

HPC技術ロードマップ (第二版 Rev.1)

2026年5月

スーパーコンピューティング技術産業応用協議会

(産応協/ICSCP)

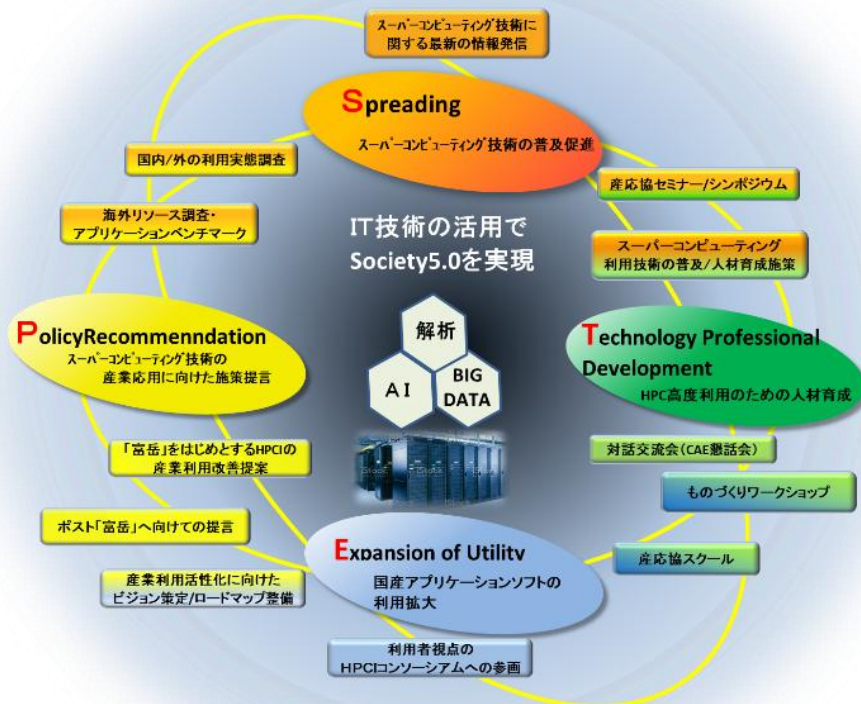
HPCロードマップWG

本資料は、2023年5月に公開した「HPC技術ロードマップ(初版)」に対して、AIや量子などの技術に関する記述の追加や、テーマの追加・削除などを行った「HPC技術ロードマップ(第二版)」である。2025年度改訂により、第二版 Rev.1 とした。

- 産応協について
- 将来のHPC利用イメージ
- シミュレーションの現状と将来
 - 材料・化学分野
 - 建設分野
 - 機械分野

産業界におけるスーパーコンピューティング技術の 利活用促進を目的に2005年に設立

＜活動内容＞



【2026年4月現在】
正会員：12社
賛助会員：3社・1団体
協力会員：1社
登録会員：914名

正会員

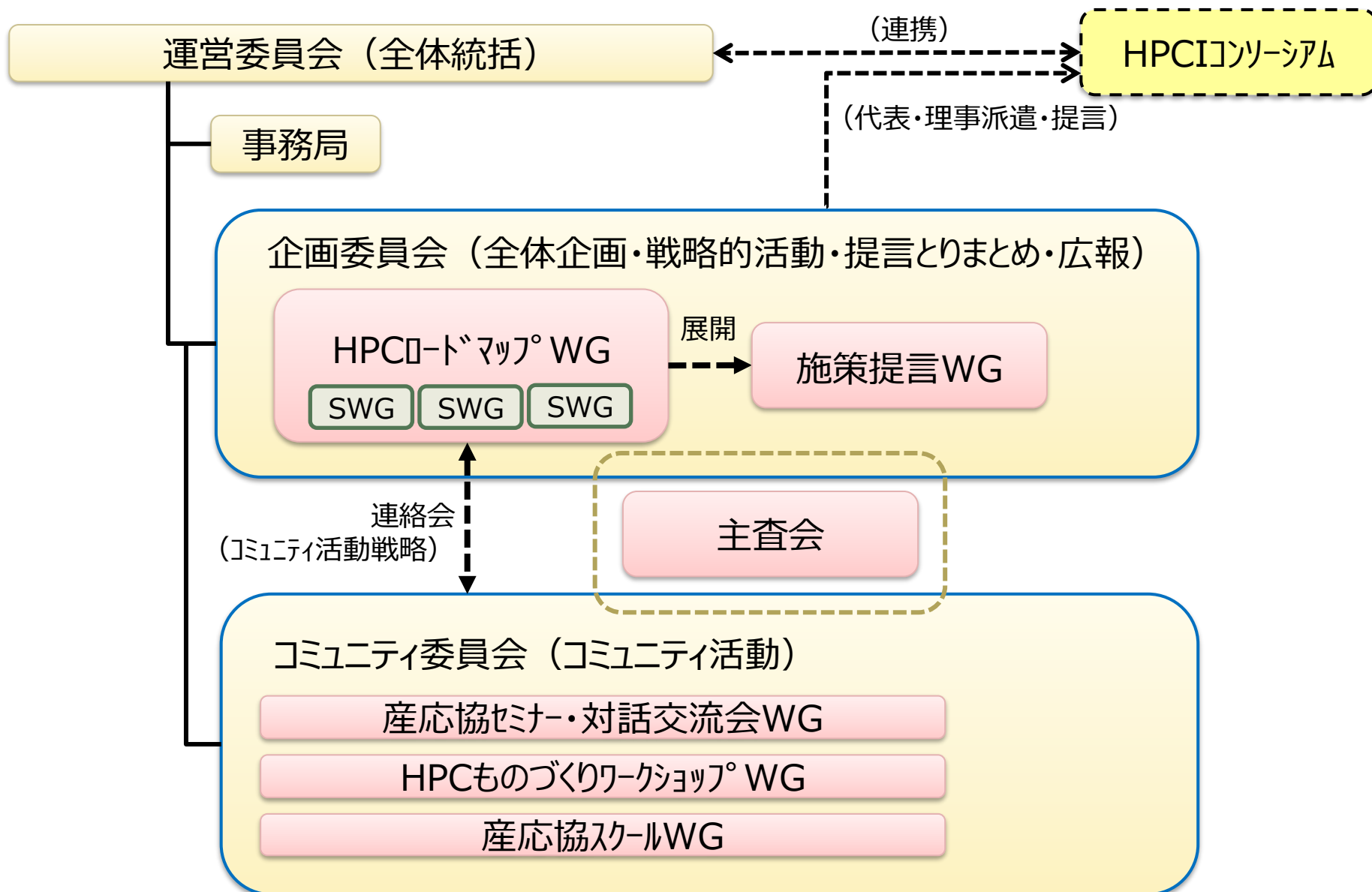
(株)IHI	鹿島建設(株)	川崎重工業(株)	清水建設(株)
ダイキン工業(株)	(株)竹中工務店	(株)東芝	東レ(株)
日本電気(株)	(株)日立製作所	富士通(株)	みずほリサーチ &テクノロジーズ(株)

準会員(賛助会員)

(特定非営利) CAE懇話会	(公財)鉄道総合 技術研究所	三菱ケミカル(株)	三菱電機(株)
-------------------	-------------------	-----------	---------

準会員(協力会員)

(株)大和システム エンジニア			
--------------------	--	--	--



■ 広報・提言活動 (HPCIの運用改善、利用環境整備等に向け、産業界からの提言を発信)

- ◆ 産応協からの提言「H P C I の産業利活用促進に向けて (I)」〔2017/5/14～〕
 - <2016年度活動まとめ> / <2017年度活動まとめ>
- ◆ 文部科学省研究振興局長への提言手交
 - ポスト「京」の着実な推進を望む (提言) 〔2018/3/27〕
 - ポスト「京」の着実な推進および移行期のHPCI産業利用について (提言) 〔2018/7/26〕
 - ポスト「京」を初めとするHPCIの産業利用と利用支援について(提言) 〔2019/6/12〕
 - 「富岳」を初めとするHPCIの産業利用と利用支援について (提言) 〔2020/7/6〕
 - 「富岳」を初めとするHPCIの産業利用と利用支援について (提言) 〔2021/6/29〕
 - 「富岳」をはじめとするHPCIの産業利用と利用支援について (提言) 〔2022/6/28〕
 - 「富岳」をはじめとする HPCI の産業利用と利用支援について (提言) 〔2023/7/12〕

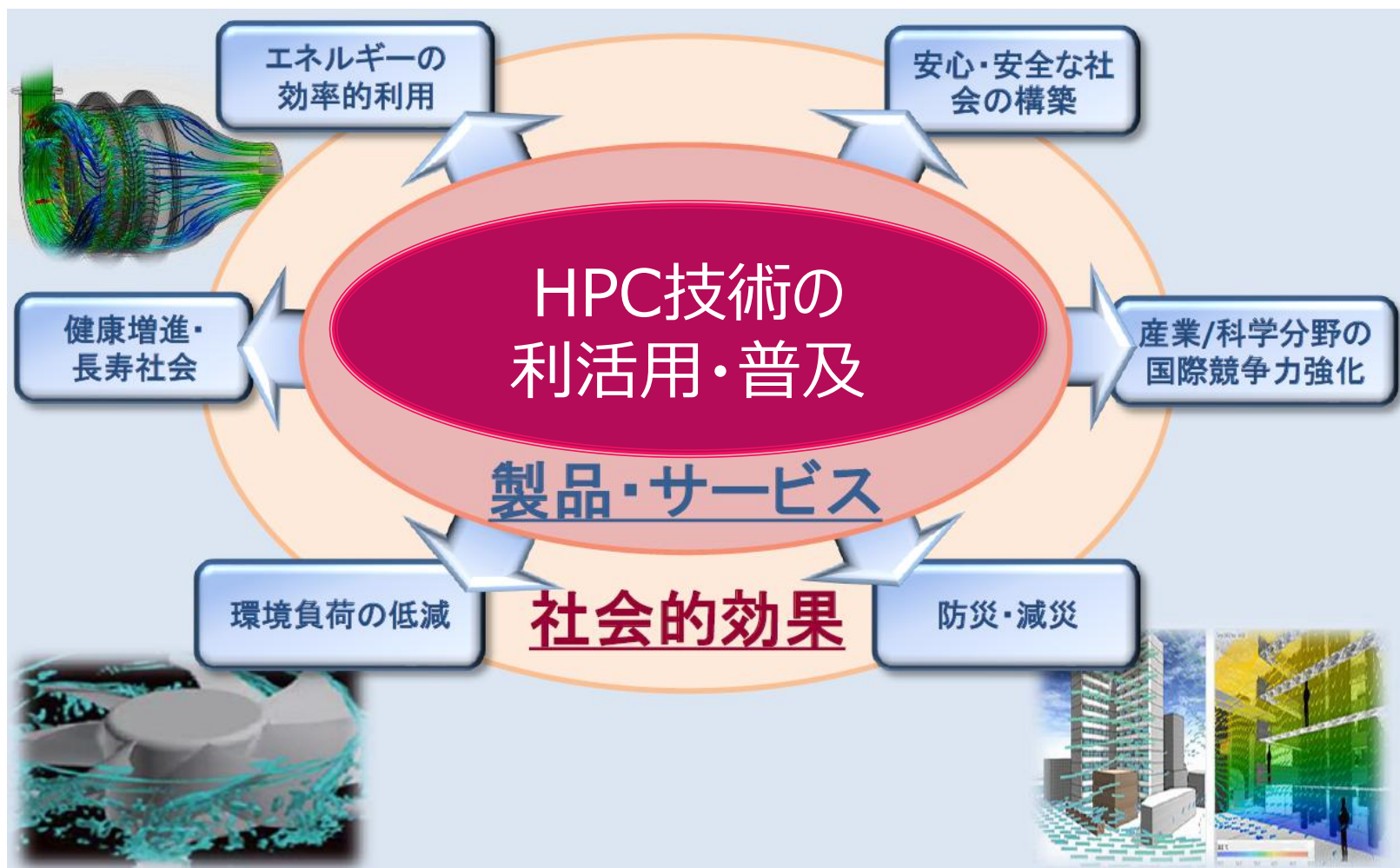
■ 産業シミュレーション・ロードマップ (2018/5に初版完成)

