ヒト・モノ・カネ)とまとめ	

原子力業界におけるAI活用の現在地

- AI超大国：米国の原子力業界におけるAI活用の取組みと現在地

産業界のAI/ML活用に対し、規制側の能力整備に着手

- 産業界におけるAI(人工知能)/ML(機械学習)利用の先行
 - NextEra社等では、CAP活動(Corrective Action Program)、機器信頼性(Equipment Reliability)、予防保全(Predictive Maintenance)等へのAI/ML適用が既に進んでいた
 - 将来、NRCがAIを含む許認可・安全審査を行う必要が生じることが見込まれた
- 2021年4月21日:Federal Register(米国連邦政府官報)での意見募集
 - 「Role of Artificial Intelligence Tools in U.S. Commercial Nuclear Power Operations」を公表
 - 原子力産業におけるAI/MLの現状・将来用途・便益・課題について広く意見を募集
- 2023年 AI Strategic Planへの反映
 - 「Industry's Potential Application of AI」を予見し、
審査経験のないAI技術に対するstaff readiness※の確保を戦略の中心に据えた
※新しい業務、役割、変化(DXや組織改革など)に対して、知識・スキル・心構えの面で「準備が整っている状態」

NRCの問題意識

「AIを規制するためにAI規制を作る」ことではなく、
事業者がAIを安全関連・運転・保全等へ使い始めたときに、
「NRCが技術を理解できず審査できない」状態を避けることにあった

出所:NRC「Role of Artificial Intelligence Tools in U.S. Commercial Nuclear Power Operations」(2021年4月21日, Federal Register)、NRC Artificial Intelligence Strategic Plan (2023) 等より作成

先行する米国の生成AIの進展と原子力分野への導入動向

- 2022年11月～2023年: ChatGPTによる転換点
- 原子力分野の最大の特徴: 生成AIをいきなりSafety-Criticalな自動制御に適用せず、まず「大量の文書・知識・規制情報を扱う業務」から導入
- 米国国立研究所INLの報告: 生成AIは人間を置き換えるものではなく報告書のドラフト作成等を支援。最終的な確認・承認は有資格の専門家が行う

米国全体の生成AI進展

2022年末
ChatGPT登場
個人利用・
PoC開始

2023年
企業内実験
文書・検索・
コード・CSへ拡大

2024年
Enterprise
生成AI
RAG・社内データ
接続・業務組込み

2025年
全社展開
AIエージェント・
業務プロセス再設計

2026年
業務変革の段階へ
AIを「使う」から
「業務を変える」へ

米国原子力産業における生成AI導入

2023年
可能性評価
生成AIの適用可
能性を評価

2024年
PoC
文書検索・知識継
承・規制文書作成

2024～25年
商用導入
発電所への
導入開始

2025年
専門特化
原子力特化LLM・
RAG・ライセンス
支援

2025～26年
適用拡大
AIベンチマーク、
設計・建設・運転まで

2024年にEPRIは原子力産業向けに生成AIの調査レポート出版

実態把握から戦略化・規制ギャップ分析を経て実運用段階へ

時期	NRCの取組み	主な目的	発展段階
2021/4	Federal Register AI意見募集	産業界のAI利用実態・将来計画・課題を把握	実態把握 用途探索
2021/6/29	第1回Workshop Introduction to AI	AI/ML/DL/NLPの共通言語・基礎理解	
2021/8/18	第2回Workshop Current Topics	NRC・産業界の現在のAIユースケース把握	
2021/11/9	第3回Workshop Future Focused Initiatives	将来AI、データ、共同研究テーマ探索	
2023/5	NUREG-2261 AI Strategic Plan	NRCのAI regulatory readiness構築	戦略立案
2023/6～	Regulatory Framework Applicability Assessment	現行規制でAIを扱えるかを分析	規制GAP分析 実効プラン立案
2023/9/19	第4回Workshop AI Characteristics	AIの特性・自律度と規制論点を整理	
2023～24	AI Project Plan	Strategic Planを具体的な活動へ展開	
2024/9/17	第5回Workshop Regulatory Framework Applicability	規制ギャップ分析結果+industry use cases	
2024/10	Regulatory Framework Assessment報告	500超のRegulatory Guides等を評価	実装への検討
2025/3/13	第一回AI Symposium 2025	NRC・産業界の進捗共有	
2025/9/24	第6回Workshop	AI技術進展と安全・規制の整合	
2026/3/12	第二回Symposium Moving Data and AI into Practice	AIを「研究」から「実務」へ	
2026/9/15	第7回Workshop	実装に向けた検討	

