

(4月1日) スライド更新 (現時点でのPI氏名を追加)。

多様なフュージョンエネルギー開発にむけたバーチャルボラトリ ～MS10「デジタルシステム」プロジェクト(*)の目指すもの～

星 健夫(核融合科学研究所)

1. 目指したい社会
2. プロジェクト総論
3. プロジェクト各論
4. 波及: 産学連携からものづくりDXへ
5. まとめ

(略歴) 1993年 東京大学工学部物理工学科卒業 2023年より 現職
(現在の専門分野) データ駆動科学、計算物質物理学、数理科学

プロジェクトPI (課題推進者) 注: 2025年4月時点(追加予定)

(*)正式名称: ムーンショット目標10(MS10)プロジェクト

「超次元状態エンジニアリングによる

未来予測型デジタルシステム」

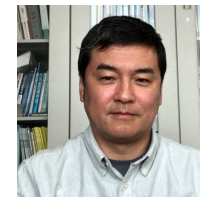
プロジェクトマネージャー(PM): 星健夫

PMアドバイザー

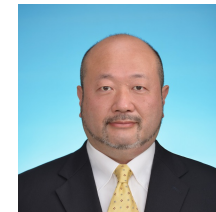
- ・福山淳(京都大学 名誉教授)
- ・高部英明(大阪大学 名誉教授)
- ・武田晴夫(内閣府人間中心のAI社会原則会議構成員、
内閣官房Trusted Web推進協議会構成員、
核融合エネルギーフォーラム運営委員、
日立製作所 科学技術顧問)



星健夫
(核融合研、PM)



川島直輝
(東京大)



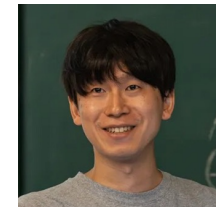
青西亨
(東京大)



原島庸介
(奈良先端大)



曾我部知広
(名古屋大)



宮武勇登
(大阪大)

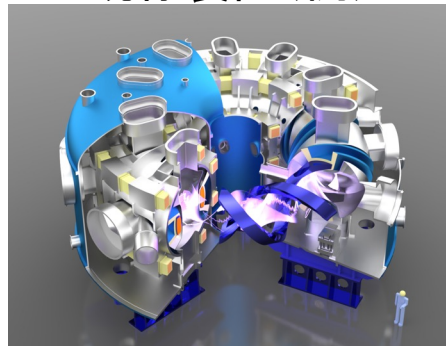


工藤周平
(電通大)

目指したい社会

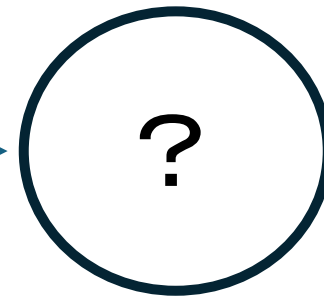
(1) フュージョンエネルギーシステムの設計や性能試験をデジタル空間で行える**バーチャルラボ**(仮想実験室、**Vラボ**)により、フュージョンエネルギーシステム開発が劇的に加速された社会。

既存装置(例)



© NIFS

次世代装置



Vラボ
(設計、性能評価、
試行錯誤)

(2) Vラボに汎用性を持たせることで、**多様**なフュージョンエネルギーシステムの研究開発が実現した社会。

Vラボへの **多様なニーズ**

フュージョン
エネルギー
システムの例

磁場閉じ込め型

トカマク形式
ヘリカル形式
ミラー形式
磁場反転配位(FRC)形式

慣性型(レーザー型)

ミュオン触媒型

重要な
基盤技術
の例

中性子照射材料実験

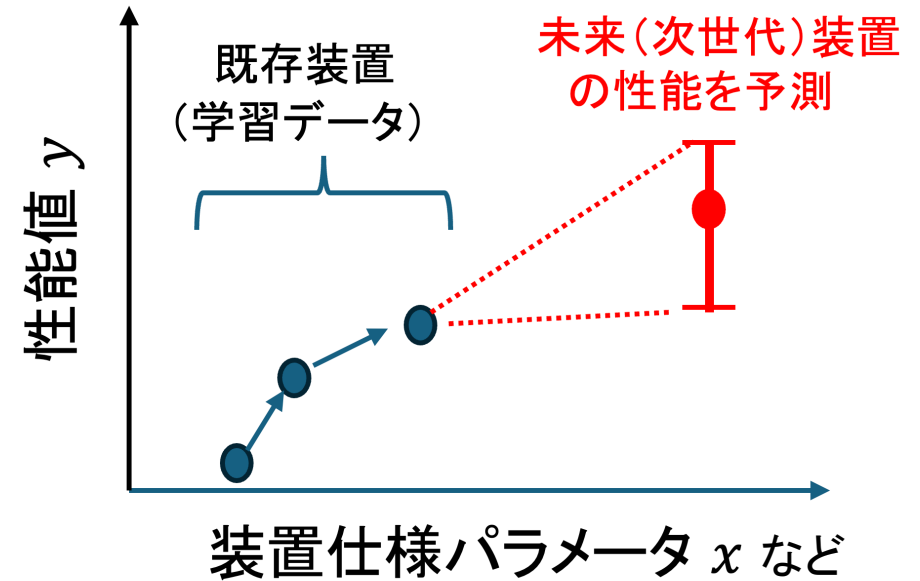
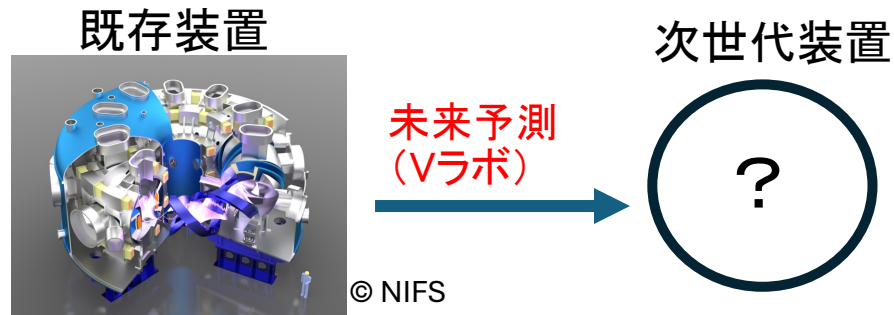
加速器技術(**MS10奥野PM**)

超伝導材料開発(**MS10木須PM**)