- ◆ HPCシミュレーションに関する海外動向調査報告〔2017/12/11〕
- ◆ 産業シミュレーション・ロードマップ〔2018/12/19の第11回産応協シンポジウムにて発表〕
- ◆ 産業シミュレーション・ロードマップ第二版〔2021年7月1日公開〕
- ◆ HPC技術ロードマップ (初版) 〔2023年5月26日公開〕
- ◆ HPC技術ロードマップ (第二版) 〔2024年5月28日公開〕

■ コミュニティ活動 (アカデミアと連携し、産業界の人材育成、HPCの普及・啓発等に貢献)

産応協コミュニティ活動の実績	初回	開催回数	延べ参加者数
シンポジウム	2005年	19	3217
産応協セミナー (旧スパコンセミナー)	2006年	57	3352
産応協スクール (旧産業利用スクール)	2009年	35	566
ものづくりワークショップ	2013年	20	477
中小企業技術交流会(対話交流会)	2014年	12	888

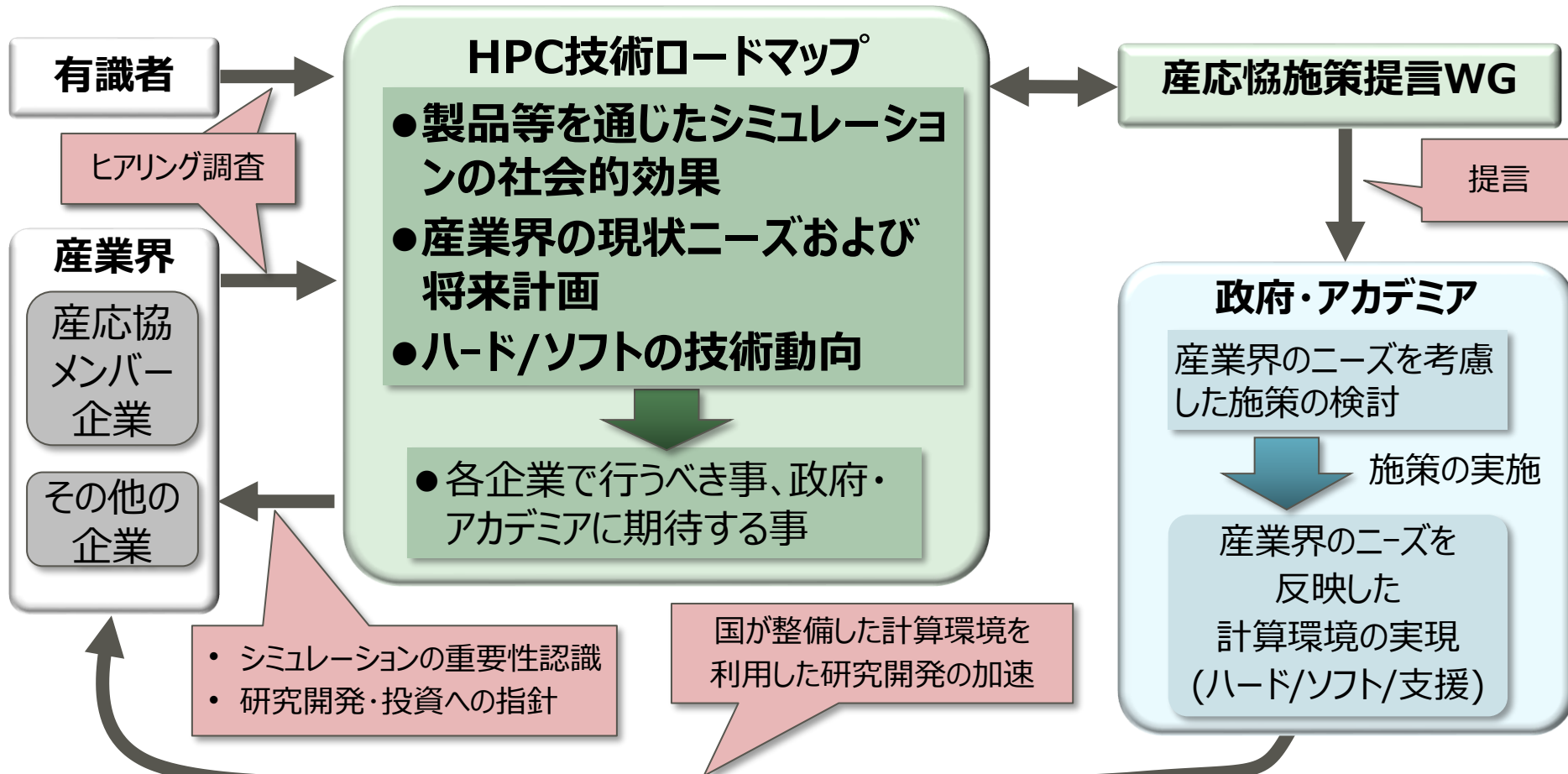
HPC技術*を活用し、人と地球との共生を図り、サステナブルな社会を目指す



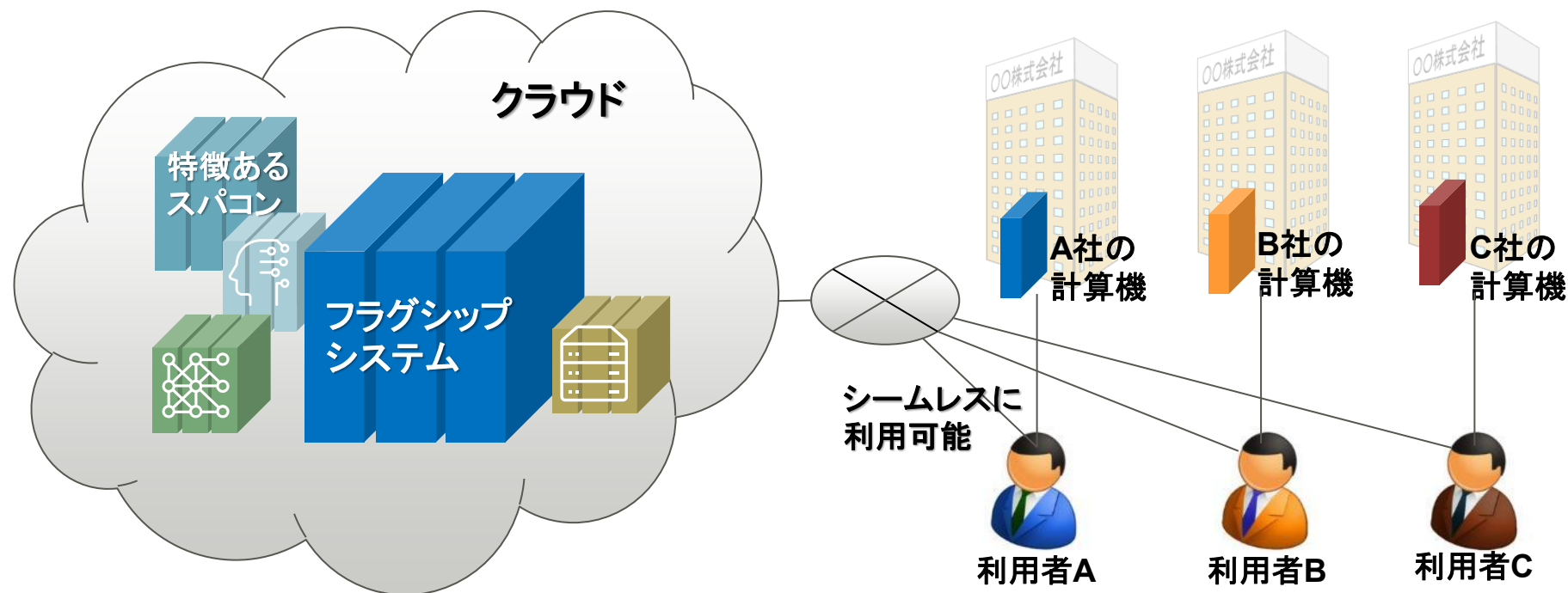
* HPC技術：従来からのシミュレーション技術に加え、データサイエンス、AI、量子コンピューティング等の新技術も含めたものとして定義する

HPC技術ロードマップの検討

- 2018年に「産業シミュレーション・ロードマップ(初版)」を公開。以降2～3年毎に改訂。
- 産業界が必要な技術テーマを選定。近い将来(5年後程度)、将来(10年後程度)を予測。
- 最新技術動向などについて有識者からのヒアリングを実施。
- 政府・アカデミアに対する提言や、産応協コミュニティ活動のテーマ選定などに活用。



- フラグシップシステムを含めた様々な特徴を持ったスパコンを各利用者の用途に合わせて組み合わせて利用する形態になる。
- 研究開発やプロダクション・ランなど、用途によって利用する計算機は異なるものになるが、シームレス(*)に利用できることが求められる。



(*) ここでは、計算機の違いを意識せずに同一のユーザーインターフェースで利用できることを指す

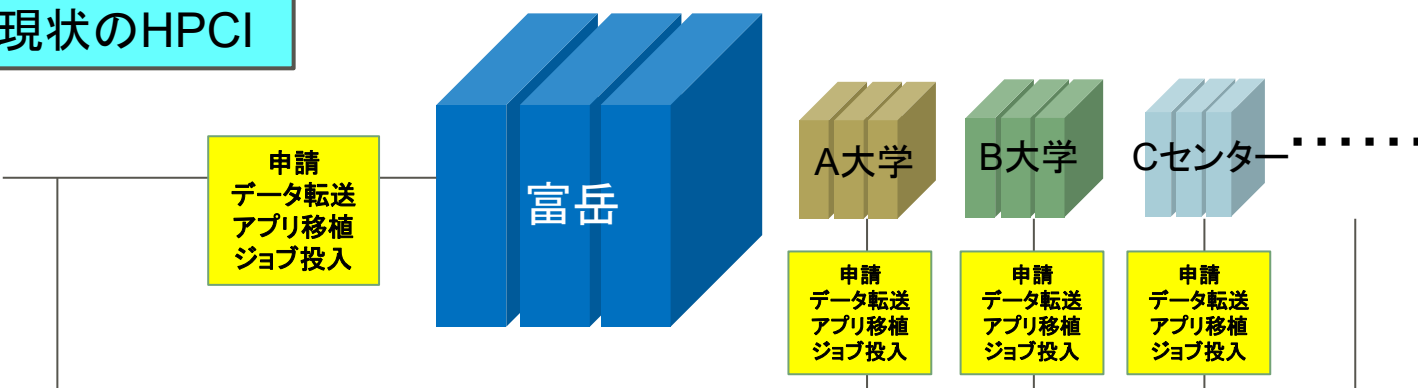
- 現在のHPCIは、富岳および各大学等で異なるアーキテクチャーの計算機システムを個別に運用しており、ユーザは利用目的に応じて個別のシステムを選択して利用申請⇒ID発行⇒データ転送⇒アプリ移植⇒ジョブ投入⇒データ取り出し、等を行う必要がある。
- 各計算機システムでは性能を出すためのチューニング、各システム毎の利用方法習得、データ変換等を、それぞれ個別に行う必要がある。
- 特徴を持ったスパコンを組み合わせて利用する形態となる将来のHPC環境に期待するユーザビリティとして、AI技術等を活用することによって各ユーザがシステムの違いを意識せず、最適な計算機システムの選択や最短のTAT(Turn Around Time)を得られるような使い勝手が実現されることが望ましい。
- さらにHPCI内だけでなく、自社計算機システムや商用クラウドも含めてユーザがシームレスに利用できる環境の実現が期待される。
- 最終的には計算機システムだけでなく、AIエージェントによってシミュレーション自体がシームレスに実行できるようになれば、HPCシミュレーションの民主化が達成される。

将来のHPC環境のユーザビリティへの期待(2)