先行する米国の取組みの主要テーマは、**2021～22年「AIとは何かを理解する」**
→ **2023～24年「どう規制するか」**
→ **2025～26年「どう実際に使うか」** に変化

米国の主要国立研究所の注目テーマと代表事例一覧

組織	注目テーマ	主なAI技術・事例
国立研究所 INL アイダホ	Nuclear AI/Digital Twin/自律炉	✓ 国プロPrometheus(Genesis Mission、3年6,000万ドル)の主導(AI技術やデジタルツイン等による運用コストの削減等)やNVIDIA提携 ✓ 研究用小型原子炉PUR-1炉の遠隔・自律出力制御 ✓ 次世代の小型マイクロ原子炉(MARVEL)のCOMMAND/MARVEL代理モデル(サロゲートモデル)
国立研究所 ORNL オークリッジ	AI for Science/Self-driving Lab/材料	✓ INTERSECT→Labs of the Future(AI、ロボット工学、スーパーコンピューターを繋ぎ、自律的な実験を試行)、 ✓ スーパーコンピュータFrontier(後継Discovery 2028)の活用 ✓ AI安全拠点CAISER(核不拡散や核セキュリティは重要な注力ドメインの一つ)
国立研究所 ANL アルゴンヌ	Scientific AI/HPC(ハイパフォーマンス・コンピューティング)/原子炉解析	✓ PRO-AID(物理ベースDigital Twinで異常検知・原因診断、液体ナトリウム試験施設METLでの実証テスト) ✓ 次世代原子炉システム解析コードSAMへのTransformer適用(次世代原子炉システム解析コード等) ✓ GNN(グラフニューラルネットワーク)型Digital Twinによる高速実験炉EBR-II・フッ化物塩冷却高温炉gFHRへの実証
国立研究所 LLNL ローレンス・リバモア	PIML/Materials AI/Autonomous Science	✓ Cognitive Simulation(レーザー核融合実験施設NIF点火に寄与)、 ✓ El Capitan(2.79exaFLOPS)(ストックパイル・スチュワードシップ(核兵器備蓄管理プログラム)への貢献) ✓ 応用計算科学センタCASCでのAI信頼性研究(ミスや誤判断が人命や莫大なコストの損失に直結する領域を対象にAI信頼性の研究を推進)
国立研究所 LANL ロスアラモス	Physics-informed AI/HPC/Trustworthy AI	✓ スーパーコンピューターVenadoを機密ネットで運用(NVIDIA製GH200を搭載)、次世代機Mission/Vision(NVIDIAのVera Rubin) ✓ 世代原子力カスタートアップOklo・NVIDIAとPu燃料R&D協定

国立研究所が**HPC×物理ベースAIで技術を供給**し、DOEがGenesis Mission((17国立研、3.2億ドル超))で束ね、NRCが規制面の受け皿を整える役割分担

理解→対話→戦略→評価→実装の5段階を日本の枠組みへ

日本への示唆:NRCアプローチの5段階モデル

Phase	NRCの考え方	日本に置き換えると
① Understand 理解フェーズ	AI技術・Industry Use Caseを理解	事業者・メーカーのAI事例収集
② Engage 対話フェーズ	Workshopで Industry／DOE／EPRI／INL等と議論	NRA・ATENA・電事連・メーカー・大学 等との対話の場
③ Strategize 戦略フェーズ	NUREG-2261 AI Strategic Planの策定	原子力AI Strategic Planの策定
④ Assess 評価フェーズ	Regulatory Framework Applicability／Gap Analysis	炉規法・規則・審査基準・JEAC等との ギャップ分析
⑤ Implement 実装フェーズ	AI Project Plan／Symposium ／規制機関自身のAI利用	AI審査ガイド + sandbox※ + 規制機関 のAI利用

