

「次世代情報社会の実現」領域

研究開発課題名：「高速ビジョンによる多次元デジタルツイン計測と再構築」

研究開発代表者：宮下 令央（東京理科大学 総合研究院 准教授）



＜課題概要＞

従来のメタバースやデジタルツインなどの情報環境では、映像情報処理が人間の認知レベルである1秒間あたり30～60フレーム（30～60fps）程度の性能で実装されていたため、実世界との時空間的なずれを生み、応用上の様々な問題を引き起こしていました。具体的には、デバイス装着による拘束的状況、リモート会議の映像遅延、遠隔手術や自動運転の入出力の遅延、VR酔いなどの問題が快適な情報環境構築の大きな阻害要因となっています。本提案では、1000fpsという世界でも類をみない超高速ビジョン技術を用いて、実物体と情報世界との間の速度と精度に差のない、多次元デジタルツインの技術群を開発することを目的とします。

しかし、人間の感覚を遥かに超える時間・空間密度で実物体の多次元情報を計測し、人やロボットなどが理解・利用可能な形で再構成するには、物体センシングからディスプレイまでの様々な技術を超高速ビジョン技術と同等の性能水準を満たすよう開発し、連携させる必要があります。このため探索研究では高速ビジョンのための計測・画像処理をはじめ、駆動光学系の整備、運動計測に基づく形状情報のデータ統合、ビジョンによるロボットの制御技術などを開発・統合することで、高速、低遅延、高解像度の3次元形状・色情報計測や高速ダイナミックプロジェクションマッピング（DPM）などを実現しました。

本格研究では探索研究の成果を活かし、高速性を維持した上でさらなる高解像度化や豊かな情報表現を目指します。その際、通信や処理において単位時間に扱える情報量、即ちデータレートが実装上制限されるため、時間と空間の双方を同時に高速・高分解能で切り取ることは容易ではありません。また、通信・演算デバイスと比較して入出力デバイス的高速化は遅れており、システム全体の遅延を抑える上でのボトルネックとなっています。

これらの課題に対して、本格研究では高速センシングで時間軸を完全に把握した上で、時間を基軸として得られたデータを統合することで、実物体を代替するリアリティーを持った高解像度のデータ取得技術の実現を図ります。併せて、遅延時間が数ms以下の入出力デバイスや投射型ディスプレイ、高速ロボットとの連携技術などの研究を進めます。これらによって、超高速で動く物体の形状の精密計測など、時間軸を加えた多次元情報を超高速に計測・処理し、人間が理解・利用しやすい形での表示が実現することで、実世界と情報世界を時間的・空間的にずれなくつなぐことが可能となります。本研究成果は多次元デジタルツインをリアルタイムで扱う技術基盤として、多様な領域の応用に展開され、従来のパラダイムを超えたサービス・ビジネスの創出につながることを期待されます。具体的には、室内・自動車等における実世界インタラクション（AR・VR、e-コマース、製品設計、映像・メディア等）、顕微鏡像・望遠鏡像等の制御・認識（生命科学、スポーツ、セキュリティ等）、高速知能ロボット（無停止製造ライン、高速AI認識・検査等）など、広範な分野が想定されます。

