
エネルギー問題に発言する会の講演座談会

保全におけるAI技術の応用と展望

Application and outlook of AI technology in maintenance

2024/10/22(火)

東京大学大学院工学系研究科
原子力専攻 出町和之

内容

1. はじめに

- 1.1 深層学習モデルの分類
- 1.2 現状と懸念
- 1.3 原子力へのAI導入のビジョン
- 1.4 AI信頼性評価のために
- 1.5 AIの次の進化は？

2. 原子力分野におけるAI開発の例

- (1) 現場映像管理を支援する物体検出技術および写真位置推定技術
- (2) AI を用いた超音波探傷試験結果の判定補助技術
- (3) 機器の残寿命予測(Math Works Japan)
- (4) CAPの自動分類(中部電力)
- (5) 四脚ロボットの活用と電力業界における具体的事例
(株東北エンタープライズ)
- (6) 米国FRCが進めるARPA-E GEMINAプロジェクト
- (7) 状態監視・診断技術 (火力発電所事例)

3. 深層学習を用いて開発した技術の紹介 (出町研の場合)

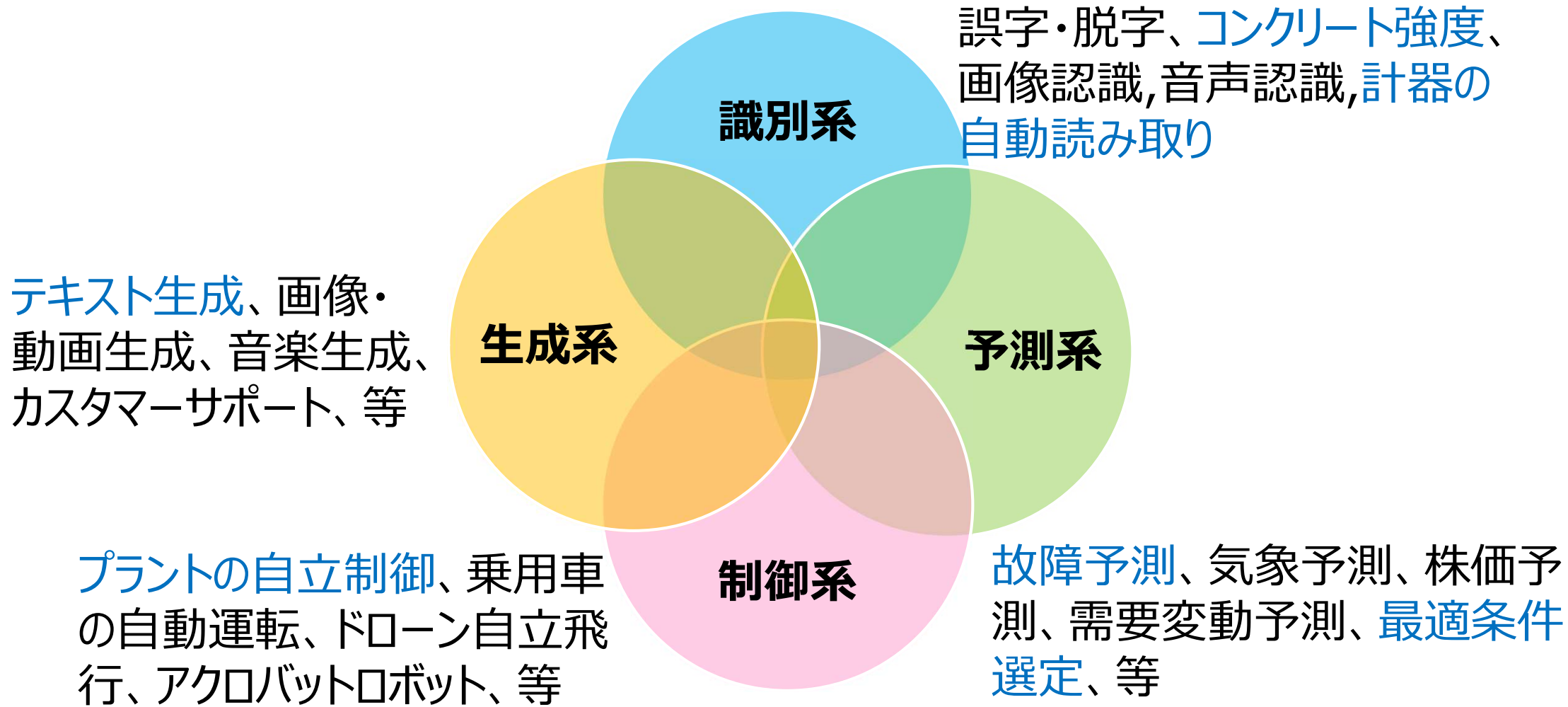
- ① 機器・プラントの故障検知【予測系、識別系】
- ② 2D腫瘍動画の3D動画へのリアルタイム変換と未来予測【予測系、生成系】
- ③ 監視カメラ画像内の悪意行為検知【識別系、生成系】
- ④ プラント挙動予測サロゲートAI【予測系、制御系(強化学習)】
- ⑤ 作業支援情報提供【識別系、生成系】
- ⑥ 廃炉プラント3D点群データのCAD化【識別系、生成系】
- ⑦ BDBT時シナリオ抽出【制御系(強化学習)】

4. ⑧ 仮想空間上の保全PDCAサイクル 【予測系、生成系】

5. おわりに

1. はじめに

1.1 深層学習モデル(AIモデル)の分類



1.2 現状と懸念

- 近年、AIは目覚ましい発展を続け、様々な分野での**社会実装**がある。
- 我が国の原子力分野へのAI利用は決して**積極的ではないが、AI技術の底力**は米国や中国に引けを取らない。
- 但し、国内外で、原子力への**AI導入は五月雨式**（できるところからやる）
- 非積極的 & 五月雨式の理由の1つは、AIが原子力産業にどう役立つか(=儲かるか)という**AI導入ビジョン**が示されていない？ → これは**産官学一体**で取り組むべき課題。
- もう一つの理由は、原子力規制への説明負担。**信頼性評価手段の未確立**。苦労して開発した**AI技術を本当に実装させてもらえるのか？**という懸念が他業界に比べて高い？

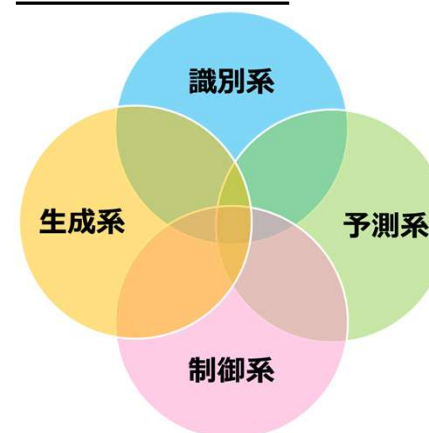
1.3 原子力へのAI導入ビジョン

AI導入の意義

- 人手不足解消：AIが作業を代替
- 技術の継承：熟練知をAIに保存
- 安全性の強化：人とAIによる多重防護

労働資源を安全に重点投入

AIの能力



=

特に異種AI
の組み合わせ

原子力AI
の開発項目
と体系化

- コスト低下：現場労務負担軽減 ⇐ 意外となおざり？

そして、

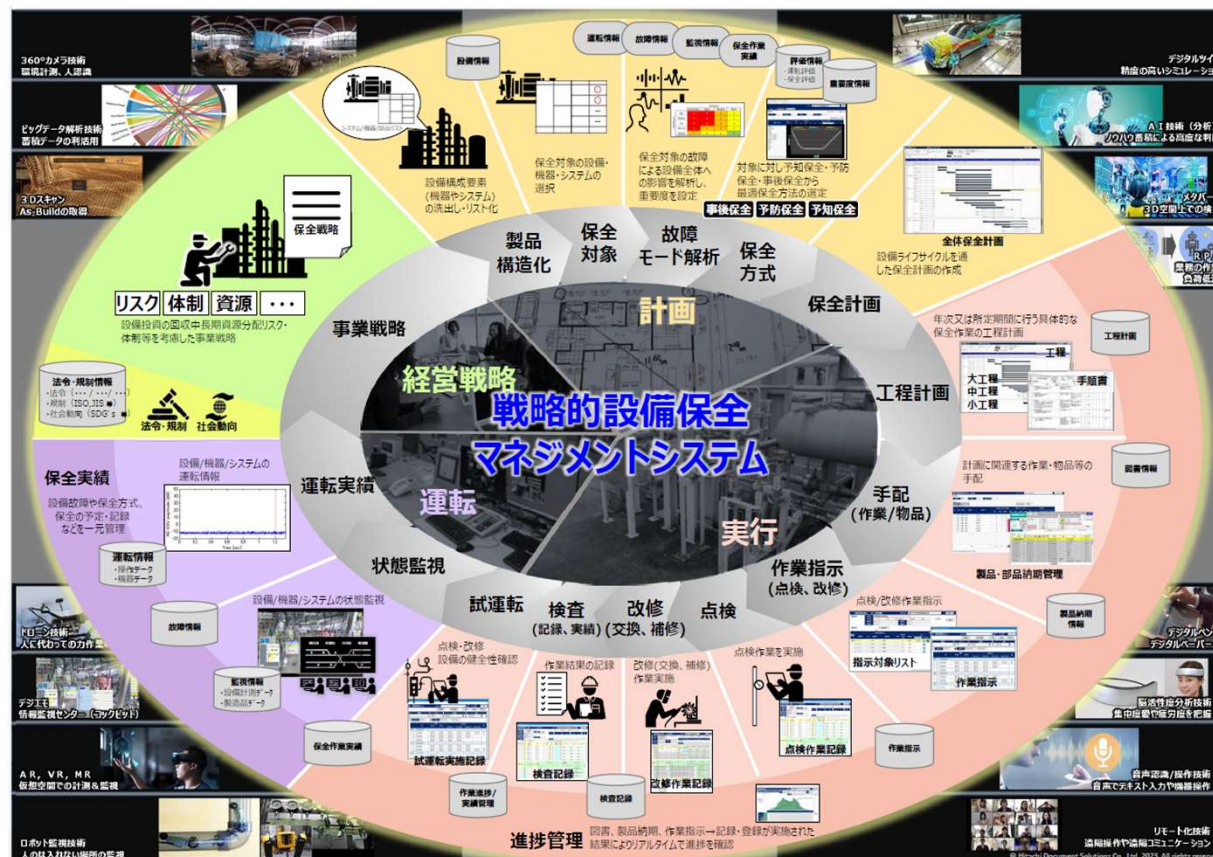
学：「こんなことができる！」、でも、「それで儲かるかは知らない」

産：「これがあればコストが下がる」、でも、「AIを作ってもなあ、、、」

官：「産＆学は自分らで提案しろ」

原子力界にとり
真に有益なAIの
選択を共同で

・体系化の案：まずは**保全**で



日立GE殿から拝借の図

保全の各プロセスに適用できる

- 共通のAI(ex.文書生成)
- 足りないAI(ex.リスク評価)

