

# 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

(\*)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」

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)

(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

(現在の主な兼業)

- ・高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
- ・東京大学 物性研究所

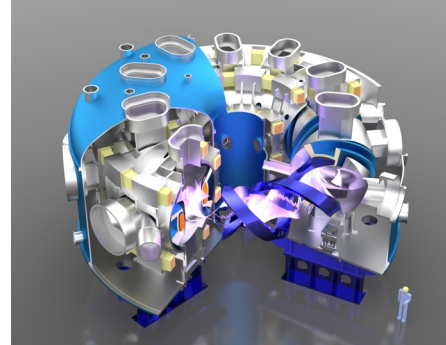
(現在の主な委員会活動)

- ・日本学術振興会 産学連携課  
R026先端計測技術の将来設計委員会(委員)

# 目指したい社会

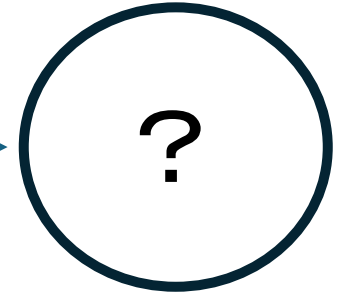
(1) フュージョンエネルギーシステムの設計や性能試験をデジタル空間で行える**バーチャルラボ**(仮想実験室、**Vラボ**)により、フュージョンエネルギーシステム開発が劇的に加速された社会。

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

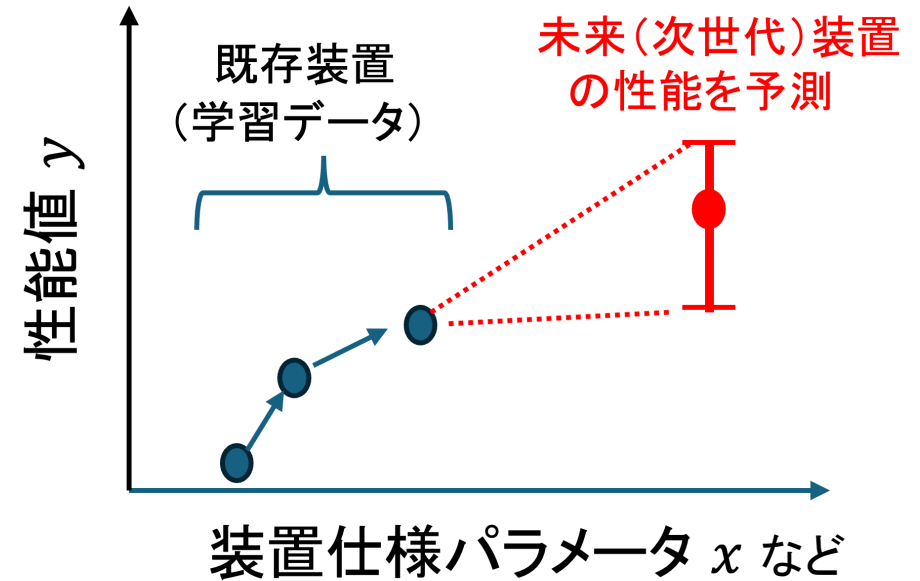
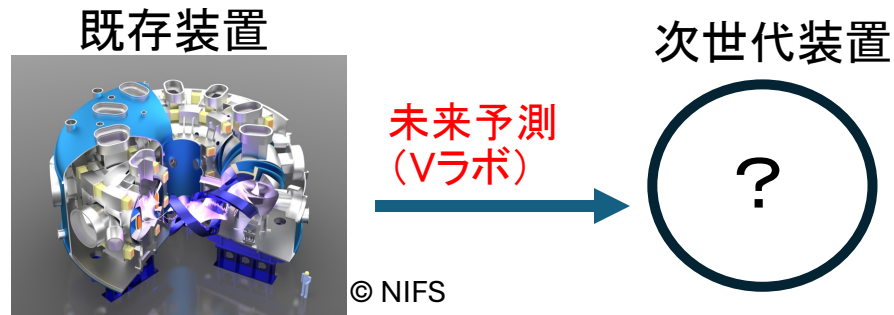
加速器技術(MS10奥野PM)

超伝導材料開発(MS10木須PM)