※パソコンやシステムの中に作られた、外部から完全に隔離された安全な仮想的実験環境のこと

NRCのアプローチで特に重要な点「AI規制ガイドを最初に作っていない」点が巧妙
 理解・対話・戦略・ギャップ分析を積上げた上で、最後に実装(ガイド整備)へ進む順序を採用
 日本でも「技術供給・推進主体・規制」の三者の役割分担を同時に設計し推進することが肝要

原子力業界におけるAI活用の現在地

- もう一つのAI超大国：中国の原子力業界におけるAI活用の取組みと現在地

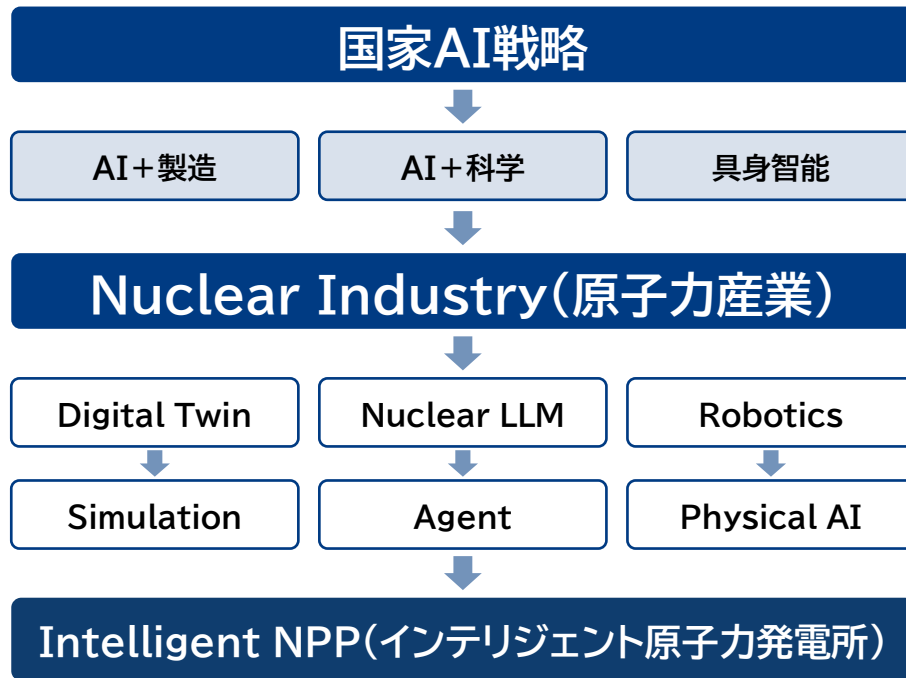
国家AI戦略と連動し5段階で原子力への統合が進展

時期	フェーズ	国家レベル	原子力業界
2017 ～ 2019	AI国家戦略・産業化	国家AI戦略の策定、AIの産業化を推進	中国核工業集団CNNCがAI+原子力を正式に開始
2020 ～ 2021	デジタル産業化	AI+実体経済、5G、IoT、スマート製造	CNNC／CGN(中国広核集団)／SPIC(国家電力投資集団)がデジタル化基盤を構築
2021 ～ 2023	Digital Nuclear	第14次五カ年計画によるデジタル化推進	Digital Twin、AI診断、予知保全(Predictive Maintenance)
2023 ～ 2024	Generative AI	生成AI政策、大規模モデルの整備	原子力専用LLM・AIプラットフォームの開発
2025 ～ 2026	AI+原子力の本格統合	「AI+」(具身智能:Embodied AI)	DeepSeek、AI Agent、Physical AI、原子力LLM標準化

全体像

国家戦略が先行し、その政策の主要テーマ(AI産業化→デジタル化→生成AI→「AI+」)が、そのまま原子力業界の取組み(デジタル基盤→Digital Twin→原子力LLM→AI Agent／Physical AI)に**時間差なく反映される構造**