目指したい社会

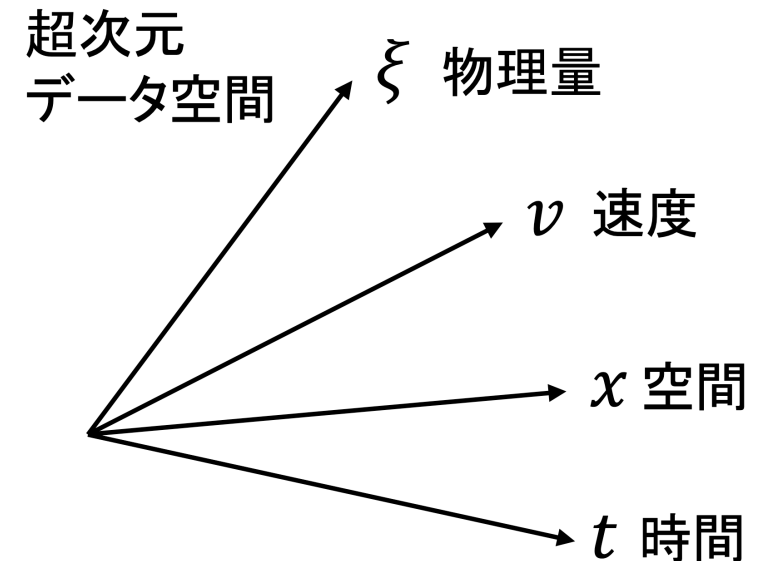
キーコンセプト(i) 未来予測技術

- ・既存装置のデータを学習データとし、未来(次世代)装置の性能を予測する。
- ・デジタル空間上での「試行錯誤」が可能になる。



キー コンセプト(ii) 超次元状態エンジニアリング

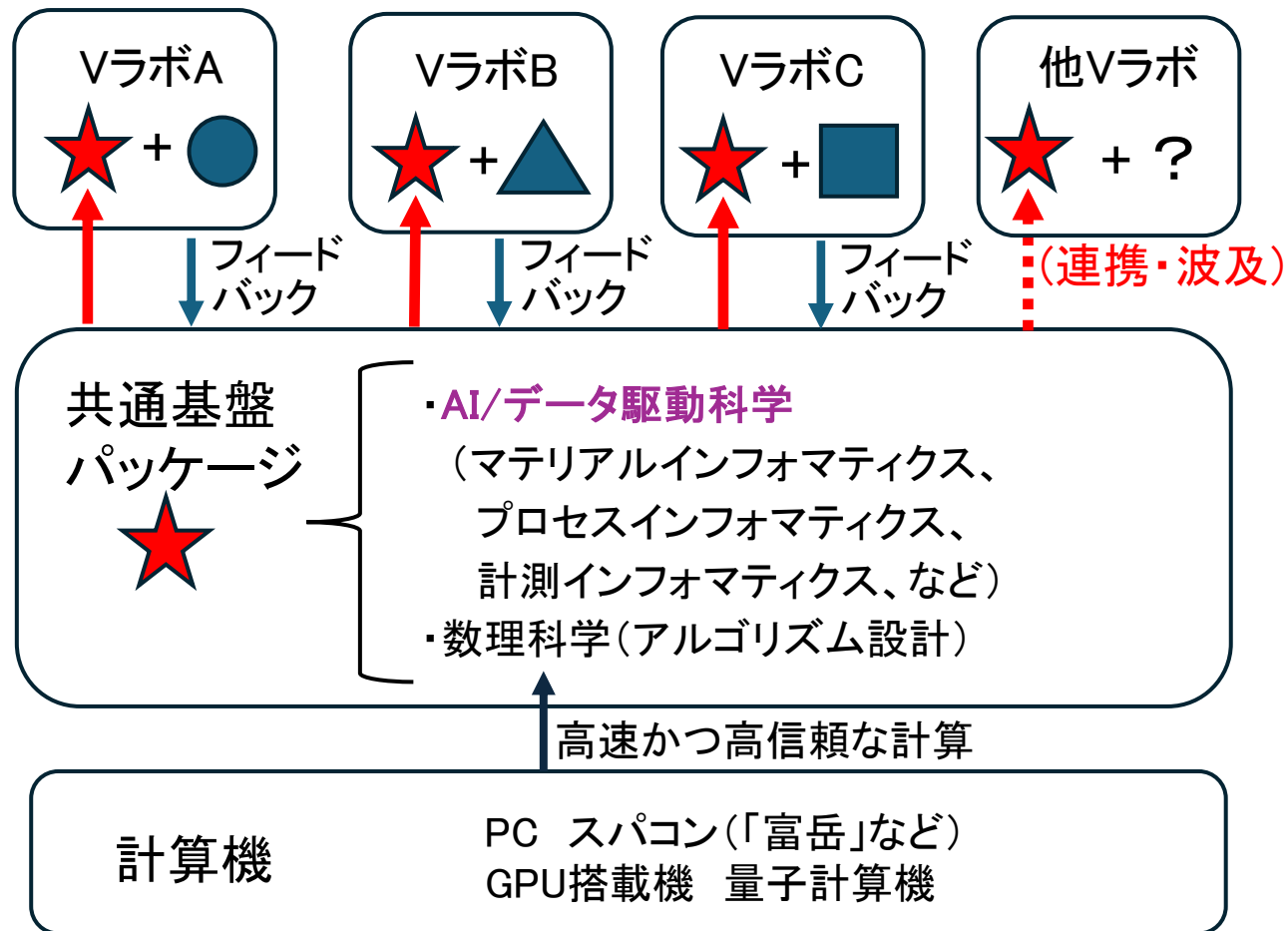
- ・超次元データ空間(時間軸・空間軸・速度軸・物理量軸などの異種座標軸からなるデータ空間)で、状態(プラズマなど)や装置の複雑性を表現し、工学応用に結びつける。



プロジェクト:総論

3種バーチャルラボラトリ(Vラボ)を先行成功例として、社会実装する。

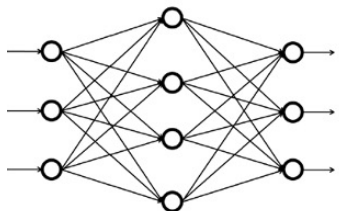
- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設



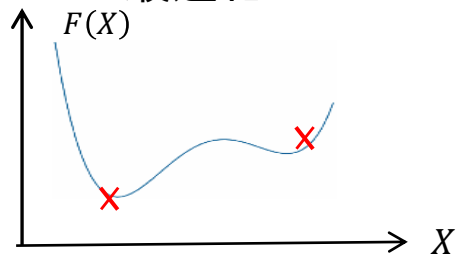
補足: AI/データ駆動科学手法の汎用性

数理的アイディアの例

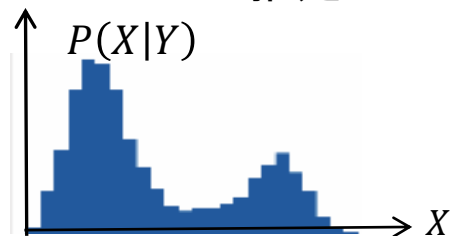
機械学習



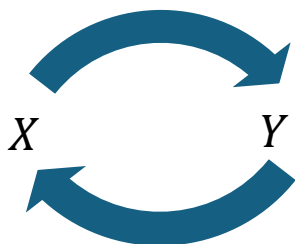
最適化



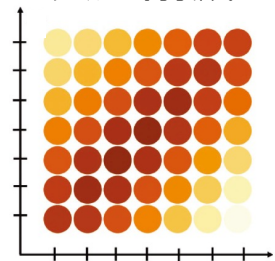
ベイズ推定



逆問題解析



次元削減



例: 半導体などの
先端製造技術で
利用される手法

サロゲートモデリング
(物理をとりこんだ)

マルチスケール・
マルチフィジクス
シミュレーション

マルチモーダル解析
・データ統合
(ベイズ統合など)

機械学習(教師あり・なし)