# 目指したい社会

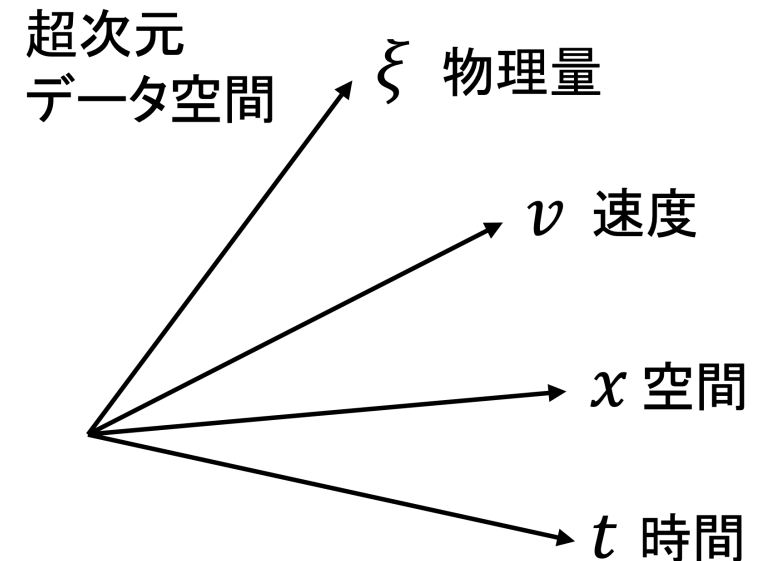
## キーコンセプト(i) 未来予測技術

- ・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

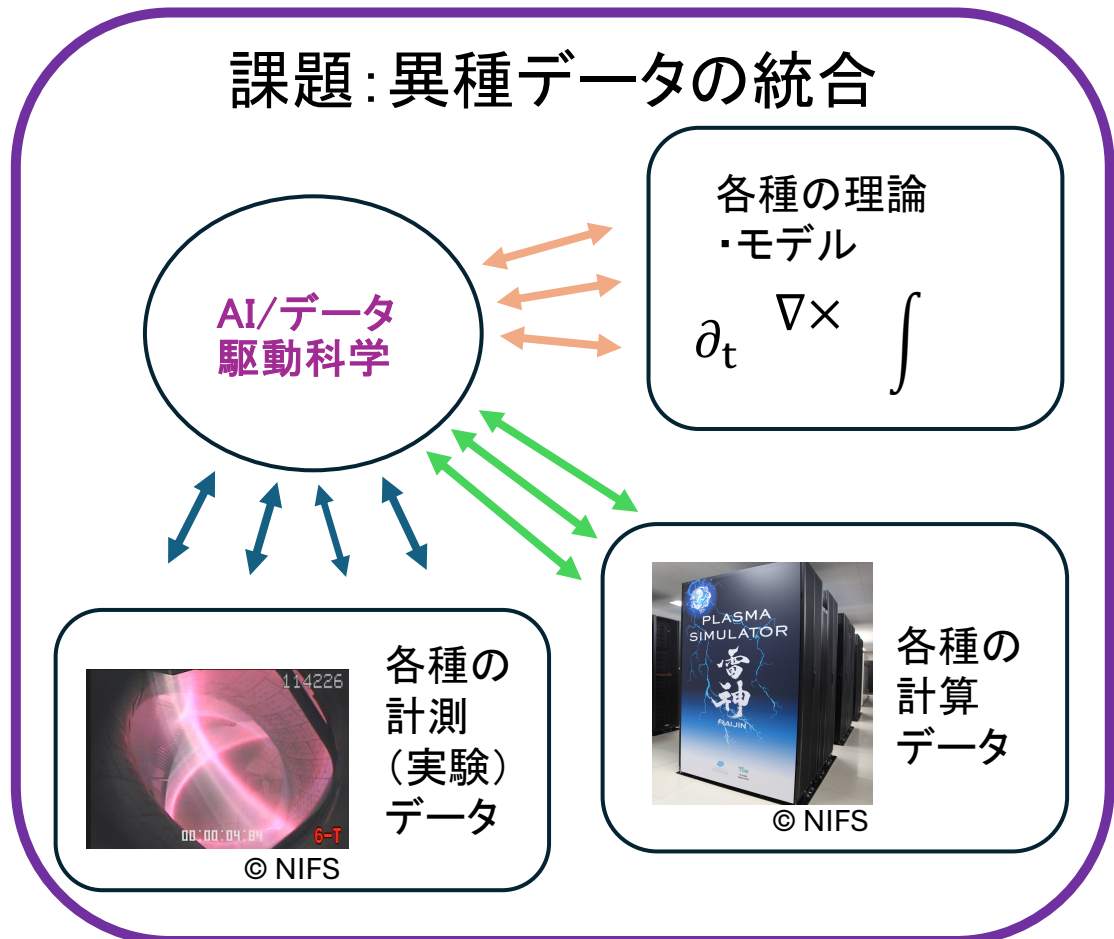
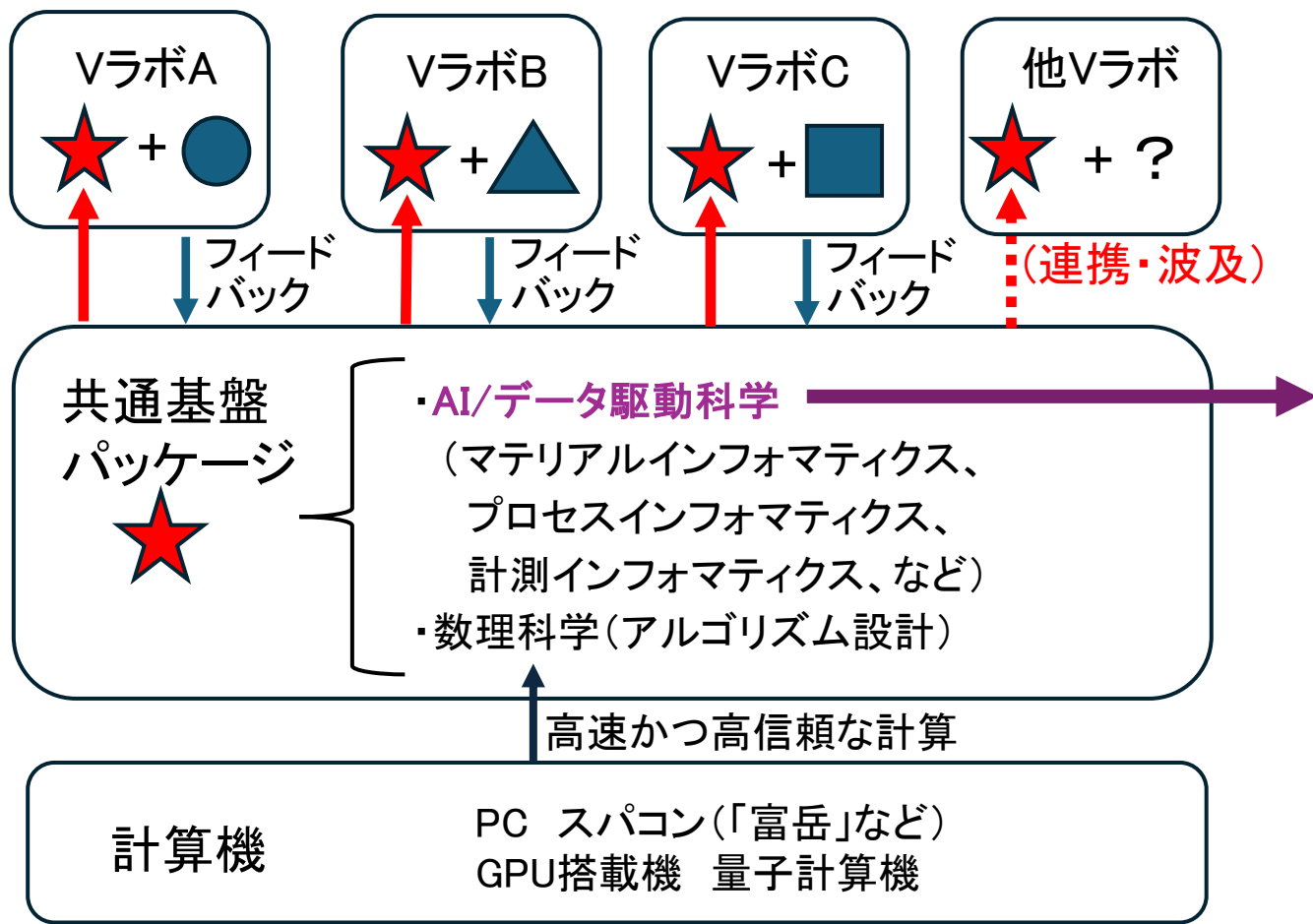
- ・超次元データ空間(時間軸・空間軸・速度軸・物理量軸などの異種座標軸からなるデータ空間)で、状態(プラズマなど)や装置の複雑性を表現し、工学応用に結びつける。



# 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。

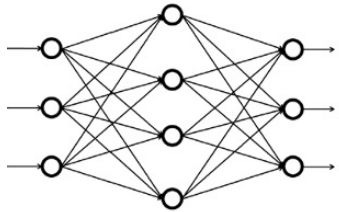
- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設