現状のHPCI



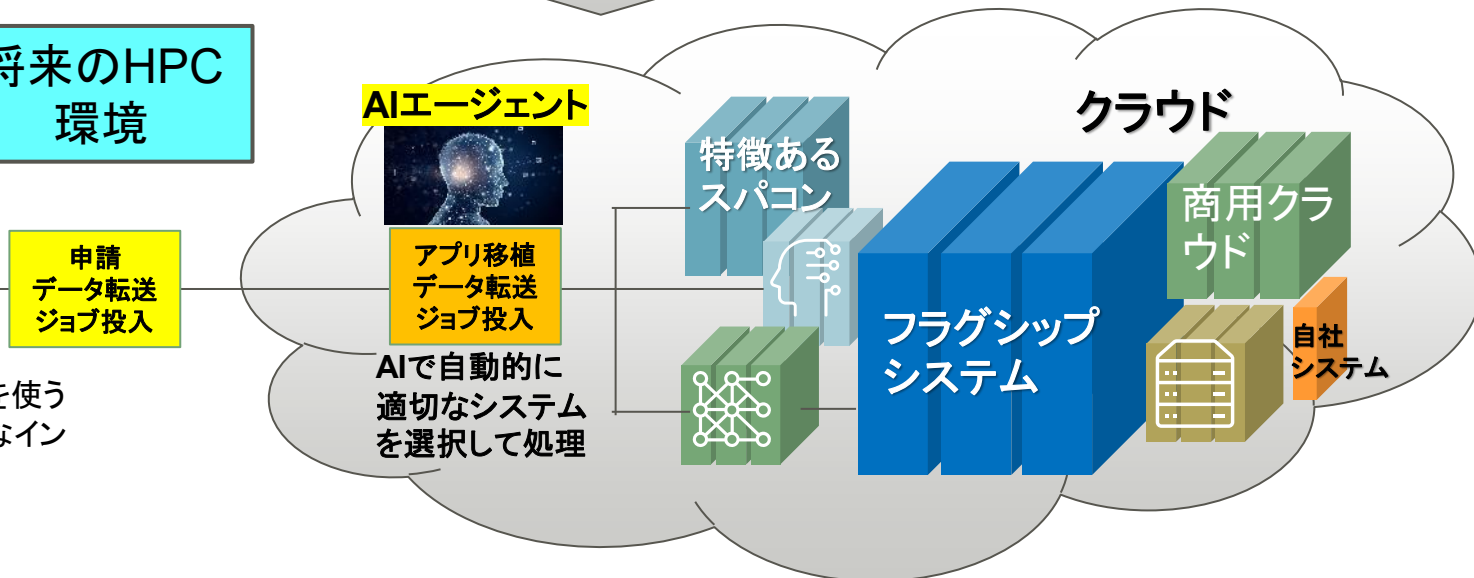
個別のシステム毎に手続き、処理作業等が必要



将来のHPC環境



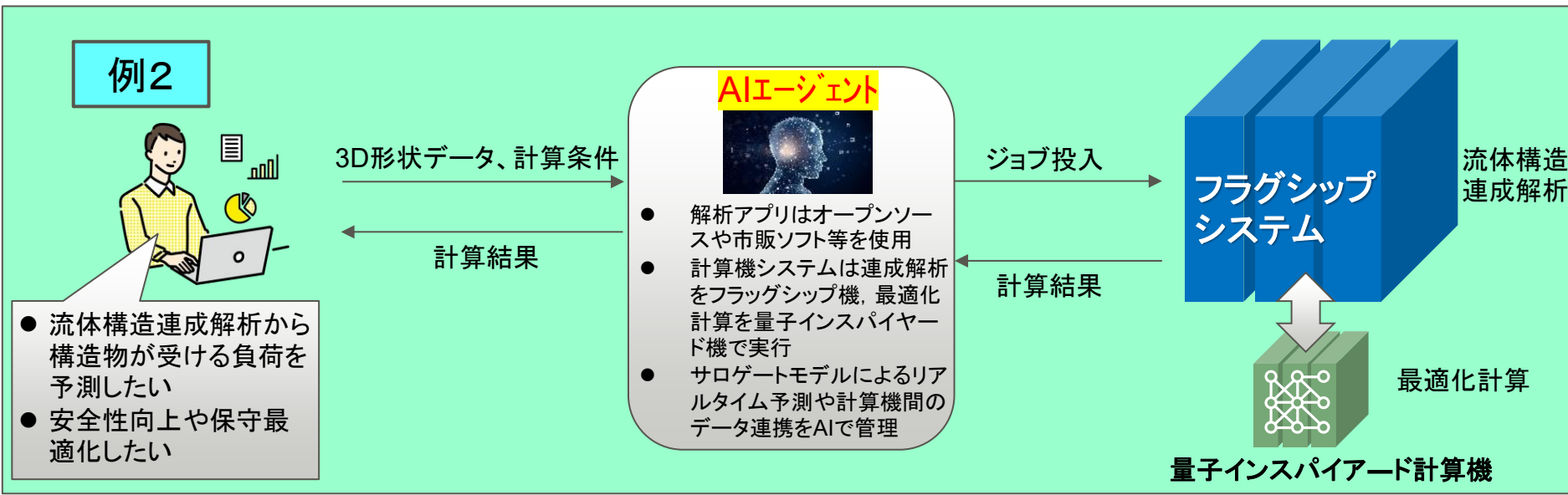
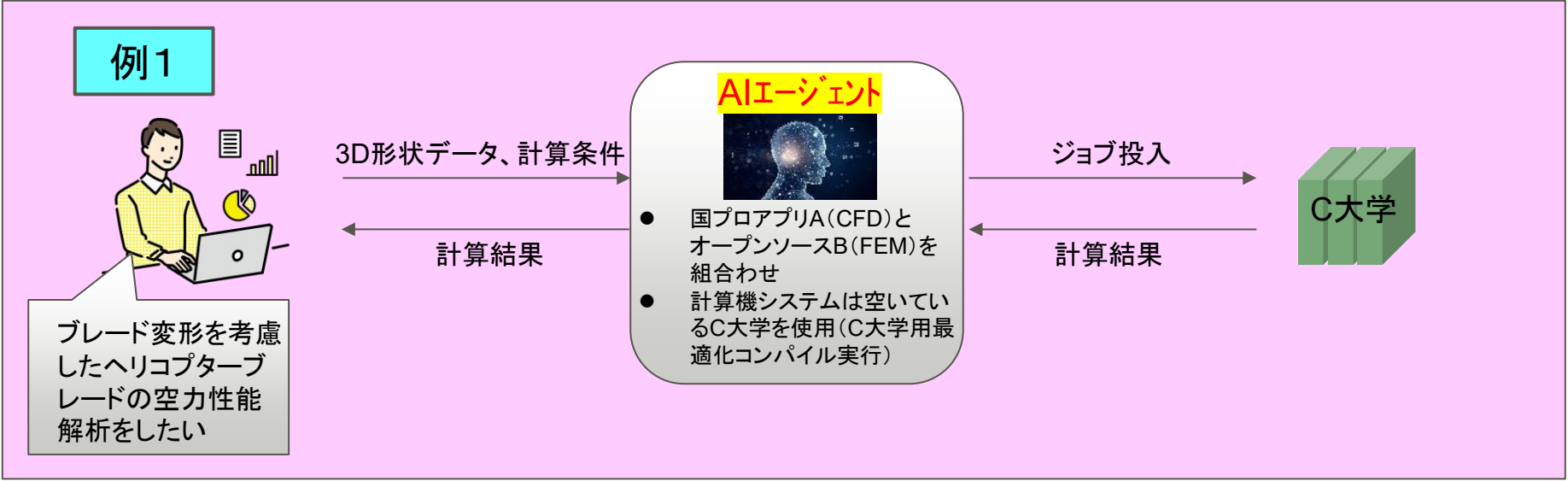
ユーザはどのシステムを使うかを意識せず、統一的なインターフェイスで利用可能



AI活用による高度シミュレーション自動化への期待(1) ICSCP

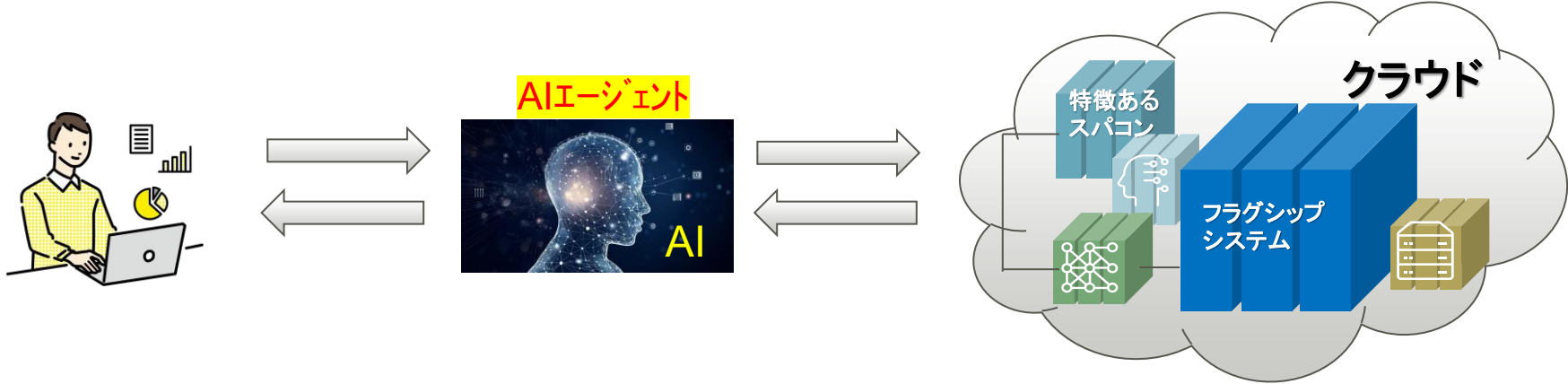
- 将来のHPC環境の理想像の一つとして、ユーザが要求する複雑なシミュレーションを実行するための環境(適切なアプリ・計算機システムの選択・組合せ)をAIが自動的に構築し、最適なアウトプットを得ることが可能となることがHPCの利用拡大には有用である。
- 具体的にはAI for Scienceによる科学研究の革新が進み、AIエージェントがユーザーの目的・要求に応じて、最適な計算資源・アプリケーション・データ管理を自動的に選択・構築し、シームレスなHPC利用体験を実現する。今後は、AIエージェントがユーザーとの対話を通じてシミュレーション条件の最適化や結果解釈、意思決定支援まで担うことが期待される。
- ただし、このような自動化(ブラックボックス化)は、全体的な技術レベル低下にもつながるため、慎重な議論が必要。

