資料3
原子力システム研究開発事業
令和4年度新規公募に向けたワークショップ
R3. 11. 12

AIを活用した研究開発についての期待

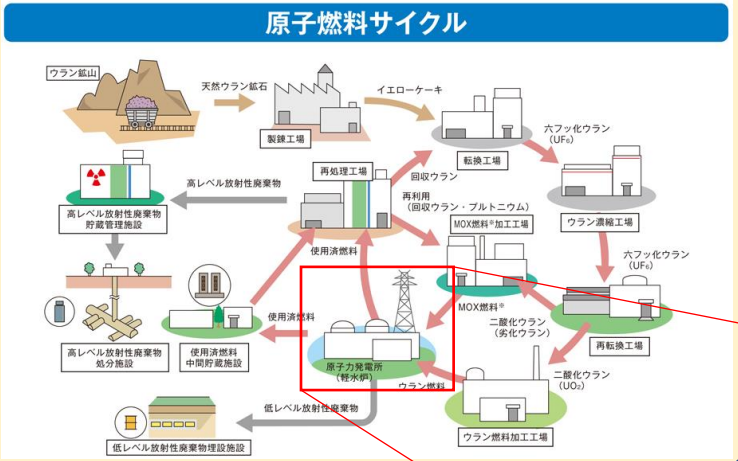
2021/11/12

原子力システム研究開発事業　PO
大阪大学産業科学研究所
鷲尾　隆

原子力へAI適用の可能性

燃料サイクルの多くの過程に
AIは適用可能なはず

(財)環境イノベーション情報機構HPより



プラント本体だけでも．．．

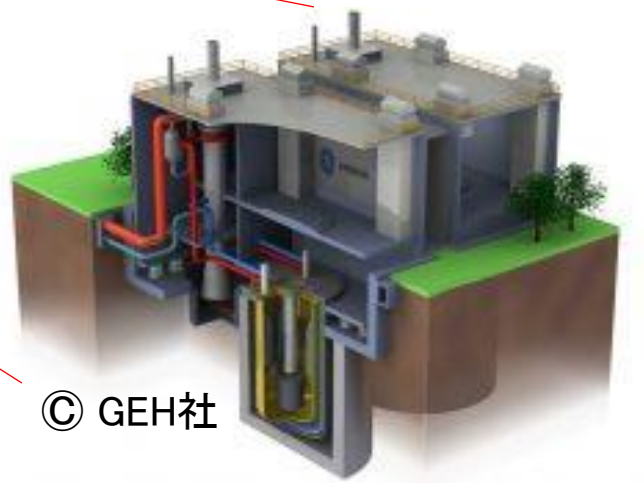
材料開発＋AI
新しい構造材料や燃料の開発

安全評価＋AI
照射損傷やプラント安全の解析

プラント設計＋AI
効率的な最適化設計

プラント運用・保守管理＋AI
燃料管理・保守の最適化等

プラント運転＋AI
運転の高信頼化・安全・効率化



© GEH社

(社)日本原子力産業協会HPより

これまでの応募と採択状況

- 令和2年度　応募64課題中15課題採択

  新発想型中心にAI関連課題を採択
  - マテリアルズ・インフォマティクスによる核燃料開発
  - 人工知能（AI）技術を取り入れた核燃料開発研究の加速

  AIやリスク評価について提案があったが採択に至る熟度ではなかった。

- 令和3年度　応募34課題中8課題採択

  AI・デジタル化を強調しプログラムアドバイザー（PA）を付けられる公募

  基盤チーム型(一般，若手)でAI関連課題を採択
  - 3D造形革新燃料製造のシミュレーション共通基盤技術
  - 高温ガス炉の出力分布測定のための核計装システムの開発
  - 機械学習を利用した計算科学による照射損傷予測・脆化評価技術の整備
  - MA抽出のためのフッ素系スーパー溶媒の探査
  - 人工知能技術と熱流動の融合によるデータ駆動型プラント安全評価手法の開発

- 現状の採択課題
  - 核燃料開発研究でのシミュレーション＋機械学習やMI
  - プラント安全性評価のシミュレーション＋機械学習
  - 核計測計装への機械学習・最適推定適用

  に留まっている。

令和4年度 AIを活用した研究開発提案への期待(1)