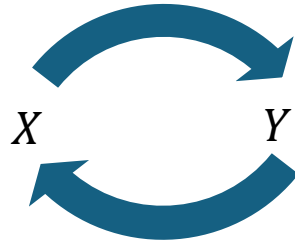
# 補足: AI/データ駆動科学手法の汎用性

## 数理的アイデアの例

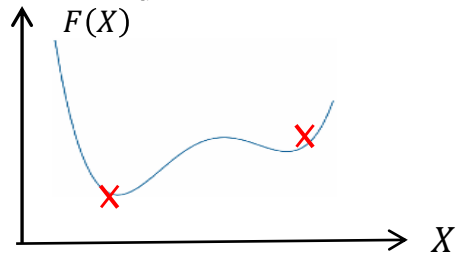
### 機械学習



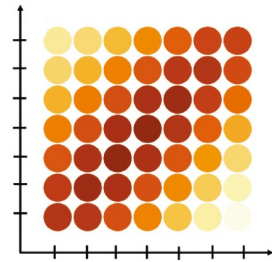
### 逆問題解析



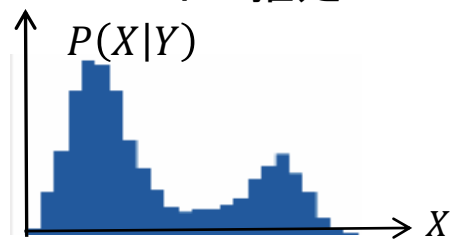
### 最適化



### 次元削減



### ベイズ推定



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・制御

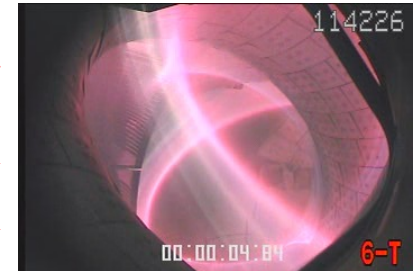
ロボット実験

大半は、フュージョン  
エネルギー分野と共有可



計算

© NIFS



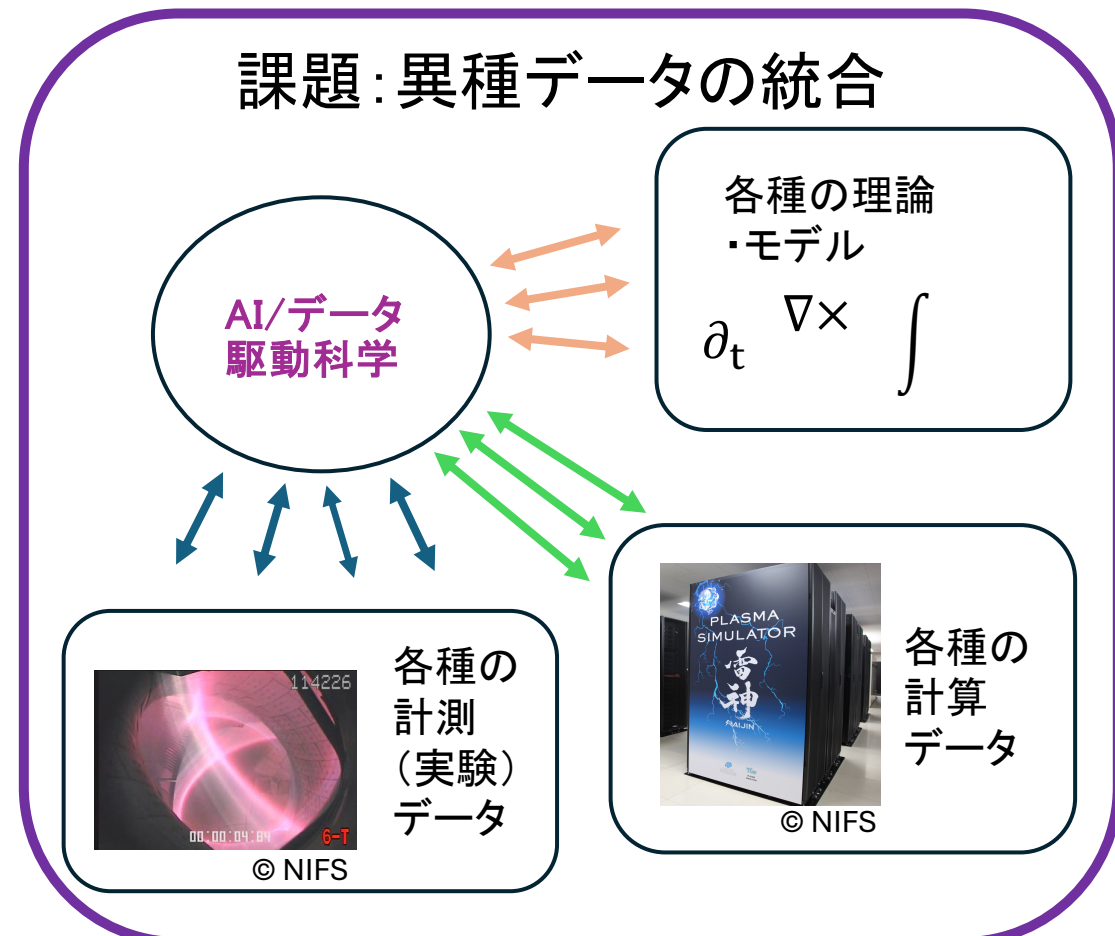
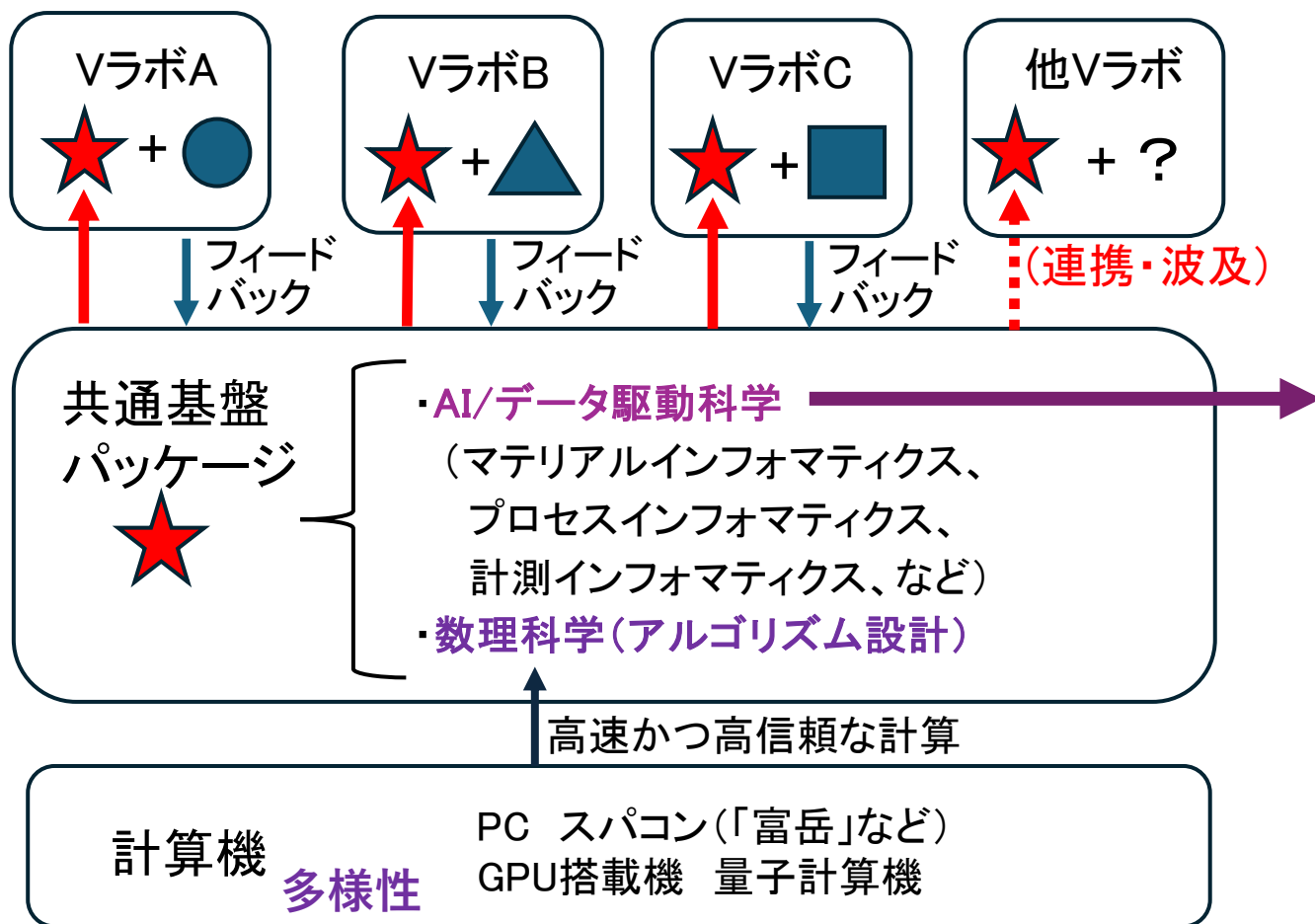
実験  
・計測