の洗い出し

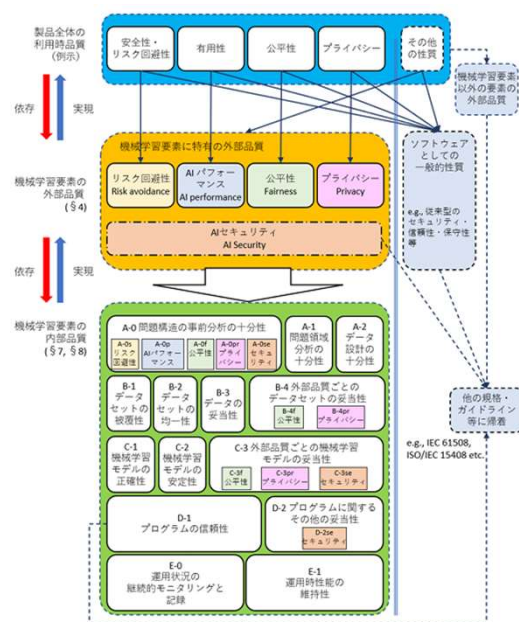
それらAIの**組み合わせ**で、ほとんどのプロセスに対応できることを示す ⇒開発項目

要素と構造⇒自ずと体系が見えてくる筈

1.4 AI信頼性評価のために

➤ 先駆的な検討例を参考に、原子力に特化したAI信頼性評価手法を確立

① 産業技術総合研究所



AI品質実現の全体像^[1]

[1] 「機械学習品質マネジメントガイドライン第4版」(産業技術総合研究所(2023))

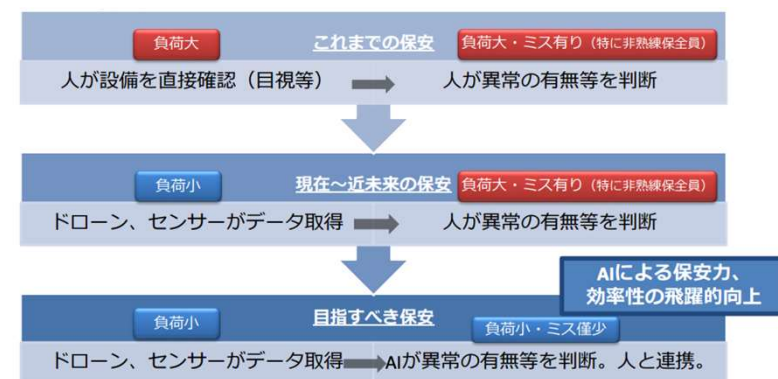
② AIプロダクト品質保証 コンソーシアム



AIプロダクトの品質保証において 考慮すべき5つの軸^[2]

[2] 「AIプロダクト品質保証ガイドライン」(AIプロダクト品質保証コンソーシアム(2020))

③ 石油化学コンビナート等 災害防止3省連絡会議



プラント保安分野におけるAI導入の意義^[3]

[3] 「プラント保安分野AI信頼性評価ガイドライン」(石油化学コンビナート等災害防止3省連絡会議(2020))

1.5 AIの次の進化は？

- AIとはヒトの行動を、より優れた形で代替する
- ならば、次の進化は**人類の進化の歴史から推測**可能かも

協調社会：
言語や国籍を超えた人間同士の**協調**
AI同士がコミュニケーション？
人間とAIがコミュニケーション←今ここ

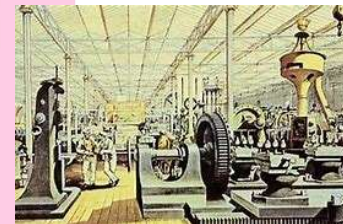


狩猟社会：
獲物を**識別**

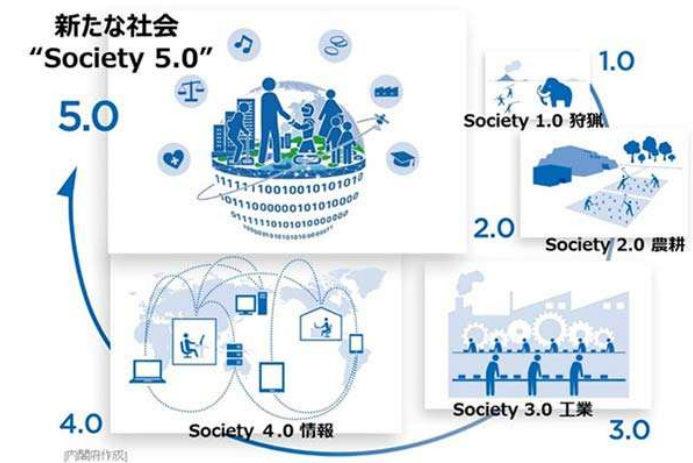
農業社会：
農作物の生育を**予測**



工業社会：
工業機械を**制御**



情報社会：
文化を**創造**



2. 原子力分野における AI開発の例

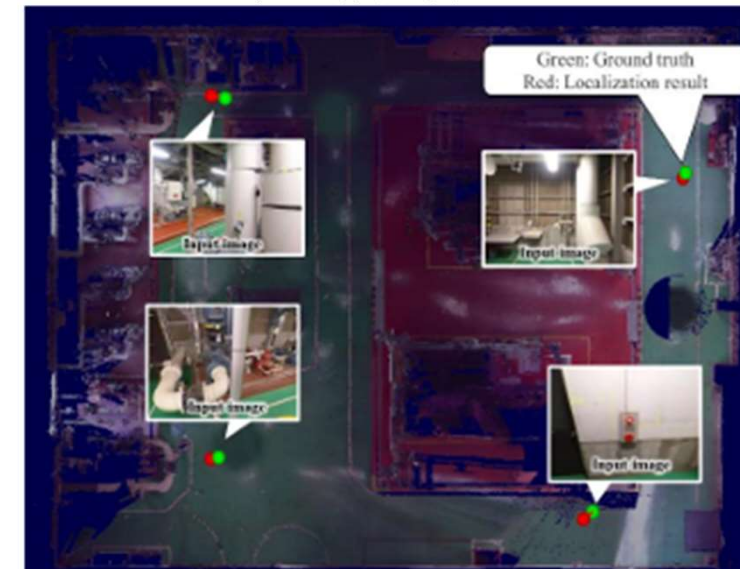
(1) 現場映像管理を支援する物体検出技術および写真位置推定技術(東芝ESS)

識別系

物体検出技術



位置推定技術



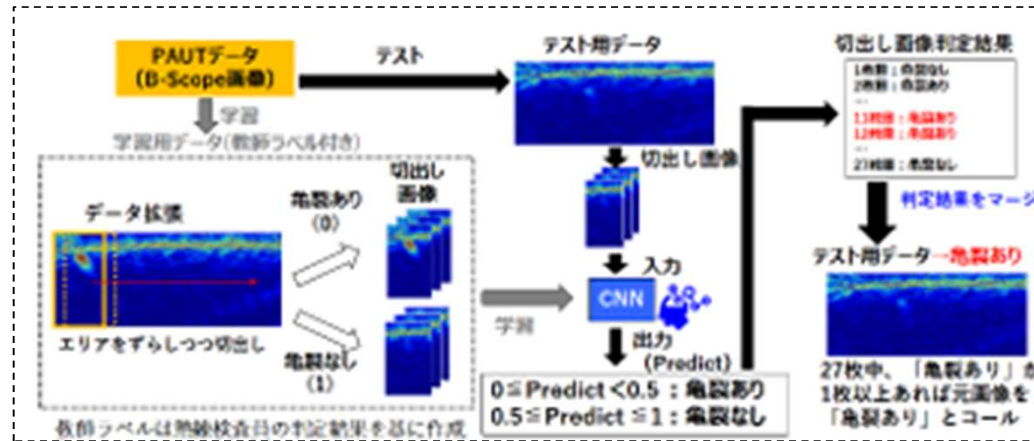
- ① 事前に点検対象の施設内を撮影し、画像と配置図上の撮影位置とを対応付けたデータベースを作成
- ② 点検時の撮影画像にDNNを適用し、類似度から絶対位置を推定
- ③ 推定された撮影位置は、360° 画像とともに閲覧可能

坂本直弥、他、"現場映像管理を支援する物体検出技術および写真位置推定技術," 第20回学術講演会要旨集, pp.164-167, 日本保全学会 2024.

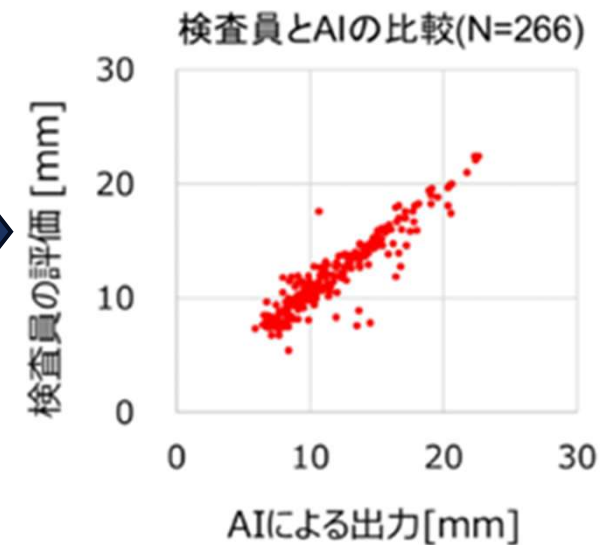
(2) AI を用いた超音波探傷試験結果の判定補助技術(東芝ESS)

識別系

フェーズドアレイ超音波探傷画像をCNNで亀裂あり/なしに自動分類



セマンティックセグメンテーションで亀裂先端領域を推定



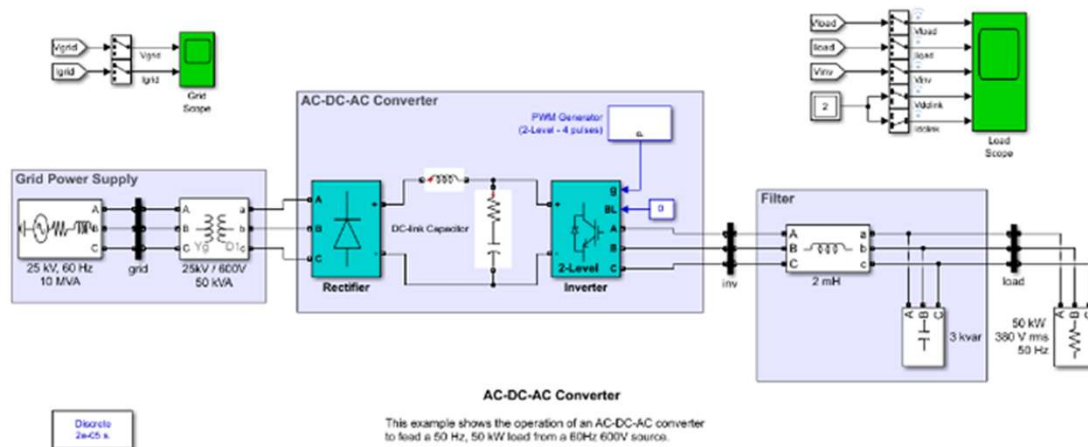
大竹 志朗、他、" AI を用いた超音波探傷試験結果の判定補助技術," 第20回学術講演会要旨集, pp.168-173, 日本保全学会 2024.