注意！以下は審査委員会公式ではなく、個人の意見が反映されています。重要で質の高い提案ならば、ここに掲げる期待とは分け隔てなく採択されます。

基盤チーム型　以下の4分野で公募

(1)燃料・材料分野　(2)プラント安全分野　(3)システム分野　(4)再処理分野

- AIを活用したデジタルツイン，マテリアルインフォマティックス
- AIを活用したモデリング&シミュレーション手法開発やデータ同化手法適用
- 以上を念頭にAIを活用した実験計画・実験データ取得・測定技術の開発

特にシステム分野では

- 計測・分析・制御・ロボティクス、AI、IoT、最適化等の技術を用いたモデリング&シミュレーション手法の開発
- これらを活用した原子力システムの開発

※ 赤文字はこれまで採択が少なく特に期待される内容

令和4年度 AIを活用した研究開発提案への期待(2)

ボトルネック課題

(1) 安全・リスク評価分野

AIを活用したプラント安全・リスク評価手法の開発

- 免震システムの挙動の解明
- 免震技術の開発と評価手法の高度化
- 炉心損傷挙動評価技術開発
- 金属燃料高速炉のSA事象進展挙動解析ツール開発
- タンク型高速炉・金属燃料炉心の構造健全性解析評価技術開発

(2) プラントエンジニアリング分野

プラントの運用・保守、建設費用低減、信頼性向上等を実現するデジタル技術(AI,シミュレーション)を活用した基礎技術開発、工期短縮・メンテナンスフリーのための技術開発

- オンタイム（実時間）でプラント挙動を予測し、プラントの安全性強化に貢献する技術開発
- 実炉試験データ及び既存プラント模擬試験装置を活用した実測データ取得
- プラント情報のデジタル実装
- データ同化技術の適用、AI 関連技術によるシミュレーション代替計算

デジタルツインに資する計測・検知技術の開発

- 蒸気湿り度、ボイド率、液膜厚さ等実機条件で精度や計測の解像度が十分に得られる計測技術

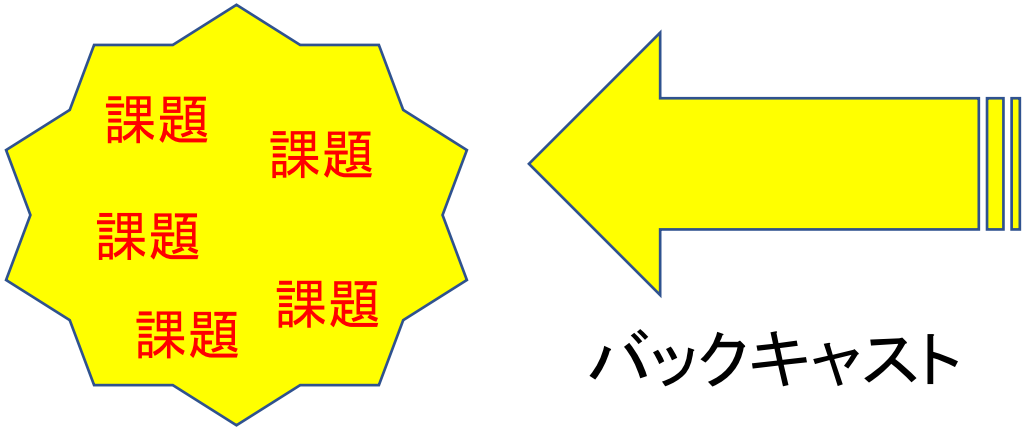
令和4年度 AIを活用した研究開発提案への期待(3)

新発想型（一般，若手）

既存の発想に捉われず、AIやシミュレーションを用いた挑戦的・ゲームチェンジングな研究開発を期待

基盤チーム型・ボトルネック型・新発想型全体として．．．

- 既存研究の枠組みに捉われず、あるべき革新的原子力技術のイメージを設定し、そこからバックキャストして社会実装に必要な研究開発課題を洗い出し、課題解決に向けた提案を行っていただくことを期待します。
- AI技術については採択後にプログラムアドバイザー（PA）を紹介することが可能ですので、その利用を前提とした提案も歓迎します。



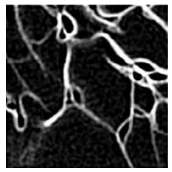
提案のご参考：幾つかのAI技術例(1)

