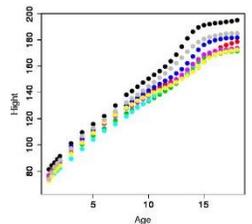


多変量解析, 心理統計学, 統計的因果推論

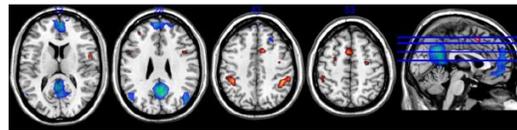
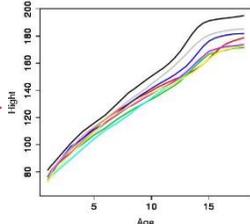
人間の行動・心理データの統計解析法を研究開発する学問分野 (psychometrics) では, 知能・性格テストのスコアや知覚対象がもたらす印象の評定値のような多変量のデータから, それらに内在する潜在構造を発見するための多変量解析法が生み出され, 統計的機械学習の分野なども含めてこれまでに多くの発展を遂げています. 当研究室では, 数値シミュレーションなども利用しながら, こうした統計解析法の開発や理論的性質の検討について, 数理的側面から取り組んでいます.

関数データ解析

観測データ  
(離散ベクトル)



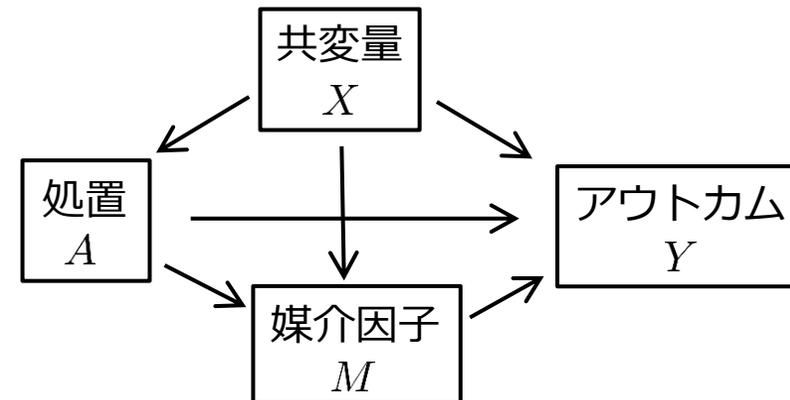
関数データ  
(連続な曲線)



$$\phi = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \int_{T_k} (z_{ik}(t_k) - f_{ia_k}(t_k))^2 dt_k + \lambda \sum_{k=1}^K \int_{T_k} [\mathbb{D}^2 a_k(t_k)]^2 dt_k$$

経時測定データや空間データなどは, 本来は観測点だけでなく連続的に存在していると考えられます. 関数データ解析では各対象を時間などの関数として表し, 関数空間上のデータとみなして分析します. 当研究室では, 関数データに対する多変量解析法の開発を行っています.

統計的因果推論



$$\begin{aligned} X &= f_X(\epsilon_X) \\ A &= f_A(X, \epsilon_A) \\ M &= f_M(X, A, \epsilon_M) \\ Y &= f_Y(X, A, M, \epsilon_Y) \end{aligned}$$

統計的因果推論では, 統計的推測を用いて反事実に基づく因果関係を検討します. 当研究室では, 因果媒介分析やデータ融合などの新たな方法の開発など, 統計的因果推論の研究開発に広く取り組んでいます.

**【研究課題】**  
**対人関係**  
**社会的行動**  
**集団過程**



人間の心理や行動が、社会（その場の状況や他の人々）とのかかわりの中で受ける影響に注目する。実証的アプローチによってその法則性を見だし、社会的問題の解決に貢献することを目指している。

社会的動物としての「人間」を理解する

## 医学研究に現れる統計解析法の研究と応用

医学研究、特にヒトを対象とした臨床研究では、大きな個体差の存在を前提とした科学的推論を行う必要があります。統計解析が重要な役割を果たしています。  
本研究室では、医学研究に現れる統計解析法の発展と応用研究を行っています。

### (例1) 臨床試験のデザイン

被験者背景因子等の情報を効率よく用いて、効率的・科学的・倫理的に臨床試験を実施する方法論の研究。

### (例2) 統計的メタアナリシスとData Fusion

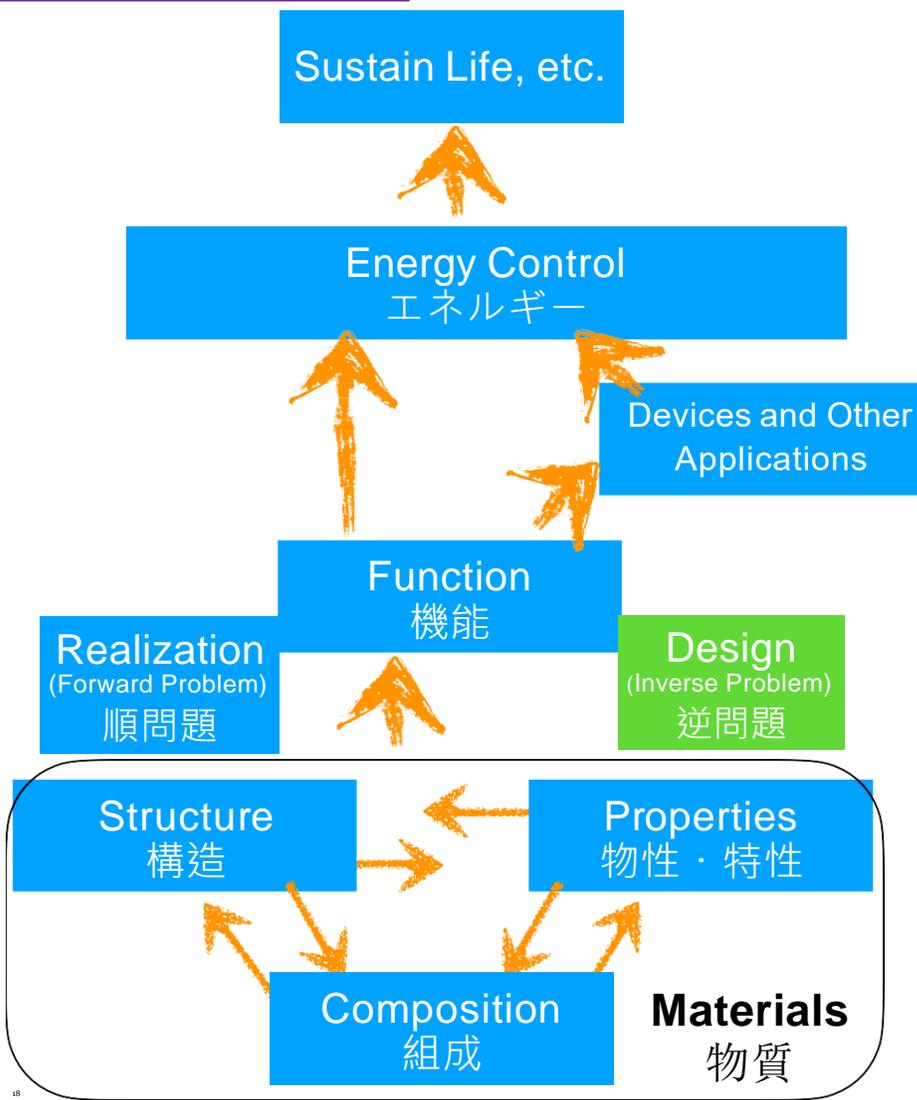
学術論文中に公表された臨床研究結果、あるいは、より一般に外部データを併合して効率的に科学的推論を行う方法の研究。

### (例3) 複雑な縦断データの解析

臨床試験、癌登録に現れる生存時間データ、Wearable Deviceなどから得られる複雑な時系列データの解析法の研究。

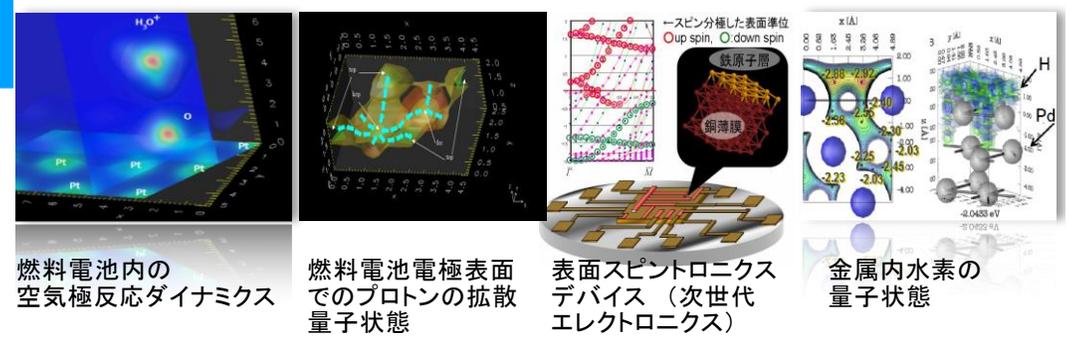
### (例4) 観察研究の解析と因果推論

傾向スコア解析などの因果推論の方法論と、それに基づくリアルワールドデータ解析の研究。



Computational Materials Design

物質をデザインし エネルギーを操る



- First Principles of Physics
- Materials Science Problems
- Physical Models
- Machine Learning (ML) Models
- Meaningful and Descriptive Materials Features
- Critical Evaluation (Interpretability, Application Range, Uncertainty, Physical Plausibility)