(3) 機器の残寿命予測(Math Works Japan)

予測系

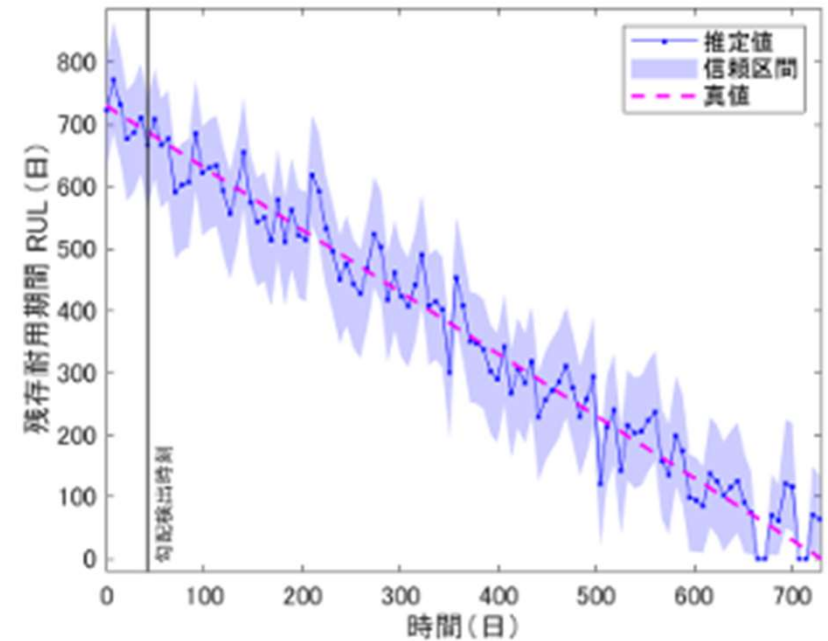
電力変換装置（AC-DC-ACパワーコンバータ）の物理モデル

物理モデリングによりデータを再現



部品（アルミ電解コンデンサ）の寿命を予測

再現したデータの特徴抽出から劣化度を予測



王 曉星、他、“物理モデリングによる異常データの生成と残寿命予測の実践的例題,” 第20回学術講演会要旨集, pp.180-185, 日本保全学会 2024.

(4) CAPの自動分類(中部電力)

01 新検査制度を踏まえた取り組み状況

浜岡原子力発電所における取り組みにおける課題や改善



課題①：CR情報の件数は増加しており、CAPの運営に人手を要している。

改善に向けた取り組み

一例として、

- ・今年度よりAI等の活用によるCR情報のグレード分け、分類の自動化について取り組んでいく。
- ・CR情報を幅広く収集するため入力の手間を省く取り組みも行っている。



CR情報の分類のイメージ



収集したCR情報のグレード分けおよび分類作業にAIを活用し、作業の効率化。

(5) 四脚ロボットの活用と電力業界における具体的事例(株)東北エンタープライズ

制御系

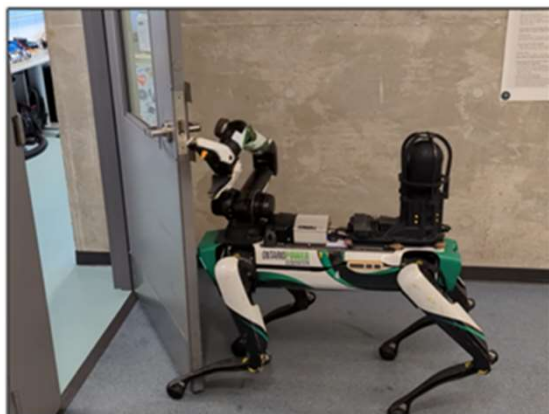
パートナー企業である
Boston Dynamics 社の
“Spot”



自律巡回点検の様子



エレベーターで別フロアへ移動



カードキー認証後、扉の開放



サーキットブレーカーの遮断作業



消火器による消火活動

(6) 米国FRCが進めるARPA-E GEMINAプロジェクト

予測系



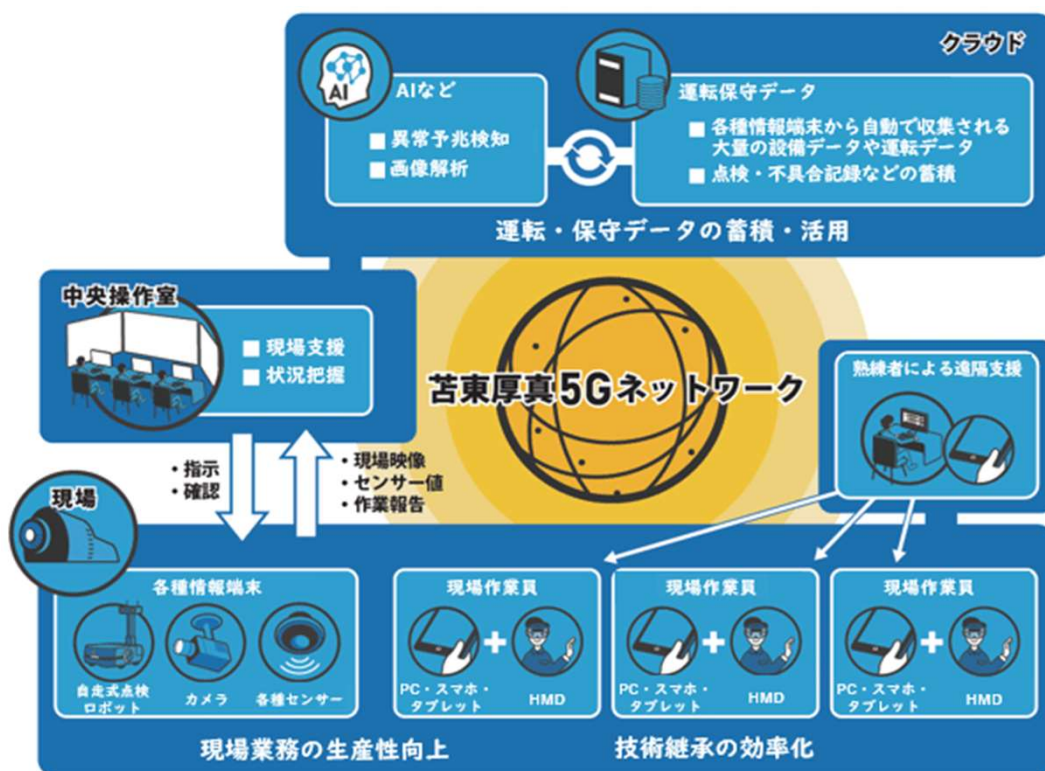
- 米国の原子力発電は高いパフォーマンスにも拘らず約1/4が財政難
- 原子力発電のコストの多くは運転維持費
- 将来のSMRのO&M費の1/10への大幅削減を目指す

⇒ 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

※原子力以外

(7)状態監視・診断技術（火力発電所事例）



I o Tを活用したオンラインモニタリング



現状



新技術の導入後

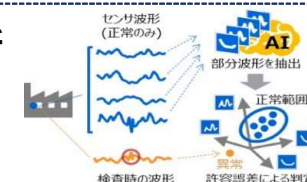
設備診断データ(振動等)の採取

オンラインモニタリングにより
設備の品質向上とデータ採取業務の省力化ができる。

A Iを活用した設備診断



現状



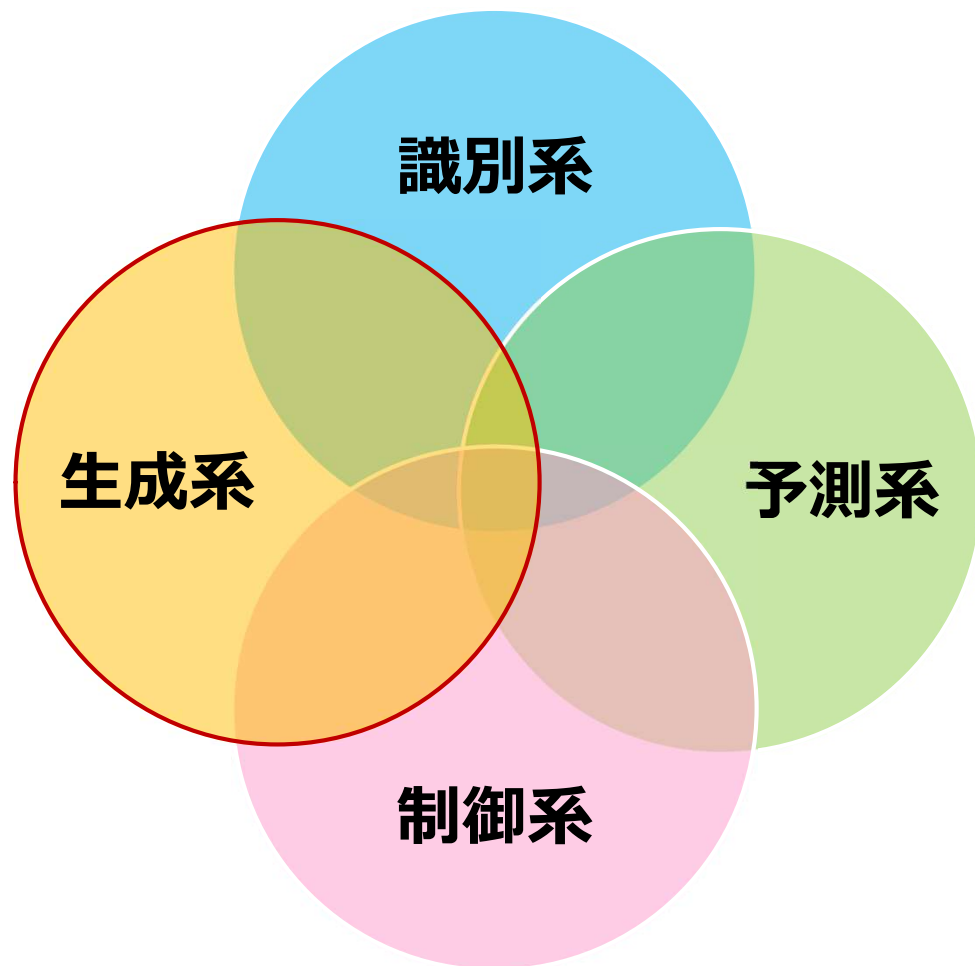
新技術の導入後

異常データの検知・分析支援機能

異常データの検知・分析支援により
設備の品質向上, 業務の省力化ができる。

北海道電力株式会社とグループ会社の北海道総合通信網株式会社は、苫東厚真発電所構内において、ローカル5Gを活用した生産性向上や運転・保守の高度化に向けた実地検証を開始