AIサロゲートモデルによる超高速最適化，測定技術開発

例）超高速超解像生体イメージング技術開発(鷲尾CREST:阪大産研永井研と共研)

偏光復調原理を用いた超解像蛍光イメージング(SPoD)

元画像



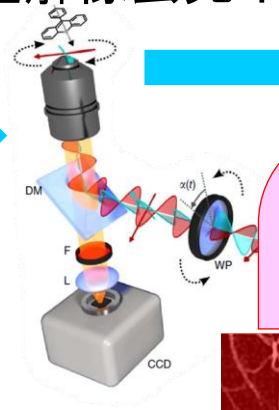
従来法

反復最適化

$$\hat{X} = \underset{x\geq 0}{\operatorname{argmin}} \frac{1}{2A}\sum_{t=1}^{c} \|Y_t - g_t(X)\|^2 + \lambda\|X\|$$

$$\hat{X}_k = R_\theta\left(\hat{X}_{k-1} - L\sum_{t=1}^{c} \nabla G(Y_t, \hat{X}_{k-1})\right)$$

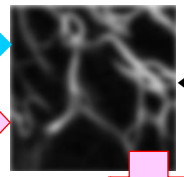
100万画素推定に90分以上



$Y_t = g_t(X)$

$Y_t = g_t(X)$

顕微鏡モデル



←低解像度な観測画像

Y

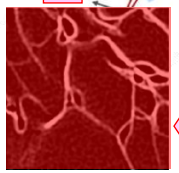
$\hat{X} = f(Y;\theta)$

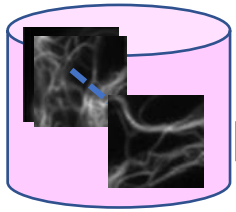
深層観測復元モデル SPoD-Net

超解像復元画像

↓

X

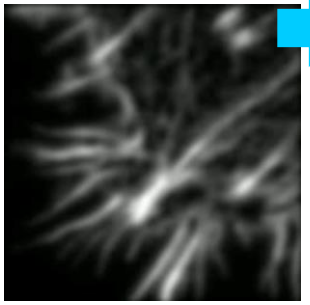




既存低解像度観測画像で学習

$$\min_{p,\eta,\theta} \frac{1}{2NA}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{c} \|Y_{nt} - g_t(f(Y_n;\,\theta))\,\|^2 + \frac{\lambda}{B}\|f(Y_n;p,\eta,\theta)\|$$

観測画像

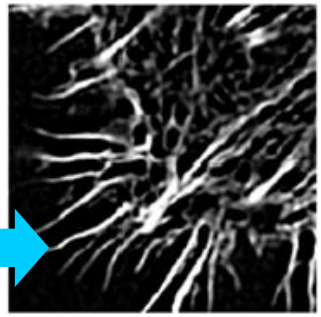


Y

学習済み観測復元モデル

$\hat{X} = f(Y;\theta)$

X



超解像画像を数秒で復元計算

世界初の速度数百～千倍を実現

最適化問題を予め学習済み逆モデルで解く

超高速な測定を実現

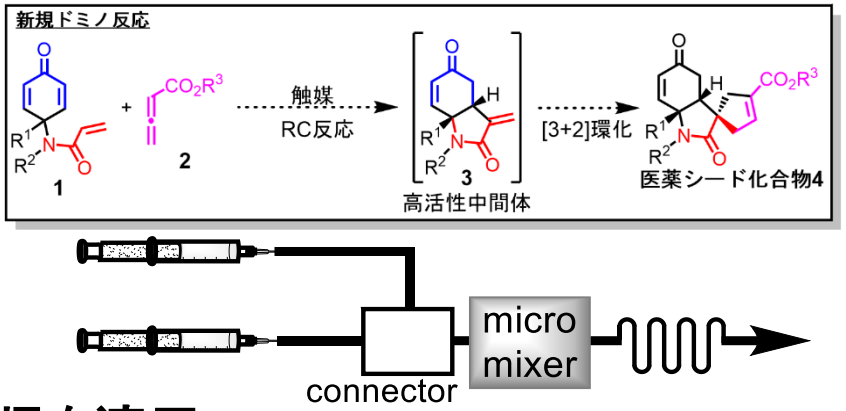
提案のご参考：幾つかのAI技術例(2)