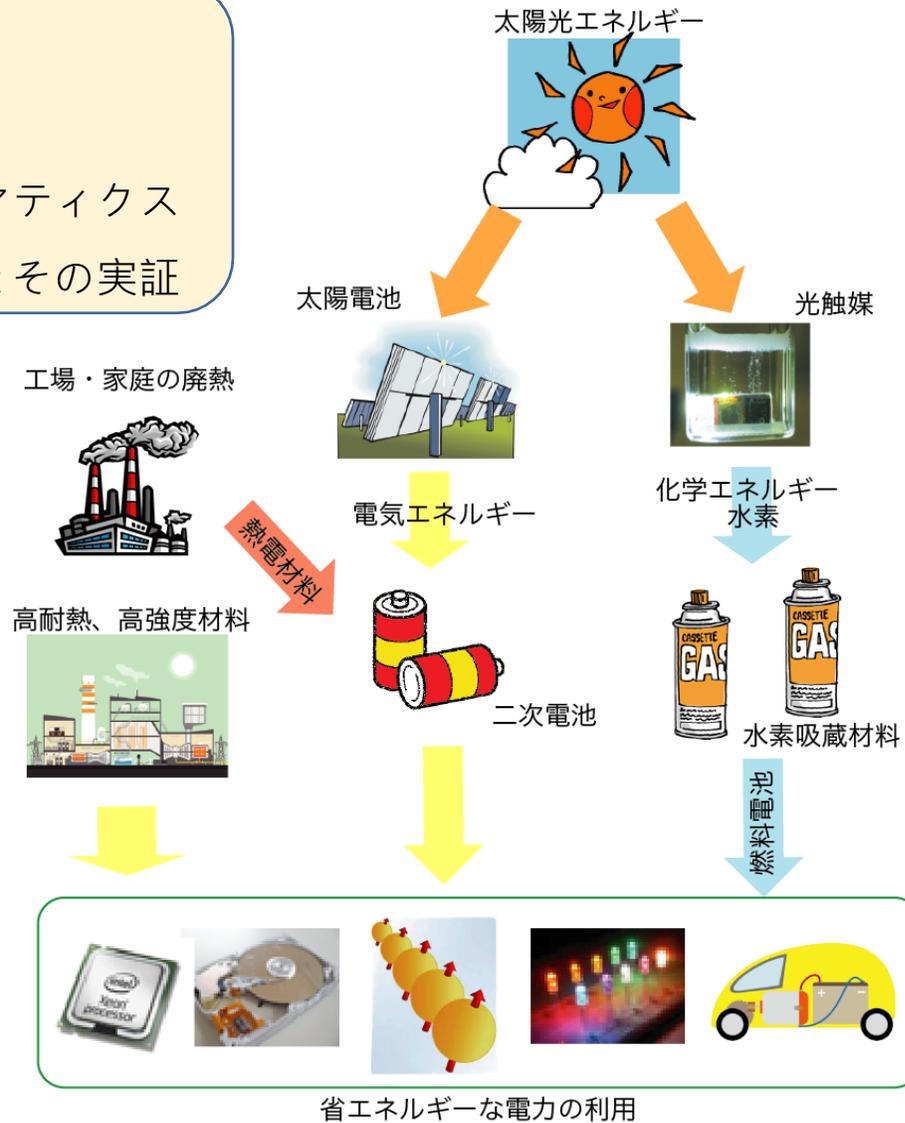
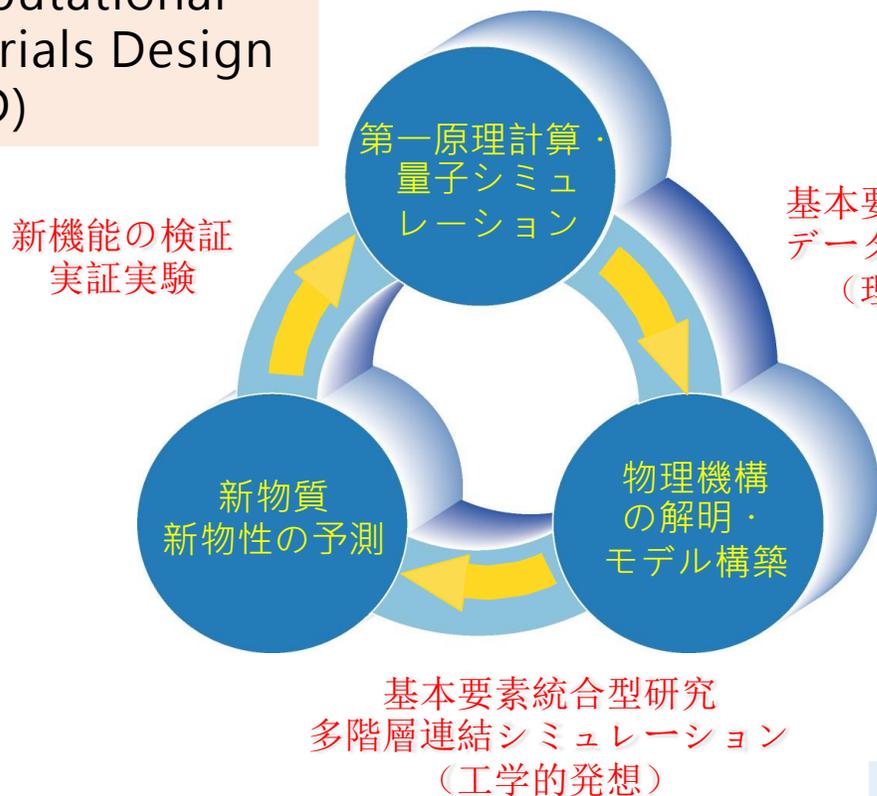
Build interpretable models (from real materials data sets, experimental and theoretical) and use them to predict new materials with potentially interesting properties/functions.

Periodic table showing elements from Hydrogen (H) to Lanthanum (La). The elements are color-coded by groups: H (red), He (orange), Li-Be (yellow), B-C (green), N-O (blue), F-Ne (purple), Na-Mg (orange), Al-Si (yellow), P-S (green), Cl-Ar (purple), K-Ca (orange), Sc-Zn (yellow), Ga-Ge (green), As-Se (blue), Br-Kr (purple), Rb-Sr (orange), Y-Cd (yellow), In-Sn (green), Sb-Te (blue), I-Xe (purple), Ba-La (orange).

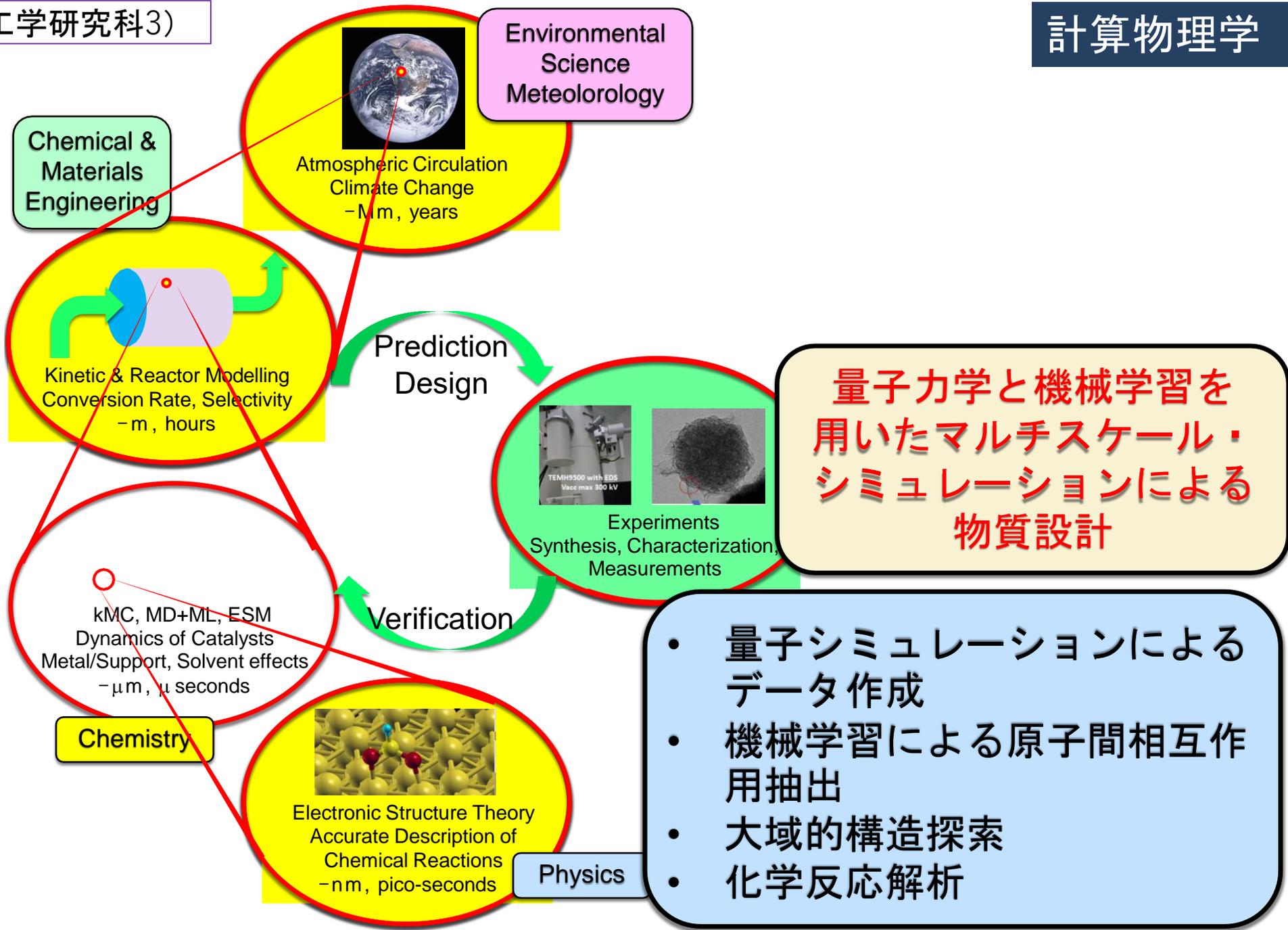
計算機マテリアルデザイン手法の開発と応用

- ✓ 第一原理量子シミュレーターの開発・材料物性発現機構の解明
- ✓ データ科学・AIの知見を用いたモデル構築・マテリアルズインフォマティクス
- ✓ 高効率エネルギー変換と省エネルギーのためのマテリアルデザインとその実証

Computational Materials Design (CMD)



- 太陽電池、高効率発光材料、熱電材料、半導体スピントロニクス材料
- 磁気冷凍材料、超伝導材料、ハイエントロピー合金、鉄鋼材料、...



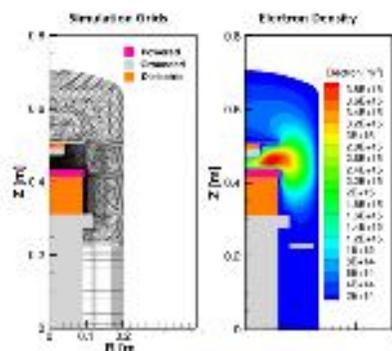
数値シミュレーション・データ科学・実験を用いた総合的プラズマ科学の研究

応用

- 半導体デバイス製造超微細プロセス
- 材料プロセス
- 医療材料・プラズマ医療
- プラズマ推進 (宇宙推進エンジン)
- 核融合

科学

- プラズマ物理
- プラズマ化学
- プラズマ物質相互作用
- 数値シミュレーション
- 情報科学・データ科学
- 応用数学



理論・数値シミュレーション

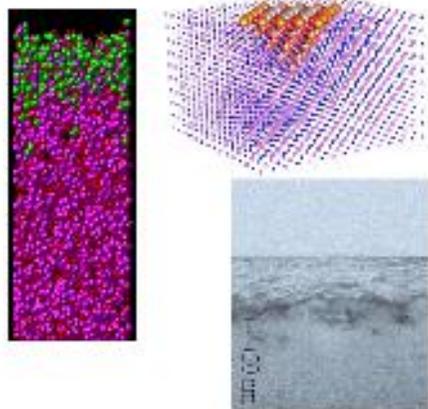
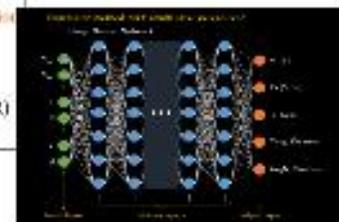
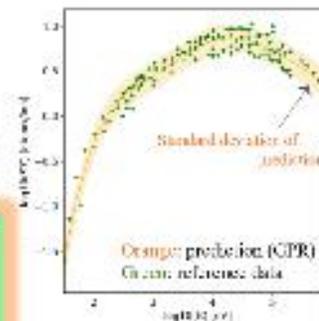
- プラズマ流体モデル
- プラズマ粒子モデル
- 表面反応モデル
- 分子動力学
- 量子化学

情報科学・データ解析

- 統計処理
- 機械学習
- 仮想計測
- データ同化
- 代理モデル

実験

- 低圧プラズマ
- 大気圧プラズマ
- プラズマ計測
- 多重ビーム照射
- 薄膜堆積・物質合成
- 物質表面解析
- 医療材料・プラズマ医療



**設計・シミュレーション**  
原子模倣設計 有限要素解析

**実験**  
3Dプリント 力学試験・動的観察

粉末床溶融結合 (PBF)  
材料押出 (MEX)

**データ科学**

力学特性

設計変数

力学特性

記述子抽出

設計変数

Inverse Design ニューラルネット

原子模倣メタマテリアル設計

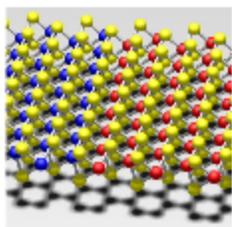
- 原子配列を模倣した相転移する格子構造制御によるメタマテリアル設計
- 有限要素解析とニューラルネットによる構造と特性の関係の機械学習
- Inverse designによる格子要素構造(梁の寸法・形状・位相)の最適化
- 3Dプリントによるメタマテリアル創成と特性評価による設計の検証