ソフト(バーチャル)センサー

(オペランド)計測・解析

ロボット実験

大半は、フュージョン
エネルギー分野と共有可



計算

© NIFS



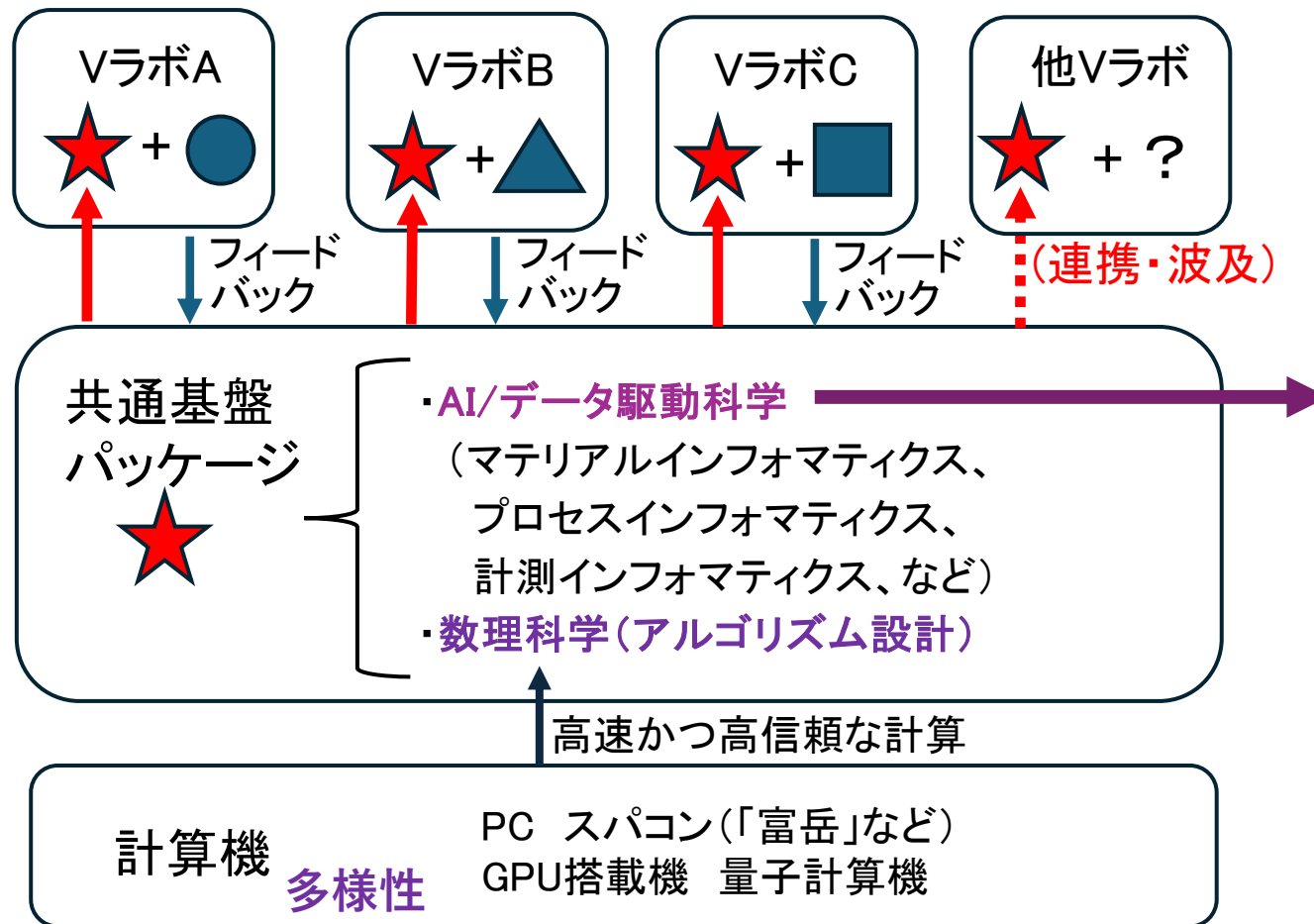
実験
・計測

© NIFS

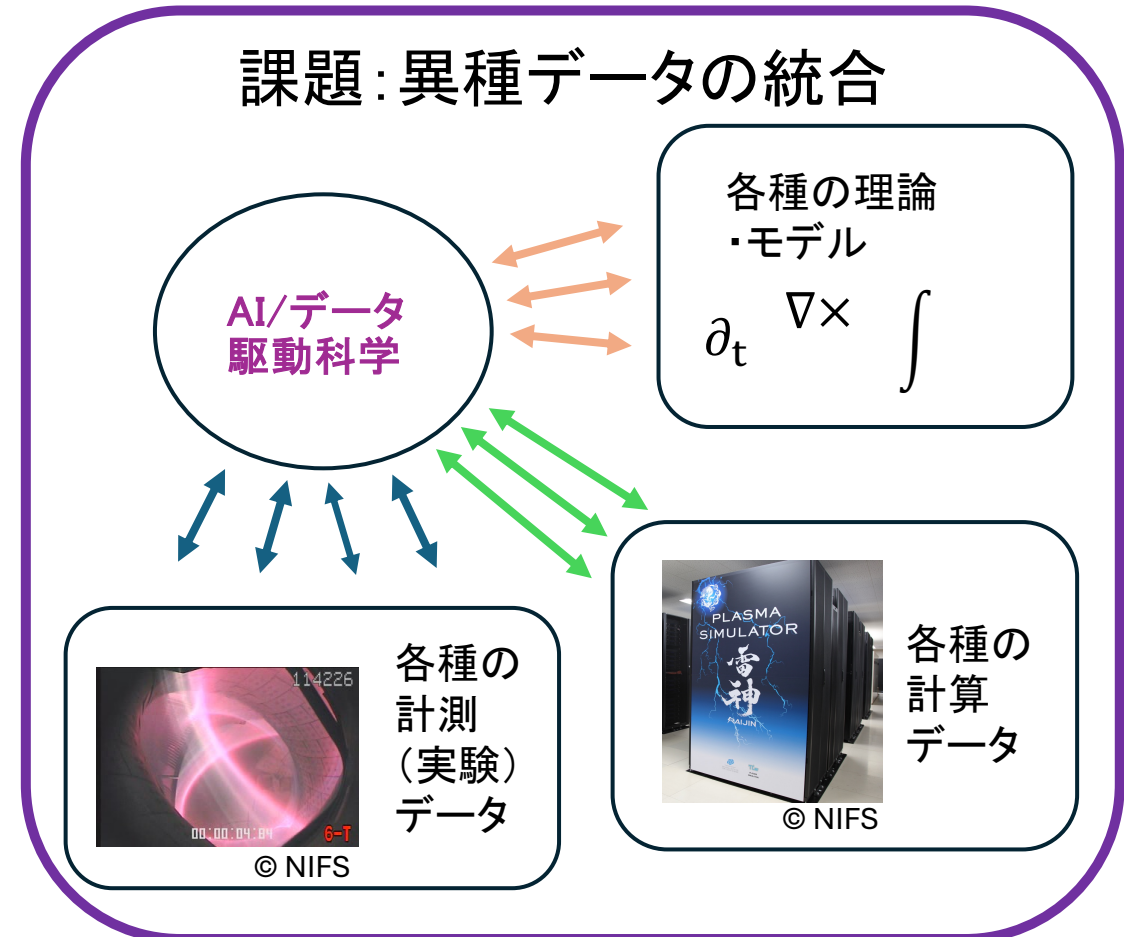
プロジェクト:総論

3種バーチャルラボラトリ(Vラボ)を先行成功例として、社会実装する。

- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設



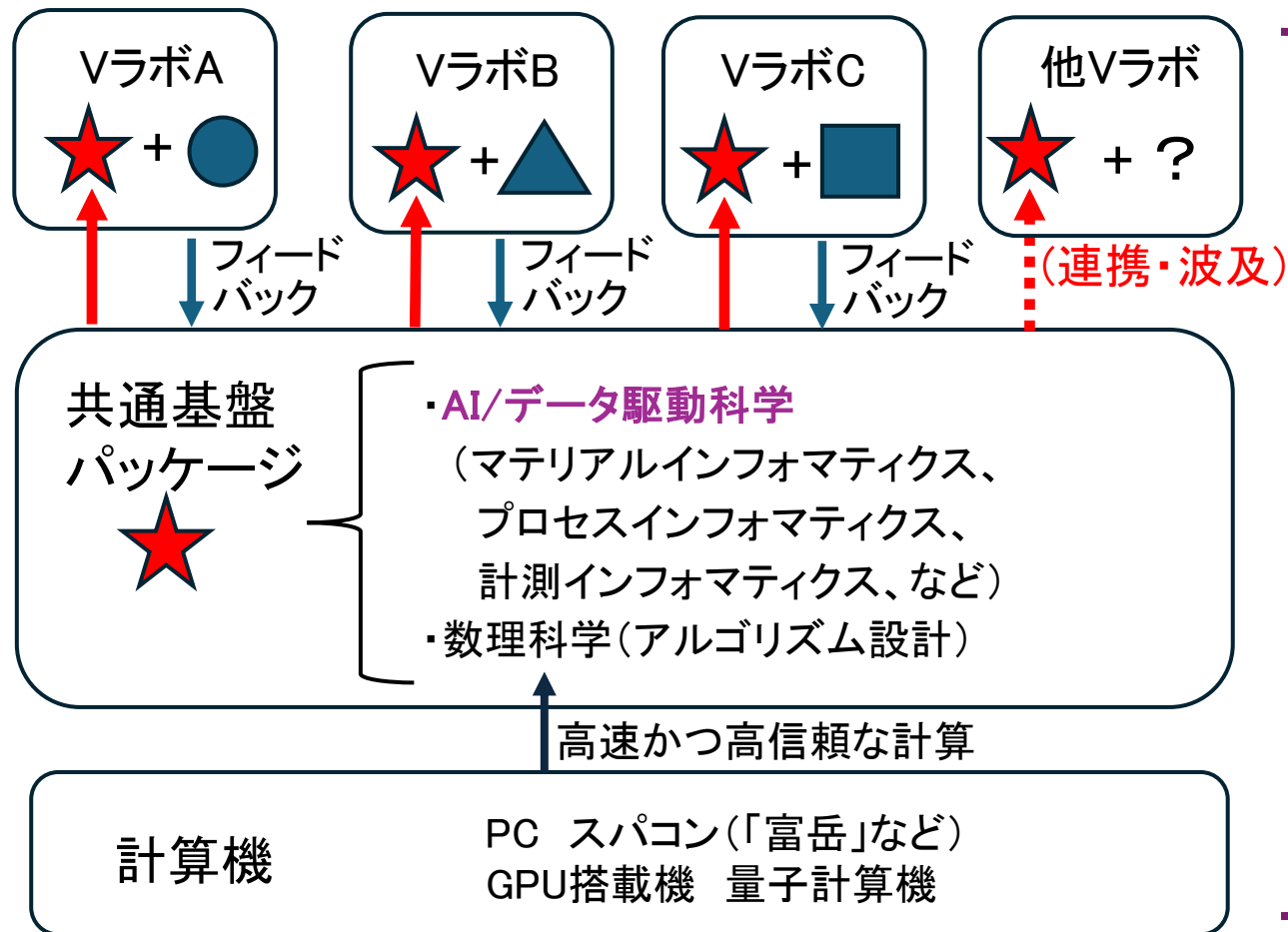