AIを活用した実験計画・実験データ取得

例）精密フロー不斉合成の最適条件取得(鷲尾CREST:阪大産研笹井研との共研)

効率的に医薬品を合成可能な触媒反応条件を探求

効率的に収率を最大化する温度，流速，当量などの反応パラメータ較正が重要



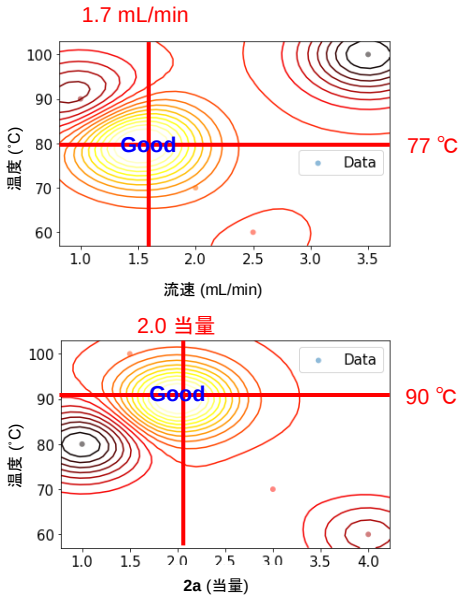
従来の手法

パラメーターを1つずつ人手で順次較正

温度(°C) / 当量	0	10	20	30	40
1.0					
1.5					
2.0					
2.5					
3.0					

ガウス過程回帰を適用

複数のパラメーターを反復同時較正



従来の半分以下の実験回数でより高い収率を得る条件を探索

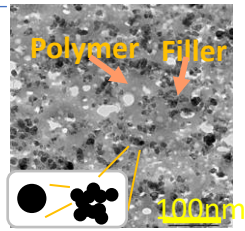
手動実験:収率72%

AI実験:収率76%

提案のご参考：幾つかのAI技術例(3)

AIによる材料構造探索・解析の自動化

フィラー充填ゴムの微細構造設計(鷲尾研と横浜ゴム㈱の共研)



目的　シミュレーションと機械学習によって、未踏の超高弾性を実現するフィラー微細構造を自動的に探索・特性解析

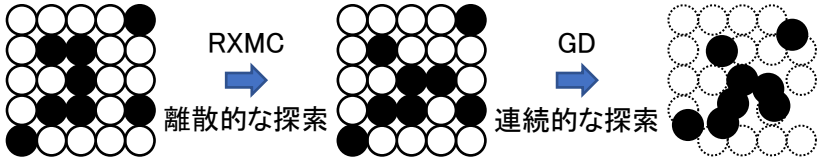
Step-1:機械学習(CNN)でシミュレーションのサロゲート(代理)モデルを構築

フィラー微細構造画像と弾性率の既存データから代理モデルを構築し
必要計算時間を1ヶ月(CGDM)から10秒(CNN)に短縮

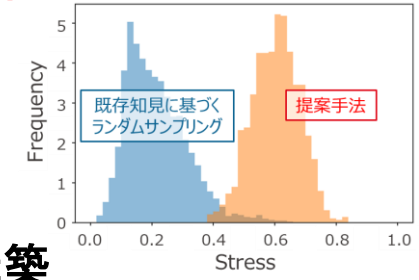
Step-2:フィラーモルフォロジーのサンプリング手法を構築

レプリカ交換MCMC探索＋勾配法探索＋上記代理モデルの組み合わせ手法

既存知見による探索では得られない微細構造を獲得



※探索過程での弾性率や勾配の計算にはStep-1の代理モデルを使用



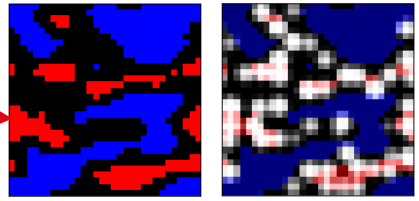
未知だった超高弾性フィラー微細構造を発見

Step-3:フィラーモルフォロジーの特徴解析手法を構築

説明可能AI(XAI)を適用し、Step-2で得た微細構造から
弾性率に強く寄与する局所構造を同定

畳み込み画像　フィラーとの重ね合せ

赤い領域が高弾性に寄与するフィラー微細構造の局所領域



引っ張り方向

提案のご参考：幾つかのAI技術例(4)