- 力学特性(強度・密度・衝撃吸収性、形状記憶特性など)最適化の指針
  - 構造と特性との関係の理解の深化
  - コンフォーマル化・応用
-

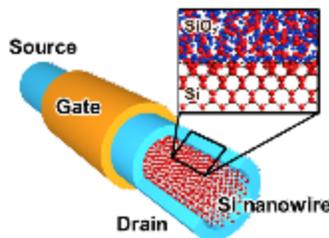
## 新材料・新構造・新原理を用いた半導体デバイス・集積システムの実現に向けた、モデリング・シミュレーション

- 2次元物質やワイドギャップ半導体などの新し半導体材料におけるキャリア輸送モデリング
- 量子輸送方程式に基づく第一原理デバイスシミュレーター開発
- スーパーコンピュータを利用した大規模量子輸送シミュレーション
- 電子とフォノンのマルチフィジクスシミュレーション
- ニューラルネットワークを用いた量子輸送計算の高速化

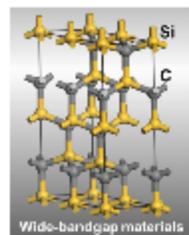
2D Materials



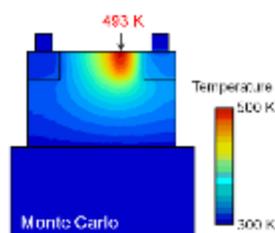
Nano-scale Transistors



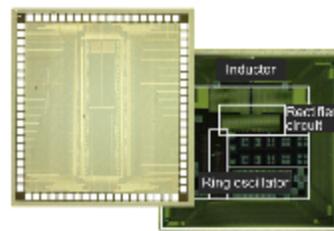
Power Devices



Phonon Transport



Integrated Circuit Design



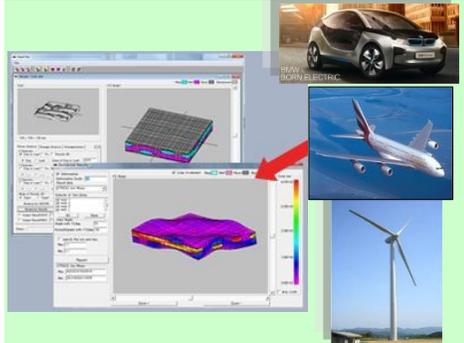
Atomistic Model

Quantum Transport

Device Physics

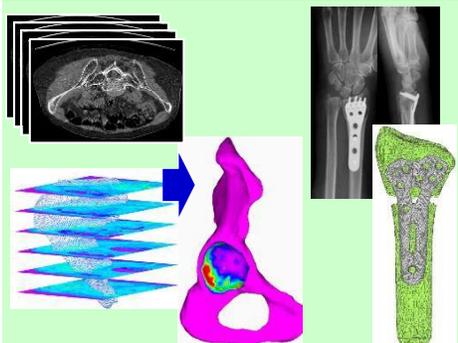
Integrated Circuit

**先進複合材の力学的特性評価**  
 ～より軽量・高強度・  
 高信頼性の発現へ～



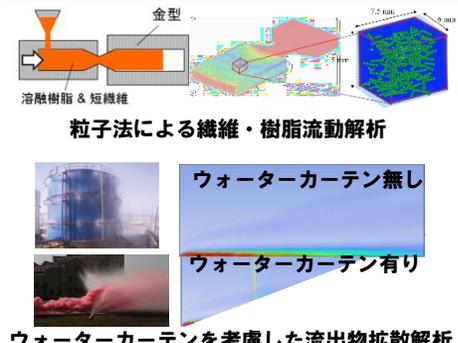
マイクロ・メゾ・マクロスケールでのマルチスケールシミュレーション技術の構築

**イメージベースモデリング**  
 ～画像に基づき  
 生体をシミュレーション～



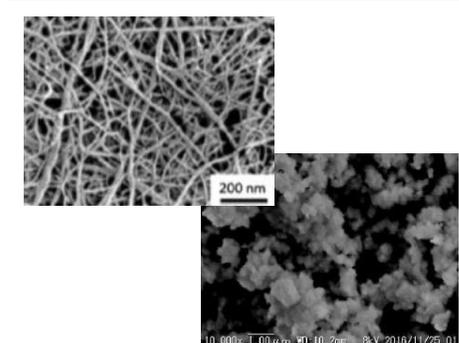
実験では評価困難な生体に関する数値解析モデルの構築

**マルチスケールモデリング**  
 ～樹脂のミクロな流れから  
 マクロな大気拡散まで～



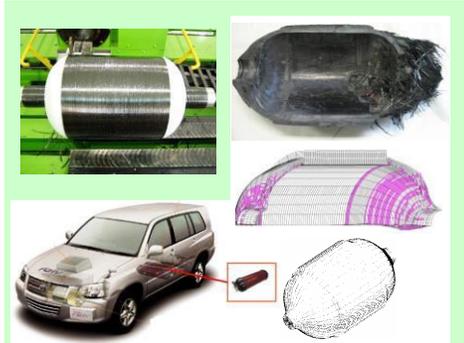
粒子法による繊維・樹脂流動解析  
 ウォーターカーテン無し  
 ウォーターカーテン有り  
 ウォーターカーテンを考慮した流出物拡散解析  
 膨大な解析データに関するデータ分析

**異種材接着接合・表面改質**  
 ～ナノファイバー・ナノ粒子配合  
 による傾斜機能発現へ～



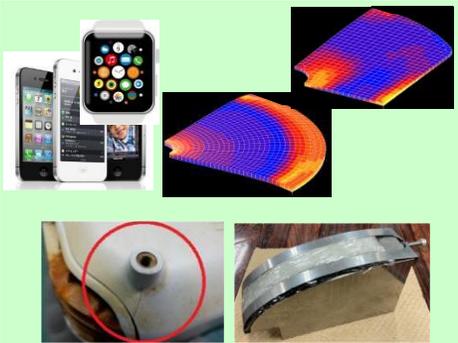
実験データに関するデータ・統計分析

**信頼性の点から設計・評価**  
 ～水素社会に向けた  
 水素貯蔵タンク的设计～



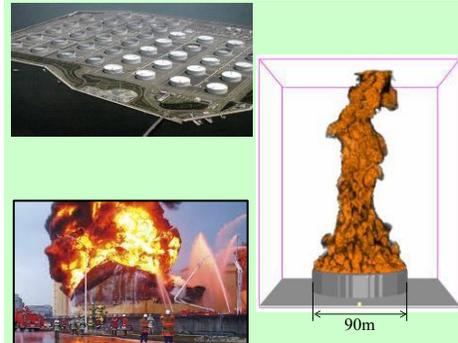
有限要素解析による数値シミュレーション

**電子デバイス・家電製品部材の信頼性評価**  
 ～劣化現象解明・高機能化へ～



設計パラメータ等が寿命特性に及ぼす影響を実験・解析により分析

**災害シミュレーション**  
 ～想定外事象に対する減災策  
 評価・リスクコミュニケーションへ～



実験・シミュレーション結果に関するデータ分析

**フューチャー・デザインによる将来可能性教育**  
 ～高校・大学・自治体との連携/  
 事業戦略のワークショップデザイン～

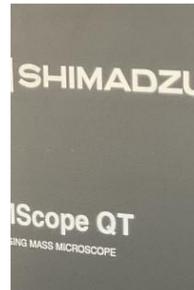


ワークショップ中の参加者の発言に関するテキストマイニング・統計分析

メタボロミクスで得られた情報と熟練者や鑑定士による評価項目スコアをコンピュータで照合して食品機能発揮に十分な成分を特定します。さらには製造・保管・流通技術への応用を志向しています。



メタボロミックプロファイリングで原料の品質や機能を評価



最新の分子可視化技術を駆使することで「健康」への課題に取り組む

細胞や生体内に起こる化学変化がエネルギーや基礎物質へ生成される全ての物質(代謝物)を残らず収集し、取り入れて分析する学問

### メタボロミクスとは

食品

微生物

植物

メタボロミクス研究はいろいろな分野で応用されています。

福崎研究室は「おいしさ」を科学する食品メタボロミクスの技術開発に力をいれています。

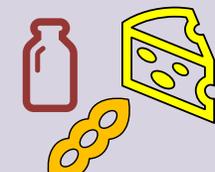
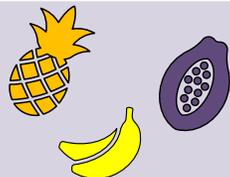
果実

海産物

発酵食品

嗜好品

福崎研究室で研究している主な食品

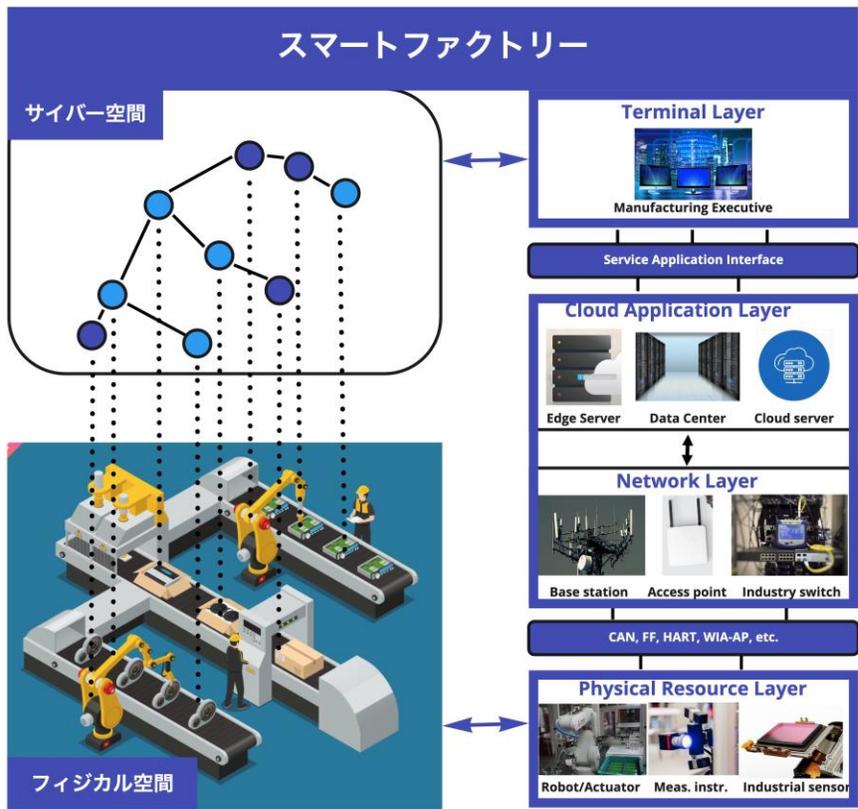


テンペ (インドネシア発酵食品)