課題:異種データの統合



プロジェクト:総論

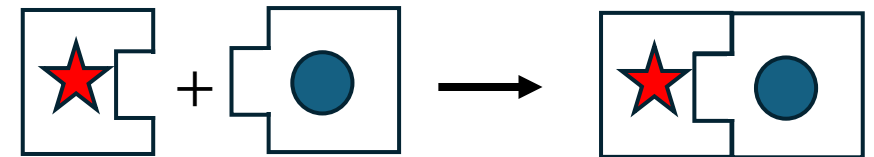
3種バーチャルラボラトリ(Vラボ)を先行成功例として、社会実装する。

- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設



プログラム開発でのポイント

(1) モジュール(小規模プログラム)の組み合わせで、Vラボを構築



(2) 生成AI活用による開発体制

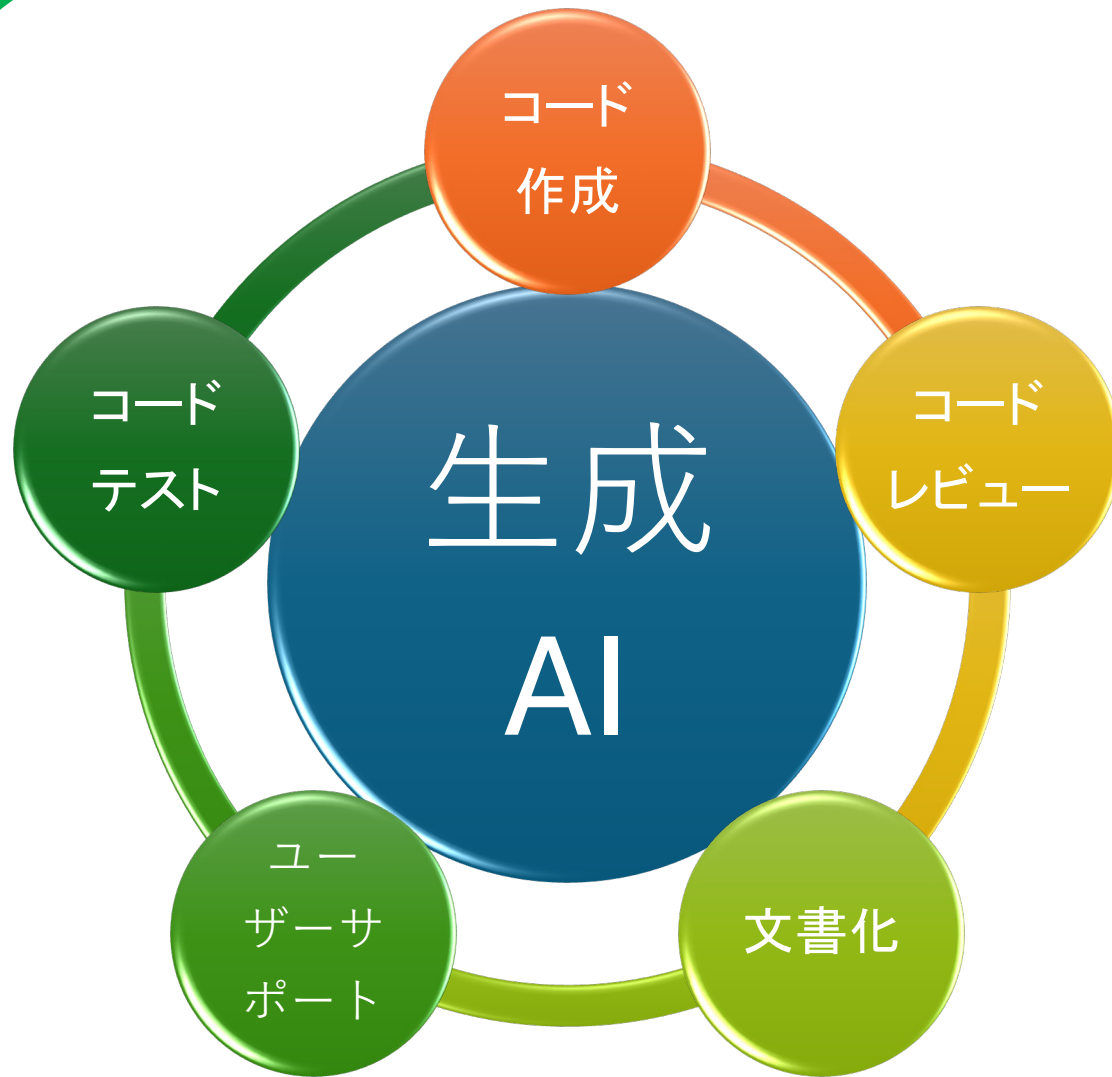
(3) 産業展開への方策
(クラウドサービス化など)