国家戦略・産業・現場の3層構造と、AI活用の5つの転換



3層が国家戦略から現場実装まで一直線に繋がる

5つの転換	時期	内容
① AI → Digitalization	2017-20 →2021-22	AI技術そのものから、AIを使うためのDigital Infrastructureへ重点が移行
② Digitalization → Digital Twin	2021-24	「データを集める」から「仮想原発を作る」へ。 SPIC・CNNC・CGNの3社が推進
③ ML → LLM	2023-24	予知保全・画像認識中心から、LLM／RAG／生成AIへ急速に移行
④ LLM → AI Agent	2024-25	「質問に答えるAI」から仕事そのものを実行するAIへ。 「龍吟・万界」(中国発の原子力に特化した大規模言語モデルデジタル生産力プラットフォーム)
⑤ Software AI → Physical AI	2025-26	Robot+Vision+Sensor+5G+AIへ展開。 中国の原子力業界で特に進展

ポイント:

国家AI戦略が原子力産業へ直結する3層構造のもと、
AIは「技術」→「基盤」→「仮想原発」→「実行主体」→「物理世界」へと段階的に役割を変化

デジタルツイン・LLM・ロボティクスが実プラントで稼働

	事例	主体・プラント	AI・デジタル技術	解決しようとしている課題	適用状況
1	華龍一号デジタルツイン	CNNC・福清原発	Digital Twin、AI診断、オンラインシミュレーション	異常診断、操作検証、運転最適化	実プラント実証
2	防城港AI+3Dデジタルツイン	CGN・防城港原発	AI、3Dモデル、リアルタイムデータ	故障予測、保全計画	実プラント実証
3	DeepSeek原子力LLM		DeepSeek-R1、RAG／LLM、国内GPU	文書作成、知識検索、知識継承	実導入
4	「龍吟・万界」原子力LLM	CNNC系	原子力専用LLM、AI Agent	知識活用、保守支援、緊急時支援	企業内実装
5	蒼南原発AI巡検ロボット	CGN・蒼南原発	四足／車輪ロボット、画像認識、センサー、5G	巡視の負担、危険環境での作業	実運用
6	陽江原発AI設備監視	CGN・陽江原発	画像認識、赤外線画像、巡検ロボット	電気設備異常の早期検知	実運用
7	安全壳AI検査ドローン	CGN	ドローン、Computer Vision、3D	高所検査、安全壳(原子炉格納容器)表面の欠陥検出	実用化
8	国和一号Digital Twin	SPIC／国核示範	AI、Digital Twin、産業IoT	設備監視、保全、教育訓練	実プラント導入
9	核電建設AI・ロボット	CNNC・寧徳等	Computer Vision、自律ロボット、AI施工管理	建設品質、工期、人手不足	実建設現場導入

実プラント適用・実運用の段階。

デジタルツイン、原子力LLM、巡検ロボット・ドローンが実際の発電所業務に組み込まれている点が中国の特徴

共通課題と対応策、そして学ぶべきは「構造の作り替え」

6つの共通課題	なぜ原子力で問題になるか	中国で見られる対応
① 学習データ不足	事故・故障データが少なく、学習に必要なサンプルが得られない	Simulator、Digital Twinによるデータ生成
② Simulation-to-Real Gap	Simulatorと実機の挙動が異なり、そのままでは使えない	Transfer Learning、物理モデルの併用
③ Explainability	AIの判断根拠を説明できないと安全上の判断に使えない	Decision Supportに留め、最終判断は人が担う
④ Cybersecurity	AI・ロボット接続がattack surface(攻撃対象領域)を増加させる	Local AI、Private 5G、ネットワーク分離
⑤ Data silo	DCS(工業用コンピュータ)・保全・設計のデータが分断され活用できない	Industrial Internet、Digital Twinで統合
⑥ Regulatory acceptance	Safety-related用途はV&Vの実施が難しい	まず監視・診断・支援用途から段階導入

ポイント:

- 日本が学ぶべきは技術の輸入ではなく、「**AIを入れる前に、原発をAIが扱える構造に変える**」という発想。
- 中国はCGNのSmart Nuclear Power(5GやAIを活用したインテリジェント原子力発電プラットフォーム)、CNNCの産業インターネット・Digital Twin、原子力LLMを国家標準化として構造を整備。
- 日本は要素は揃うが、国家戦略・産業プラットフォームとして接続されていない点が課題か。

原子力業界におけるAI活用の現在地

- AI超大国：米国 vs 中国の比較から見える日本への示唆
- 今後の我が国の原子力業界における期待
～AX(AIトランスフォーメーション)の夜明け～

競争軸はAI性能ではなく実装プロセス

NRCのAI規制スタンス: AI自体ではなく「AIを使う活動」を規制

既存規制の適用可能性を評価

AIの特性・不確実性を評価

human judgmentを残す

V&V(検証・妥当性確認)を実施

AI対応のinspection/review能力を整備

AI固有の新規制は先行させない

米国: AI技術から実機導入までの全工程が「AI for Nuclear」(NRCが規制評価で受け皿)

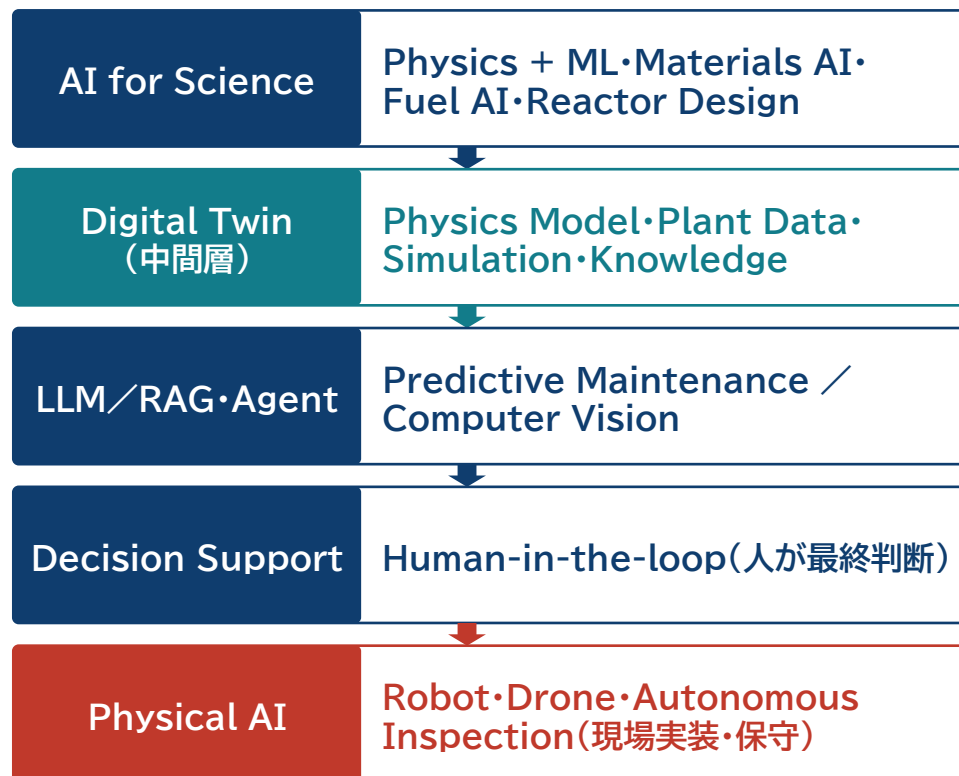


中国: 導入スピード重視、実機展開後に業界標準へ



本当の競争軸はAIの性能ではなく、
「検証・V&V・規制評価まで含めた実装プロセスをどう作るか」。
米国は信頼性を積み上げる型、中国は導入して標準化する型。
日本は規制側の評価能力整備を技術開発と並走させることが鍵か。