(7) 考察



- 複数種類のAIを組み合わせた例は少ない、または無い？
- もしかして**生成系AI**の適用例はまだゼロ？

3. 深層学習を用いて開発した技術の紹介 (出町研の場合)

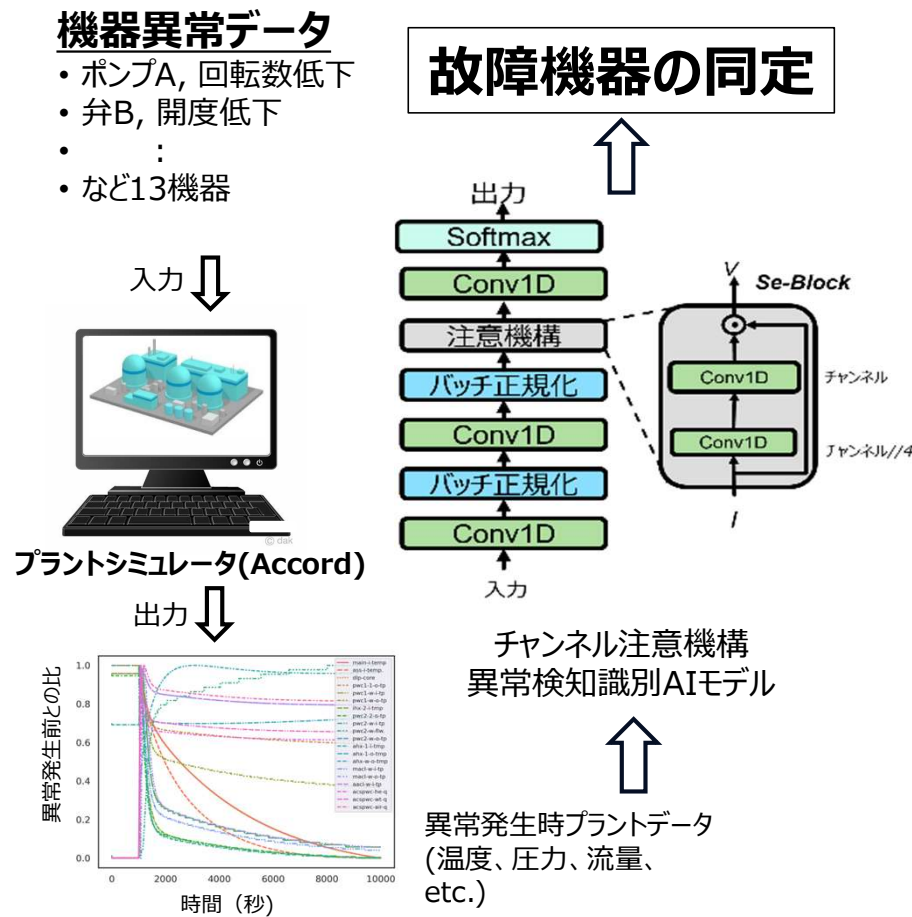
複数種類のAIを組み合わせた例

学：「こんなことができる！」、でも、「それで儲かるかは知らない」

目的	開発モデル	適用AIの分類	概要
原子力安全・ 保全	①機器・プラントの故障 検知	識別系	注意機構搭載の深層学習モデルによりプラントに多数設置された監視センサ信号から異常(故障)を予兆の段階で検知し、故障機器等を同定。
	④プラントのサロゲート DLと異常時対策RL	予測系、制御系 (強化学習)	プラントシミュレータの入出力データを教師データとして学習し、未来のウランとデータを高速計算。 軽微な異常への対応に有効な回復操作を強化学習で予測。
	⑧仮想空間中の保全 PDCAサイクル	予測系、生成系	仮想空間での物理現象を原子力デジタルツインで、仮想空間の人間活動を保全PDCAサイクルで再現。両者をオンラインメンテナンスOLMでつなぐ。
核セキュリティ	③監視カメラ画像内の 悪意行為検知	識別系、生成系	監視カメラ動画内の人物の動きと所持物などを識別。識別結果を生成AIに入力して文またはグラフ構造として出力し、悪意の有無を判定。
	⑦BDBT時シナリオ抽出	制御系(強化学習)	「想定外」の攻撃を想定するため、マルチエージェントモデルでエージェントに固有名詞と性能上限を設けず、攻撃コストの最小化のみでシナリオ抽出。
作業安全	⑤作業支援情報提供	識別系、生成系	現在の手元撮影作業を識別し生成AIでグラフ構造化。 過去の熟練者動画グラフと比較し類似する熟練者動画やルール文などを選別。(スマートグラスに投影)
	⑥廃炉プラント3D点群 データのCAD化	識別系、生成系	プラント内の3次元点群データから機器・配管などを物体認識し、点群欠損を補完したのち、CADデータに変換。2次元スライス手法に改良中。
放射線医療	②2D腫瘍動画の3D動 画へのリアルタイム変 換と未来予測	識別系、生成系	治療前に撮影した肺腫瘍の3次元CT動画と治療中に得られる2次元MRI動画から、治療中に数秒先の3次元MRI動画をリアルタイムで予測し描画。放射線治療中に2次元MRIを撮影できるMRIdian装置を対象。

① 機器・プラントの故障検知【識別系】

現D3学生, B4学生



- 注意機構に基づく深層学習AIモデルにより故障機器を高い正解率で推定
- 例として、高温ガス炉(HTTR)プラントシミュレータによる76チャンネルの時系列データから、12種の異常発生を識別

Model	F1	Pre	Rec
IDCNN	0.8876 ± 0.0523	0.8890 ± 0.0482	0.9125 ± 0.0439
LSTM	0.7606 ± 0.0303	0.7808 ± 0.0215	0.7644 ± 0.0339
Tem-1DCNN	0.8876 ± 0.0523	0.8890 ± 0.0482	0.9125 ± 0.0439
SA-1DCNN	0.9579 ± 0.0356	0.9604 ± 0.0377	0.9614 ± 0.0299
SE-1DCNN	0.9807 ± 0.0132	0.9836 ± 0.0106	0.9804 ± 0.0133

- 98%以上の精度で故障検知・機器同定に成功
- AIモデルを更に改良中

② 2D腫瘍動画の3D動画へのリアルタイム変換と未来予測【識別系、生成系】

R6年度M2学生

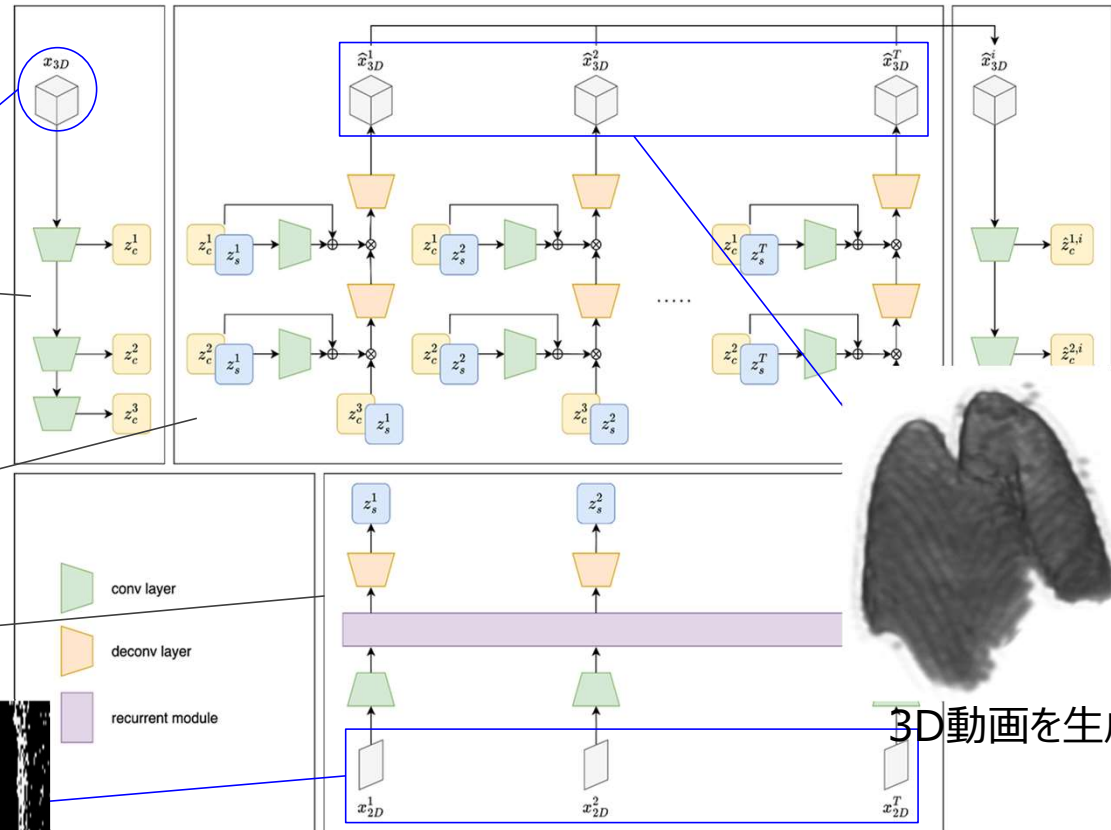
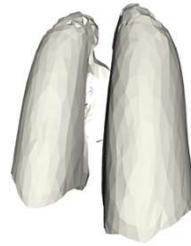
治療前の3D-CT動画+治療中の2D-MRI動画 ⇒ 治療中の3D動画をリアルタイム生成

階層的 Content エンコーダ

肺の形状への個別最適性

[入力] 患者ごとの臓器の3D画像

[出力] 形状特徴量



階層的デコーダ

形状・状態から3D動画再構成

汎用性 = 患者横断的適用を保障

[入力] 形状特徴量・状態特徴量

[出力] 臓器の3D動画



3D動画を生成

State エンコーダ

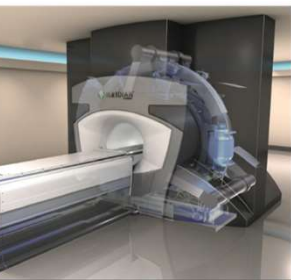
肺の移動変形への個別最適性

[入力] 患者ごとの臓器の2D断面動画

[出力] 状態特徴量



Hierarchical Disentangled Video Reconstruction Network (独自開発)