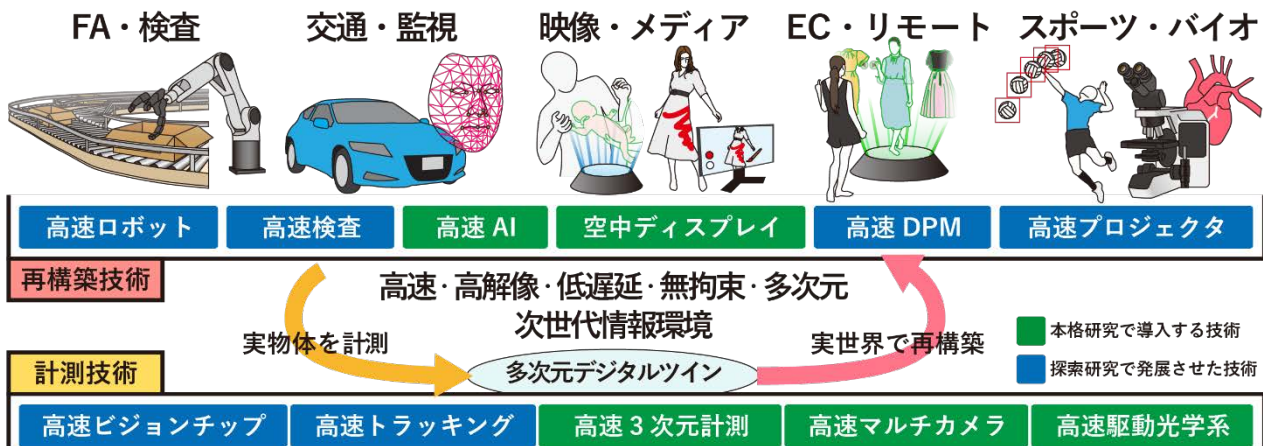


図 多次元デジタルツイン技術の多様な領域への適用

研究開発課題名：「多層的生体情報の統合による疾患予防デジタルツインの構築」

研究開発代表者：村上 善則（東京大学 医科学研究所 教授）



<課題概要>

日本は世界有数の長寿国ですが、平均寿命と健康寿命には12年の開きがあり、成人の65%以上が生活習慣病に罹患しています。その結果、医療費は膨大となり2021年度には44兆円に達し、年間2兆円ずつ増加しています。この状況が我が国の個人の幸福と社会の活力を損ねる大きな原因となっています。この問題の克服には疾患の早期予防が有効と考えられます。例えばがんでは予防により医療費の約36%、年間約1兆円が削減可能と試算されています。これを生活習慣病全体にあてはめれば、予防効果は年間4.8兆円の医療費削減となり、経済的にも国民のQOL向上にも大きな効果が見込まれます。

しかし現在の疾患予防は、定期的な健康診断による自らの健康状態の把握と、喫煙、飲酒、食事、運動などの生活習慣の改善が中心で、個人差に十分に対応していない画一的なものであることが、一部で診断の遅れや過剰検査につながっています。一方で、近年のゲノム科学や情報科学の爆発的進歩に伴い、個人のゲノム情報や他の生体情報、生活習慣情報などの解析により、個々人の疾患リスクの予測が可能となりつつあります。いまや疾患予測に有効なアルゴリズムの構築は、関連産業の興隆とともに世界的研究課題となっています。しかし、個別疾患の研究枠を超えた、さらには最新の情報解析技術を駆使した、生体情報に基づく疾患予防は世界的に未開拓の領域でした。この種の解析の鍵となるのは、基盤となるデータの質と量、観察期間の長さです。雇用者に従業員健診を義務付けている国は日本のみであり、その結果、情報解析に理想的な、質・量ともに優れた健診情報が長期間蓄積されていたにもかかわらず、いままで十分には利活用されて来ませんでした。

本研究課題では、健診情報に生体情報を加えて統合的に解析する高精度な疾患リスク予測と予防的介入の技術を確立することで、国民の健康の増進と医療費削減を目指します。探索研究では、6万人分の企業健診データにゲノム多型情報を加えたデータベース(DB)を構築しました。そして、多数の遺伝子の効果を考慮して各疾患のリスクを評価するポリジェニック・リスクスコア(PRS)を構築し、肥満、脂質異常症、糖尿病など10種の生活習慣病の疾患リスクを予測し、高危険度群の同定に成功しました。また、PRSを既存の機械学習による予測アルゴリズムに統合して、その精度の向上に成功しました。

本格研究では、探索研究で検証したDBと予測技術を基盤として、リスク予測の対象を38疾患、20万人に増やすとともに、様々な生体情報を組み込んだ統合情報解析法を開発し、将来の健康をシミュレーションするアルゴリズム構築と疾患予防法の確立を目標とします。また、本研究の成果としての疾患リスク予測モデルを、広く一般企業や自治体にも適用することで解析対象者数、解析疾患数、統合する生体情報の種類と量、情報解析手法の種類と質の拡大を図ります。さらに本法は、ゲノム情報の近縁性、生活習慣の類似性などから、東アジア諸国でも利用可能であることから、国内のみならず海外への展開も進めることにより、最終的に100万人規模の情報収集と長期追跡を目指していきます。