(4) 信頼性のあるデータ連携(次ページ)

プロジェクト:総論

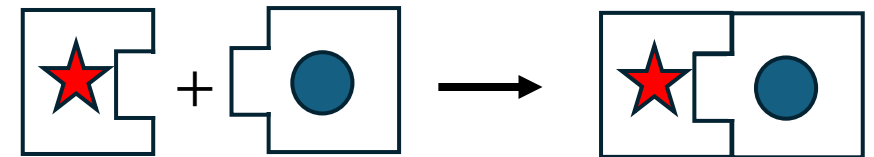
社会実装する。

システム



プログラム開発でのポイント

(1) モジュール(小規模プログラム)の組み合わせで、Vラボを構築



(2) 生成AI活用による開発体制

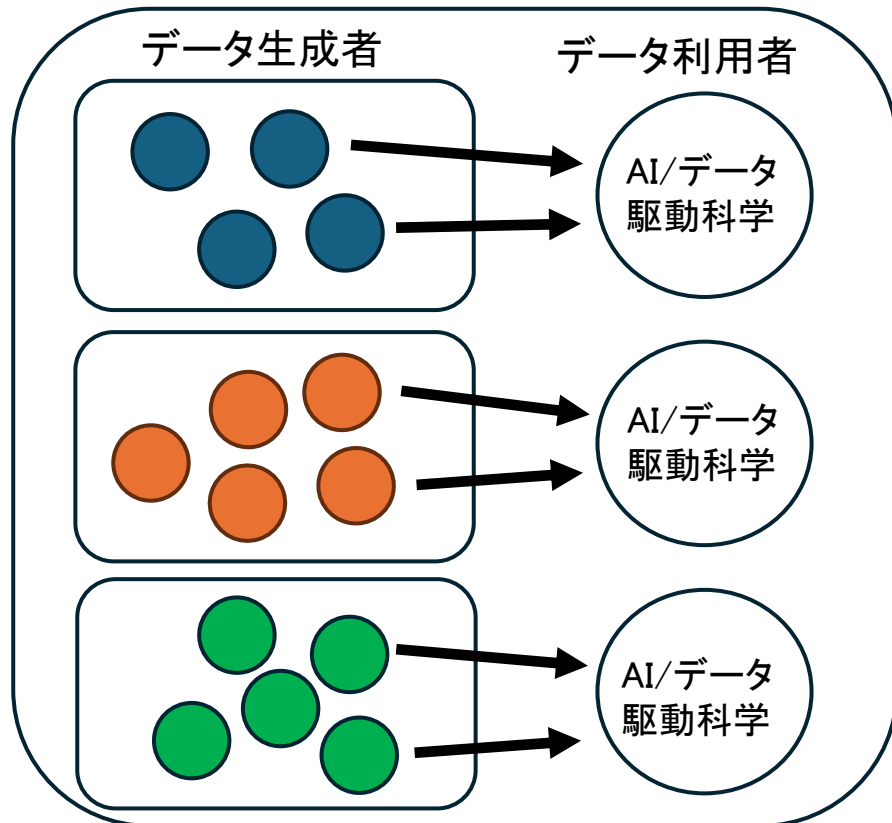
(3) 産業展開への方策
(クラウドサービス化など)

(4) 信頼性のあるデータ連携(次ページ)

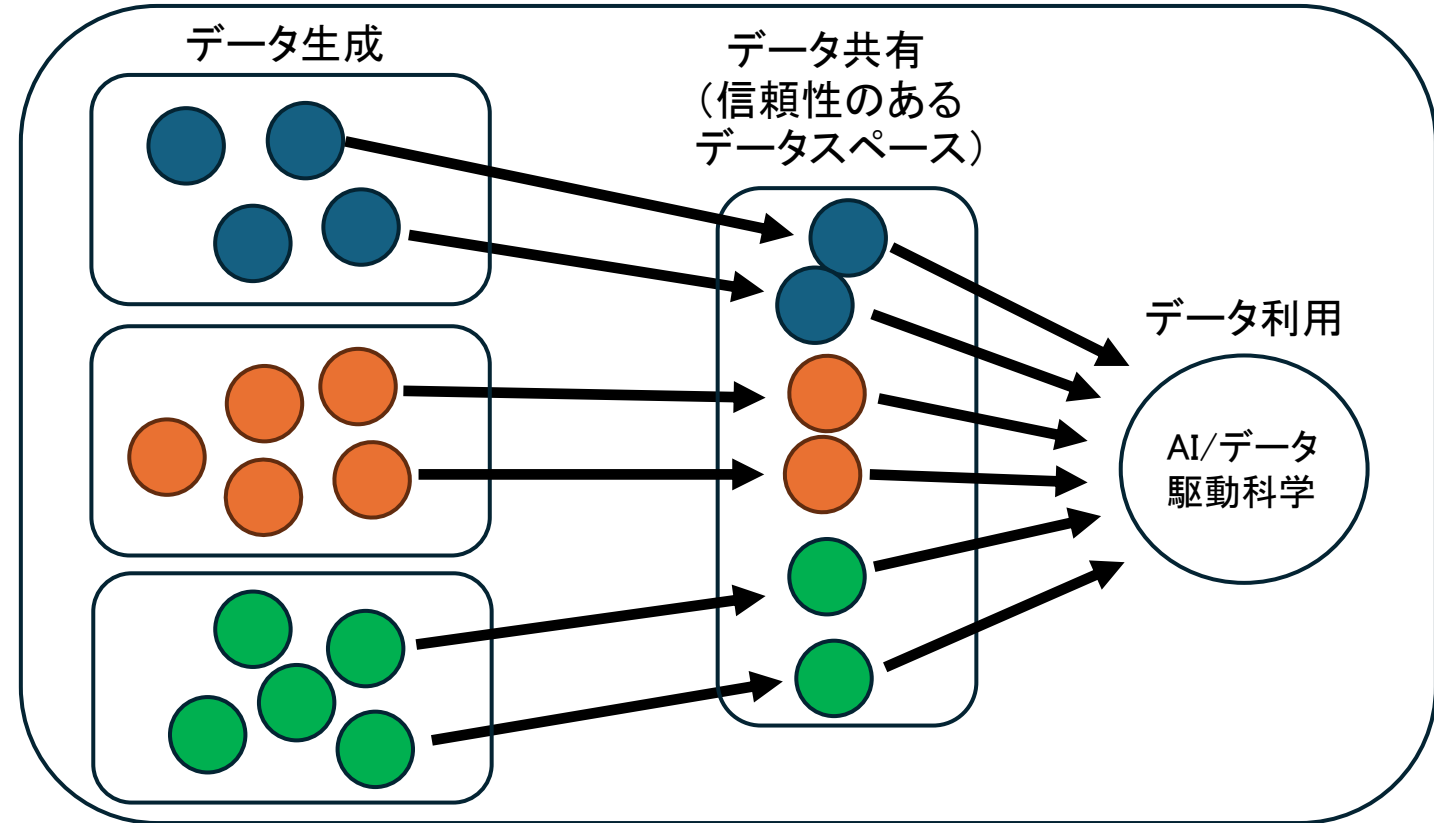
「AI×データ」戦略 ～データ生成・共有・活用の一貫的戦略～

- ・生成AIにより、多様なデータ(実験データ、計算データ、プログラムコード、文書など)が扱えるようになった。
- ・現状: 研究所、企業、国家などが「壁」を作ってデータが分断されて、イノベーション・産業化に限界がある。
- ・「AI×データ」戦略 : 「信頼性のあるデータスペース」を通じた、データ生成・共有・利用を一貫的戦略。