© 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。

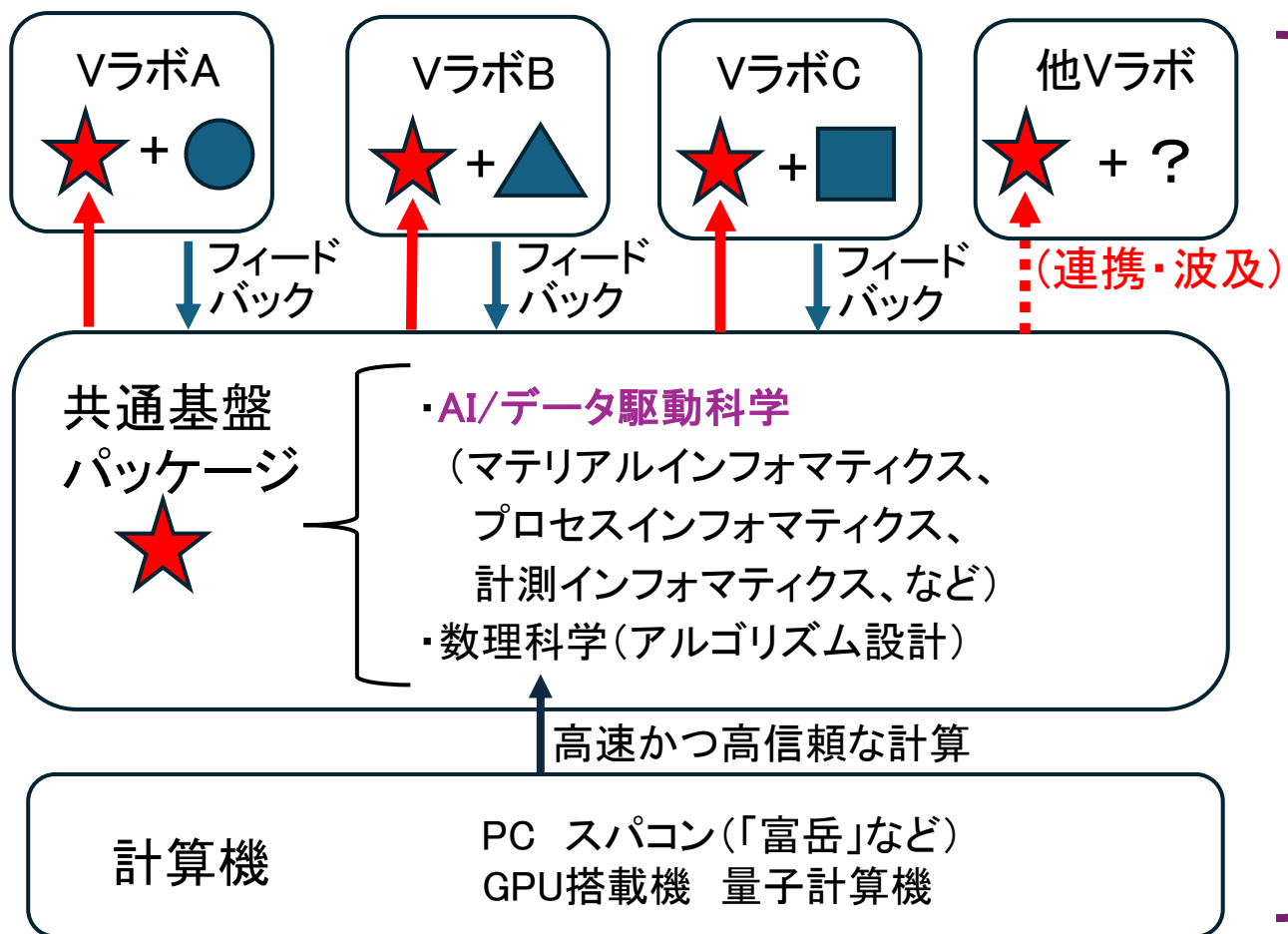
- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設