Digital Twin中心の構成と重点8テーマ案



	研究開発テーマ	日本の強み
A	原子力Digital Twin	事業者データ
B	AI-NDE(非破壊検査)	材料・検査技術
C	Physical AI Robot	ロボット産業
D	AI Drone	ロボット・画像技術
E	Nuclear LLM/RAG	原子力文書・知識
F	SciML(科学機械学習)	計算科学
G	Fuel/Material AI	照射・材料データ
H	AI V&V Platform	NRA・JAEA・産業界連携

「AI for Science」と「Physical AI」を**Digital Twinで統合する構成**を前提に、重点8テーマを配置。

中国からは現場実装のスピードと標準化、米国からは物理統合とV&V・規制評価の枠組みを取り込み、**AI V&V Platform**を全テーマを支える**共通基盤**として先行整備する

三つの制約と対策を一枚で俯瞰する

ヒト(人材・知識)	モノ(設備・技術・規制)	カネ(投資・費用対効果)
課題 ・2040年に就業者数が約6,700万人→約6,300万人へ減少し、専門職・現場人材が不足 ・ベテラン退職と若手の採用難で知識基盤が失われ、技術伝承が困難 ・現場のデジタルリテラシー不足、生成AIの誤出力を見抜けないリスク	課題 ・重要な安全・セキュリティ機能へのAI適用は実績が乏しく実証段階 ・AIの品質を検証する体系が原子力分野に存在せず、実装の最大の隘路 ・仕様規定中心の規制がAI利用を想定せず。機微情報流出等の固有リスク	課題 ・再稼働停滞・稼働率低下による資金不足とサプライチェーンの衰退 ・事業の予見性の低さとPoC止まりで投資回収シナリオが描けない ・AI基盤・データ整備・人材育成のコストは単独事業者には過大
対策 ・手順書・トラブル事例を知識ベース化し、生成AIの検索・要約で技術伝承を支援 ・規制審査文書の整合性チェックにAIを適用し、審査対応工数を削減 ・SAT(システムの訓練アプローチ)に基づく教育訓練へのAI組み込みとHuman-in-the-loopの明文化	対策 ・原子力AI品質ガイドライン第3版に沿い要求・データ・モデル・運用で信頼性を管理 ・NRC手法を参考にAI規制ギャップ分析を実施し性能規定化を準備 ・状態監視・予知保全など補助的用途から段階適用、テストベッド整備	対策 ・工数削減・稼働率向上の効果をKPI化し投資対効果を定量提示 ・国の枠組みを活用し共通基盤コストを産業界で分担 ・電力横断の共同開発・データ共有と国際枠組み活用で重複投資回避

三つの課題は個別には解けない。

品質保証・規制対応・人材育成をセットで、安全機能外の業務支援から段階展開することが要点
(用途の棚卸し→データ基盤・セキュリティ→品質検証→規制対応→効果測定と展開)

原子力産業での生成AI活用に向けて ～活用の方向性～

ベテラン層

メリット

- ・業務専門性が高く、AI出力が妥当かを判断する「Domain Expert／レビュー役」を担える
- ・暗黙知を作業要領・事例・注釈として言語化すれば、AIを通じて組織知として継承できる

注意すべき点

- ・AI操作に不慣れなまま評価だけを担うと判断が遅れる。プロンプト・コンテキスト設計(問題設定)の理解が必要
- ・過度な期待と過度な警戒のどちらにも偏らない。「AIが答えた＝正しい」も「AIは使えない」も避ける

活用姿勢

- ・現場の課題起点でAIの使いどころを見極め、Operator(操作)とJudge(判断)の役割分担を設計
- ・判断の根拠や勘所をAIが学べる形で残し、Validation(原典・規格との照合)の観点を明文化

若手層

メリット

- ・AIリテラシーが高く、調査・要約・文書作成の負荷が下がり、本質的な業務や検討に時間を充てられる
- ・記録の構造化やトレーサビリティ確保など、AI活用の前提となるデータ整備を担える

注意すべき点

- ・AIリテラシーが高く業務専門性が低い状態が最も危険。もっともらしい誤りを高速・大量に生成しかねない
- ・「調べる・まとめる」過程が経験として蓄積されにくく、原理・規格・安全設計の基礎学習の重要度はむしろ増す