現状: データ分断

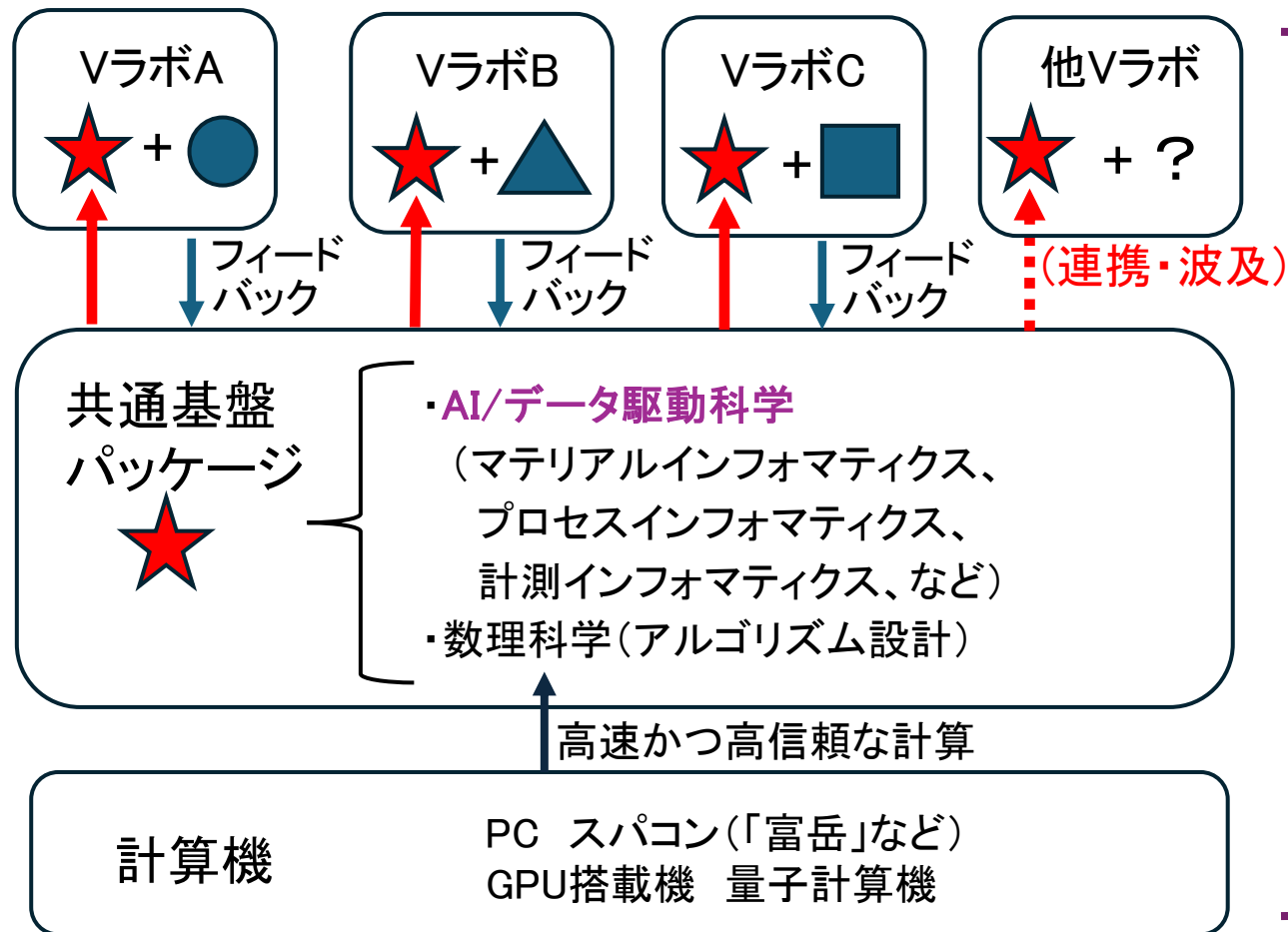


「AI×データ」戦略



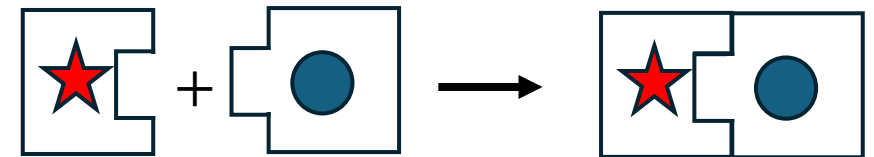
プロジェクト: 総論

- 3種バーチャルラボラトリ(Vラボ)を先行成功例として、社会実装する。.....→波及: 他のVラボ構築
(多様なフュージョンエネルギーシステム、他物理分野、産業界)
- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
 - ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
 - ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設



プログラム開発でのポイント

(1) モジュール(小規模プログラム)の組み合わせで、Vラボを構築



(2) 生成AI活用による開発体制

(3) 産業展開への方策
(クラウドサービス化など)

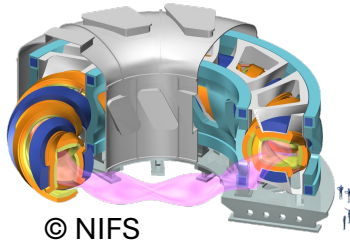
(4) 信頼性のあるデータ連携(次ページ)

プロジェクト:バーチャルラボラトリ(Vラボ)各論

- ・ VラボA, B, Cそれぞれについて、未来予測むけのテーマは、多種多様。
→連続ワークショップ（次スライド）で個別に議論し、具体化。

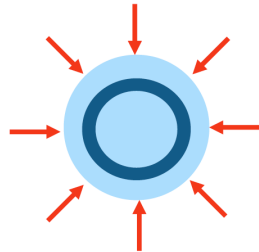
VラボA, B:フュージョンエネルギーシステム

磁場閉じ込め型



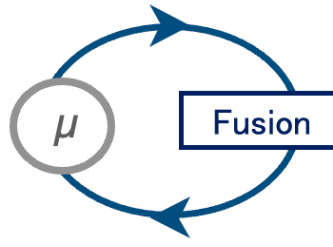
概念図例

慣性型
(レーザー型)