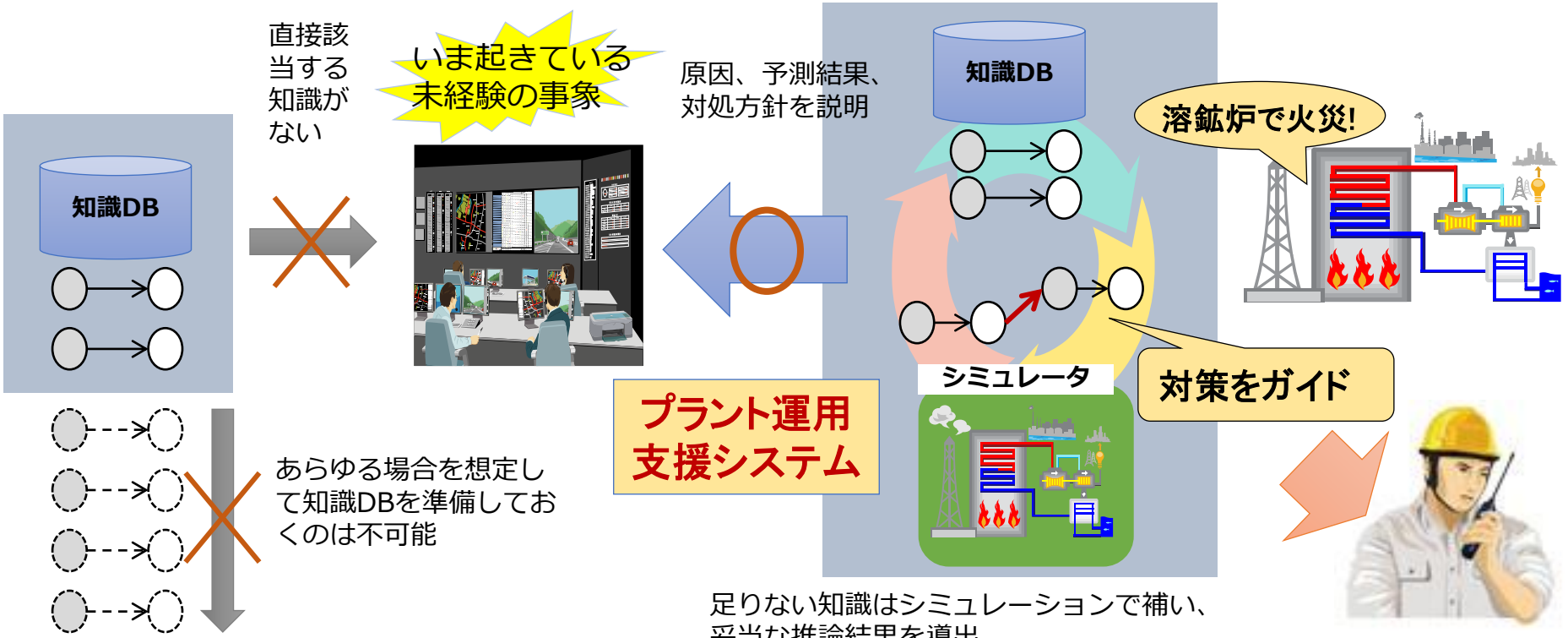
プラントの運用・保守、オンタイム（実時間）AI制御

例)AI+シミュレーションによるプラント運転支援(NEC−産総研AI連携研)

NEC-AIST
AI Cooperative
Research Laboratory

シミュレーションとAI推論を組合せることで、未知の状況に対しても、原因分析、未来予測、対処方針提示等を行い、人間の意思決定を支援

⇒プラント、インフラの異常分析、オペレーション支援など



まとめ

- これまでのAI活用の応募と採択状況は、比較的狭い範囲の課題に留まっている。
  - 核燃料開発，プラント安全性評価，核計測計装など
- より幅広い課題に視野を広げてAIを活用する提案を期待
  - プラントシステム，プラントエンジニアリング，実験データ取得，測定技術など
- あるべき革新的原子力技術の社会実装イメージからバックキャストして、AIを活用する提案を期待