活用姿勢

- ・AIを日常業務で使い倒しつつ、使用モデル・版数・プロンプト・出典をVerification記録として残す
- ・レビュー役の付与と現場での実地確認、原典照合を習慣化し、専門知識へ計画的に引き上げる

- ベテランは「専門知識でAI出力を判断する側(Judge)」、若手は「AIを使い倒し記録と検証で支える側(Operator)」。両者の役割分担があってこそ生成AIは知識継承の加速装置になる(最終判断は人が担うHuman-in-the-loopが前提)
- 人材育成のあり方は、生成AIの活用を前提に検討・再構築していくことが有効

AI時代こそ現場力が成果を左右する

AIは現場力を代替しない。現場力の質がAIの価値を決める

従来の「保全の現場力」

暗黙知や職人技で問題を発見し、企業・部門を超えて連携しながら課題解決の道筋を見いだす力（長年の経験に裏打ちされた技術力）



AI時代の「保全の現場力」

- ・質の高い現場検査の記録・データを、AIが学習できる形式で蓄積・保管
- ・職人技を技術化・体系化し、暗黙知を形式知化してAIに継承する
- ・AIの出力を現場知見で検証し、判断の速さ・再現性と安全性を両立

現場データの質がAIの精度を決める

検査記録が曖昧・不揃いなままでは、どんなモデルも誤った学習をする。データを生むのは現場であり、現場力がAIの上限を決める

AIの出力を評価できるのはベテラン経験者

異常検知や予知保全の結果が妥当かを判断するには、設備の挙動を知る現場の目が要る。Human-in-the-loopの「人」は現場力そのもの

人材制約の中でこそ現場力の形式知化を急ぐ

サプライチェーン衰退と若手の原子力離れで「生きた仕事」の場が減る今、暗黙知データとして残せる時間は限られている

AI時代の保全は、「**現場力 × データ × AI**」の掛け算。

現場力がゼロならAIを活用しても成果はゼロになる。デジタル投資と同時に、記録の質を高め職人技を形式知化する取組みを保全現場から始めることが最重要。

AI活用による現場力の高付加価値化への転換、賃金上昇が人材の維持・確保の鍵

米中の動向から日本の課題までを6点で整理

① 米国:科学から規制評価まで一貫

国立研究所がHPC×物理ベースAIで技術を提供し、DOEがGenesis Missionで束ね、NRCは「AI自体ではなくAIを使う活動」を規制。
V&Vと規制評価まで含めてAI for Nuclear

② 中国:実装先行と「構造の作り替え」

CGN・CNNC・SPICがAI+Digital Twin+ロボット+5G+産業インターネットを一体投入。
学習データ不足・説明性・規制受容など6課題に対処しつつ、AIが扱える構造への作り替えを先行

③ 米中比較:競争軸は実装プロセス

米国は科学的検証・V&Vから規制評価まで積み上げる型、中国は導入後に標準化する型。
競うべきはAI性能ではなく実装プロセスの設計であり、日本は規制側の評価能力整備を技術開発と並走させる

④ 日本の方向性と重点8テーマ

AI for ScienceとPhysical AIをDigital Twinで統合する構成。
Digital Twin、AI-NDE、ロボット/ドローン、Nuclear LLM、SciML、材料AIと共通基盤のAI V&V Platformを配置

⑤ 課題はヒト・モノ・カネの同時解決

人材制約、品質保証・規制の未整備、投資回収の不透明さ。
品質保証・規制対応・人材育成をセットで、安全機能外の業務支援から段階展開する

⑥ 鍵は保全の現場力と世代の役割分担

記録の質と暗黙知の形式知化を担う保全の現場力がAI活用の上限を決める。
ベテランは出力を判断する側、若手は使い倒し検証する側として役割分担し、最終判断は人が担う

日本に不足しているのは要素技術ではなく、それらを束ねる構造。
データ・品質保証・規制・人材を共通基盤として一つの体系に接続することが、
AX(AIトランスフォーメーション)を実装段階へ進める鍵

未来を問い続け、変革を先駆ける

MRI 三菱総合研究所