質量分析イメージングで、がん組織、  
歯周病バイオフィルム、毛髪、  
ストレスなど体の中で起きたイベントの状態を「見える化」します。

# Industry 4.0時代のネットワーク型ものづくり



## デジタルツインのものづくり

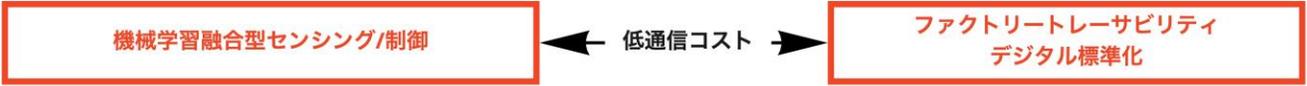
サイバー空間を構築することによる高循環型デジタルものづくり

## ファクトリーレイヤー

フィジカル空間とサイバー空間の間はネットワークを通じて大量のデータが往来



世界規模で工場ネットワークを構築し大量のデータを整合させることで高効率な製品供給を実現



## プロセスネットワーク

加工システム間や工場間をネットワーク化させた新たな生産加工システムを構築し、高循環/効率型次世代プロセスネットワークを構築。

## 次世代センシング/制御技術

従来の課題をブレイクスルーするための機械学習を融合させた測定/制御技術を開発する。

- ・ 機械学習を融合させた高速/高精度測定技術
- ・ データ分散化によるプロセス制御技術
- ・ オンマシン計測技術
- ・ 低コストデータの生成と伝送

## 標準化 (ISO, JIS)

機械学習に関する標準化は工場間ネットワークを構築する上で必要不可欠である。そこで、標準化技術の確立を目指す。

- ・ 予測データの不確かさ評価の標準化
- ・ 機械学習用標準化学習データの構築
- ・ ファクトリートレーサビリティ

## 数理統計モデル

生産工学に特化した機械学習モデルを構築するための基礎的な数理統計モデルを構築する。

# Be a Design Thinker!

単語分散表現に基づく  
膨大なテキストデータからの  
概念空間の生成と発想支援

Concept



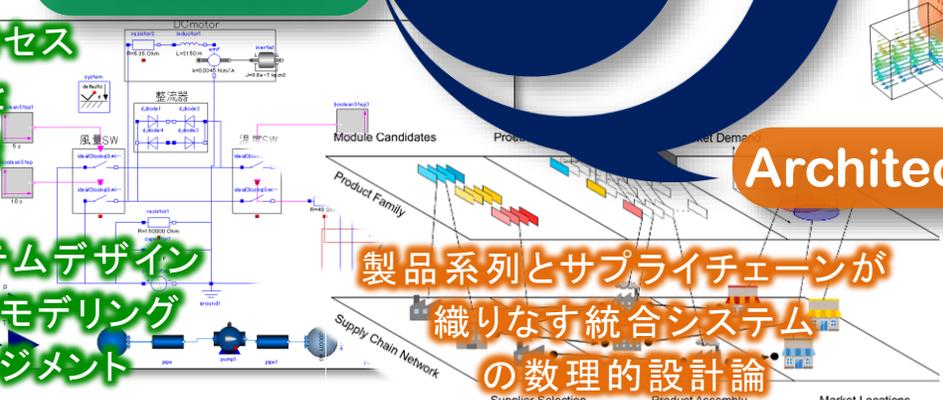
網羅的な最適化計算と  
深層学習による解空間の操作による  
概念設計支援フレームワーク

Process



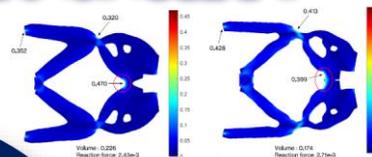
製品設計開発プロセス  
のモデリングと  
計画支援手法

複合領域システムデザイン  
のための解析モデリング  
と知識マネジメント

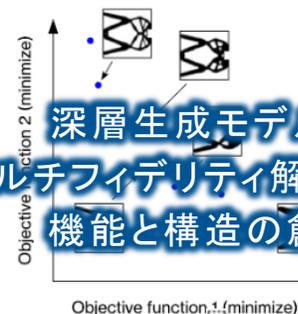


製品系列とサプライチェーンが  
織りなす統合システム  
の数理的設計論

Structure

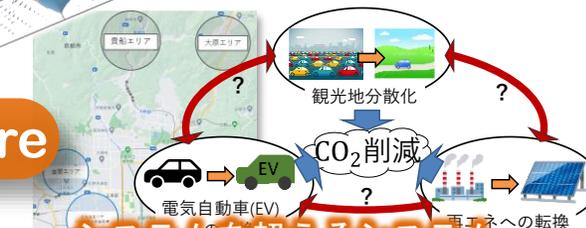


深層生成モデルと  
マルチフィデリティ解析による  
機能と構造の創成



データ駆動型トポロジー最適化  
による熱流体システムや  
反応場の創成設計

Architecture



システムを超えるシステム  
(System of Systems) のための  
複雑系モデルと数理による設計法

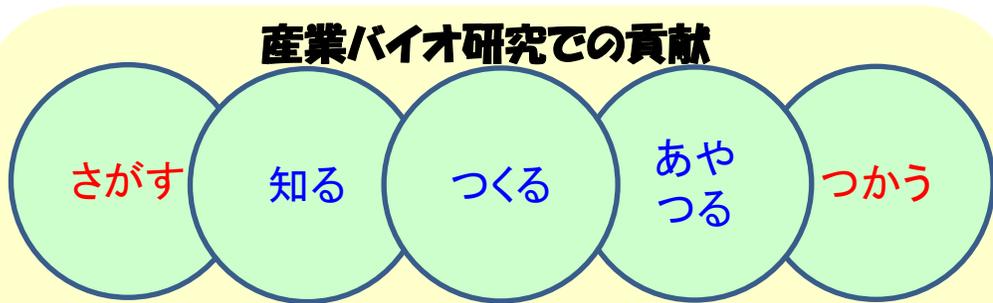
- ✓ 固有技術を統合した革新的な製品やシステムの創成を目指します。
- ✓ 各力学や制御などの諸学問を対象のモデル化と評価のための基盤としつつ、未来を描き出す設計のための理論や方法論に関する研究を行っています。
- ✓ 各テーマでは、産業界とも連携して、実践的な課題を取り上げています。





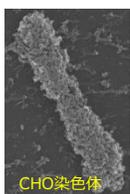
動物細胞用バイオリアクター

バイオプロセスデータ



国内外の産業バイオテクノロジーに関連する企業と連携しながら、微生物の探索(さがす、知る)や、セルエンジニアリングによる新しい細胞構築(つくる)、それを活かした生産系(あやつる)ことで、産業バイオの基盤技術に貢献すること(つかう)を目指しています

生物化学工学  
バイオプロセス工学  
細胞工学



CHO染色体

ゲノム  
トランスクリプトーム  
メタボローム

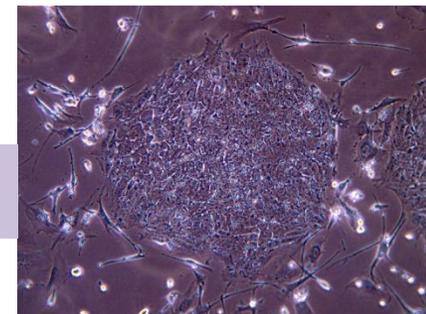
細胞・染色体等画像解析

数理モデル構築  
ビッグデータ解析

AIによる画像解析

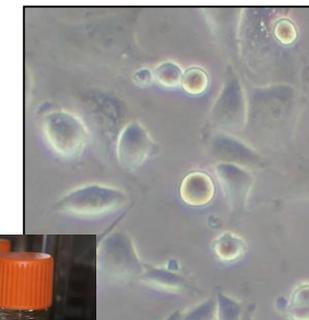
バイオプロセスのデジタルツインを目指して

細胞構築  
バイオプロセス開発



ヒトiPS細胞培養

バイオ医薬品を生産する  
チャイニーズハムスター由来細胞



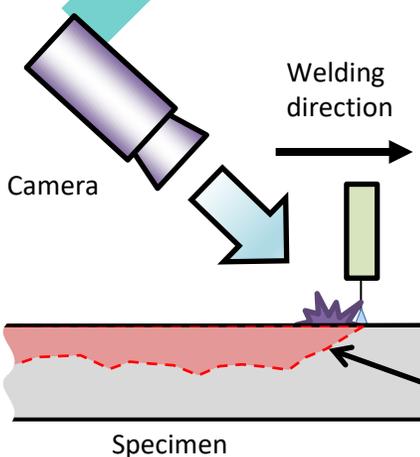
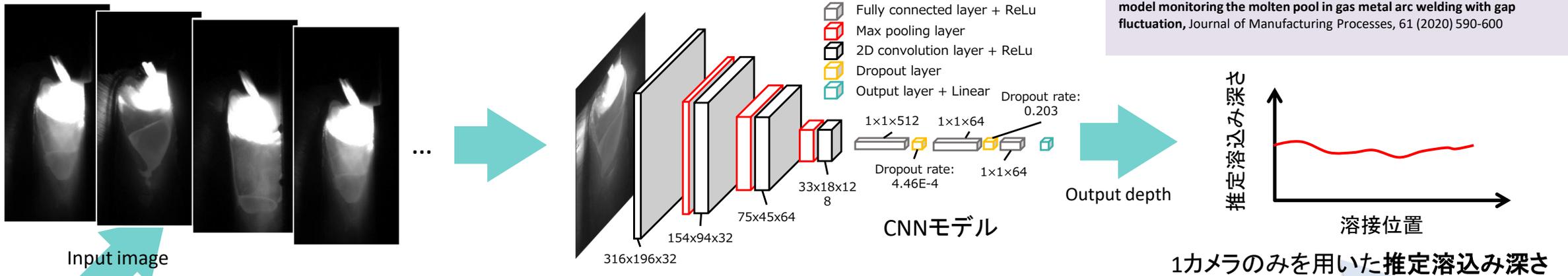
私たちの研究室は**産業生物化学工学**の視点から、生物反応を産業応用するための**プロセス開発の研究**をおこなっています。対象としては、**抗体医薬**や**遺伝子治療用ベクター**、**ワクチン**、再生医療製品、そして微生物や**産業応用酵素生産**を目的とした、**動物細胞**、**微生物細胞**のセルエンジニアリングならびにその培養、さらにはダウンストリームまでをとり扱っています。

セルエンジニアリング  
分子細胞生物学  
生物化学

接合プロセスモニタリングとAIによるその場接合品質保証, 欠陥の検出と予測, インプロセス制御手法の確立

溶融池情報等の接合プロセスモニタリング情報と, 溶込み深さや溶落ちの有無といった接合品質との相関を深層学習によって明らかにし, その場で接合品質を可視化・予測する技術をデータサイエンスにより実現する. 従来, ポストプロセスで行われている接合部の品質・欠陥検査がインプロセスで完結する, ものづくり技術の革新を目指す.

例: 溶接時の溶融池モニタリング×深層学習による溶込み深さ推定

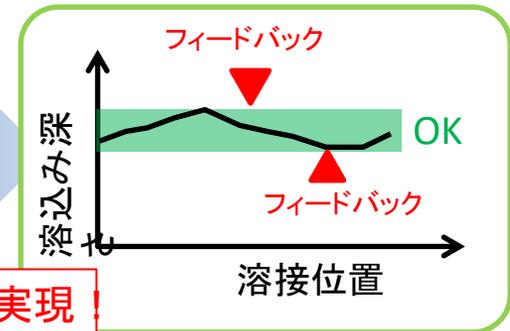


不安定な溶接品質  
 外観からは視認不可能な  
 実際の溶込み深さの変化  
 (UTや抜き取り検査など  
 後工程が必要)

- インプロセスモニタリングによる溶接・接合部の品質と健全性検査
- 接合プロセスのインプロセス制御への展開 ...を目指した**接合検査工学**の構築

- 機械学習モデルの最適化と適用範囲の拡大
- 効果的なデータマイニング手法の活用
- 熟練技能の可視化と制御指針の明示
- 溶接・接合技術の集合知化 ... etc.