AI活用による高度シミュレーション自動化への期待(2) ICSCP

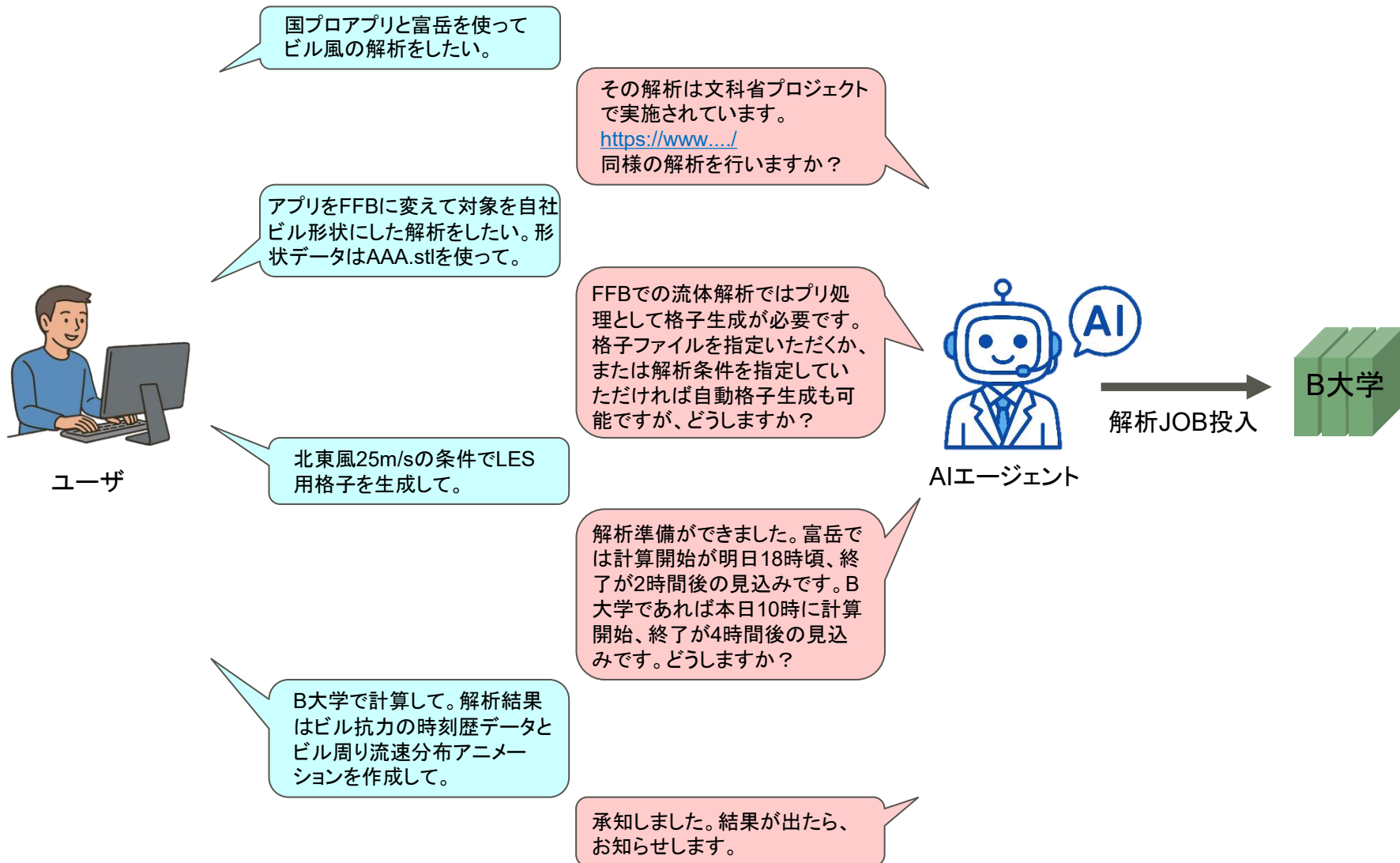


AI活用によるユーザビリティ変革への期待

	事前準備	プリ処理	解析実行	ポスト処理	結果検証	成果報告
現状	過去の実績・経験等を基に、解析モデル・解析条件等を設定する	必要な範囲でデータを取りそろえ、解析に必要な入力ファイルを作成する	アプリが搭載された計算機システムに対し、ジョブ実行スクリプトを用意して、ジョブ投入を行う	計算結果の特性/特徴が分かるようにグラフや図を作成する	ポスト処理結果を基に、解析した内容が要求を満たすものか確認する	解析結果を成果としてまとめ報告
AI活用	過去事例より、解析実施すべき条件を厳選する	解析に必要な入力ファイルを自動作成	適切な計算機システムを選定し、自動でジョブ投入	ユーザ要求に応じて適切な出力を自動作成	解析結果からユーザが要求する評価を自動的に実行	解析結果報告書を自動作成



AI活用の拡大によってシミュレーションの敷居を下げ
産業競争力強化に貢献



シミュレーションの現状と将来

材料・化学分野

- 共通性・重要性が高い、シミュレーションにより課題解決が求められるニーズを分野ごとにピックアップ。必要となる技術、実現に向けた技術的課題と共に、10年程度のスパンでロードマップとしてまとめた
- 実現に向けては、協調領域のソフト技術開発、大規模HPCの利活用が必要

【選定したシミュレーションニーズ:材料化学分野】

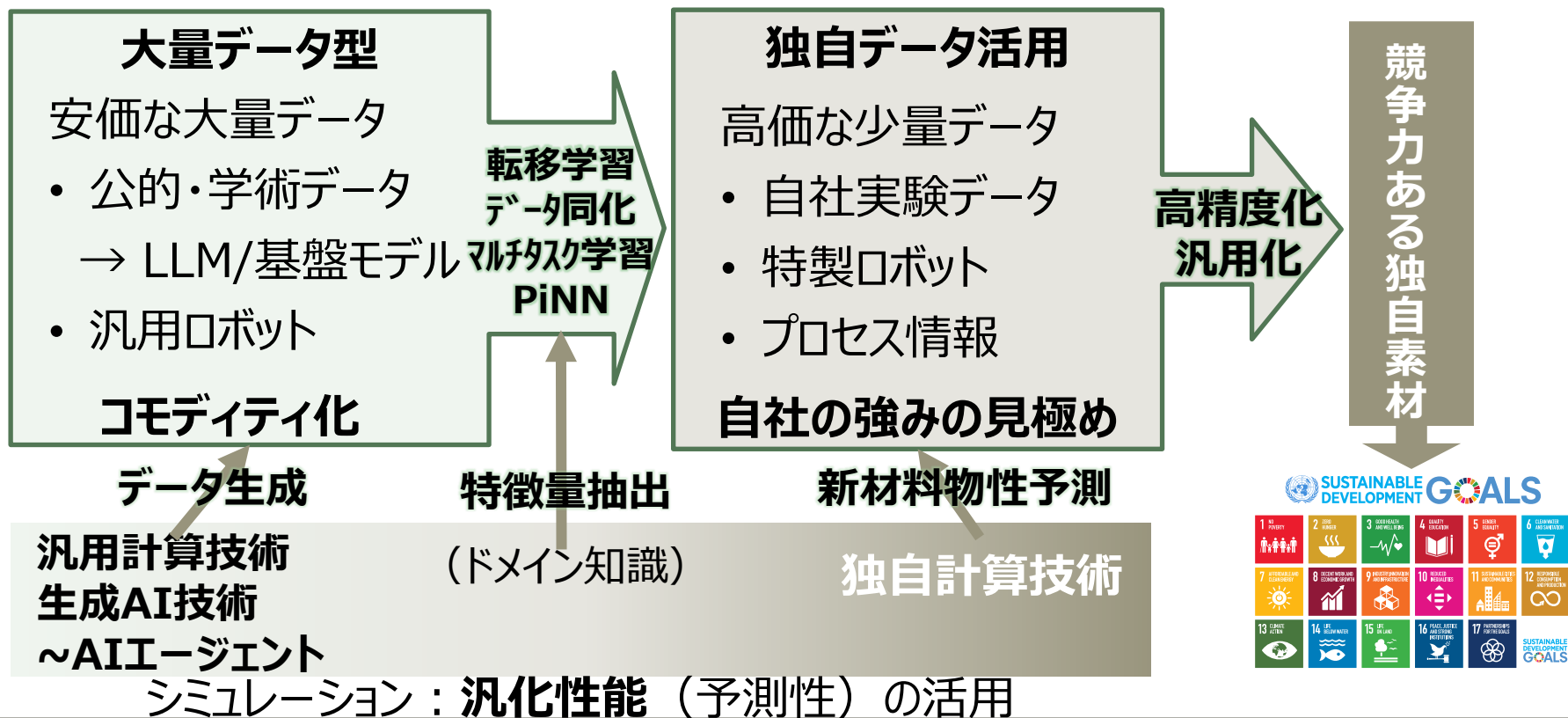
	カテゴリ	シミュレーション対象	適用製品・効果	進捗等(旧版より)
材料・化学分野	数値フラスコ (凝集系化学反応)	触媒反応モデリング	均一系触媒	長期的に取り組むべき課題であり、基本的には継続すべきテーマ。昨今のAI技術発展が著しくキーワード追加(生成AI, LLM, 基盤モデル, AIエージェント, データ同化, マルチタスク学習, PiNN)。一連の定型ジョブ大量計算～解析処理を実現するワークフロー自動化～AI駆動を構築できる環境のニーズ追記。量子コンピューティングも「数値演算能力だけでは解決できない、本質的な技術課題」であり、ロードマップも頻繁に更新されており、実用性に関して産業界として動向フォロー継続する。
		表面界面の反応モデリング	固体触媒、電池関連材料、CVD材料など	
	数値フラスコ (光電機能)	励起状態モデリング	機能性色素、光学材料など	
		有機デバイス材料モデリング	有機LED、有機TFTなど	
	数値押し出し機 (ポリマー材料の構造と物性)	共重合ポリマー・ポリマーブレンドのモルフォロジーモデリング	構造材料用ポリマー、機能性コンパウンド	

LLM (Large Language Model)

PiNN (Physics informed Neural Networks)

- 材料・化学分野ではマテリアルズ・インフォマティクス(MI)からAI駆動へ
 - ◆ AI技術の進歩により、MIが材料設計技術デファクト化、生成AIで探索空間も急速拡大
 - ◆ シミュレーションへの期待は、新材料そのものの予測・解析に限らず、MI物性予測モデルの学習データ源として、ジョブ大量実行・解析処理(ワークフロー自動化~AI駆動)に移りつつある
 - ◆ さらに、自律型ラボ(ロボット)の進歩と合わせて、従来型ラボ/自律型ラボ/高精度シミュレーション/汎用・大量シミュレーションの組合せによる新しい材料設計技術が進展

データ駆動



■ 共通性ならびに重要性の高い凝集系化学反応の“数値フラスコ化”

- ◆ 凝集系化学反応の“数値実験化”を実現⇒産業界の基礎研究・研究基盤の強化
- ◆ 均一触媒、表面・界面反応(不均一触媒、機能薄膜、電池材料等) 将来 (10年程度)

現状

- 化学的洞察に基づいて予め想定した反応経路に沿った遷移状態探索
- 遷移金属の計算精度が不十分
- クラスタや小規模な表面スラブによるモデル化(表面)

- 実験結果の解釈、作業仮説の構築、触媒1次スクリーニング

近い将来 (数年程度)

- レアな副反応まで含めた触媒反応経路探索 (孤立系)
- より現実に近い表面モデル
- 凝集系の自由エネルギー面探索手法の一般化
- DFT汎関数の高精度化

- 対象拡大、副反応までを考慮した非経験的なスクリーニング(ワークフロー自動化)

- 遷移金属を含む凝集系・表面における網羅的な化学反応経路探索の日常的活用
- chemical accuracyを有する反応速度定数の算出

- インフォマティクス技術やCAEと組み合わせ⇒デジタルツイン
- AI駆動型研究
- CN/CE/LCAに関わる現象(分解・劣化)のシミュレーション

大量計算～シミュレーションDB構築(機械学習/AIとの融合)、新方法論開発

産業界における
日常的な活用
レベル

重点課題との連携

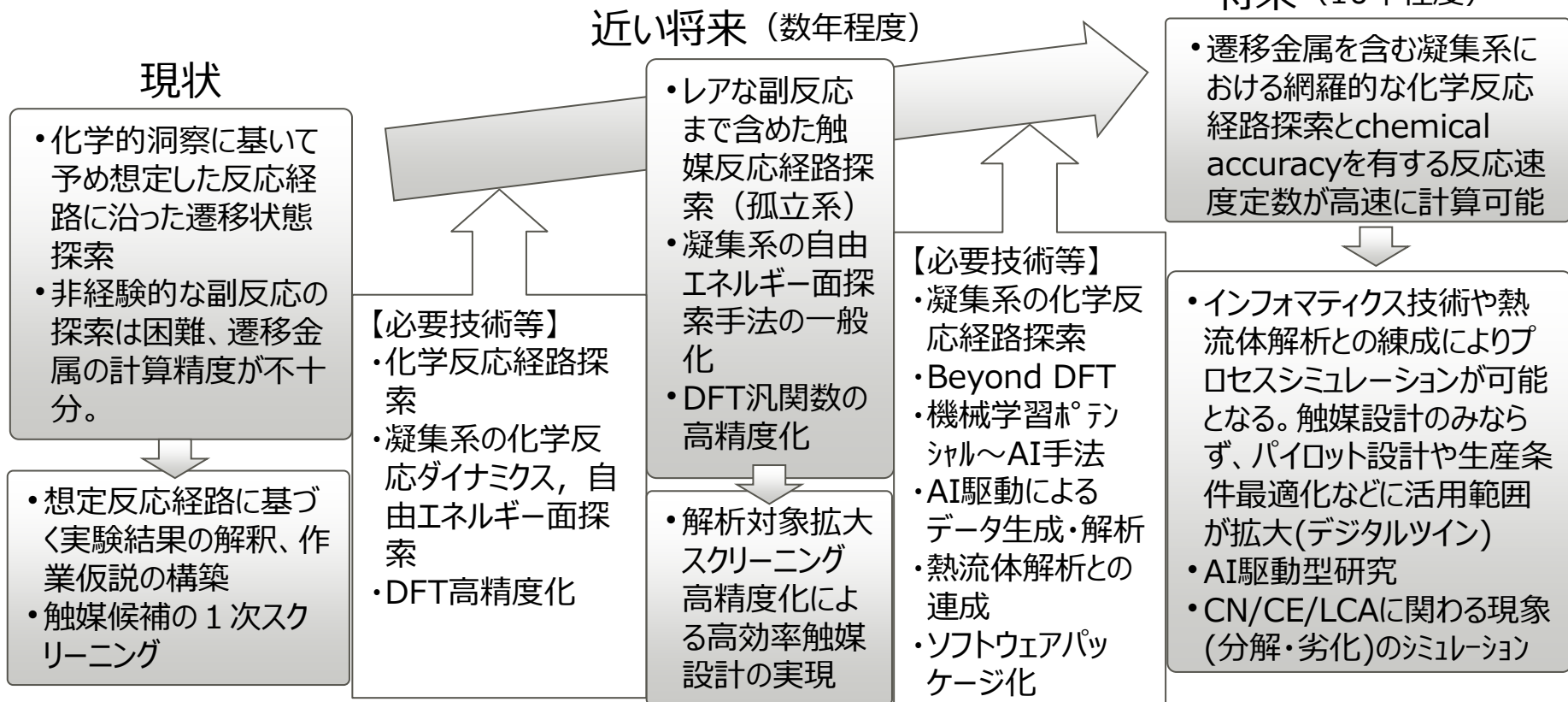
産業界での利活用を容易にする環境を整備
(エコシステムの在り方検討、および具体化等)