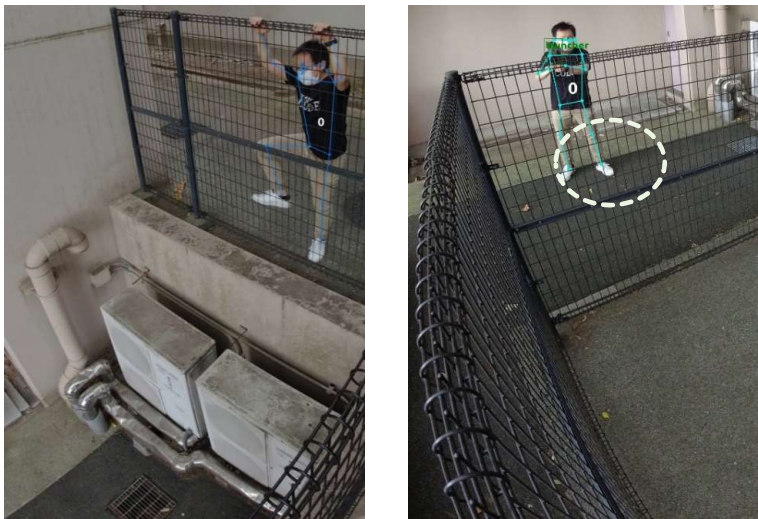
MRIdian
(ViewRay®)

③ 監視カメラ画像内の悪意行為検知【識別系、生成系】

現D3学生

学生セッションで発表

撮影画像中の悪意行為の有無を画像処理AIモジュールと自然言語処理モジュールを用いて判定

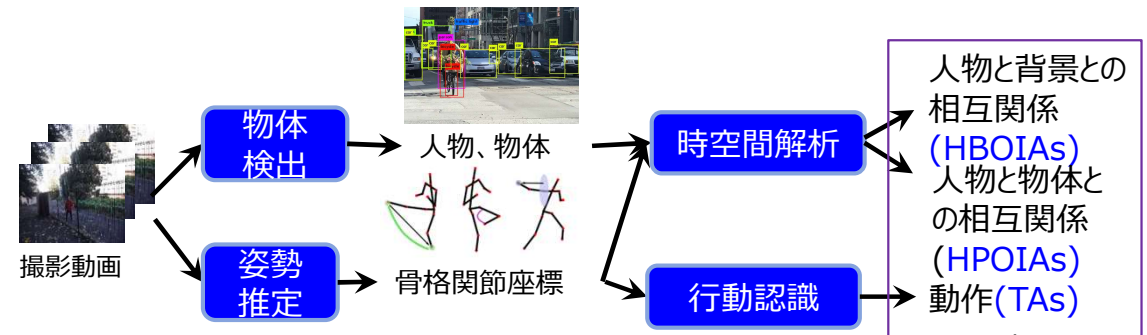


フェンス乗り越得ようとする人物を検知

ロケットランチャーを構える人物を検知

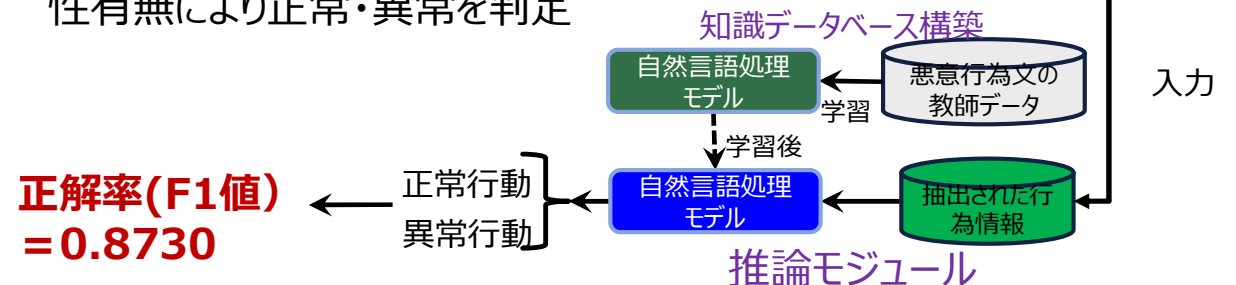
画像処理AIモジュール

CV (Computer Vision)技術により人物の行為情報を抽出



自然言語処理AIモジュール

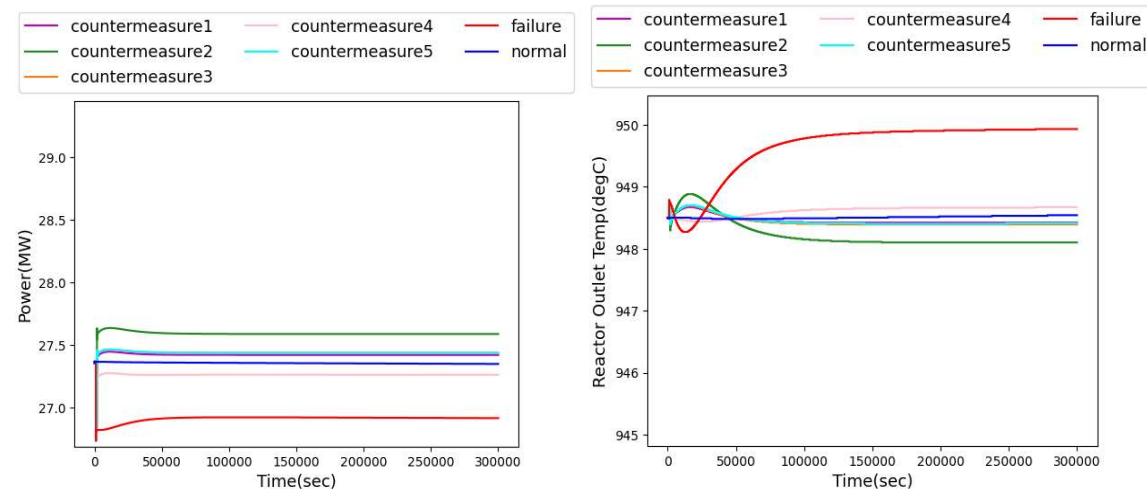
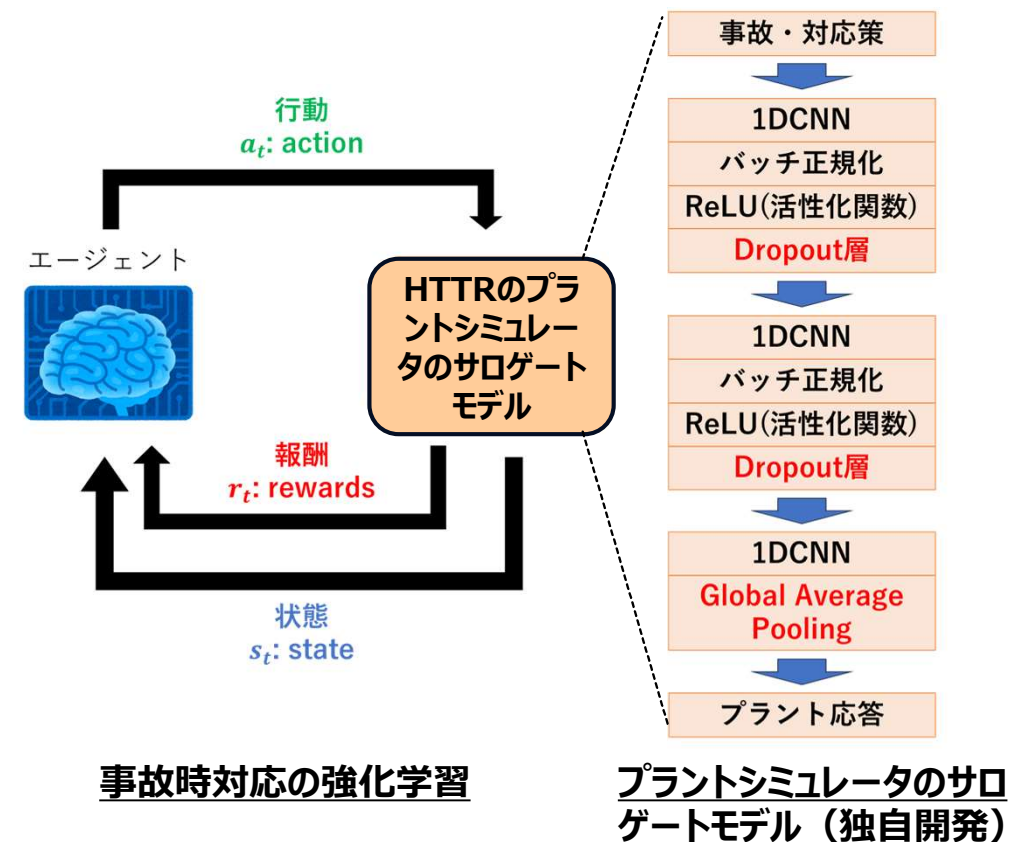
抽出された行為を自然言語に変換し、悪意行為DBとの類似性有無により正常・異常を判定



判定手法を色々試したが、自然言語処理を用いることでヒトと同じように複雑状況の判断が可能に

④プラントのサロゲートDLと異常時対策RL【予測系、制御系(強化学習)】 R5年度M2学生

現実の原子力発電所の状態を**仮想空間に反映し**、事故時の**対応案を自動生成**



対応策時のプラント挙動
(左：原子炉出力、右：原子炉出口温度)

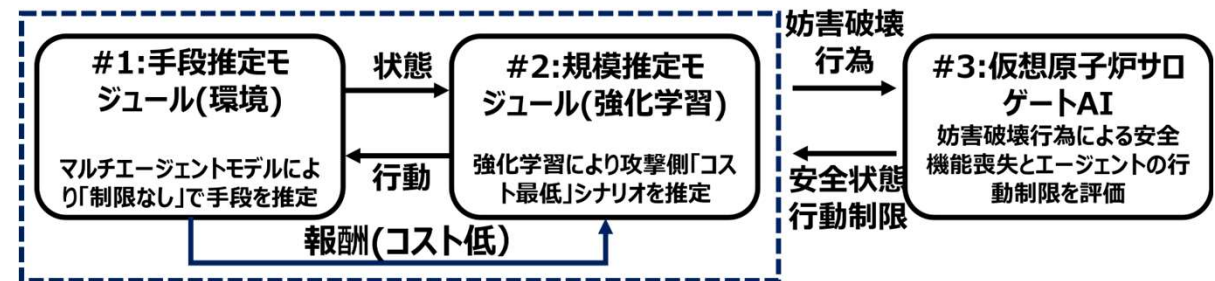
大半の対応案で通常の炉心パラメータに近づけることに成功
(有効な対応策を生成可能)