# プロジェクト:総論

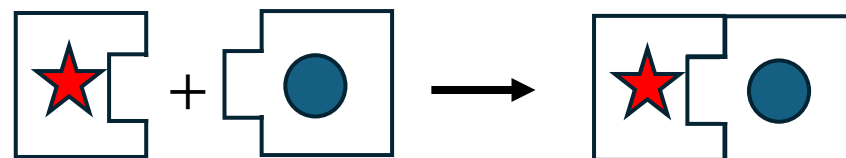
3種バーチャルラボラトリ(Vラボ)を先行成功例として、社会実装する。

- ・ 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

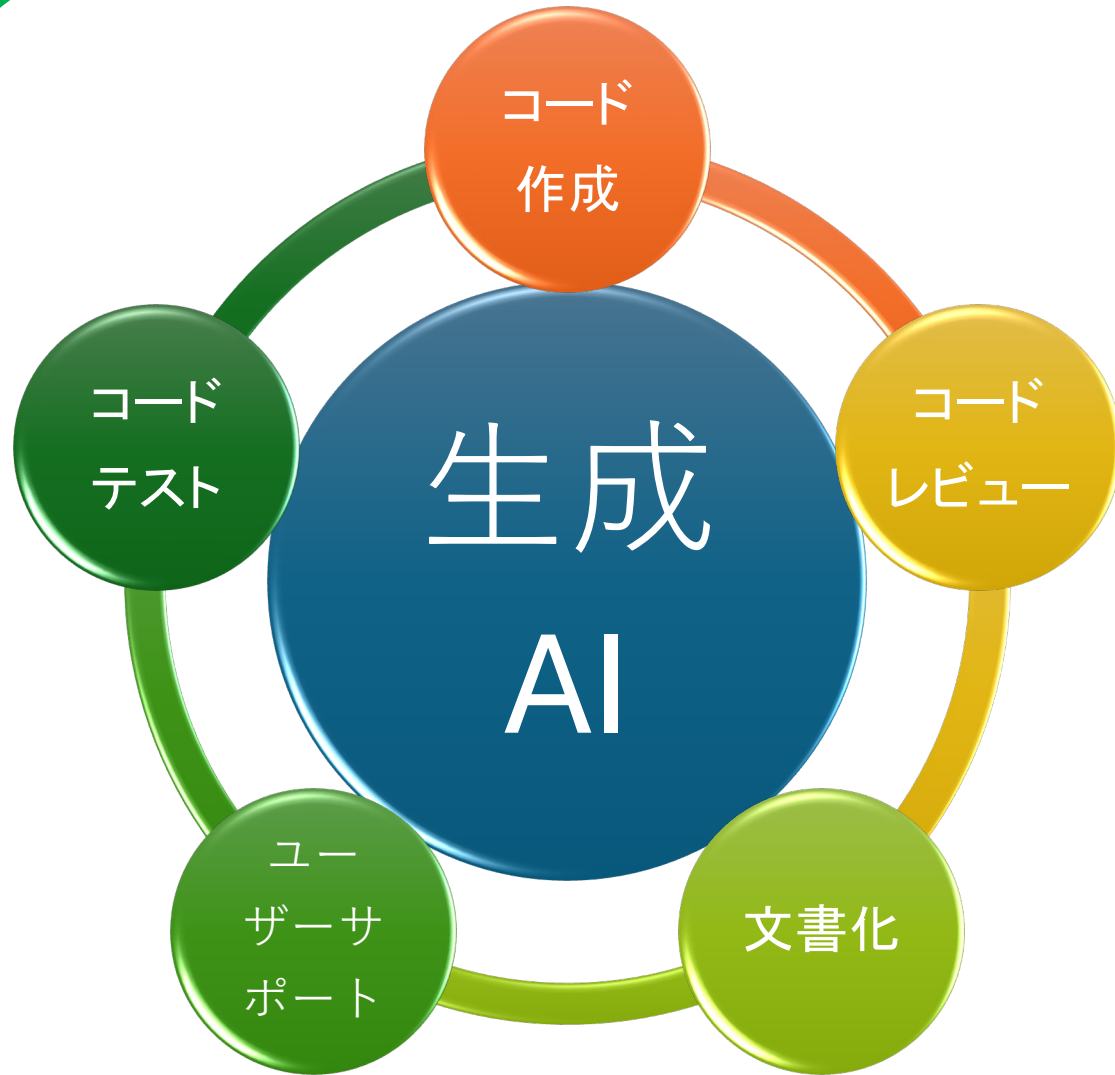
(3) 産業展開への方策  
(クラウドサービス化など)

(4) 信頼性のあるデータ連携(次ページ)

# プロジェクト:総論

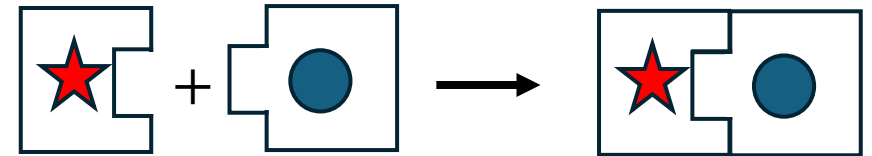
社会実装する。

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)

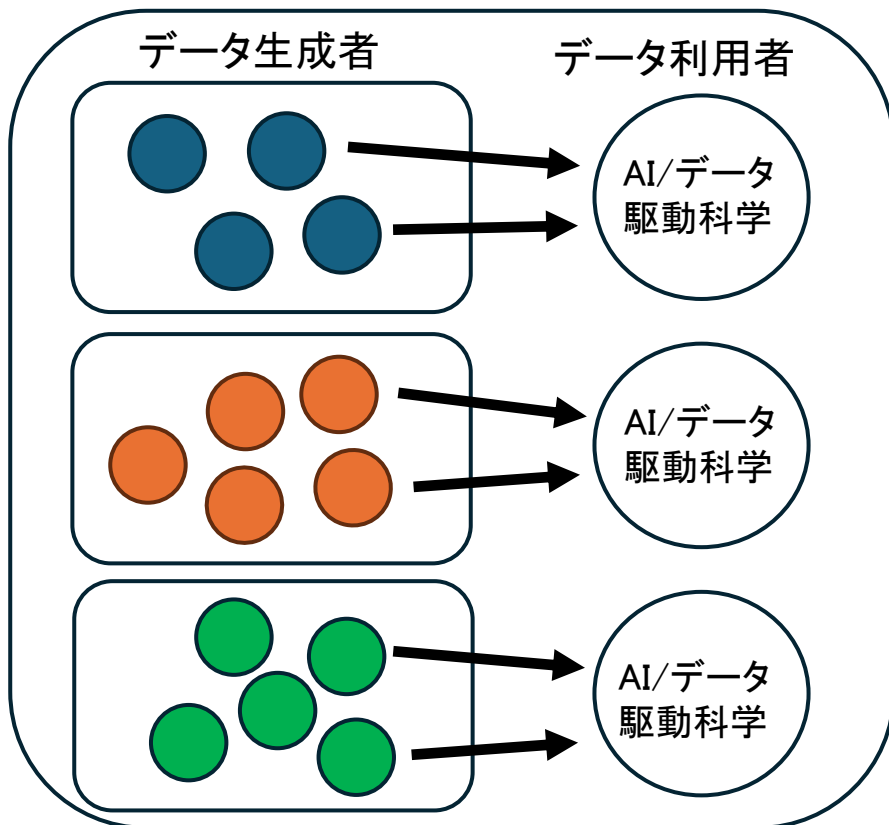
(4) 信頼性のあるデータ連携(次ページ)