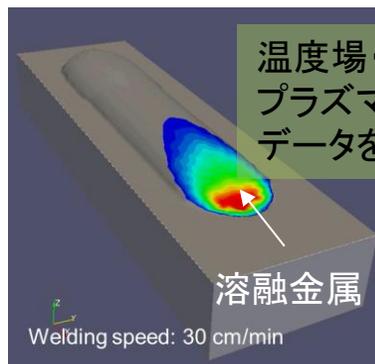
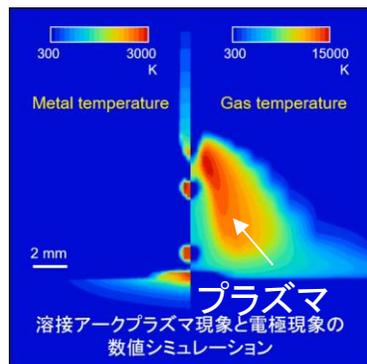
検査フリープロセスの実現



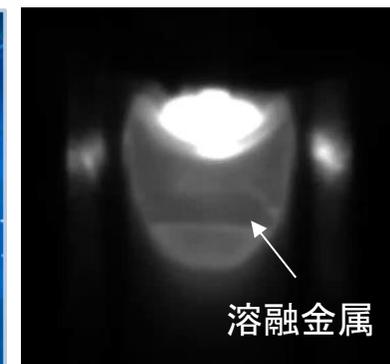
## 数値シミュレーションに基づく高度材料接合プロセスの構築

金属材料の溶融接合プロセスに応用される熱プラズマならびにそれによって溶融した金属を電磁熱流体として取り扱う数値シミュレーションモデルにより、材料接合プロセスの現象を解明・予測し、センシング技術と融合することで、プロセスの高度化につながる技術へと展開する。

### 熱プラズマによる溶融接合プロセスの 電磁熱流体シミュレーションモデル



### 画像センシングによる プロセスモニタリング



プロセス中のプラズマや溶融部を視覚センサにより捉え、  
画像処理による特徴抽出とプロセス結果の関係をまとめ、  
プロセス結果のインプロセスモニタリングにつなぐ。

シミュレーション技術とセンシング技術によるアウトプットを分析・融合することにより、  
物理に基づいたプロセスの結果予測・モニタリング・コントロール技術へとつなぐ。

機械学習の数理100問シリーズ全6巻

統計的学習

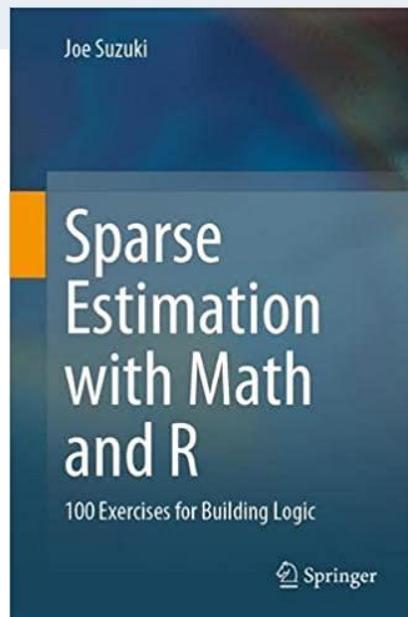
スパース推定

カーネルの機械学習への応用

渡辺澄夫ベイズ理論

グラフィカルモデルと因果推論

深層学習



共立出版、Springerから出版

研究テーマをもちより、6分野のいずれかを適用

6分野の詳細(書籍に対応)は、下記まで

[https://bayesnet.org/books\\_jp/](https://bayesnet.org/books_jp/)

<https://www.kyoritsu-pub.co.jp/series/214/>

テーマを決めてから、1ヶ月かけて上記の6冊のいずれかの100問をR  
またはPythonで解いてから、研究に着手

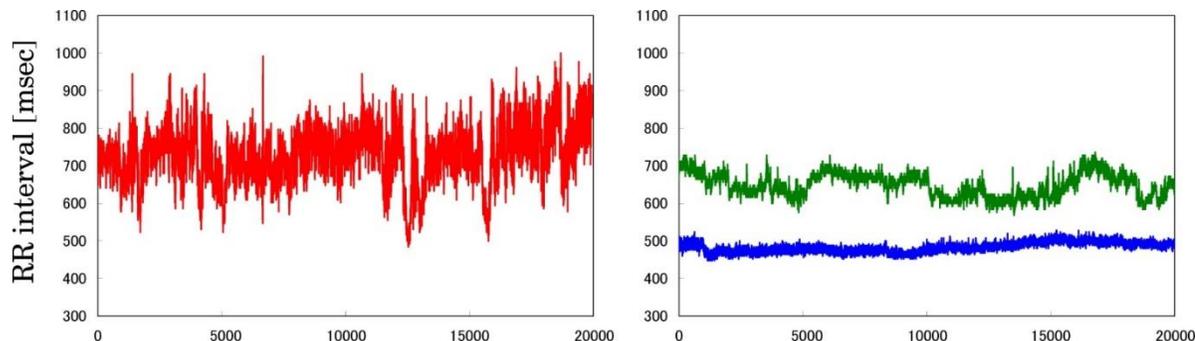
持ち込みテーマは、理論的でなくてもok

### 数理・データ科学と医学・健康情報学の学際融合研究

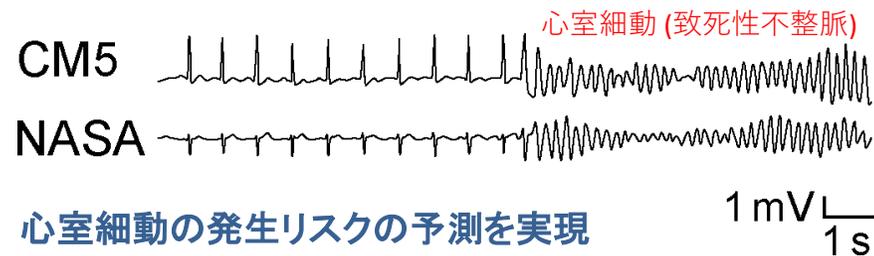
- ✓ 生体信号データの解析による医療診断の支援
- ✓ ウェアラブル生体センサを活用した日常の健康管理の実現
- ✓ 生体データの価値創出とデジタルトランスフォーメーション



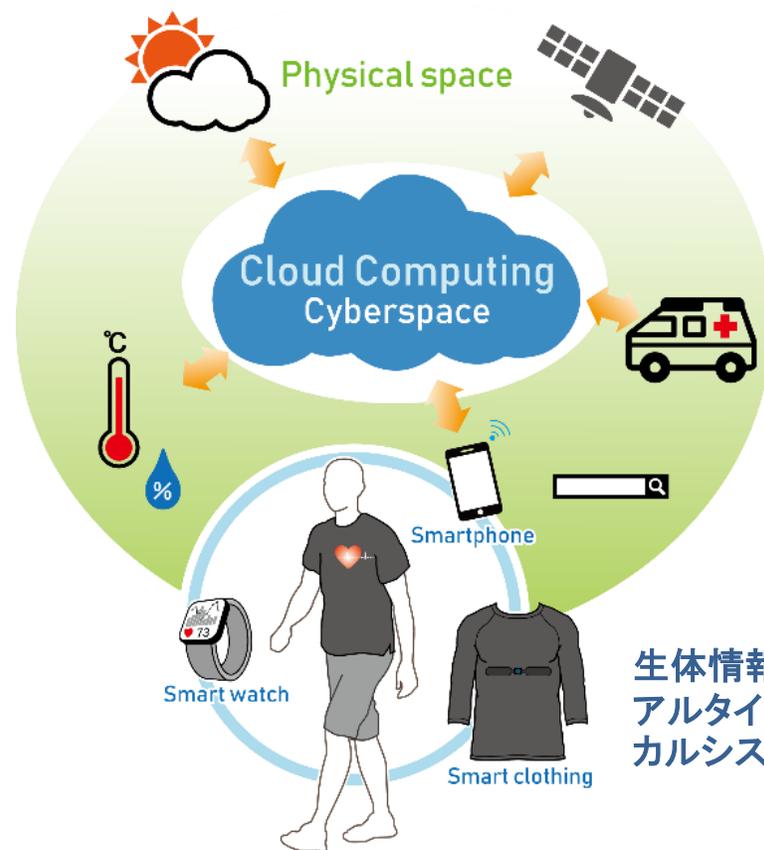
ウェアラブル生体センサを医療や健康管理に活用するための方法論を開発



生体信号時系列の動的特性を解説(図は心拍変動時系列の例)



心室細動の発生リスクの予測を実現



生体情報, 環境情報などを統合しリアルタイム解析するサイバーフィジカルシステムの開発

化学・物理学・情報学の融合による柔らかい物質系の機能制御

統計力学理論

分子集合系の解析フレームワーク

$$\hat{\rho}(\varepsilon) = \sum_i \delta(\varepsilon - v(\psi, \mathbf{x}_i))$$

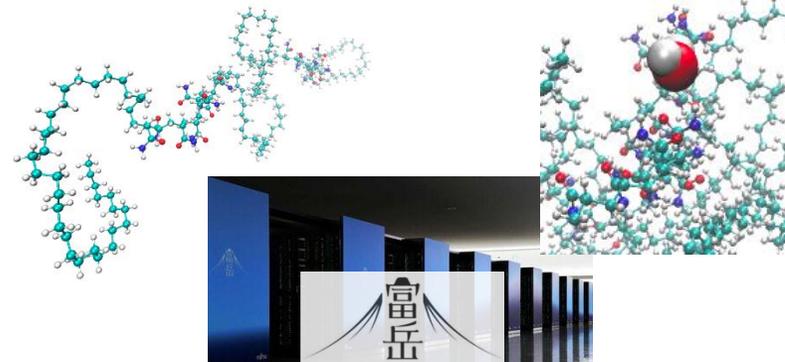
$$\Delta\mu = \int d\varepsilon \varepsilon \rho(\varepsilon)$$

$$-k_B T \int d\varepsilon [(\rho(\varepsilon) - \rho_0(\varepsilon))$$

$$- \rho(\varepsilon) \log \left( \frac{\rho(\varepsilon)}{\rho_0(\varepsilon)} \right) - \beta (\rho(\varepsilon) - \rho_0(\varepsilon)) \Omega(\varepsilon)]$$

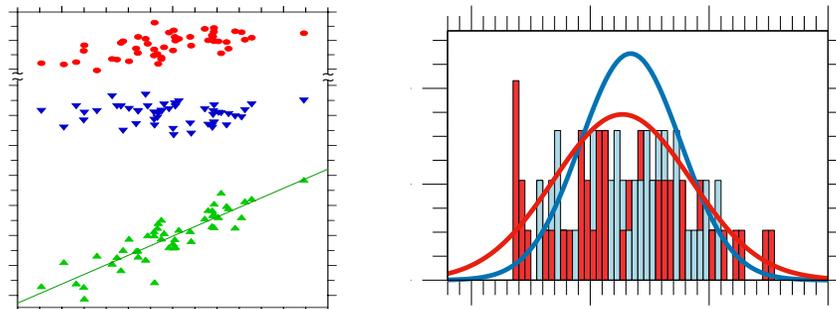
分子シミュレーション

現実の化学個性を反映した大規模計算



データ科学

現象を規定する分子間相互作用の同定



- 多様な機能を持つポリマー集合系のマルチスケール解析
- ソフト分子のマテリアルインフォマティクスを開拓
- 物理学・化学理論との融合により、膨大な変数群(分子構造や集合様態など)から有効な変数を絞り込み



- ✓ 化学・物理学とデータ科学の融合によるソフト材料学の創成
- ✓ 異分野の交流による学び合いから融合に基づく成果創出へ

## 複雑な流動現象に対するデータ科学的アプローチ

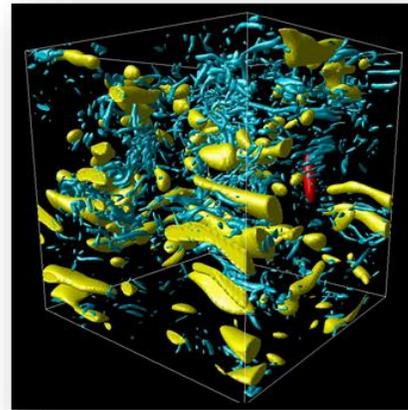
従来まで、運動方程式に基づく演繹的手法に基づいてモデル化を試みてきた『非線形の複雑流動現象』に対して、スーパーコンピュータを用いた大規模数値シミュレーションにより得られる巨大データに基づくデータ科学的なアプローチにより、新しいモデルを構築する。