⑦BDBT時シナリオ抽出【制御系(強化学習)】

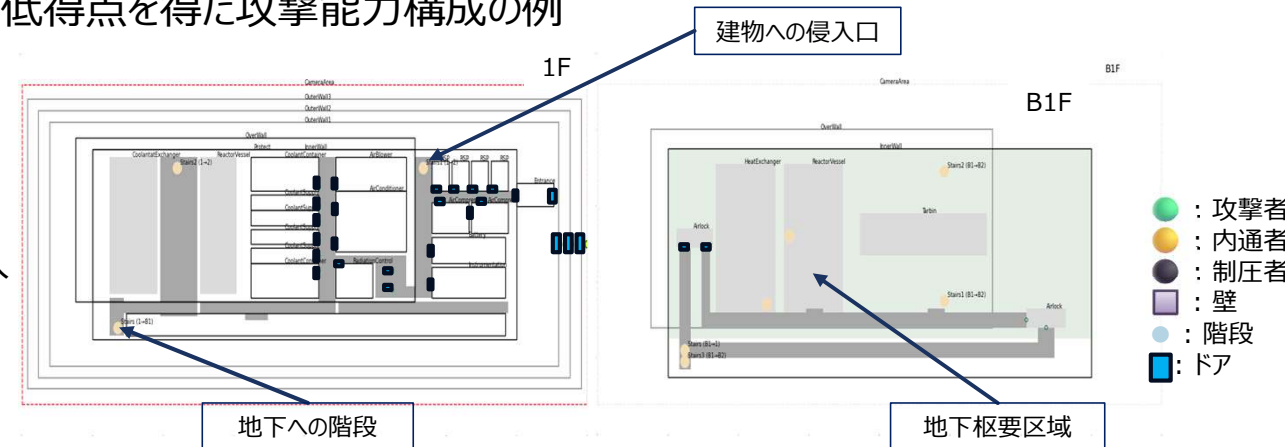
- BDBTのBeyondとは、脅威の「**目的・手段・規模**」の3つが想定を超えること
- 我々が頭で想定できる状況は、「既にBeyondではない」という矛盾
- 「目的・手段・規模」の3つを想定せず、攻撃者が目的を達成させてしまう「成功」シナリオの同定手法を開発
- マルチエージェントモデルと強化学習の組み合わせ

例

- ザポリージャ原発の軍事要塞利用
- 政治的要求との交換条件



低得点を得た攻撃能力構成の例



BDBT

例

- 人質を盾に取った侵入
- 大規模ドローン攻撃
- 核ミサイル攻撃

例

- 国家軍隊による占領
- 遥かに大きな軍事力

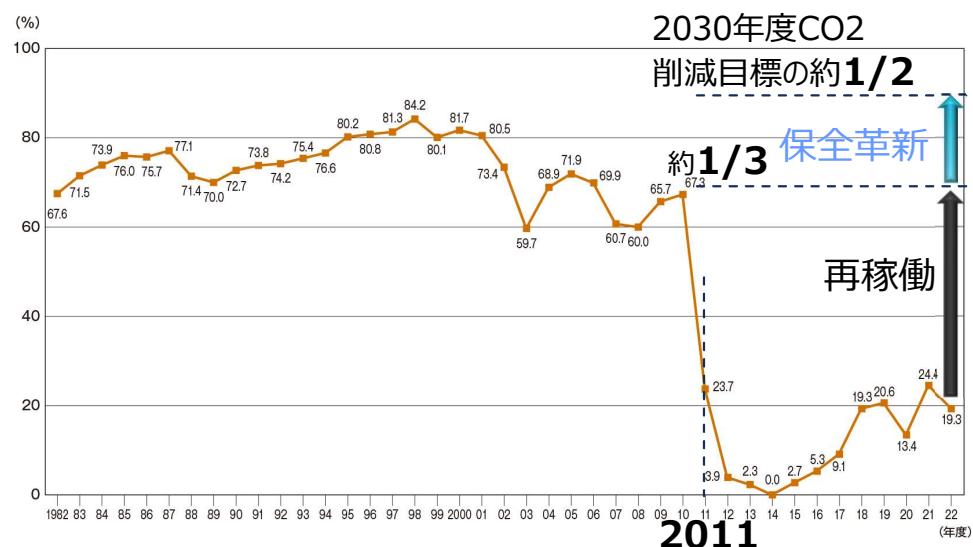
脅威の
規模

脅威の
目的

脅威の
手段

4. ⑧仮想空間上の保全PDCAサイクル 【予測系、生成系】（設計中）

原子力発電所の設備利用率



5-3-3 出典：2013年度までは「原子力施設運転管理年報」、2014年度以降は、(一社)日本原子力産業協会「わが国の原子力発電所の運転実績」より作成
原子力・エネルギー図鑑集

国内原子力の設備利用率の推移

(出展：原子力施設運転管理年報および
日本原子力産業協会「わが国の原子力発電所の運転実績」)

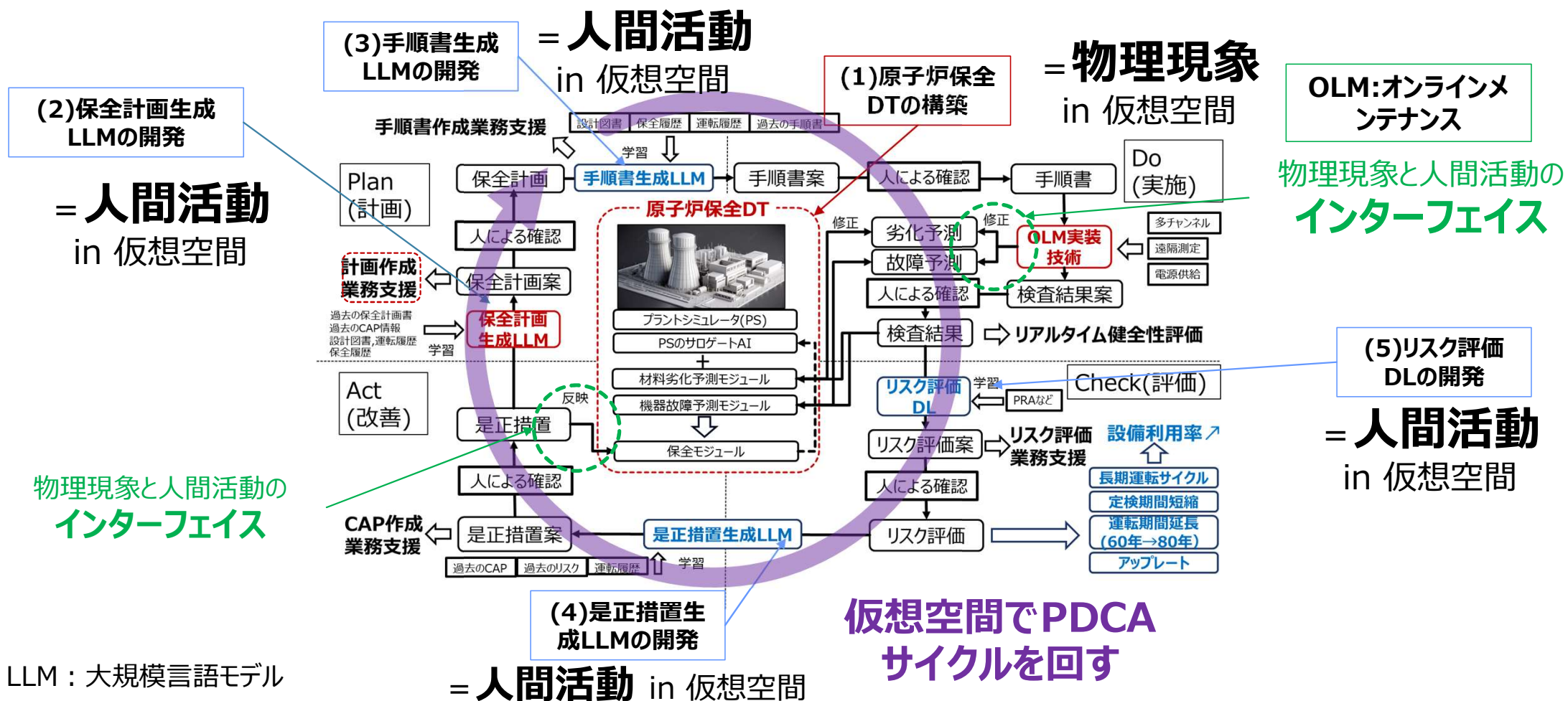
OLM: オンラインメンテナンス
DT: デジタルツイン
LLM: 大規模言語モデル

- 国内原子力の設備利用率は2011年以前でも70%前後, その原因は過度な保全
- 米国では2000年からROPやOLMを導入し、設備利用率(CF) = 95%を達成
- 設備利用率の一律1%向上 = 年間300万トンCO2削減⇒米国並95% で2030年度削減目標の約1/2を原子力だけで達成
- その実現には再稼働に加え、計画外停止時間ゼロや定検期間短縮などの**保全革新**が必要
- 米国ARPA E-GEMINAでは、さらなる**保全革新**のためDTを活用し未来の劣化・故障を予測
- 我が国でも、DT₍₁₎を中心に LLM₍₂₎により保全の効果を検討した**仮想空間の保全PDCAサイクル**の開発が必要ではないか？

仮想空間上の保全PDCAサイクルの概要

30

先述の米国ARPA E-GEMINA のような物理現象DTの周りに、さらに人間活動である保全PDCAサイクルを仮想空間上で回すことで、保全による回復の効果も取り入れたDT



①**保全による回復**の効果を取り入れた、より**現実に近いDigital Twin**の実現

②現場の**コスト軽減**（作業計画書、報告書など）

1 つの例として、原子力発電所の定期検査毎に1ユニットで約240件の工事があり、
1 工事あたり工事作業計画書と報告書の作成に4日程度の時間を要する。
1 日当たりの勤務時間を8時間とすると、1 回の定期検査で