課題設定段階
の早期参画

次の研究開発プロジェクトとの連携強化

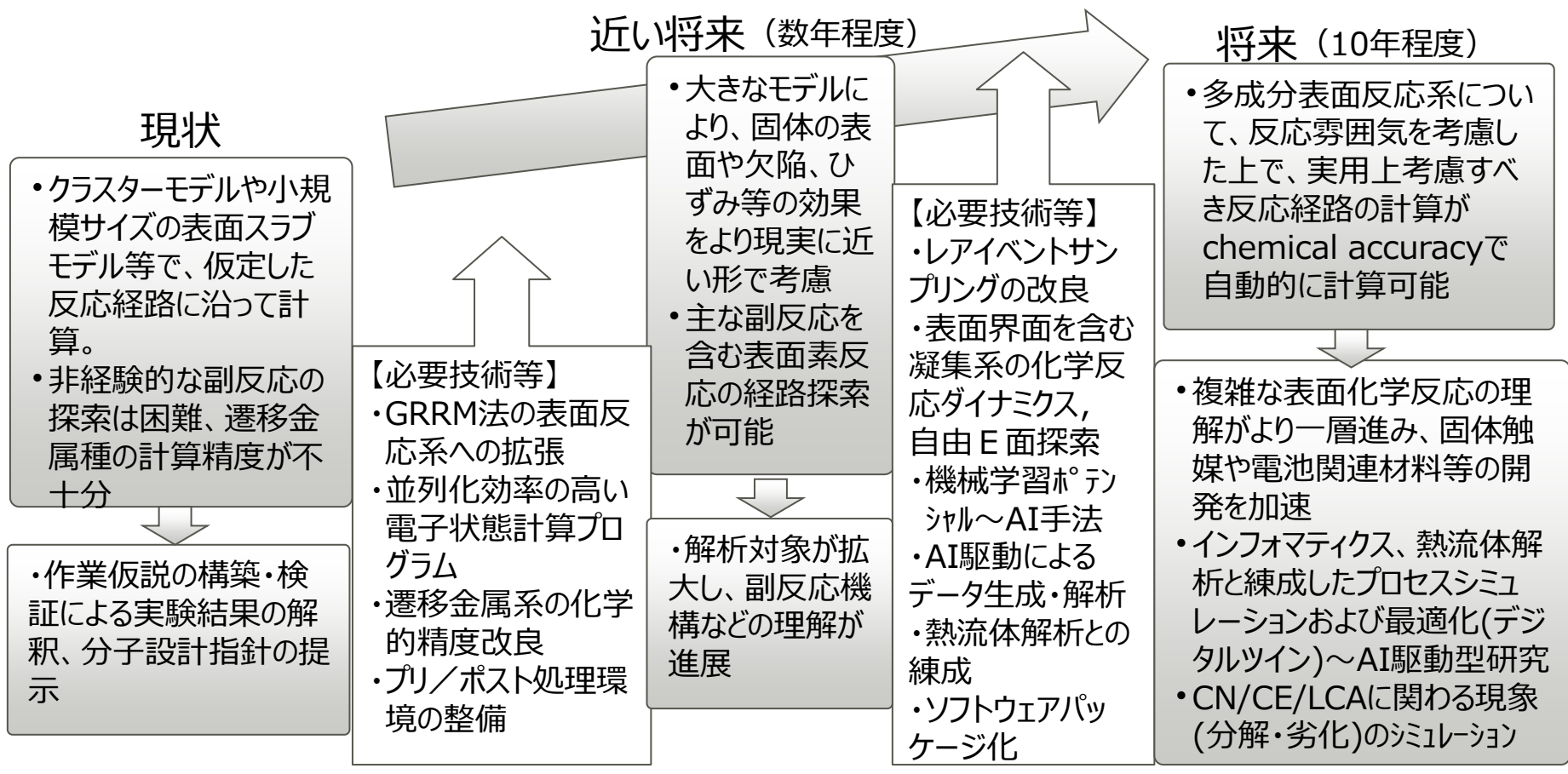
“数値フラスコ” 凝集系化学反応 「ポリマー重合/分解における反応モデリング」

- ポリマー重合/分解における主反応・副反応の反応経路を網羅的に解明。ラボ/パイロット重合実験の置き換え。
- 触媒の性能向上には主反応の活性化と副反応の不活性化の両方が重要であり、特にレアな副反応の抑制が必要。
- ラボスケール実験は反応槽内の温度や物質の分布を均一に保ちやすいが、パイロットでは均一化は不可。パイロットや生産での解析には、マクロな熱・物質収支との連成まで視野に入れる必要あり。



“数値フラスコ” 凝集系化学反応 「表面界面の化学反応モデリング」

- 材料の表面界面で進行する化学反応を網羅的に探索し主反応／副反応を予測
- 反応選択性が重要となるため、主反応のみならず副反応についても網羅的な把握が重要
- 化学的雰囲気考慮しつつ、多成分系での反応挙動をkcal/molオーダーの化学的精度で追跡
- 対象は、電池電極材料の固液界面反応、固体触媒の固気反応、CVD熱分解反応、半導体結晶成長、劣化反応など



“数値フラスコ” 光電機能

「有機光機能材の励起状態モデリング」

- 有機半導体や機能性色素等の分子の励起状態を高精度に予測。究極には実験の代替。
- 特に、現時点では限定的な光学的スペクトル形状、輻射／無輻射過程、発光の量子収率の予測が重要
- 分子の会合体形成や化学的雰囲気（溶液や樹脂）の考慮が必要
- 励起状態での水や酸素が関与する光反応の網羅的経路探索により劣化機構を解明

現状

• 1分子の光吸収や発光波長については、制約はあるが定量的に予測可能。スペクトル形状、強度の定量的予測は困難。また光化学反応の解析は限定的

• 化合物のスクリーニングや現象解明のツールとして活用

【必要技術等】

- TDDFTの汎関数・手法開発・高速化
- 高精度励起状態計算の高速化
- 新手法開発（無輻射失活速度、大きな構造緩和、項間交差を含む反応）
- GRRMとリンク

近い将来（数年程度）

- 励起状態における構造、スペクトル形状、無輻射過程、発光量子収率がある程度定量的に予測可能
- 凝集系における光反応の網羅的探索に理論的な目処

- スクリーニングの確度向上
- 光劣化反応の理解に基づく作業仮説構築

【必要技術等】

- 定量的励起状態計算の大規模化
- 凝集系における励起状態シミュレーション
- 機械学習ポテンシャル～AI手法
- AI駆動によるデータ生成・解析
- ソフトウェアパッケージ化

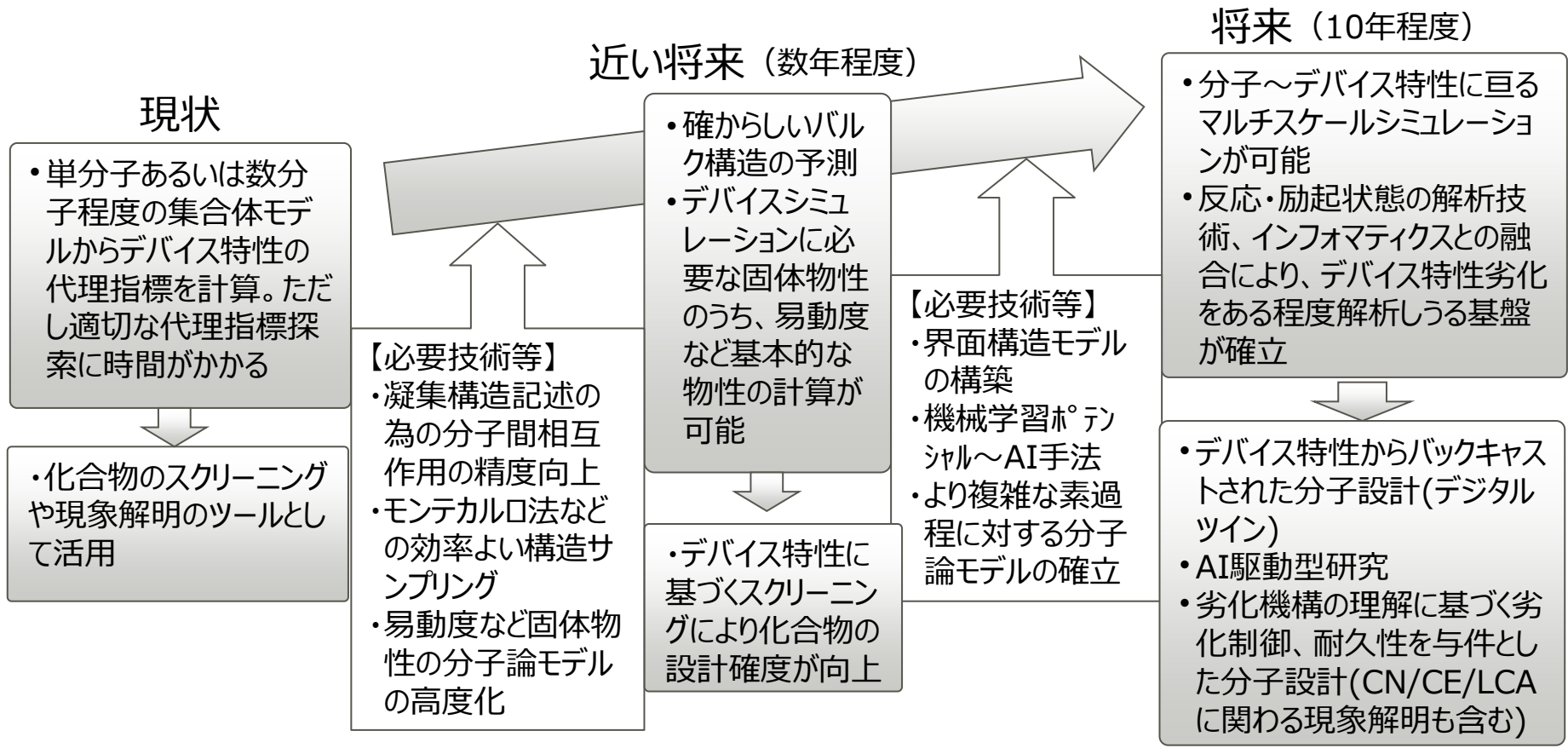
将来（10年程度）

- 会合体構造や化学的雰囲気が考慮された凝集系における光物性・光化学反応性が予測可能

- 光吸収が関わる実験を計算が一部代替、インフォマティクスを活用した机上分子設計の大幅な確度向上（デジタルツイン）
- AI駆動型研究
- 光劣化反応の機構理解に基づく光劣化制御、耐久性を与件とした分子設計（CN/CE/LCAに関わる現象解明も含まれる）