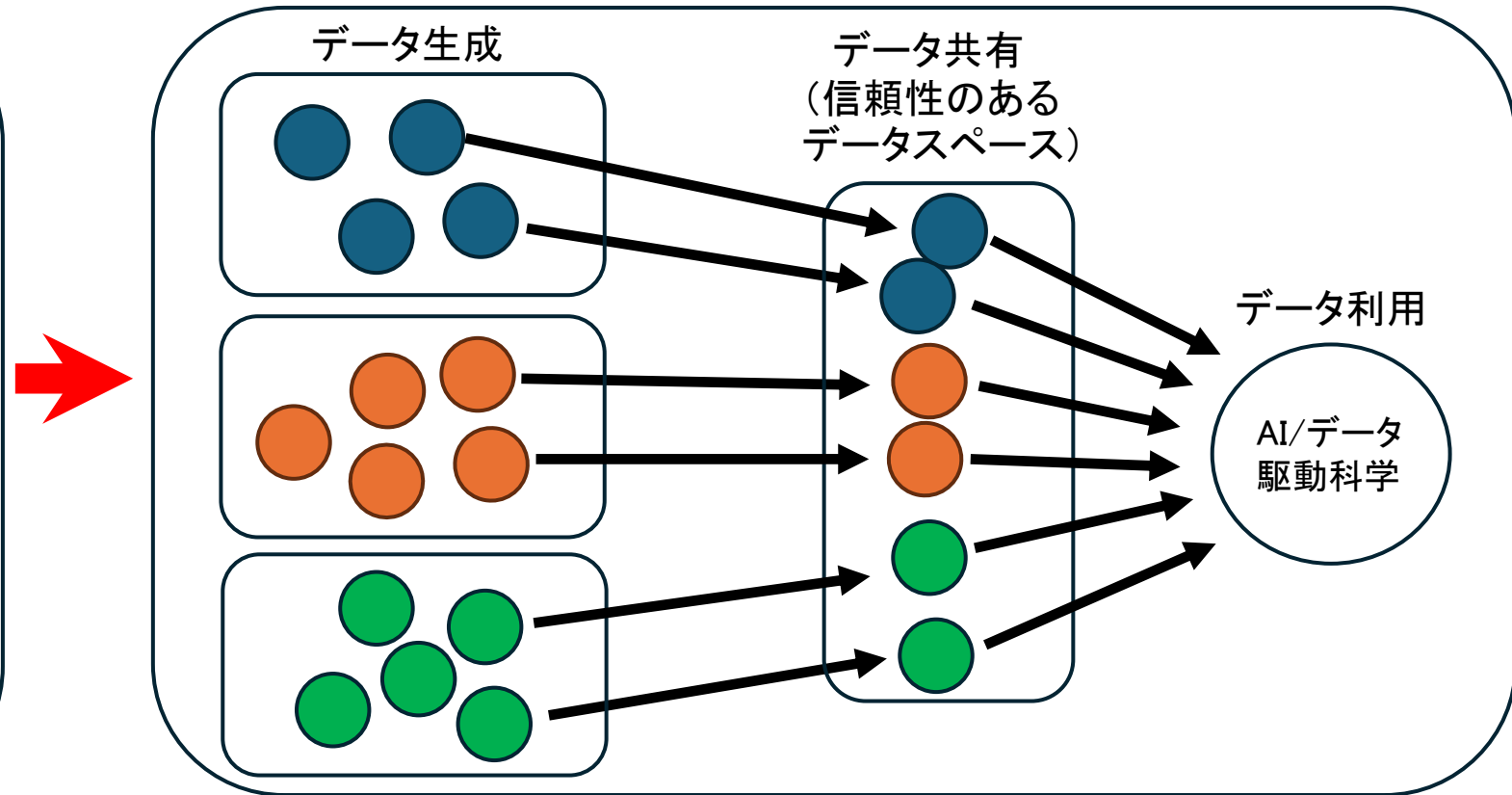
# 「AI×データ」戦略 ～データ生成・共有・活用の一貫的戦略～

- ・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

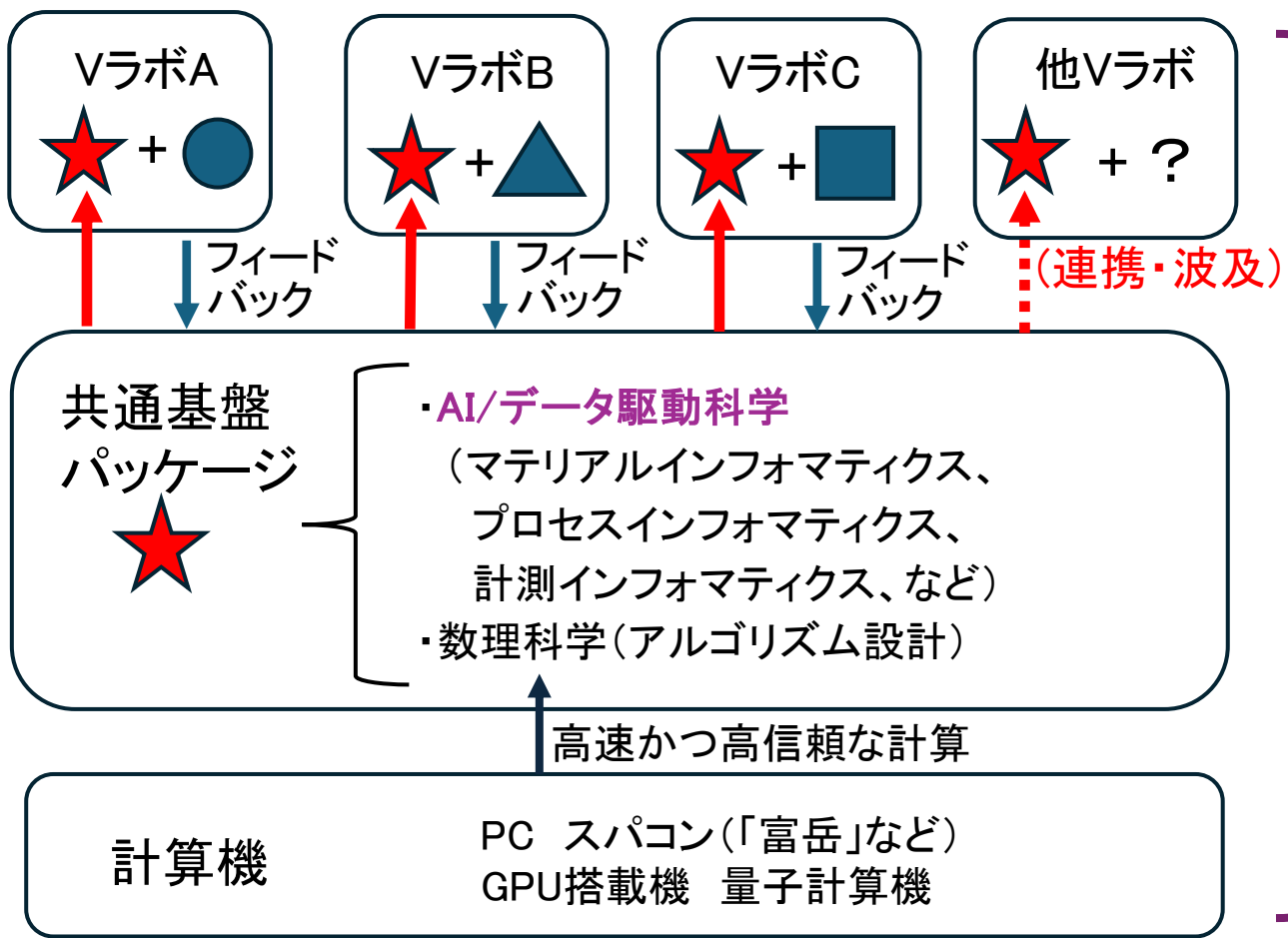


# プロジェクト:総論

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

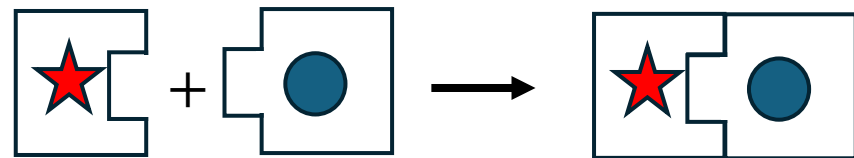
- ・ VラボA: 磁場閉じ込め型フュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボB: 磁場閉じ込め型以外のフュージョンエネルギーシステム
- ・ VラボC: 中性子照射などの材料実験施設