### (例1) 機械学習に基づく「乱流モデル」の構築

#### 支配方程式

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

非線形性: 演繹的な手法は困難

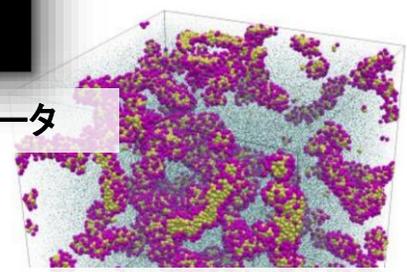


スパコンによる巨大データ

乱流の小スケールの普遍性に着目し、機械学習を用いてその運動をモデル化することで、実現象の解析に必要な大スケールのみ運動を記述するアルゴリズムを構築する。

### (例2) 機械学習に基づく「複雑流体の構成則」の構築

複雑流体のレオロジー特性(構成則)を分子運動から演繹的に記述することは困難である。一方で、(粗視化)分子シミュレーションによれば、マクロな流動状態に対する分子運動の応答が分かる。スパコンにより得られるこれらの巨大データに対して機械学習を用いることで、複雑流体のレオロジーを記述するアルゴリズムを構築する。

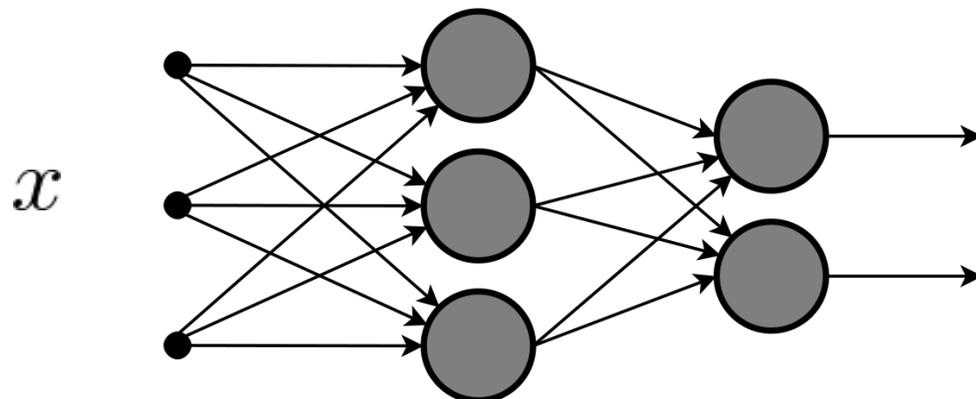


連携研究室:ニューラルネットの基礎数理

ODE-net

$$\begin{aligned} \dot{q} &= f(q, \theta) \text{ in } [0, T], \\ q|_{t=0} &= x, \\ J[q, \theta] &= \inf_{(\mu, r) \in X(\Theta)} J[r, \mu] \end{aligned}$$

RNN



プロセスの存在→微分・差分方程式の解

既存の研究で欠けている解の存在と挙動の現代数学による解析

⇒深層性の解明、学習アルゴリズムの評価基準の同定,新たな最適制御理論の開発

数理とニューラルネットの融合領域:

非局所作用素を含む微分方程式論、非局所作用素を含む最適制御理論、離散化、変分解析、Hamilton-Jacobi-Bellman 理論の拡張、学習アルゴリズムの収束性と最適性の厳密な扱い

$$y = \sum_{j=1}^n W_j a(w_j x + b_j)$$

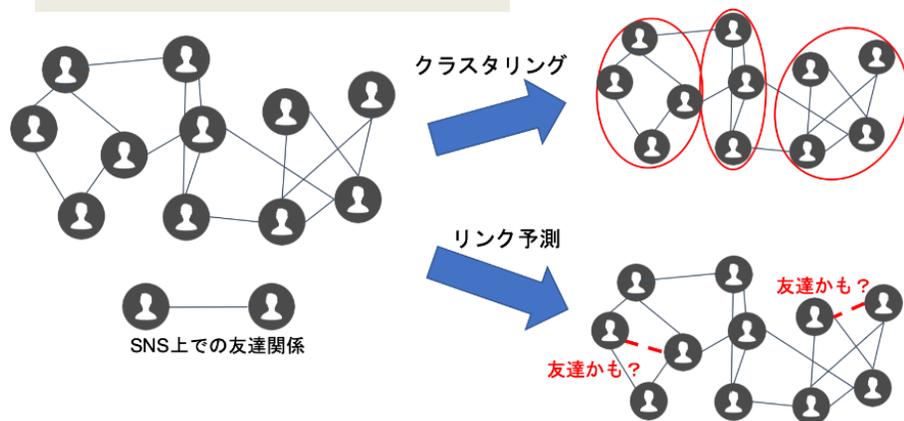
自立した知能とは - 人間が持つ3つの機能、すなわち、知覚、思考、行動を備える知能は、自立した知能と言えるのではないのでしょうか。知能センシング講座 (<https://www.is.ids.osaka-u.ac.jp>) では「自立した知能」の実現を目指し、コンピュータビジョン、コンピュータショナルフォトグラフィ、機械学習、パターン認識、自然言語処理などの要素技術とその応用に関する研究に取り組んでいます。



## グラフ処理(マイニング, マッチング), 高速データベースエンジン

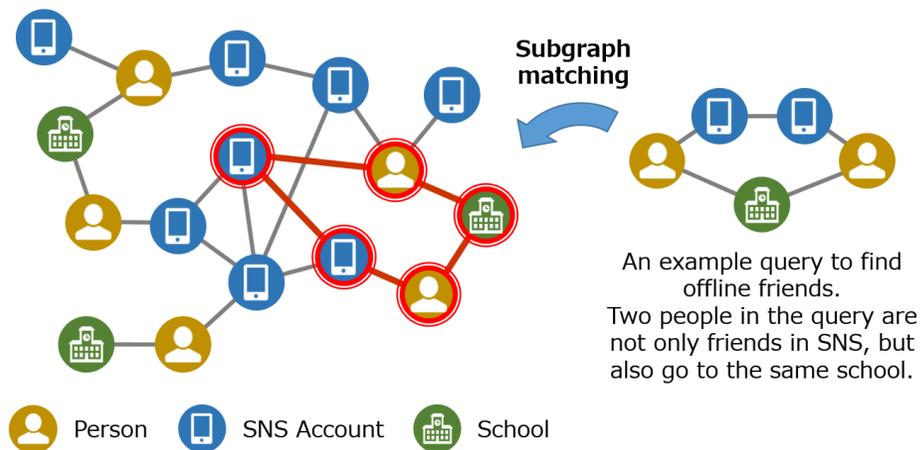
大規模データ(ビッグデータ)から知識を発見する技術(マイニング・マッチングのアルゴリズム), および数理科学の技術(機械学習・数理最適化)を活用した高速なデータベースエンジンの研究に取り組んでいる。

### グラフマイニング



グラフデータから有益な知見を見つけることを、グラフマイニングといいます(マイニング=採掘)。具体的には、似た振る舞いをするグループ(コミュニティ)を見つけるクラスタリングや、次に繋がる可能性が高い箇所を見つけるリンク予測などが盛んに研究されています。私たちは、より高精度でかつ高速な手法の開発を目指しています。

### サブグラフマッチング



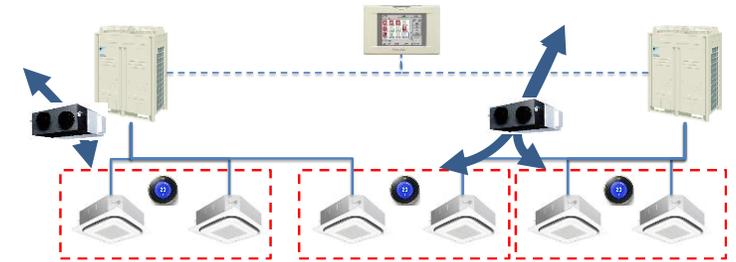
ある大きなグラフの中から特定のグラフ構造を探索する問題はサブグラフマッチングと呼ばれ、グラフから複雑な情報を引き出すために用いられています。効率的な探索により高速なサブグラフマッチングを可能にするアルゴリズムの確立を目指しています。

## システム化技術によって現実の諸問題の解決を図る

数理計画法、統計的手法や離散数学、組合せ最適化、人工知能などの数理科学的アプローチによって、企業における生産活動、社会現象や自然現象のモデリング、不確実性科学に基づくシステム解析などの研究を通じて、よりよい社会やシステムのために数理技術の貢献できることを考えます。

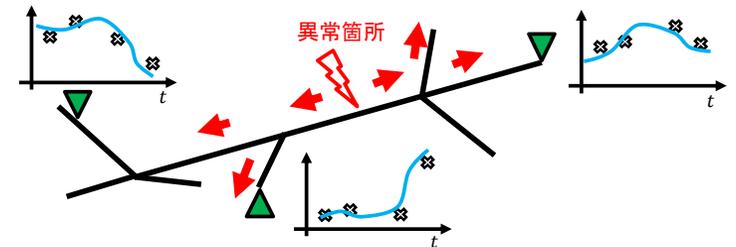
### (例1) 空調機システムの最適構成

快適性を失うことなく省エネを実現するための空調機システムの最適な機器構成とその運転制御方式を実現するための最適化モデルを構築しています。計算の効率化のためにAIを活用し、膨大な組み合わせの中から最適なシステムを提案することができるようになりました。



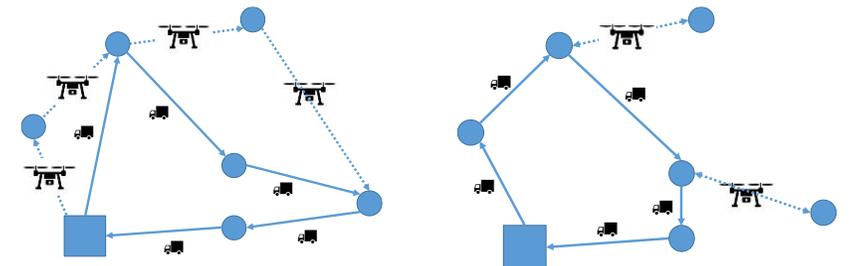
### (例2) ネットワーク構造物における異常検知

ネットワーク状の構造物における熱や音の伝搬を状態方程式で記述し、データ同化や特異値問題による解析によって、時系列データから異常箇所を推定するモデルを構築しています。



### (例3) ドローンを活用したトラック配送計画

トラック配送とドローンや自動搬送ロボットなどの補助輸送装置を組み合わせた配送計画モデルを構築しています。さまざまな活用法をモデル化して、それらを有効性や利便性を数理最適化によって評価しています。



## Immune system Informatics

The repertoire of immune receptors (antibodies or T cell Receptors) expressed by any individual are largely “private”; that is, the overlap with another individual is less than 5%. We are using various computational methods to understand the relationship between the immune repertoire and health or disease.

### (Example 1) Repertoire clustering

Clustering allows us to simplify high-dimensional data and prepare the data for analysis by machine learning and other methods

### (Example 2) Structural modeling

Structural modeling of receptors allows us to understand their functions more deeply than we can from sequence information alone.

### (Example 3) protein evolution

A fundamental relationship between protein evolution and Machine Learning (ML) has emerged in recent years. Multiple sequence alignments (MSAs) are the key to this relationship. We are developing a new approach to computing highly accurate MSAs for both evolution and ML applications.

### (Example 4) Protein-protein interactions

Predicting protein-protein interactions is at the cutting edge of Machine Learning in computational biology. We are developing new methods to extend “structure” to “function” in biology.