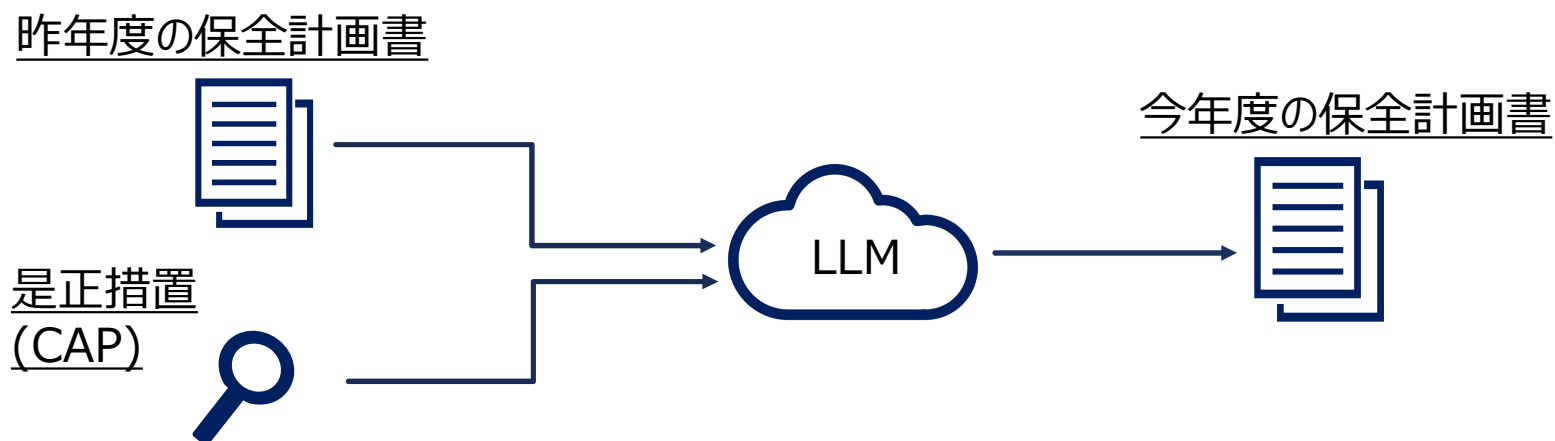
$240\text{件} \times 4\text{日} \times 8\text{時間} = 7,680\text{時間}$ の延べ時間。

「人によるチェック」の時間を除き、大部分の時間をLLMによる自動生成で削減可能。

③**熟練知**のツール化

熟練者による保全計画、保全手順書、是正措置の生成ノウハウをツール化

- LLM（Large Language Model: 大規模言語モデル）を適用
- 大量のテキストデータから文の構造や文脈を学習し、文章の生成や質問への回答といったタスク処理を行うAIモデル
- 活用事例: カスタマーサービス、医療文書の作成など
- 原子力保全の分野では、特に作業負担の大きい保全計画書作成をLLM活用を用いて自動生成することへの期待が大きい



- LLMの自然言語処理を効率的に使用するために、人工知能モデルが解釈・理解できるように命令（プロンプト）を構造化・最適化する、比較的新しい学問分野
- 最適なプロンプトとはかくあるべき、というような方法論はまだなく、タスクごとに「ベストプラクティス」を集めて検討する、という段階。



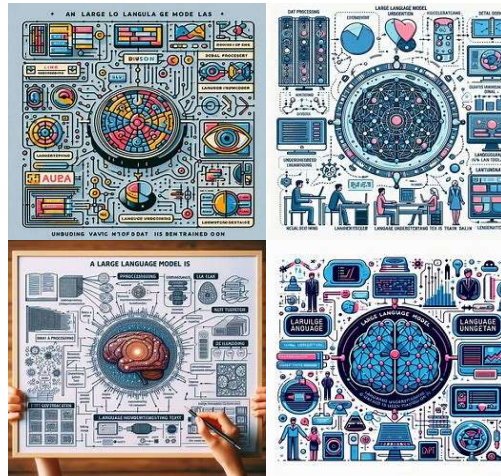
プロンプト

LLMを図で説明してください



出力

もちろんです！以下は、Large Language Model (LLM) を図で説明したものです。
データ処理：
LLM は、大量のテキストデータを学習します。
これにはウェブページ、書籍、ニュース記事、会話などが含まれます。
データ処理のステップでは、テキストをトークン化し、ベクトル表現に変換します。
ニューラルネットワーク層：
(以下略)

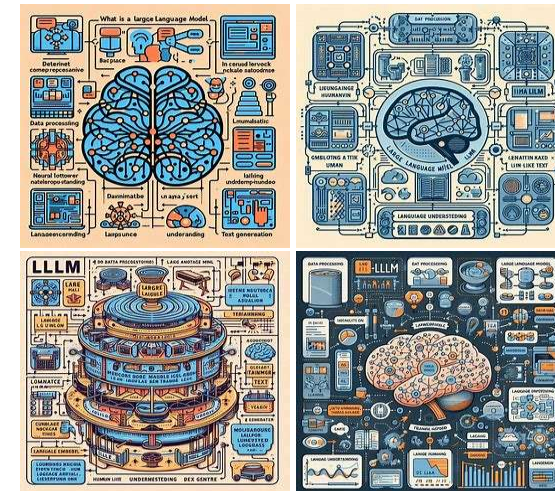


プロンプト

LLMとは何かを説明する図を1枚出力してください



出力



★プロンプトの例

Prompt

あなたはのタスクは、2021年の設備保全内容に基づく新しい保全計画を作成することです。
2021年の新しい設備保全の内容は、2019年と2020年と比べて見直しました。見直し内容は、JSON形式でお渡しします。JSONのキーは、設備名、見直し内容です。

見直し内容: "" {
"見直し内容": [
{"設備名": "解体分別設備",
"見直し内容": "2019年度はコンデンサー解体作業については今後もフル稼働が継続する計画であるため、メーカーによる2018年度定期点検結果の推奨項目及び部品供給できなくなる機器について部品更新を実施するよう見直した。", "2020年度は、ハンドリング装置ワイヤ、液中切断装置2台の主軸（C軸）ユニット、ITV機器等の更新及び素子供給装置の駆動部品、ホッパーロードセル等の部品交換を実施した。", **2021年度は、ハンドリング装置昇降駆動部品交換、液中切断装置2台の主軸（C軸）上部軸受け交換、3次元測定機器部品交換を実施する。**"}],
{"設備名": "計装設備",
"見直し内容": "略"},
{"設備名": "水熱分解設備",
"見直し内容": "略"}]

抽出してほしい
内容

参考までに、2020年度の設備保全計画の一部をJSON形式でお渡しします。JSONのキーは、設備名、実施時期、設備保全の内容です。
2020年度の設備保全計画: "" { "2020年度の主な設備保全の実施項目": [{"設備名": "解体分別設備", "実施時期": "2020年5月～6月", "設備保全の内容": "略"}]} ""

2021年度の見直し内容をもとに、2021年度の保全計画を作成し、設備名、実施時期、設備保全の内容をキーにJSON形式でご提供ください。

新D1学生、現B4学生

実際の保全計画書

設備名	実施時期	設備保全の内容
① 解体分別設備	2021年 5月～6月	コンデンサー解体設備は、2020年度の点検でメーカー推奨があったコンデンサー3次元測定器部品交換、No. 1/2液中切断装置主軸（C軸）上部軸受け交換、ハンドリング装置昇降駆動スプロケット交換について実施する。
② 水熱分解設備	2021年 5月～6月	通常実施している反応器の底部管台、熱交換器出口連絡管の検査に加えて10月10日発生したNo.1水熱分解設備補助反応管ドレン管の蒸気漏洩トラブルを受けて反応器及び連絡管管台からの引き出し管のうち類似箇所、二重管冷却器の非冷却部について腐食減肉の調査を追加する。 また、2021年度は、自動弁14台、手動弁19台の分解点検整備及び自動弁1台の更新を実施する。
③ 排気処理設備	2021年 5月～6月	有機溶剤処理装置の吸着塔の微小クラック発生対応及び同様設備の水平展開としてNS吸着槽の点検を追加実施する。
④ 冷却塔設備	2021年 5月～6月	冷却塔は3系列のうち1系列ずつ送風機の減速機のオーバーホールを実施してきており、継続してC号機について実施する。
⑤ 排水設備	2021年 5月～6月	ダイオキシン対策管理の一貫として2019年度より毎年度、用役排水活性炭ろ過機、水熱分解活性炭吸着塔各2基の活性炭の交換及び汚水受槽、ドレンピットの清掃を実施する。
⑥ 計装制御	2021年 5月～6月	2021年度は、水熱分解設備のDCS制御部品の一部について、更新を実施する。 排水中和設備制御用及び軟水装置制御用のシーケンサー本体は、2020年度に新型コロナウイルス緊急事態宣言によりメーカーが来所できず、2021年度に延期して更新する。

GPT3.5の生成内容

“2021年度の主な設備保全の実施項目”:[

{

“設備名”: “解体分別設備”,

“実施時期”: “2021年度”,

“設備保全の内容”: “ハンドリング装置昇降駆動部品交換、液中切断装置2台の主軸（C軸）上部軸受け交換、3次元測定機器部品交換”

},

{

“設備名”: “計装設備”,

“実施時期”: “2021年度”,

“設備保全の内容”: “水熱分解のDCS制御部品の一部について更新を実施する。排水中和設備利用及び軟水装置制御用のシーケンサー本体の更新を実施する。”

},

{

“設備名”: “計装制御”,

“実施時期”: “2021年度”,

“設備保全の内容”: “略”

}

]