(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)



## 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)

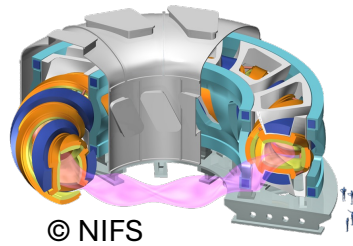
(4) 信頼性のあるデータ連携(次ページ)

# 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。

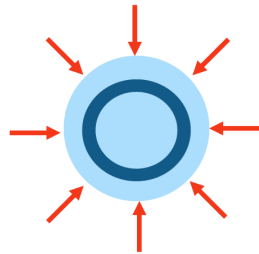
## VラボA, B:フュージョンエネルギーシステム

磁場閉じ込め型



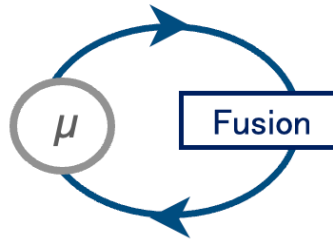
概念図例

慣性型  
(レーザー型)



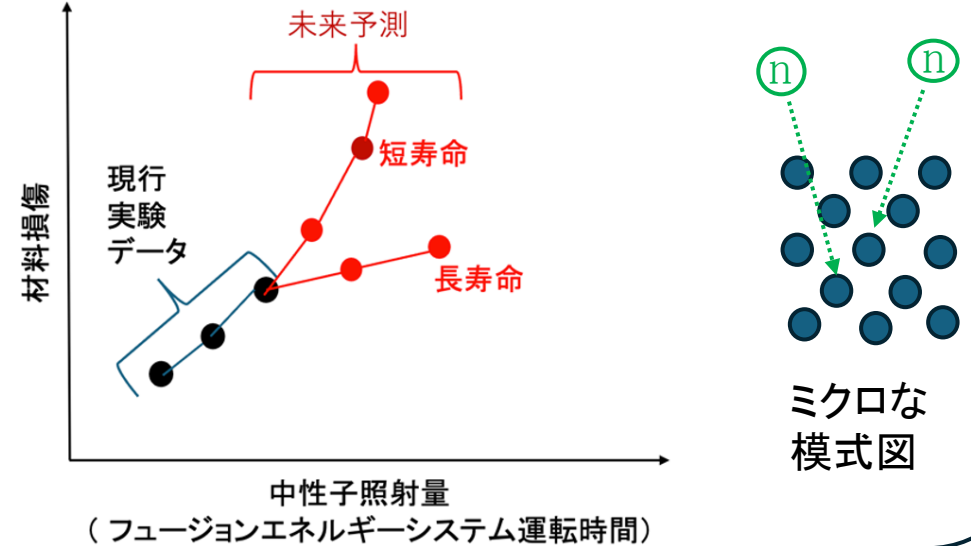
模式図

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

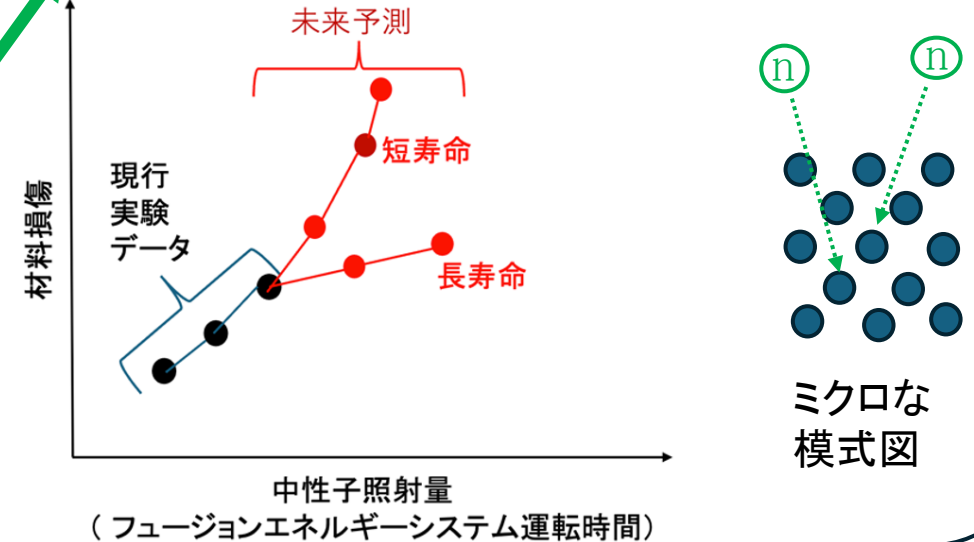
慣性型  
(レーザー型)

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、これこ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)

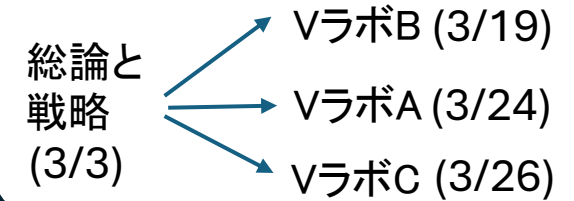
木須PM+星PM (マテリアルインフォマティクス、プロセスインフォマティクス)

# 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)

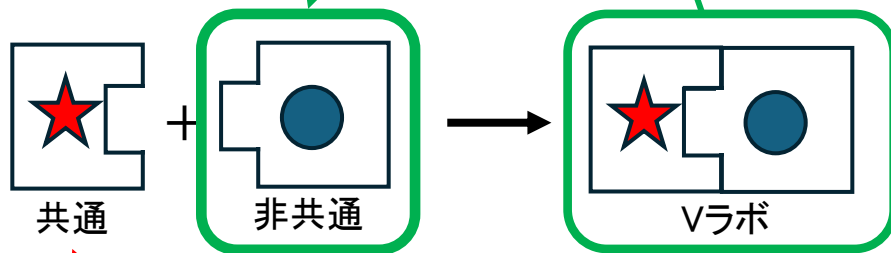
3月24日 磁場閉じ込め型FESに関するバーチャルラボラトリ(VラボA)