“数値フラスコ”光電機能 「有機デバイス材料モデリング」

- 有機デバイス材料について、単分子の分子設計から、凝集系として発現する固体物性の予測、さらにはデバイス特性の予測。
- 分子の特性とデバイス特性を結ぶマルチスケールのシミュレーション技術が必要
- 反応や励起状態の解析技術との融合により、デバイスの特性劣化の解析も可能とする



“数値押し出し機”ポリマー材料の構造と物性

共重合ポリマー・ポリマーブレンドのモルフォロジー

- 多成分ポリマー組成物のモルフォロジーを化学的ないしは機械的に制御することにより、単成分では得られない物性・機能を発現
- 成分の選択, 混合法 (共重合 or ブレンド), プロセス条件 (温度, 剪断速度, 時間) などが制御因子
- 物性の組合せ例: 強度/弾性率, 強度/コスト, 強度/耐薬品性, 強度/吸湿性 など。

現状

- 平均場もしくは粒子法による平衡モルフォロジーの定性的解析 (2Dモデルなど)
- 界面エネルギーの粗い見積もり (相溶化剤設計)
- 試行錯誤による粗視化パラメータ算出
- 粗視化度合いが大きいレオロジーモデル
- 粘性体モデルのCAE

- 【必要技術等】
- 計算コードの大規模・高速化
 - 粗視化パラメータの定量的算出法 (QM/MD から)
 - 自由エネルギー・レオロジーの練成モデル
 - モルフォロジーに対する機械学習

近い将来 (数年程度)

- せん断場における非晶性ポリマーのモルフォロジーを (半)定量的に再現。
- 粘弾性モデルのCAE
- 単純な形状のフィラーであれば, 複合材料のフィラー分散状態を再現。

- 実験前のコンセプト検証に活用。

【必要技術等】

- 埋め込み型のマルチスケールモデルによるプロセス因子の取り込み
- 結晶性ポリマーの階層的結晶構造を与える結晶化モデリング
- 異方性フィラー (繊維など) の分散状態
- 物性・機能 ~ モルフォロジー ~ 化学・プロセス因子の自動取得・機械学習

将来 (10年程度)

- 非晶性ポリマーのモルフォロジーをプロセス因子を加味した上で定量的に再現。
- 結晶性ポリマーのモルフォロジー (球晶・シシカバブ構造など) を (半)定量的に再現。
- 結晶/非晶界面の微細構造解析 (タイ鎖/ループ鎖の分布など)。
- 複雑形状フィラーによる複合材料の分散構造予測。
- AI駆動型研究

- 要求特性からバックキャストした高機能/低コスト材料の設計 (デジタルツイン)。

観点①：数値演算能力だけでは解決できない、本質的な技術課題への取り組み

（本質的アルゴリズム開発、AI的手法、量子コンピューティング、計算モジュール結合の実現 等）

技術課題(例)	応用例
エネルギー面上の停留点探索	安定構造 & 遷移状態探索
レアイベントサンプリング効率化	化学反応メカニズムの理解
エネルギー計算の高速化	長時間ダイナミクス, 機械学習ポテンシャル(MLP)
エネルギー計算の高精度化	電子相関や弱い分子間相互作用の高精度化
時間発展演算の抜本的高速化	長時間ダイナミクス対応
スケール間連携	実用材料のマルチスケールな理解
計算データ自動生成 & データ駆動	多目的最適化, MI(転移学習、データ同化…), MLP

計算化学と
AI的手法・
量子的手法
との融合
(flexibleな
計算環境)

観点②：HPC活用についてのコストパフォーマンス向上

$$UX = \frac{\text{期待成果 (技術課題の克服)}}{\text{HPC利活用コスト}}$$

←ここを後回しにすると普及しない

実行環境への要望	現状の課題
UX整備	ポータブル/シームレスな環境(例：コンテナ技術、容易なライブラリ環境構築), 柔軟なワークフロー構築(例：pythonスクリプトと計算エンジンの連結, AIEージェント)

シミュレーションの現状と将来

建設分野

将来のシミュレーションニーズ(建設分野)

【選定したシミュレーションニーズ:建設・機械分野】

	カテゴリ	シミュレーション対象	適用製品・効果	進捗等(旧版より)
建設・機械分野	建設	極端気象下の都市・建築のレジリエンス強化	極端気象下のマルチハザード(強風・洪水・猛暑)の被害推定、新しい対極端気象災害設計法の構築、スマートシティ実現のための都市OS構築への貢献	重点課題プロジェクト等でアカデミア等と連携して取り組んでおり、進捗状況を踏まえて、旧版で選定したテーマを見直し。
		都市・建物まわりの温熱環境予測	スマートシティの重要な要素である温熱環境をリアルタイム・精緻に解析	
		確率論的地震ハザード評価	日本全国を対象にした確率論的地震ハザード評価	
		構造設計最適化の加速	複雑な形状の構造解析・最適化の高速化、リアルタイムシミュレーション実現による設計の高速化、建設プロセスや維持・補修を考慮した最適化の実用化	
		インフラ構造物のヘルスマonitoring	流体・構造連成による風や地震などによる負荷・荷重解析、機械学習によりリアルタイムに解析、インフラ構造物の安全性向上や運用・保全に貢献	

■ 極端気象災害に対する都市・建築のレジリエンス強化

- ・極端気象下のマルチハザード(強風・豪雨・豪雪・洪水・猛暑)を想定した被害推定と精度検証
- ・新しい対極端気象災害設計法の確立とスマートシティ実現のための都市OS構築への貢献

現状

- ・数値解析による風荷重評価の精度検証と実務での活用
- ・広域都市モデルの影響を考慮した設計風速の研究

- ・数値解析による風荷重評価手順確立(国交省基整促)
- ・広域都市モデルを用いた設計風速評価法の確立(都市・建築CFDコンソーシアム)

近い将来 (数年程度)

- ・種々の温暖化シナリオに基づく極端気象解析の研究
- ・極端気象下の都市・建築スケールの強風・洪水・温熱解析の研究
- ・解析結果の検証

【必要技術等】

- ・極端気象予測・気象アンサンブル解析
- ・広域都市モデルのCFD高速化
- ・風速・降雨量の確率モデルの構築
- ・気象解析と内外水氾濫解析の連携
- ・熱中症リスク評価

- ・極端気象下の強風・降雨の再現期間評価法
- ・極端気象下での耐風・耐水性設計法の構築

【必要技術等】

- ・マルチハザードの解析技術の高度化
- ・モニタリング技術の高度化と観測結果のデータ共有
- ・局地的な強風・豪雨などの気象予測情報のデータ共有
- ・画像、音声、テキストを活用したマルチモーダルAI
- ・サロゲートモデルによる高速計算技術
- ・機械学習による解析結果の超解像化

将来 (10年程度)

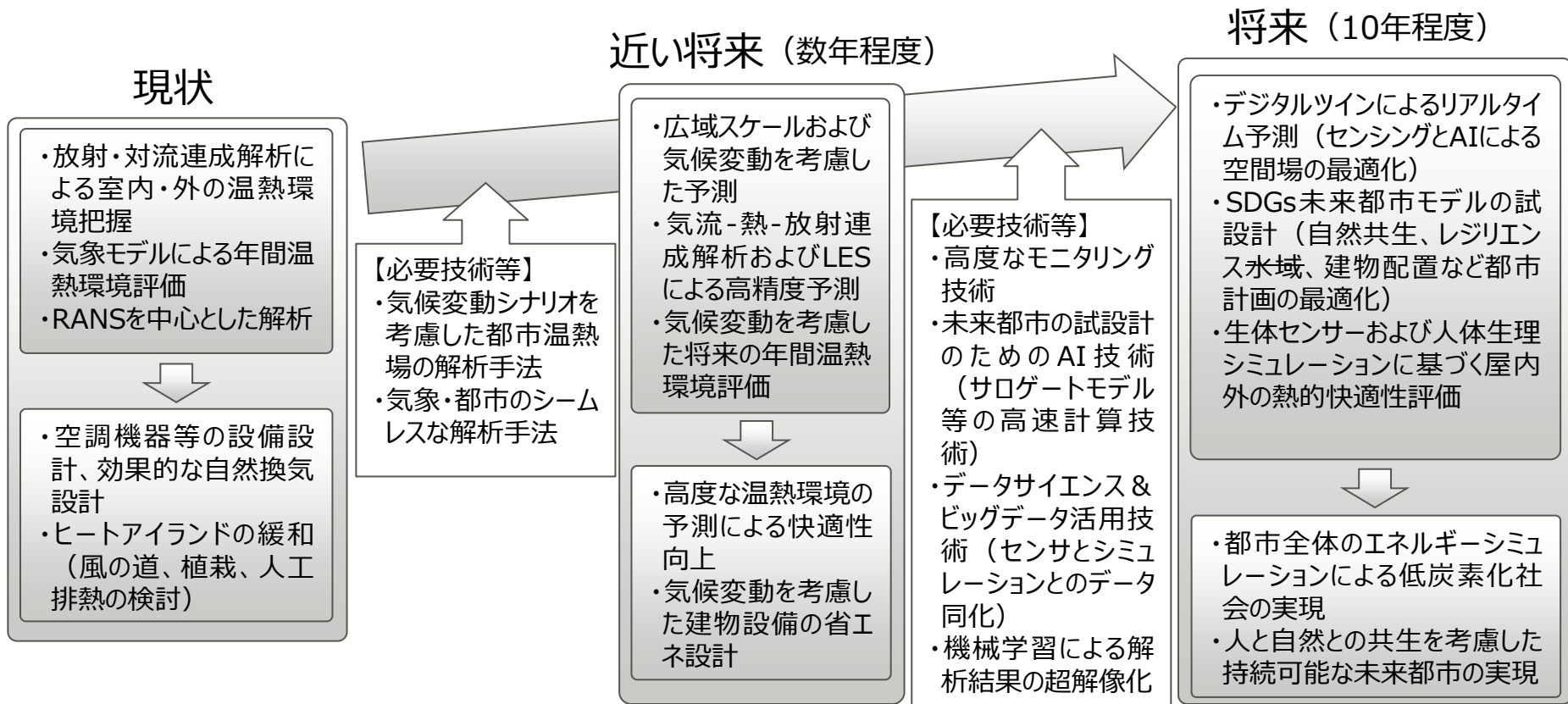
- ・極端気象下のマルチハザードを想定した多目的設計探査法の研究
- ・各種解析結果のデータベース化と機械学習による極端気象予測の研究
- ・迅速な避難誘導を実現するためのモニタリングによる観測結果とリアルタイムシミュレーションを活用したAIエージェントの研究
- ・社会実装のための実証研究