実際の保全計画書の①に内容が一致

実際の保全計画書の⑥に内容が一致

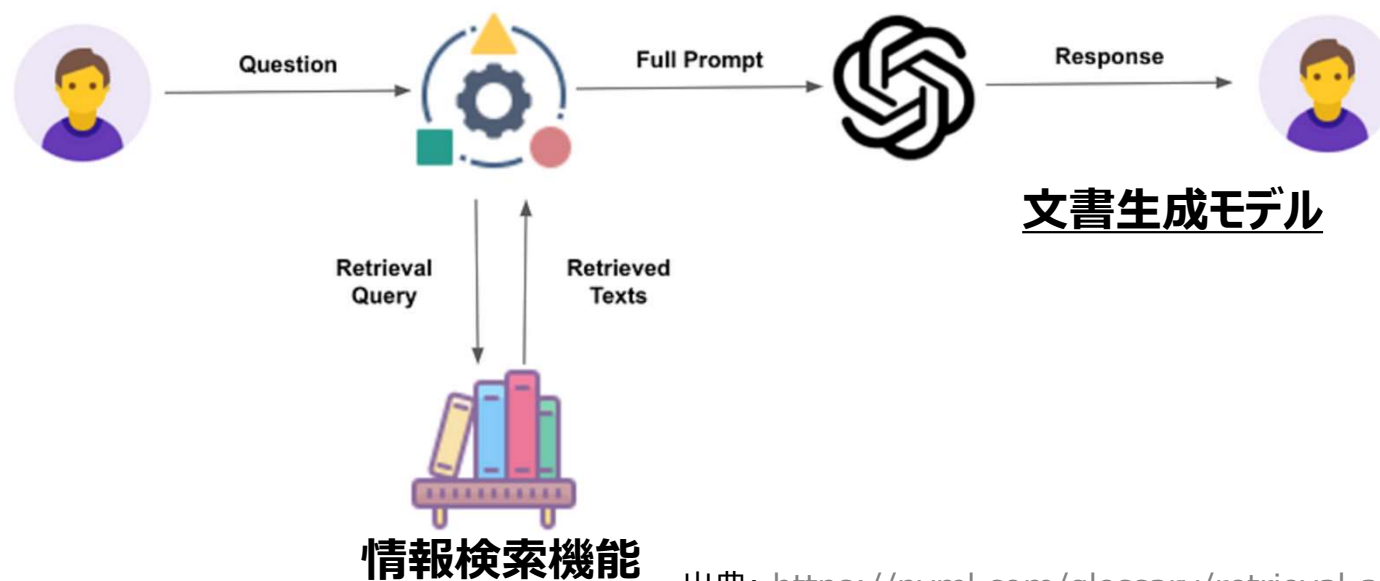
実際の保全計画書

設備名	実施時期	設備保全の内容
① 解体分別設備	2021年 5月～6月	コンデンサー解体設備は、2020年度の点検でメーカー推奨があったコンデンサー3次元測定器部品交換、No. 1/2液中切断装置主軸（C軸）上部軸受け交換、ハンドリング装置昇降駆動スプロケット交換について実施する。
② 水熱分解設備	2021年 5月～6月	通常実施している反応器の底部管台、熱交換器出口連絡管の検査に加えて10月10日発生したNo.1水熱分解設備補助反応管ドレン管の蒸気漏洩トラブルを受けて反応器及び連絡管管台からの引き出し管のうち類似箇所、二重管冷却器の非冷却部について腐食減肉の調査を追加する。 また、2021年度は、自動弁14台、手動弁19台の分解点検整備及び自動弁1台の更新を実施する。
③ 排気処理設備	2021年 5月～6月	有機溶剤処理装置の吸着塔の微小クラック発生対応及び同様設備の水平展開としてNS吸着槽の点検を追加実施する。
④ 冷却塔設備	2021年 5月～6月	冷却塔は3系列のうち1系列ずつ送風機の減速機のオーバーホールを実施してきており、継続してC号機について実施する。
⑤ 排水設備	2021年 5月～6月	ダイオキシン対策管理の一貫として2019年度より毎年度、用役排水活性炭ろ過機、水熱分解活性炭吸着塔各2基の活性炭の交換及び汚水受槽、ドレンピットの清掃を実施する。
⑥ 計装制御	2021年 5月～6月	2021年度は、水熱分解設備のDCS制御部品の一部について、更新を実施する。 排水中和設備制御用及び軟水装置制御用のシーケンサー本体は、2020年度に新型コロナウイルス緊急事態宣言によりメーカーが来所できず、2021年度に延期して更新する。

さらに、RAG(Retrieval-Augmented Generation : 検索拡張生成) 36

LLMが回答を生成する前段階に、最新の情報や専門分野のデータベースなどの外部情報を付与する機能

- 情報検索機能: **外部データベースから関連性の高い情報を検索**
- **参照すべき情報を直接与えずとも信頼性の高い回答を得られる**



出典: <https://pvml.com/glossary/retrieval-augmented-generation-rag/>

Prompt_template = ""[INST] あなたはのタスクは、見直し内容を元に2021年の新しい保全計画を作成することです。
2021年の設備保全の内容は、2019年と2020年と比べて見直しました。

見直し内容
{context}

見直し内容はRAGの
検索機能で取得

質問
{question}

参考までに、2020年度の設備保全計画の一部をJSON形式でお渡しします。JSONのキーは、設備名、実施時期、設備保全の内容です。

“2020年度の主な設備保全の実施項目”:

[
“設備名”: “解体分別設備”,
“実施時期”: “2020年5月～6月”,
“設備保全の内容”: “2020年度は、2019年度の点検結果でメーカーより翌年度、更新及び整備の推奨があったハンドリング装置ワイヤー、液中切断装置2台の主軸（C軸）ユニット、ITV機器等の更新及び素子供給装置の駆動部品交換、液中切断装置2台の主軸（C軸）上部軸受け交換、3次元測定機器部品交換を実施する。”
]

] [/INST]”””

GPT4の生成内容

“2021年度の主な設備保全の実施項目”:

{
“設備名”: “解体分別設備”,
“実施時期”: “2021年度”,
“設備保全の内容”: “”2021年度は、自動弁14台、手動弁19台の点検整備、自動弁1台の更新を実施する。””
}

実際の保全計画書
では①の設備名

なのに、
設備保全の内容は
②に一致

設備名	実施時期	設備保全の内容
① 解体分別設備	2021年 5月～6月	コンデンサー解体設備は、2020年度の点検でメーカー推奨があったコンデンサー3次元測定器部品交換、No. 1/2液中切断装置主軸（C軸）上部軸受交換、ハンドリング装置昇降駆動スプロケット交換について実施する。
② 水熱分解設備	2021年 5月～6月	通常実施している反応器の底部管台、熱交換器出口連絡管の検査に加えて10月10日発生したNo.1水熱分解設備補助反応管ドレン管の蒸気漏洩トラブルを受けて反応器及び連絡管管台からの引き出し管のうち類似箇所、二重管冷却器の非冷却部について腐食減肉の調査を追加する。 また、 2021年度は、自動弁14台、手動弁19台の分解点検整備及び自動弁1台の更新を実施する。

最新の東京都PCB処理施設2021年度保全計画の自動生成結果

```
{
  "2021年度の主な設備保全の実施項目": [
    {
      "設備名": "解体分別設備",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "ハンドリング装置昇降駆動部品交換、液中切断装置2台の主軸（C軸）上部軸受け交換、3次元測定器部品交換を実施する。"
    },
    {
      "設備名": "破碎機",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "素子分別装置No.4搬送コンベア電動機についてメーカー推奨もあり、検討の結果交換する。"
    },
    {
      "設備名": "予備洗浄装置",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "真空ポンプ1台について、メーカー推奨もあり、検討の結果分解点検整備を実施する。"
    },
    {
      "設備名": "洗浄設備",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "No.1/2脱水装置廻り自動弁8台と蒸留共用制御盤タッチパネル1枚を交換する。"
    },
    {
      "設備名": "加熱設備",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "No3加熱設備一次凝縮器No.1チラーユニット圧縮機をメーカー推奨もあり検討の結果更新する。"
    },
    {
      "設備名": "水熱分解設備",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "反応器及び連絡管管台からの引出配管のうち、上記の漏れ箇所と類似の材質、使用温度である箇所、及び二重管冷却器の非冷却部について腐食減肉の調査を追加実施し、規定以上の減肉箇所は交換あるいは肉盛補修を行う。"
    },
    {
      "設備名": "排気処理設備",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "有機溶剤処理装置の吸着塔並びに同様の装置であるNS吸着槽の点検を水平展開で追加実施する。"
    },
    {
      "設備名": "計装設備",
      "実施時期": "2021年度",
      "設備保全の内容": "水熱分解設備のDCS制御部品の一部について更新を実施する。"
    }
  ]
}
```

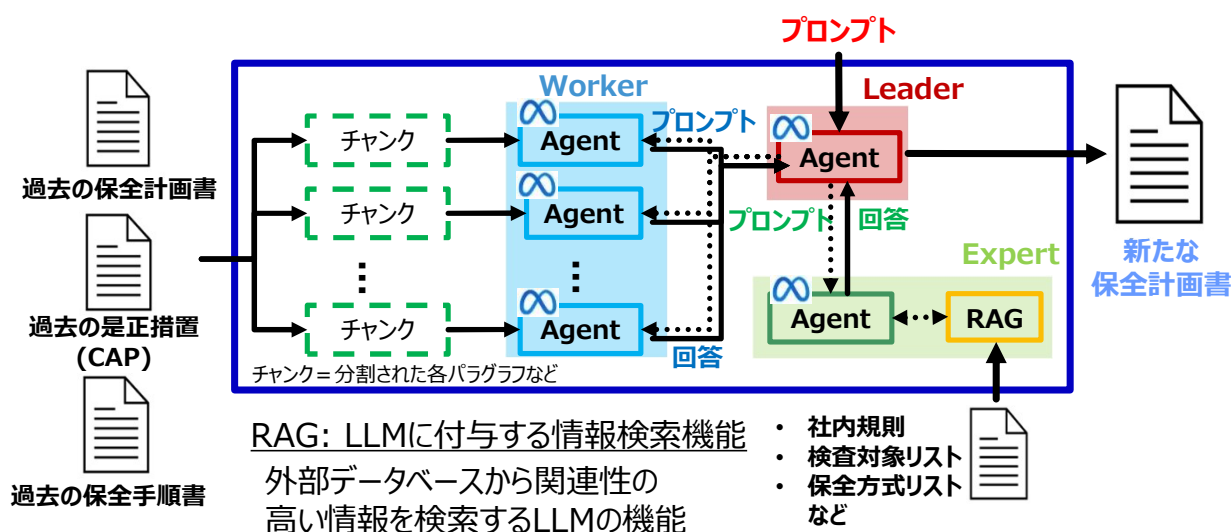
- 是正措置を正しく反映する計画書が生成されていることを確認
- 2021年度に見直し内容がない機器は結果に出力されないなど、期待以上の生成結果



8) 窒素設備

窒素P S A空気除湿機は、冷媒ガスフロン R22 及び既設空気除湿機の主要部品である圧縮機が使用不可となることより、2020 年に新機種に更新を実施した。

- 保全活動PDCAを仮想空間上に再現→原子炉保全DTに保全活動の影響をインプット
- 計画(P)と改善(A)のデータ形態 = 文書であり、大規模言語処理(LLM)により生成可能
- 大規模文書用のLLMモデルはまだ無い ⇨ 階層構造エージェントグループモデルを提案



- 階層構造LLMのオリジナリティ性
- 大規模文書生成が可能な初のモデル
- 保全計画書で開発→手順書やCAPの生成にも展開
- 最大のボトルネック = 文書生成作業の短縮
→ **定検期間短縮化**
→ **労務負担軽減化**

Leader agent :

- タスクを論理的に推論しステップに分割
- エージェント間コミュニケーションとタスク調整
- エージェントの回答を結合、出力

Worker agent :

- **Leader**の指示に基づき回答を生成・修正

Expert agent :

- RAGで外部の関連情報を検索 & 収集
- 必要な外部情報を**Leader**に提供

5. おわりに

- **開発項目の体系化と品質評価の確立**を産官学一体で。
- GitHubなどで最新AIモデルを公開(ソースコード付きも)。しかも丁寧なTutorial付き。**そういう文化**。誰でも、明日からでも使える。
- **特にLLMは簡単**（魔法使いの**呪文**のように言葉だけでOK）、人間が使いやすいように LLM側から**歩み寄**っている。**そういう時代**。
- 原子力マネジメントは**文書作業の連続**。**原子力へのAI(LLM)適用のポテンシャルが埋まっている**と思う。
- 複数のAIモデルを組み合わせることで、**適用可能な範囲が広がる**

ご清聴ありがとうございました