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。

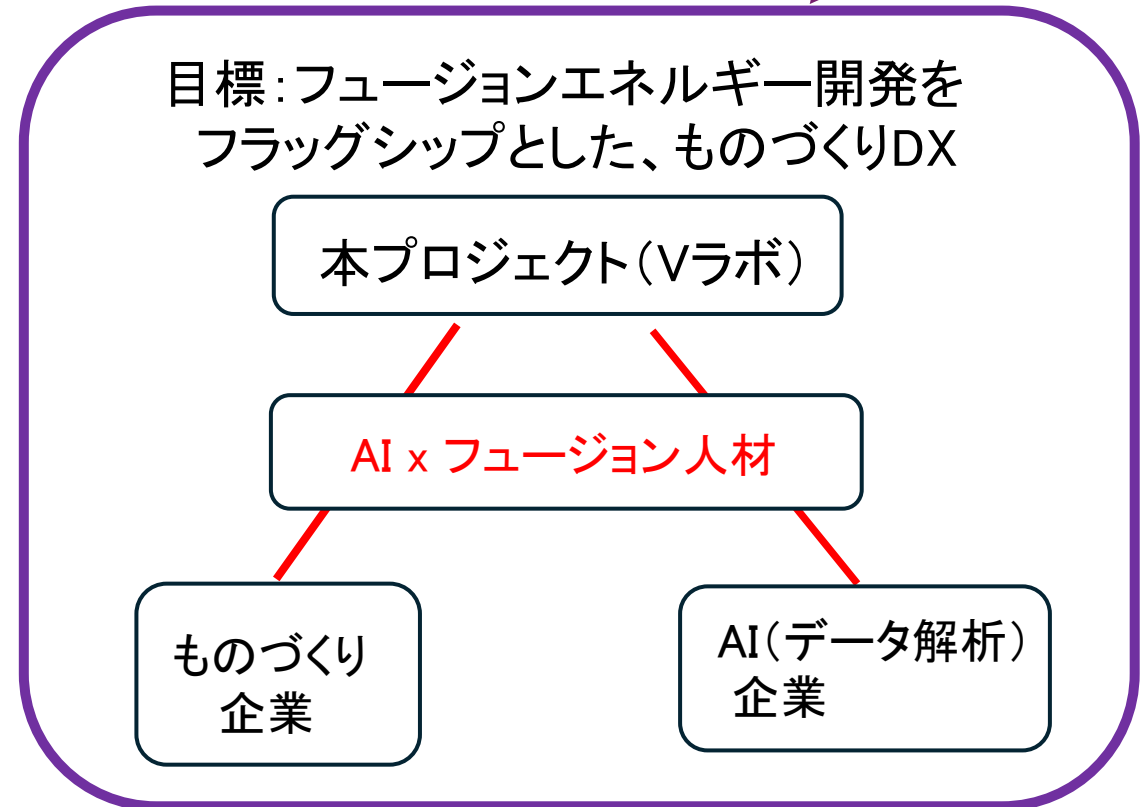
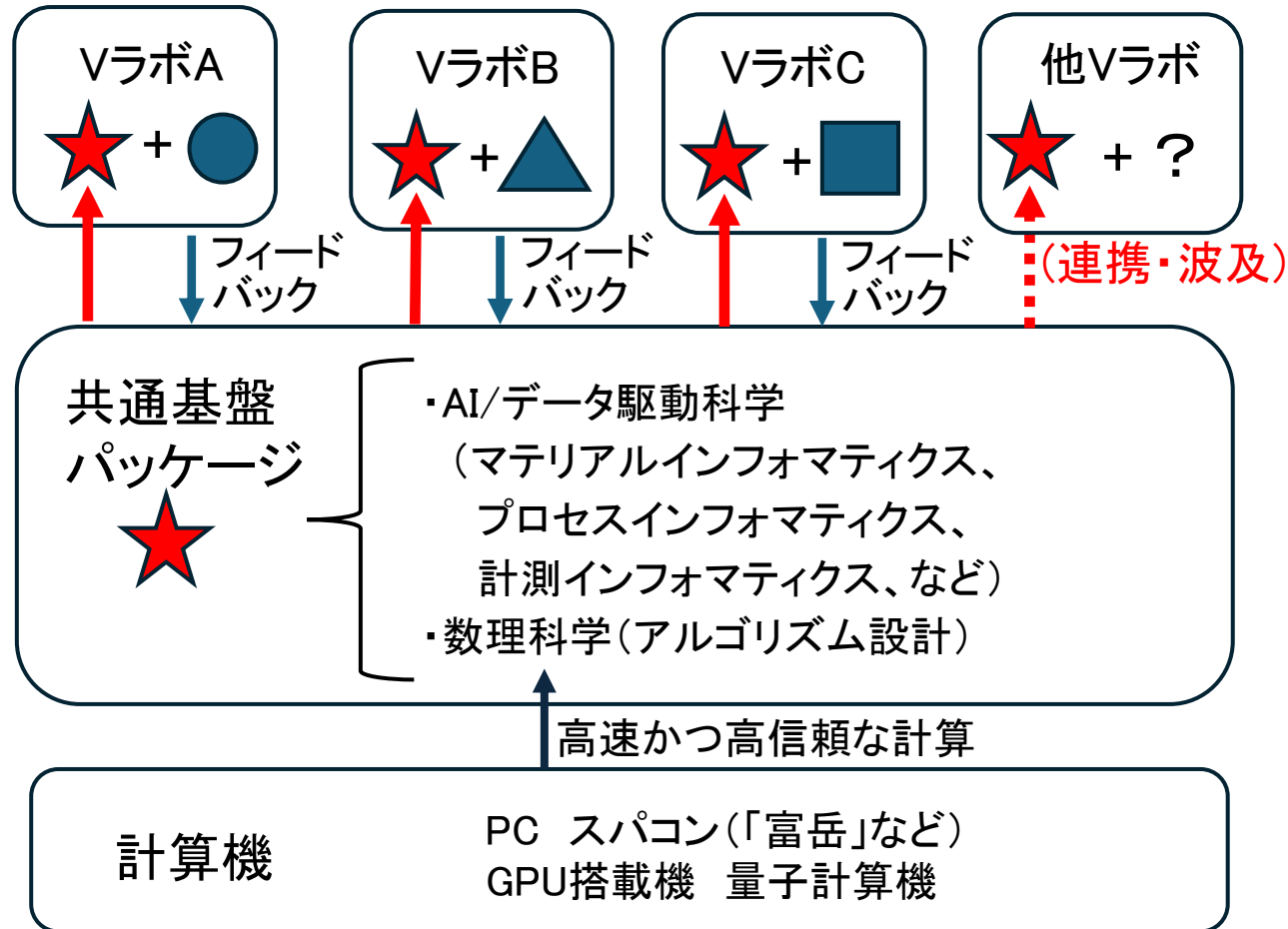
別途、共通基盤担当PI(2025年4月1日段階で7名)が、ニーズに合わせて開発

# 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。