- ・極端気象災害対応におけるAIエージェントを活用した対応支援
- ・極端気象災害に伴う人命や経済損失の低減への貢献

■ 都市・建物まわりの温熱環境予測

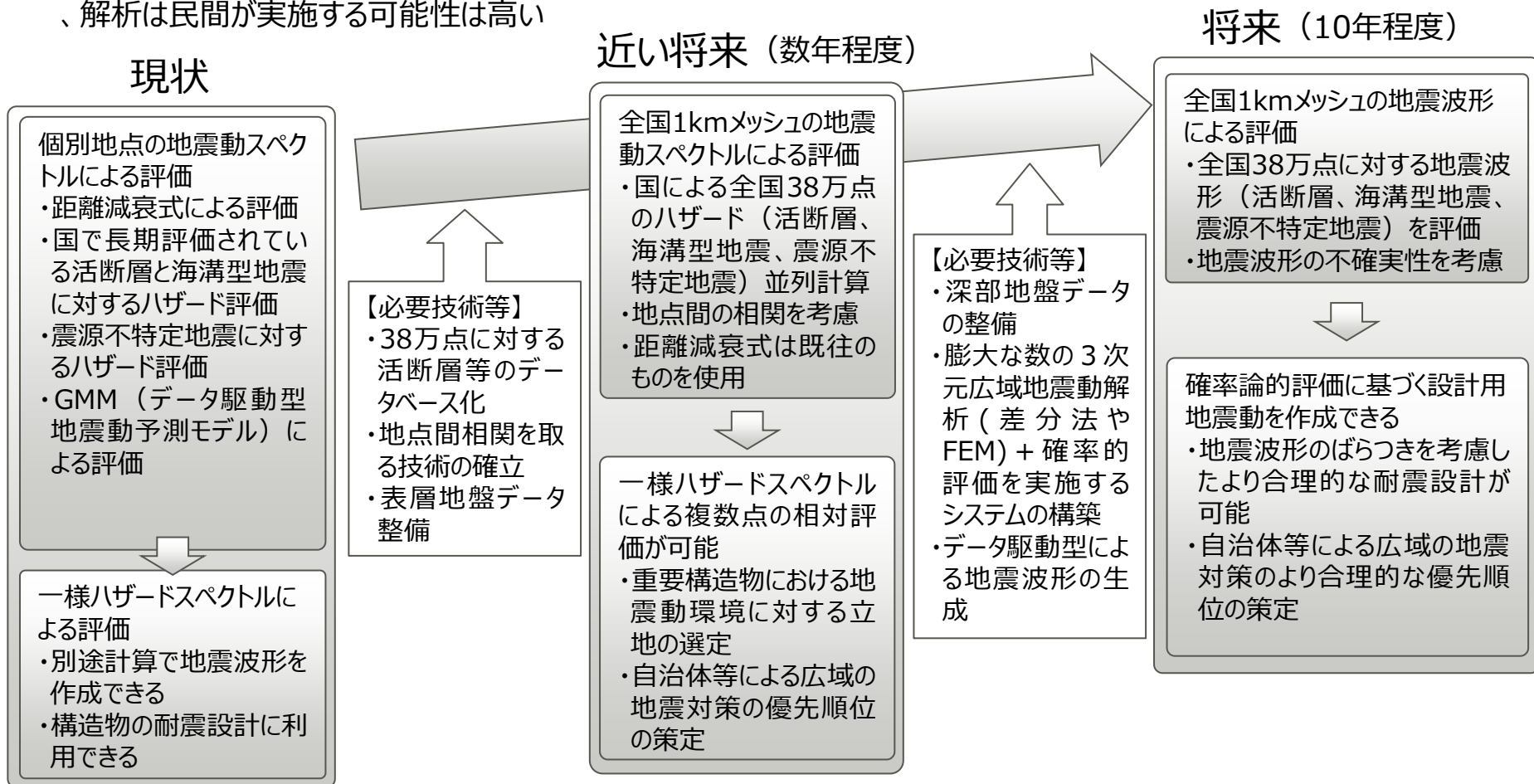
スマートシティの重要な要素である温熱環境をリアルタイム・精緻に解析

- ・リアルタイムでの温熱環境評価
- ・広域スケールおよび気候変動を考慮した予測・評価
- ・自然共生社会、低炭素社会への貢献



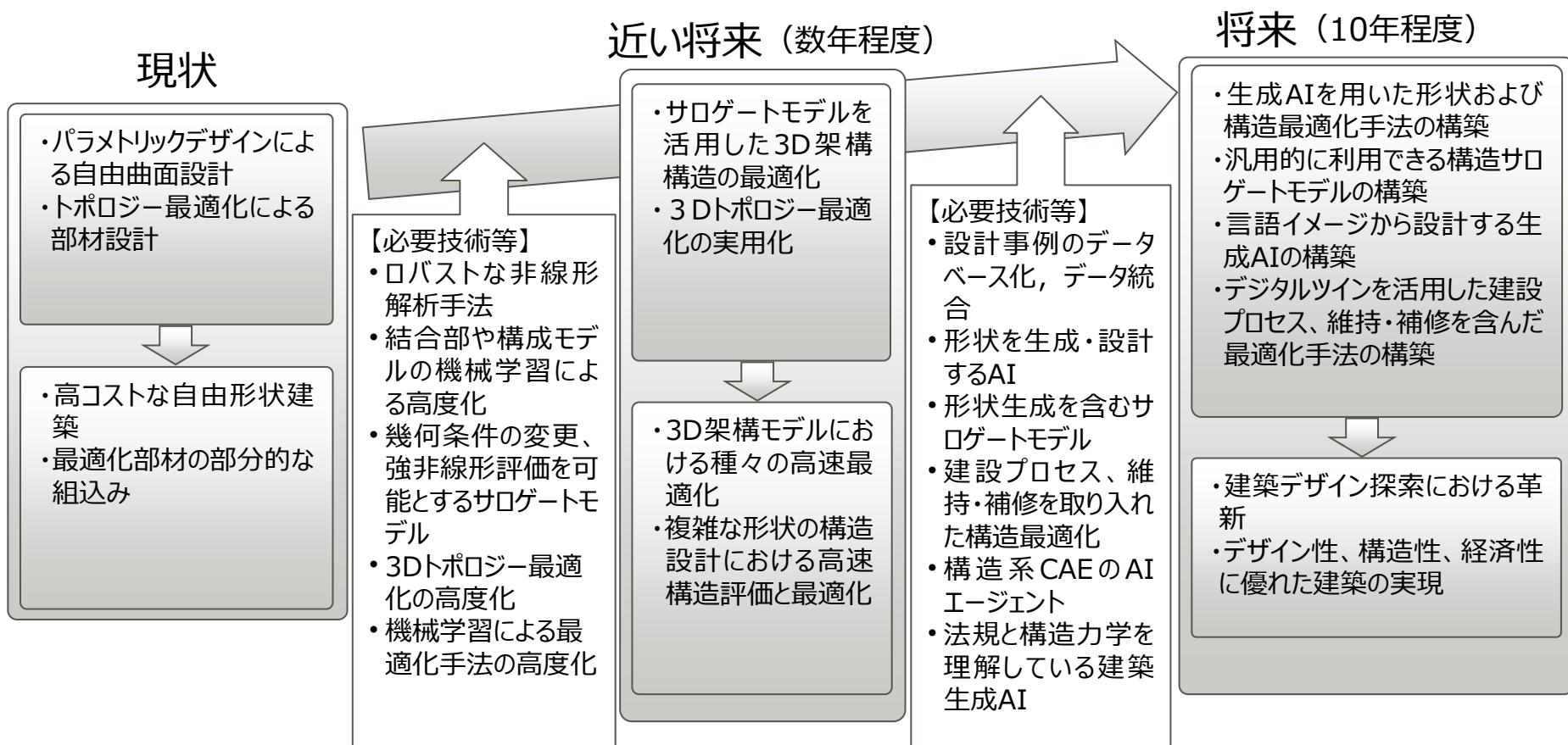
■ 確率論的地震ハザード評価

- ・日本全国を対象にした確率論的地震ハザード評価を行う。
- ・現状は地震動の最大値だけで評価されているが、将来的には地震波形による評価を目指す
- ・将来的な地震ハザード評価に必要な深部地盤DBや地震動解析結果DBの整備は国や国研が実施する可能性があるが、解析は民間が実施する可能性は高い



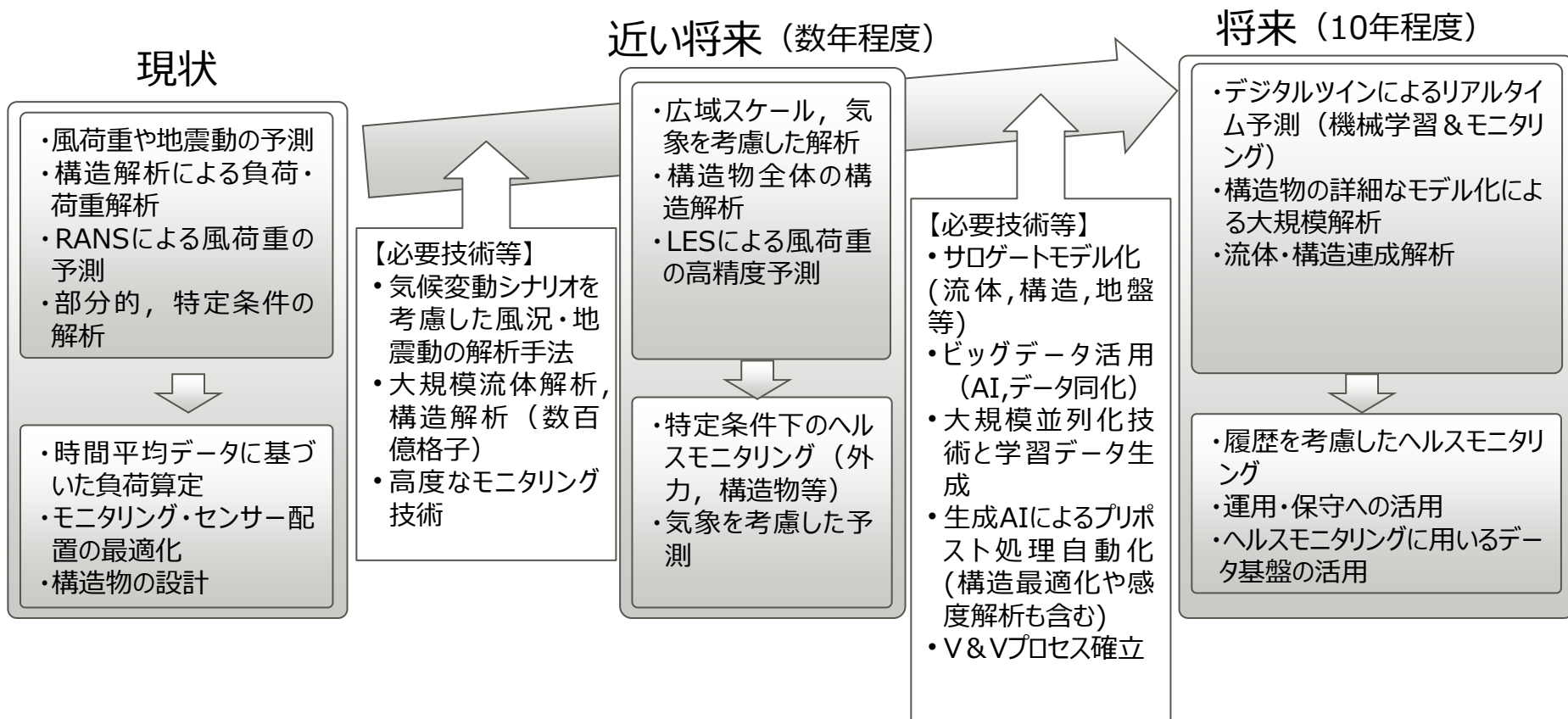
■ 構造設計最適化の加速

- ・複雑な形状の構造解析・最適化の高速化
- ・リアルタイムシミュレーション実現による設計の高速化
- ・建設プロセス、維持・補修を考慮した最適化の実用化



■ インフラ構造物のヘルスマonitoring

- ・流体・構造連成による風や地震などによる負荷・荷重解析
- ・機械学習によりリアルタイムに解析
- ・データ基盤標準化とその活用、インフラ構造物の安全性向上，運用・保全に貢献



シミュレーションの現状と将来

機械分野

【選定したシミュレーションニーズ: 機械分野】

カテゴリ	シミュレーション対象	適用製品・効果	進捗等(旧版より)
機械	CFRPの成形から構造信頼性を評価する構造解析技術	構造信頼性評価、廃棄コスト削減など	重点課題プロジェクト等でアカデミア等と連携して取り組んでおり、進捗状況を踏まえて、旧版で選定したテーマを見直し。
	冷凍サイクル(混相流)シミュレーション	空調等の冷凍サイクルのシステム全体の設計から保守・運用までを高度化	
	スマートシティ・ビル・ハウスにおける最適AI制御	インフラ、家屋の熱容量やエネルギー効率の予測	
	持続可能な社会を実現するインフラシステム予測技術	インフラシステムを構成する各コンポーネントの性能・挙動の高速予測	
輸送機械	内燃機関の燃焼性能の高精度予測	燃焼器の燃費性能評価など	
	ガスタービンの全エンジンシミュレーション	ジェットエンジン(航空用ガスタービン)では、信頼性確保、燃費向上など	