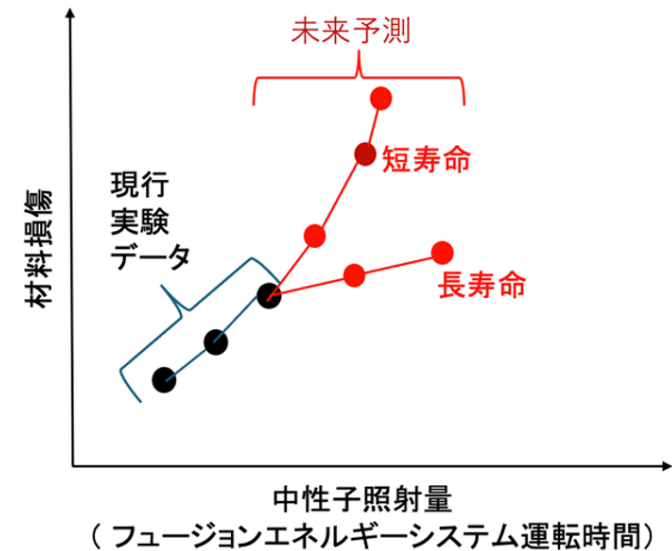
模式図

ミュオン触媒型



模式図

VラボC:中性子照射による材料損傷



→各Vラボのスケジュール:定量的目標を設定する。2027年度に初期バージョンを構築し、
2029, 2034年度に、それぞれの年度むけに設定した定量的目標の達成を目指す。

- ・ PM間の連携:リアル+デジタル
(実験) (計算)
 - 奥野PM+星PM (新しい加速器設計のためのビームシミュレーション)
 - 木須PM+星PM (マテリアルインフォマティクス、プロセスインフォマティクス)

プロジェクト:バーチャルラボラトリ(Vラボ)各論

- ・ VラボA, B, Cそれぞれについて、未来予測むけのテーマは、多種多様。
→連続ワークショップ（次スライド）で個別に議論し、具体化。

VラボA, B:フュージョンエネルギーシステム

磁場閉じ込め型

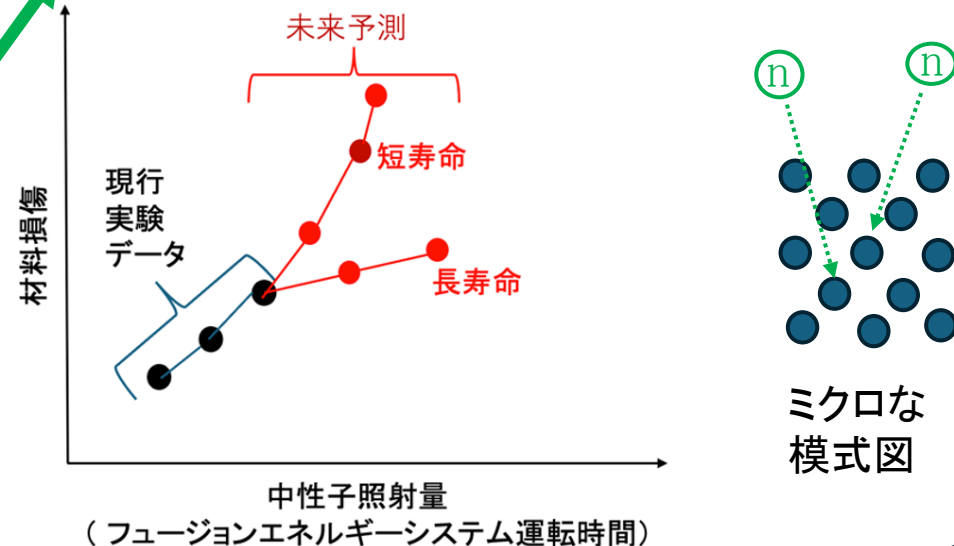
慣性型
(レーザー型)

ミュオン触媒型

アプローチ方法の例

- ・既存の中性子照射データの活用
- ・中性子以外の照射実験データの活用
- ・予測高精度化のための解析手法や実験計画の確立
- ・既知材料特性データから
取得困難な材料特性データの予測(転移学習)

VラボC:中性子照射による材料損傷



年度に初期バージョンを構築し、
2023, 2024年度に、それぞれの年度むけに設定した定量的目標の達成を目指す。

- ・ PM間の連携:リアル+デジタル
(実験) (計算)

奥野PM+星PM (新しい加速器設計のためのビームシミュレーション)

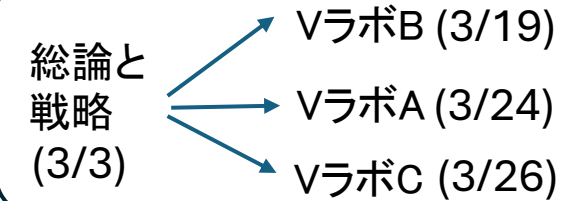
木須PM+星PM (マテリアルインフォマティクス、プロセスインフォマティクス)

連続ワークショップ「未来予測型バーチャルラボラトリによる多様なフュージョンエネルギーシステム(FES)開発」

<https://indico.nifs.ac.jp/e/ms10ds-ws2025mar-1>

- ・本プロジェクトは始動段階で、各Vラボにおける詳細テーマ設定、および、課題推進者(PI)選定を、2025年度前半ごろに行なっていく(*)。

連続ワークショップで、オープンな意見交換を行う。



3月 3日 バーチャルラボラトリの概要と戦略(本ワークショップ)

3月19日 磁場閉じ込め型以外のFESに関するバーチャルラボラトリ(VラボB)

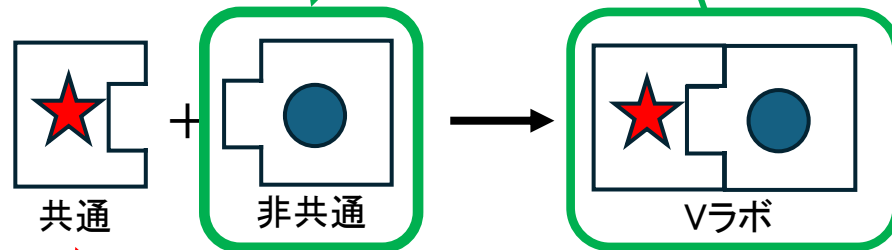
3月24日 磁場閉じ込め型FESに関するバーチャルラボラトリ(VラボA)

3月26日 中性子照射材料実験と

マテリアルサイエンスに関するバーチャルラボラトリ(VラボC)

(*)

- ・想定する主なPI像: VラボA-C合計で、最大十数名。典型的には、ポスドク1名を雇用し、プログラムの開発や応用研究に従事。



- ・PIが実験系研究者でポスドクが計算系研究者、という場合も、想定する。
実験系研究者の役割は、テーマ(ニーズ)設定、実験データの提供・解析、Vラボの活用(次期実験の策定、次期実験装置設計など)、など。