# 音声・言語・対話による人と機械のコミュニケーション

機械が人間にとって身近で使いやすい存在となるには、音声対話機能が必須です。本研究室では、音響信号処理から社会的インタラクションまでを広く視野に入れ、音声認識技術や自然言語処理技術を用いて、人間と対話するシステムの基礎技術を研究しています。これらの前提となる技術として、統計的機械学習や深層学習を駆使しています。

## テキストチャット

2021年に東京でオリンピックが開催されます

何の競技が人気なの？

最近は色々人気ですよ

確かにメディアも色々取り上げるようになったね



複数の人間と話す対話ロボット

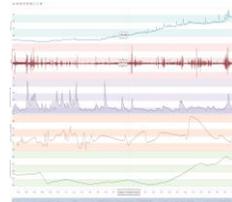
## パターン認識

音声認識

音声対話システムです

自然言語処理・言語理解  
音声[名詞] 対話[名詞] ... です[助動詞]

ユーザ状態推定(心象・緊張度)



発話意図推定



## マルチモーダル対話

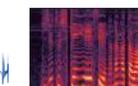


生体センサ

マイクアレー

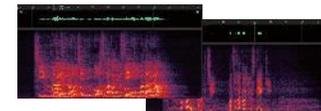
アイトラッキンググラス

## 音響信号処理

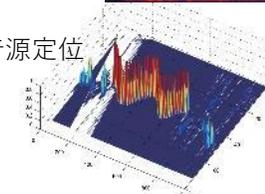


音源分離

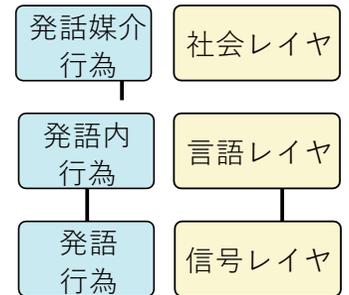
周波数分析



音源定位



## 語用論



発話行為理論  
[Austin, 1962]

「未来の予測によって社会を変革する」

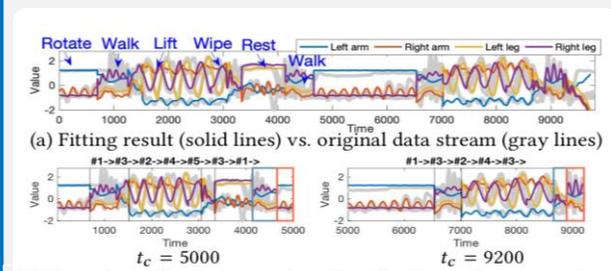
交通システムや環境測定等における各種センサネットワーク等、様々なIoTビッグデータに対し、様々な現象、活動の時間的な推移を非線形動的モデルを用いて分析・学習することにより、重要なパターンの発見、将来のイベントの予測を効果的、効率的に行ない、様々な社会活動を最適化するための高度AI技術を開発しています。

研究の課題と目標 時系列ビッグデータ解析に基づく社会行動支援技術の開発

要素技術：リアルタイムAI技術

技術開発目標：産業貢献、社会貢献のための技術移転

- リアルタイム将来イベント予測
- 社会行動最適化のための動的要因分析
- スマート工場、製造工程の高度化(生産性、品質向上)
- 車両走行データ解析(運転支援システム、自動運転)
- 医療AI(各疾患特有の突発的異常の検知や予測)
- Web情報解析(市場分析、マーケティングDX)

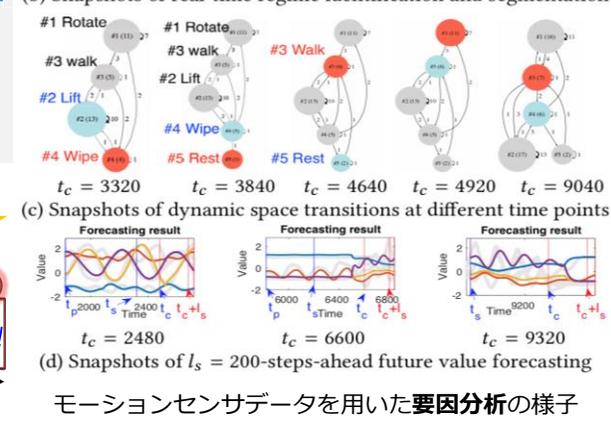
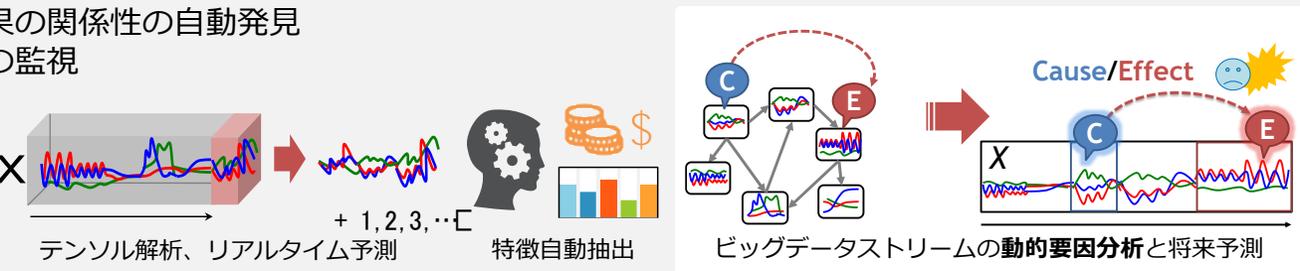


研究開発成果 時系列ビッグデータのためのリアルタイム動的要因分析・将来予測技術

リアルタイムAI技術：ビッグデータの中から動的因果関係をリアルタイムかつ自動的に抽出

- モデル間の連結の強さの推定
- 連結をたどることによる要因/結果の関係性の自動発見
- 事故やトラブルのサイン(兆し)の監視
- 社会行動のための情報推薦

トップ国際会議ACM KDD (2014, 2016, 2019, 2020), SIGMOD (2014), WWW (2015, 2016)などで研究成果を発表



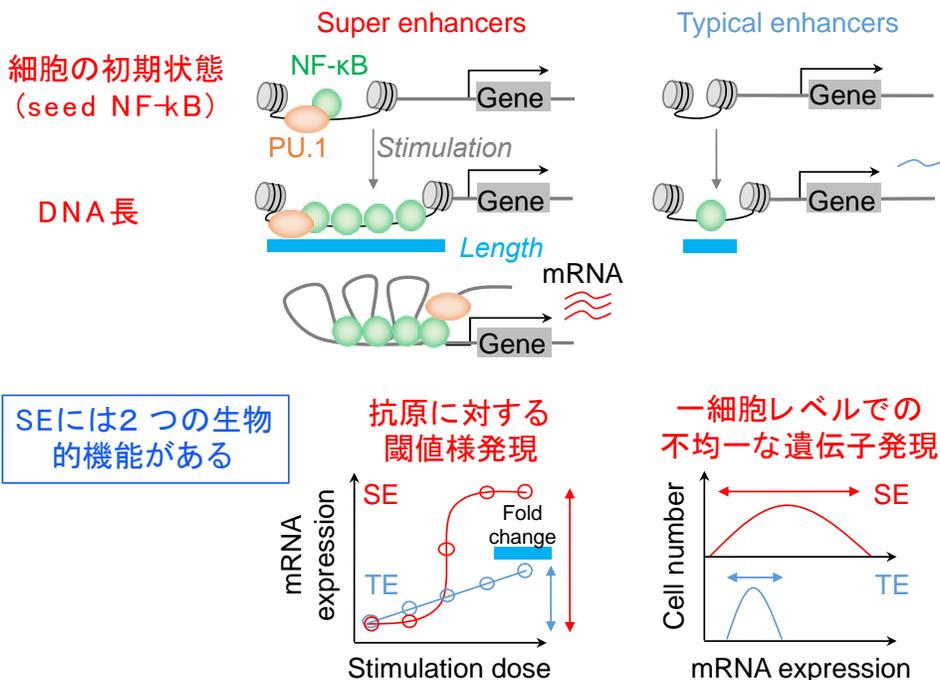
産業界への技術移転 社会実装への取り組み：産業界における付加価値を高めるためのリアルタイム予測技術

- スマート工場における設備操作最適化(三菱重工グループ、ソニーグループなど)
- 車両走行データを用いた特徴自動抽出アルゴリズム(トヨタ自動車など)、その他エッジデバイスAIなどIoT関連の共同研究を10社以上の企業と実施

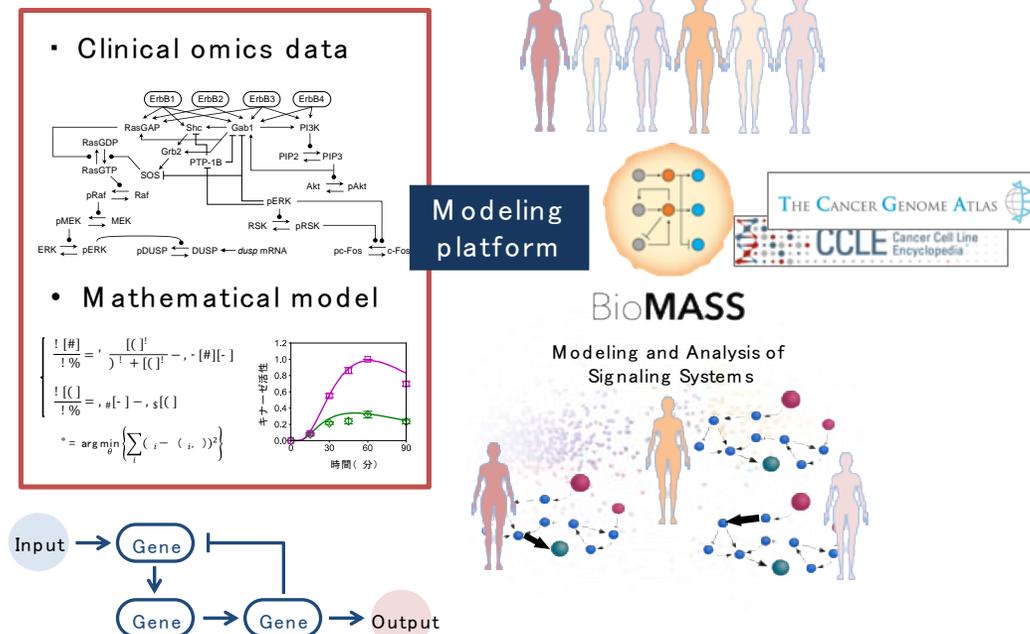
データ駆動的な数理モデリング手法を用いた細胞・疾患制御の解明

次世代シーケンス等から得られる多階層のオミクスデータの解析や遺伝子間相互作用の数理モデリングとシミュレーション解析によって、生命動態や疾患の機序を理論的に明らかにし、生命科学の基礎研究や応用研究に活かす。また、このための情報解析技術や数理モデリング技術の開発を行う。

(例1) 多階層オミクスデータ解析に基づいたエンハンサー制御機構の解明



(例2) 疾患データと数理モデリングを組み合わせた患者固有モデルの構築



## 積層造形プロセスの最適化における数値解析の研究と応用

合金や化合物を連続接合する産業用3Dプリンターでは、ほぼ全ての工程を計算機支援下で実施します。本研究室が開発した光造形法では、微粒子を光硬化性樹脂に分散しペースト化し、平滑塗布した表面へ光描画により断面層を形成しながら、連続積層と層間接合を経て構造体を作製します。高温加熱による焼結過程を経て、多様な機能性構造体を創製し、地球環境に配慮した資源獲得へ寄与できるよう研究を進めています。

### (例1) 構造設計と特性可視化

対象となる3次元構造を設計する過程で、電場・磁場・力場・熱場・流体場・拡散場におけるエネルギーやマテリアルの流れを予測する解析法の研究

### (例2) 素材調合と最適化解析

微粒子を液体樹脂へ分散し、ペースト状の造形素材を調合する過程で、粒子分布のモデル化を経て、レーザ光など接合エネルギーの伝搬プロファイルを可視化する解析法の研究

### (例3) 装置制御と材料欠陥抑制

光造形装置を適切に動作させ、断面の描画と積層による立体化を進める過程で、健全な層間接合を実現することで、部材内部の欠陥発生を低減させる制御論の研究

### (例4) 部材評価と帰納解析

造形部材の多様な特性を評価する過程で、得られた測定値を設計図とリンクさせることで、構造の最適化と機能向上を効率化する方法論の研究

## 数値解析

- 問題を「数値的」に「解析」
- さらにそのためのアルゴリズムの開発とその数学解析

### 幅広い応用

地震・気象・量子情報・画像処理など様々な分野への応用展開を狙います

### ほぼすべての数学と密接な関係

解析だけでなく、代数・幾何・確率統計など様々な数学を用い、また数学への働きかけも目指します

### 新分野開拓

これまで、与えられた問題を「高速・高精度」に解くアルゴリズムの研究が主流でしたが、不確実性のある問題に対して「適切」なアルゴリズムの開発や解析を行います

### 紙と鉛筆 から スパコンまで

極めて数学的な基礎研究から、スパコンを利用した応用展開まで多様な研究トピックを扱います

自分の強みを生かして、基礎研究にも応用研究にも大きな貢献が可能です！

私たちの生活を安全に支える要素技術:暗号

たとえばRSAは素因数分解問題の困難性に帰着:

素因数分解問題の高速アルゴリズム:GNFS

しかし計算機速度の向上により次第に危殆化:**ムーアの法則** ( $p=2^{n/1.5}$ )

RSA	$L_N[s, c] = \exp((c + o(1))(\log N)^s (\log \log N)^{1-s})$	
解読計算量	$L_N[1/3, (64/9)^{1/3}]$	分解したい数N

クラウドの進化やスパコンの登場により、今まで安全とされてきた暗号アルゴリズムの解読可能性が高まり、その大きなターニングポイントが量子計算機の登場

量子力学に基づいた計算モデルをベースに新たなアルゴリズムの検討

IBM Quantum Qiskitを用いた計算シミュレーション

インターネットのセキュリティを支える根幹技術である悪性検知において、より画期的な不正検知手段の検討

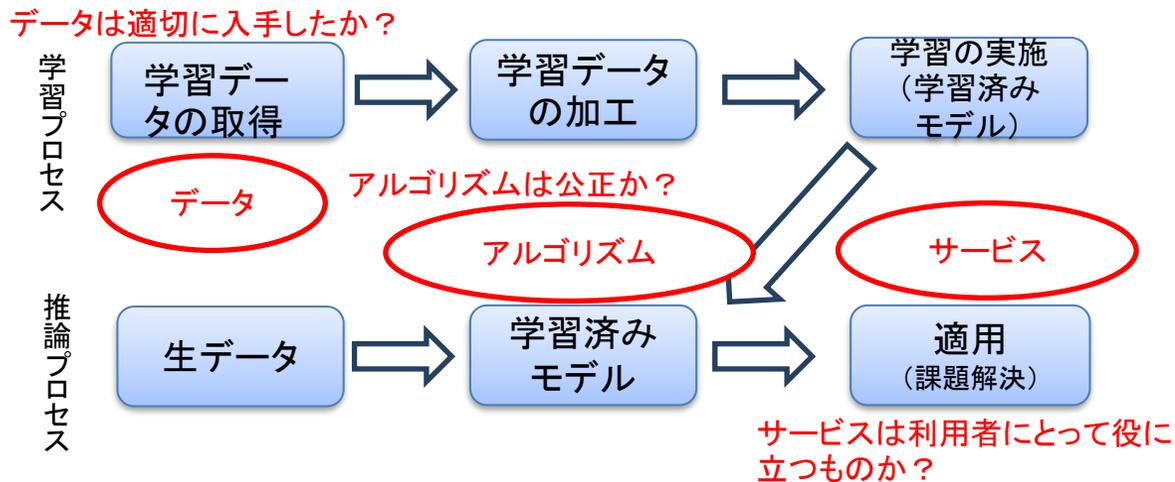
今までのようなAI、機械学習を用いた検知だけでは追いついていけない

量子計算機をベースとした次世代ファイヤーウォールの検討

AIを社会において利用していくためには、データの取得・提供から、アルゴリズム開発、サービスの提供・運用といったそれぞれのプロセスにおいて、倫理的課題、法的課題、社会的課題(これらを合わせてELSIと呼びます)を早期に発見して、対処する必要があり、またそのための仕組みやルールを策定することが、社会全体としても、企業や大学といった組織に対しても求められています。

法学、倫理学、社会学といった人文・社会科学から、データサイエンスとAIにアプローチする。

### AIと社会

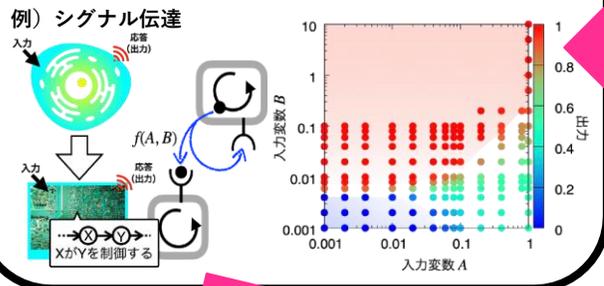


- ・AI研究開発と社会実装のためのガバナンス
- ・AI技術のための責任ルール
- ・AIと裁判、AIと民主主義
- ・AIの利活用によって生じるリスクの評価手法
- ・学習データを適切に取得するためには
- ・アルゴリズムのバイアスと公正さ
- ・プロファイリングのためのルール
- ・AI時代の自律性とは(AIにどこまで任せられるか)

生物学・医学・数学・情報科学を融合した分野横断研究

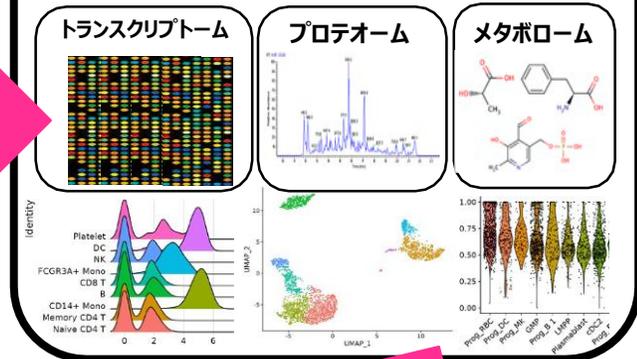
数理モデル

対象を理解するための最小構成の理論モデルによるメカニズムの理解



ビッグデータ解析

データ解析による対象の隠れた特徴抽出



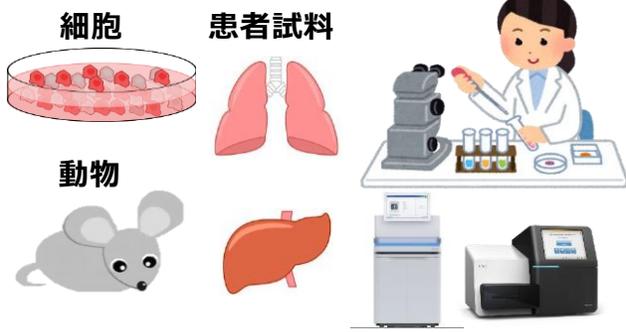
1. 実験チームからのデータ提供
  2. バイオインフォマティクス的手法などを用いたビッグデータ解析
  3. 数理モデルによる理論解析
  4. 実験チームによる検証実験
- 各フィードバックを行いながら1~4のサイクルを回すことにより実験研究のみでは解らない現象・メカニズムの理解



理論・実験・計算の連携

実験系研究

実験による素データ取得・理論の検証



バイオインフォマティクス

1. 実験研究のみでは解らない現象の理解
2. 異分野融合の促進
3. 生物・医学, データ科学, 数理科学の知識をバランス良く有した人材を育成
4. 研究成果をまとめ, 論文指導 → 早期キャリアから研究業績を蓄積

生物統計

システム生物学  
生物物理学

人間行動のマルチモーダル・ビッグデータ計測・収集、統計数理や機械学習を通じた行動データ解析、およびその結果に基づく価値・サービスを社会実装するアプリケーションの研究開発

- ・カメラ映像から人間の行動を数値化する計測技術開発
- ・行動データの分類・識別・予測のための統計数理・機械学習
- ・人間の行動データをロボットの運動へ利活用するための学習制御
- ・人間行動を理解する人工知能のクラウド計算機
- ・人間行動AIの医療・介護・スポーツ・教育コーチング



統計学 最適化数理 機械学習 ソフトウェア工学  
(コンピュータビジョン・グラフィック) 運動力学・制御論 ロボット工学

医学 (整形・スポーツ医学)  
治療・リハビリと運動機能変化の関係性

薬学 (生体情報学)  
筋骨格系と免疫・代謝データ→創薬開発

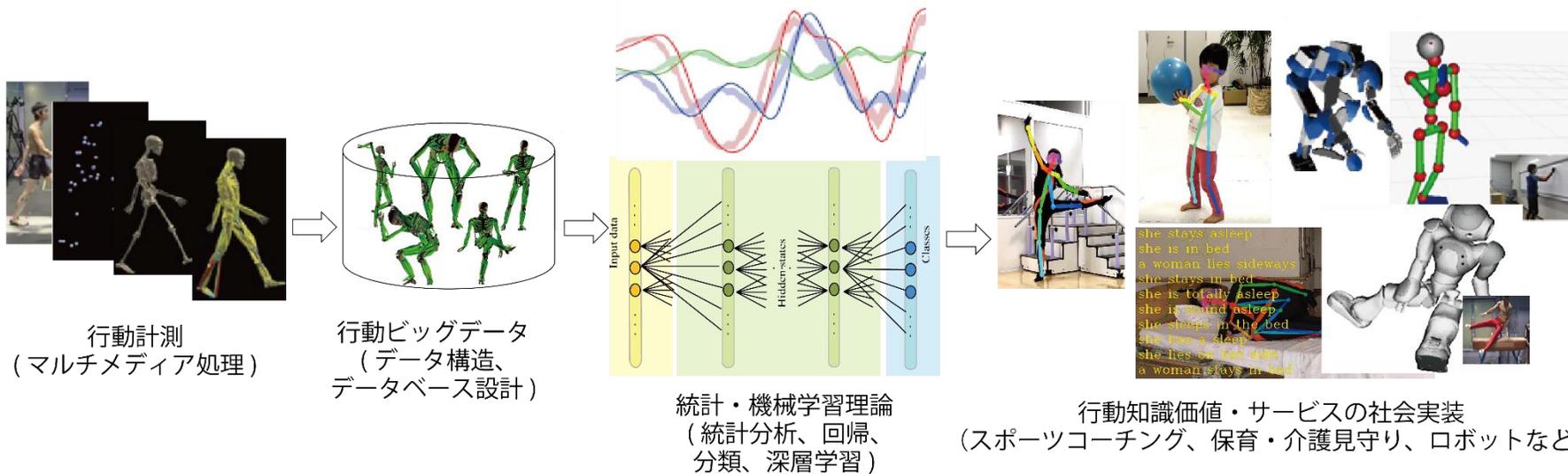
理工学 (バイオメカニクス)  
身体運動データ→詳細神経筋骨格モデリング

情報学 (コンピュータビジョン・グラフィックス)  
行動計測, デジタルツイン構築  
行動データを活用したアプリケーション開発

人文社会科学  
巧の技術・技能のデジタルアーカイブ構築

経済学  
ショッピングビヘイビア分析

産業連携  
自動車・家電・ゲーム・エンタメアプリ 理学療法士 マーケティング企画



- インターネットを核としたグローバルマーケットの創造を目指して、先端技術を創出
- ひと・もの・サービスがネットワークを介して連結されることで生ずる新たな価値を享受し、円滑な取引を実現
- 関係者の参加を維持・促進する仕組みである、適切なインセンティブを設計
- 人工知能やゲーム理論を基礎としてデータ分析やエージェントベースシミュレーションを併用
- 上記目的の実現に向けた社会課題の解決

計算機科学・工学のための経済学: (通信、交通など) ネットワーク設計における利己的視点の導入、human-in-the-loopシステムにおけるインセンティブ視点の導入 (人の参加の促進、真実申告の実現、洗練された情報集約の実現、合意形成の実現)

経済学のための計算機科学: 大規模系における均衡計算の実現、AI・機械学習の応用



人と機械の最適編成  
経済指標の協働予測

契約に基づく分散制御  
一方向カーシェアリングに  
おける非均衡配置の解消

ゲーミフィケーション設計  
Q&AコミュニティStack  
Overflowの分析

オークション支援  
ネットオークションにおける  
即決価格設定