機械分野

テーマ：【機械】CFRPの成形から構造信頼性を評価する構造解析技術

- 航空機や自動車などの省エネルギー化（実燃費向上）を図るため、軽量高強度の複合材料の実用化が進められている。その中で、設計、開発、成形から運用時の信頼性確保、廃棄時のコスト削減など、ライフサイクル全般に渡るコストや信頼性を評価するシミュレーション技術が求められている。特に長期間の運用が期待される構造では、部材疲労強度特性や衝撃強度特性に直結する成形方法に由来する材料/強度特性の高精度予測技術が設計・開発・製造で不可欠な技術となる。

現状

- CFRP単層の特性を材料試験で獲得し、積層構造の各層の繊維配向を考慮した構造解析を実施
- 積層構造の各層における応力やひずみを評価している

- 所望の強度特性を有する部材の設計が可能となっており、航空機や自動車への軽量部品の適用で、省エネルギー化が進められている

近い将来（数年程度）

- 既定のCFRP構造に対して、材料/強度特性を精度よく再現でき、運用時の高信頼性が担保できる
- サロゲートモデルの活用により内挿域では短時間で特性を予測できる

- 【必要技術等】
- 繊維配向や乱れ、繊維の含有量を忠実に再現するモデルを用いたパラスケール計算機シミュレーション
 - シミュレーション結果を学習したサロゲートモデルの構築

- 材料/強度特性や成形欠陥の評価において、シミュレーションの効果・役割が増大する（材料試験・要素試験の削減）

100～1,000倍の計算能力
多層1要素を1層1要素でモデル化、肉厚もの

将来（10年程度）

- 異なる成形方法でも、実部品の試作や材料試験を行わずに、材料/強度特性が評価可能となり、求められる設計要求を満足する部材の作り込みが行えるようになる
- AIエージェントが自ら解析を実行して必要な学習データを生成・学習し、所望の特性を得られるCFRP構造を提案できるようになる

- シミュレーションの効果・役割がさらに増大し、CFRP適用全般に渡る必須技術として認知される（部品試作の大幅削減が可能になる）

1,000～10,000倍の計算能力
複数部品、システム全体解析

テーマ：冷凍サイクル（混相流）シミュレーション

- 空調（温水暖房の熱源ヒートポンプ化を含む）等の冷凍サイクルのシステム全体のシミュレーション技術の確立
- コンプレッサの動力学、冷媒による熱輸送、ファンによる放熱、冷媒-水熱交換器の最適設計等の各種シミュレーション技術の高度化、統合によりシステム全体を再現可能なシミュレーションモデル（デジタルツイン）により、設計から保守・運用までを高度化する

現状

- 経験則に基づく定式化と実験による合わせ込み
- 機器の開発は実験主体
- 実際の現象解明も実験計測だけでは難しい

- 設計は実験確認により後戻りあり
- シミュレーションが再現性がなく、活用しきれっていない

近い将来（数年程度）

- 混相流の相変化による熱輸送モデルのシミュレーション技術確立
- ファン設計による熱交換シミュレーション技術確立
- コンプレッサの動力学モデルのシミュレーション技術構築

- 【必要技術等】
- 混相流の相変化を含めた現象再現可能な基礎解析技術
 - 実現象とシミュレーションの比較可能な計測技術

- 現象理解による要素設計の効率化
- 設計の後戻りの削減
- 効率向上

- 【必要技術等】
- シミュレーションの統合・大規模化
 - シミュレーションの高速化（AI技術によるサロゲートモデル構築）
 - システム全体での挙動を学習するAIモデル

将来（10年程度）

- 系全体のモデル化によるシステムのシミュレーションによる設計
- リアルタイムシミュレーションによるシステム制御への活用
- 生成AIエージェントによるシステム理解と保守

- 実現象再現によるシステム全体設計の効率向上
- センシングデータを活用した保守運用の効率化
- ...

テーマ：スマートシティ・ビル・ハウスにおける最適AI制御

・スパコンとIoTセンサをリアルタイムに接続し実データに基づくサイバーフィジカルモデルとAI制御：

- ・人の流れ、将来動態予測の推定
- ・気流、蓄熱、日射量の変動予測
- ・インフラ、家屋の熱容量やエネルギー効率の予測
- ・空気質の保証

将来（10年程度）

- ・スパコン内に街・ビル全体のデータ駆動型の大規模サイバーフィジカルモデルを構築し、IoTセンサデータと同時接続による現場再現と高精度な予測。
- ・個別の現場機器を制御するクラウドとスパコンが密結合し、スパコンの予測に基づく、クラウド側の個別最適制御を実現

- ・ビル、街全体の人流予測に基づくエネルギー制御最適化、個通流最適化
- ・快適性、移動効率とエネルギー効率の同時追求
- ・換気、逆浸透膜利用、ウィルス不活化による空気質改善

近い将来（数年程度）

- ・中規模な領域のデータに基づいたサイバーフィジカルモデルシミュレーションとシミュレーションに基づいた最適制御
- ・新しい働き方に即したエネルギー管理：設備可動管理によるエネルギー効率化・最適化

- ・利用者数、複数の部屋、複数ビルビルフロアのエネルギー効率を考えた快適制御、エネルギー管理

【必要技術等】

- ・街・ビル中の全てIoTセンサとクラウドをスパコンに接続、リアルタイム解析
- ・強化学習による街・ビル全体サイバーフィジカルモデルの生成
- ・スパコン内のエージェントによる予測制御

現状

- ・単体のIoTセンサ情報に基づく個別機器の機械学習と、それによる室内の快適空調制御（非スパコン）
- ・スパコンを用いた流体解析による機器形状（ファン形状など）の最適化

- ・小規模の部屋、ビルのフロア毎の快適制御、省エネ制御

【必要技術等】

- ・複数IoTセンサ情報とシミュレーションに基づく部屋・ビル建屋状態予測AIの構築
- ・AI(PiNN)による室内気流温熱分布予測の高速化

テーマ：持続可能な社会を実現するインフラシステム予測技術

- 社会生活を支えるインフラシステムを構成する各コンポーネントの性能・挙動の高速予測
- 環境問題まで含めたインフラシステム全体の性能・挙動の予測
- AIを活用した利便性向上によるシミュレーションツールの利用拡大

現状

- シミュレーションを用いたインフラを構成する機器(ポンプ, タービンなど)や環境(風力発電の局地的な気候予測)の個別の性能予測
- システム全体の性能予測は1Dなどの簡易解析
- アカデミアのツールの利用は限定的

- 解析時間がかかっている
- 全体予測は精度が不十分
- 設計者へのCAEの普及が不十分

【必要技術等】

- AIを活用した予測技術
- 富岳を利用した大規模解析
- 使い勝手のよい解析ツールのエコシステム化
- AIIエージェント活用
- 生成AIによるCAEのノウハウ生成

近い将来 (数年程度)

- AI活用した機械学習による性能予測
- 大規模シミュレーションを用いたシステム全体予測
- GUIが整備されたシミュレーションツール
- HPCのAIIエージェント, 生成AI活用

- 予測時間の高速化
- 全体予測の高精度化
- 開発分野へのHPC利用拡大

【必要技術等】

- AIを用いた高速予測
- 環境・社会活動全体のモデル化
- 富岳クラスの大規模計算機のエコシステム化
- AIIエージェントによる解析実行制御

将来 (10年程度)

- 超ビッグデータを用いた機械学習に基づく性能予測
- AIとシミュレーションとが連携した大規模システム予測
- 富岳クラスが利用できるユーザフレンドリなシミュレーションツール
- AIIエージェント, 生成AIによるシミュレーション実行制御から結果のレポート自動作成

- 社会の挙動の予測
- 設計部門へのHPCの利用拡大

テーマ：【輸送用機器】内燃機関の燃烧性能の高精度予測

- 内燃機関を用いる輸送用機器、エネルギー機器の燃費向上、環境性能改善のためには、燃烧性能の高精度予測が必要
- 燃烧器開発における性能予測を定性評価から定量評価へ。実験主体の開発からシミュレーションベース開発への転換を図る
- 燃烧現象を精度よく再現して、エミッションの定量予測、多様な燃料に対応する汎用性を有する解析技術の実現を目指す
- 対象はレシプロエンジン（ガソリン、ディーゼル、GE）、ガスタービン（航空用、産業用）の燃烧器を想定

現状

- 総括反応モデルを用いた乱流燃烧解析（RANS、LES）で実機複雑形状に対応した評価を実施
- 乱流火炎の非定常挙動やエミッションの予測精度は不十分
- 機器の開発は実験主体。燃烧シミュレーションは設計に十分利用されていない

- 機器の開発は実験主体
- シミュレーションは設計に十分利用されていない

近い将来（数年程度）

- サロゲート燃烧モデルを用いたLES解析により、エミッション、着火現象等を定量的に予測
- 噴霧燃烧（液体燃料）、水素・アンモニア燃烧への対応
- 設計利用には、社内計算資源で実行時間1日程度

- 【必要技術等】
- サロゲート燃烧モデルの構築
 - 実機試験データとの比較検証
 - 大規模解析技術の蓄積
 - AIによる現象分析
 - 生成AI活用による解析ノウハウのシステム化

- 燃烧実験の一部をシミュレーションで代替
- 開発期間の短縮
- 環境性能の向上
- AI活用による燃烧現象理解の高度化

- 【必要技術等】
- 詳細反応機構の数値モデルの開発と精度検証
 - AIを活用した高速・高効率な数値解析法
 - データベース構築・データ解析
 - 燃烧反応AIの開発

将来（10年程度）

- 詳細化学反応機構を用いた実機燃烧器内の乱流燃烧流れ場の直接解析
- 高効率、低公害燃烧器の設計に必要なエミッション生成、着火・失火、燃烧振動現象の定量予測
- 多様な燃料性状への対応
- 乱流燃烧現象のメカニズム解明および乱流燃烧AIの開発
- AI活用高速解析および燃烧反応AIとの融合

- 想定外の事象に対する安全性の確保
- 実現象に近い設計法の確立
- カーボンフリーエンジン設計の実現

テーマ：【輸送機械】ガスタービンの全エンジンシミュレータ

- ジェットエンジン(航空用ガスタービン)では、信頼性確保、燃費向上のためには、負荷変化時のエンジン挙動の把握が重要
- 発電用ガスタービンでは、太陽光発電などの再生可能エネルギーの普及により急速な負荷変動対応が必要
- これらに対応するには負荷変動時に異なる物理現象を考慮して全体挙動を解明する全エンジンシミュレータ構築が必要

現状

- エンジンの各要素をモデル化した1次元モデルにより全エンジンのシミュレーションを実施
- 詳細な物理現象を考慮できない
- モデル化の際に実験結果に基づく相関式が必要

- 状態変化時のエンジン挙動把握が可能
- 開発初期段階での活用が可能

近い将来 (数年程度)

- 1次元モデリングと3次元モデリングを組み合わせたエンジンシミュレータの構築
- 強度解析のみ 3Dモデリングを行い、流体、伝熱は1次元モデリングを用いるエンジンシミュレータ

【必要技術等】

- 1次元モデルと3次元モデルを連成するソフトウェア開発
- 計算機/ソフトウェアの解析速度の向上
- AIによる現象分析
- 生成AI活用による解析ノウハウのシステム化

- 部分的だが詳細形状の影響評価が可能
- 非定常シミュレーションの精度同上
- AI活用による現象理解の高度化

【必要技術等】

- 計算機/ソフトウェアの解析速度の向上
- AI技術活用(解析高速化、AI壁モデル、各種サロゲートモデル構築)
- 量子アニーリング計算による設計パラメータ組合せ最適化技術活用

将来 (10年程度)

- エンジン全体の3次元モデリングによるマルチコンポーネント統合シミュレーション
- 流体解析、熱伝導解析、強度解析を連成して行うマルチフィジックスシミュレータの実現
- AI連携による設計・最適運転条件決定システム構築(デジタルツイン)
- CAE/量子ハイブリッドによる最適化計算高速化

- 非定常現象を考慮した高度なガスタービン開発
- トラブル発生時の原因究明への活用、および対策立案の高精度化
- 全エンジンコンポーネント統合最適設計

引き続き産応協は、スーパーコンピューティング技術の普及と利活用促進等に取り組んでいきます。