- ・2026年度以降は、要素技術開発や特定応用を想定して、短期課題(1-2年)も設定していく予定。

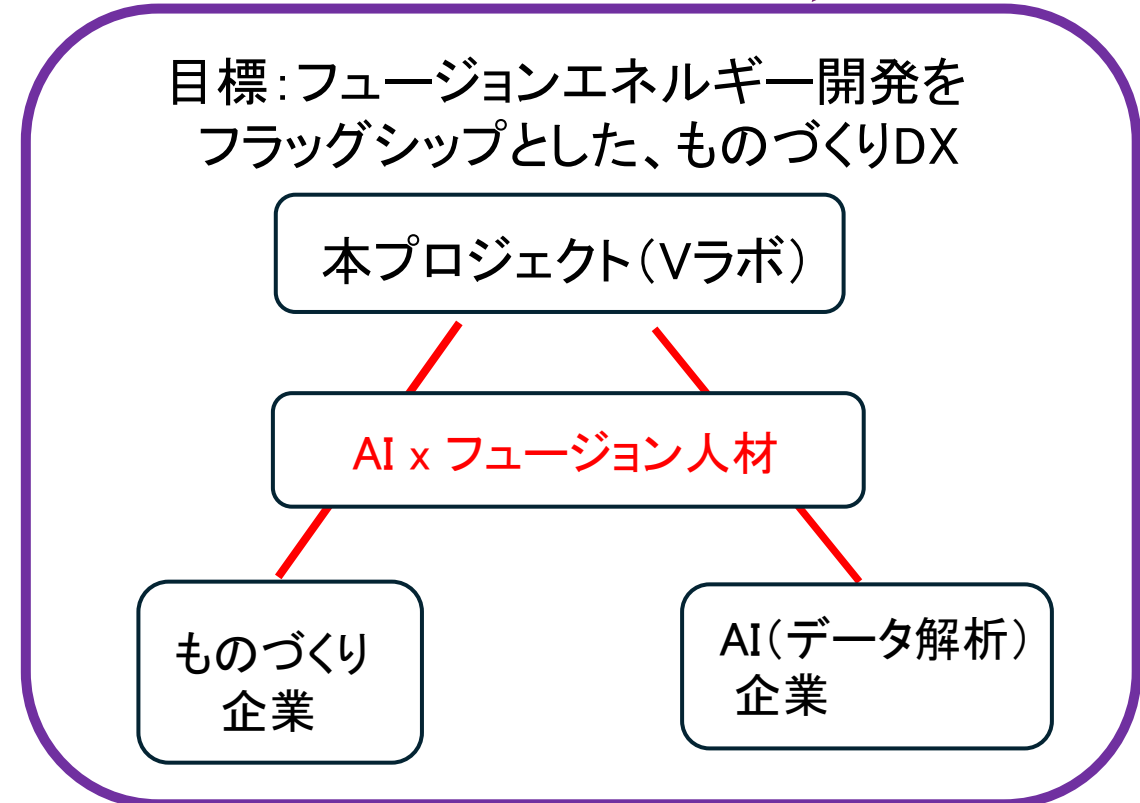
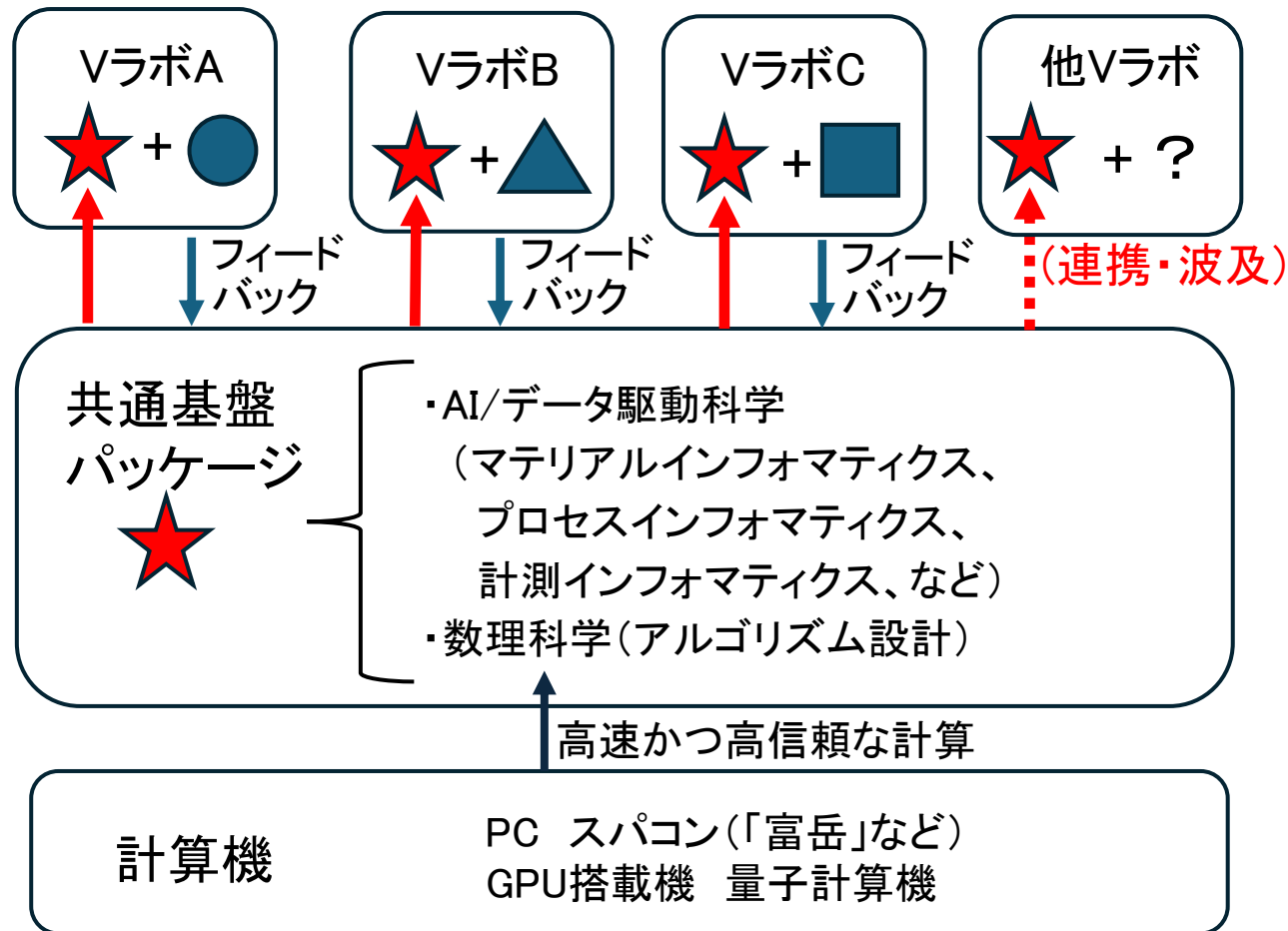
別途、星、および、共通基盤担当PI(2025年4月1日段階で6名、p.1に氏名)が、ニーズに合わせて開発

波及：産学連携からものづくりDXへ

3種バーチャルラボラトリ(Vラボ)を先行成功例として、社会実装する。.....→ 波及：他のVラボ構築

- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設

(多様なフュージョン
エネルギーシステム、
他物理分野、**産業界**)



→ 秋頃: 産学連携型イベント(ニーズ調査)

まとめ

(1) 共通基盤パッケージを共有する、3種Vラボ

- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステムむけ Vラボ
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステムむけ Vラボ
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設むけVラボ

本ワークショップ講演
(福山、高部)

を構築し、未来予測技術を実現することで、多様なフュージョンエネルギーシステム開発を加速する。

(2) 共通基盤パッケージは、AI/データ駆動科学や数理科学などによる。

(3) 生成AIにより、多様なデータ(実験データ、計算データ、プログラムコード、文書など)が扱えるようになった。

→「AI×データ」戦略(データ生成・共有・利用の一貫的戦略)が重要。

(4) 連続ワークショップ(*)で、3種Vラボ(A-C)の具体化、および、課題推進者(PI)選定にむけたオープンな議論。

(5) 波及として、産学連携からものづくりDXを目指す。秋ごろに、産学連携型イベントを予定。

本ワークショップ講演
(武田、越塚、吉見、上田)

(*)連続ワークショップ「未来予測型バーチャルラボラトリによる多様なフュージョンエネルギーシステム(FES)開発」

総論と
戦略
(本ワーク
ショップ)

VラボB (3/19)

VラボA (3/24)

VラボC (3/26)

- ・ <https://indico.nifs.ac.jp/e/ms10ds-ws2025mar-1>
- ・ 第2-4回での講演を、受付中。