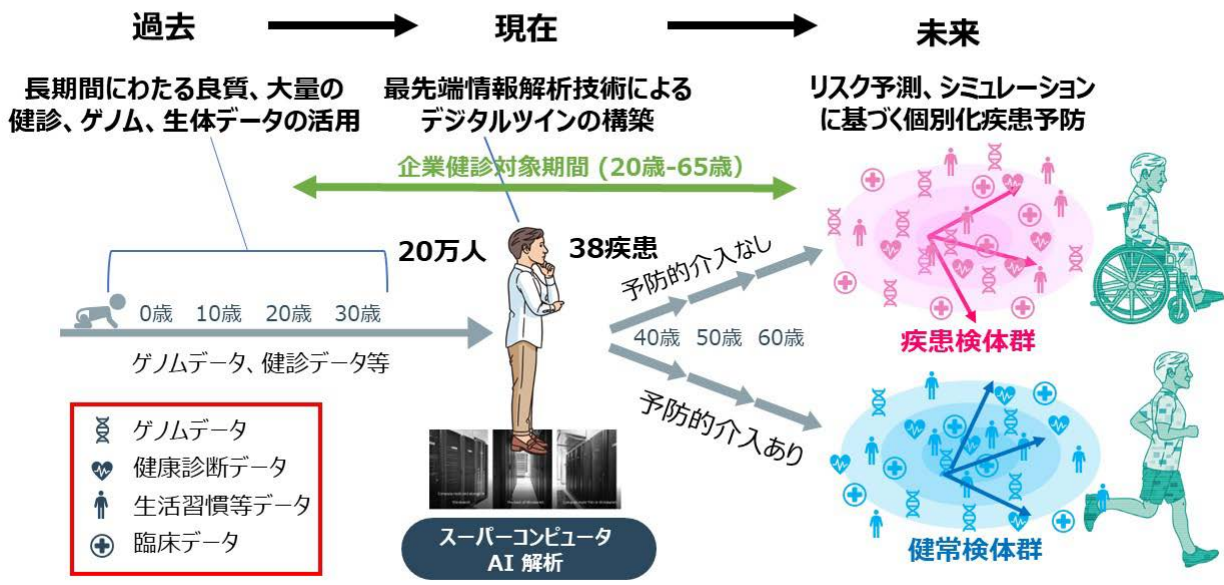


図 個々人の健康デジタルツインの構築による疾患予測・予防体系

研究開発課題名：「衛星観測とモデルシミュレーションとの融合による
長時間洪水予測の実装：

洪水を災害にさせない社会の実現に向けて」

研究開発代表者：芳村 圭（東京大学 生産技術研究所 教授）



<課題概要>

洪水による被害額は世界では毎年約4兆円、国内でも2019年の台風19号では1兆8千億円に上る規模となっています。気候変動による極端降水の増加により洪水被害は今後も一層激甚化すると懸念され、洪水の防止・減災は喫緊の社会課題となっています。

洪水による被害・災害を防ぐには、堤防等のハードの整備・増強はもとより、洪水発生前のダム放流や水門制御等を適時に実施するとともに、気候変動も踏まえた洪水予測に基づく土地利用や防災施設の計画が必要です。また、洪水による減災には、洪水を事前把握し、誰もが発災前に効果的な諸対策をうつための時間的余裕をもてるような防災対応が必要です。これらを実現するためには、3つの課題があります。第1は洪水の予測技術です。現状の洪水予測は早くても6時間前であり、その時点からでは十分な防災対応を行うための時間が不足しています。加えて、予測精度や情報の詳細さが不足しているため、例えば、洪水リスクが高い局所地域の水防施設を前もって集中的に強化する等の対応が困難です。第2は、予測情報が自治体や企業等の多様な属性の受け手ニーズに応じた形で適時かつ確実に伝達されていないことです。第3は、予測時間が短いこともあいまって、予測情報の受け手が最適な防災対応を自身で能動的に判断・実行できないことです。

本研究では、上記の3課題を解決するために、まず、高度（早期・高精度・詳細）な洪水予測技術を開発し、加えて、洪水に関連する情報伝達と防災対応を連動させ最適化する技術基盤を開発します。その上で、自治体・企業・市民との連携による、社会実験等を通じて行動変容に導く手法を確立し、国や自治体への中長期的な効率的ハード増強計画を提案することにより「洪水を災害にさせない社会」の実現を目指します。

探索研究では、機械学習を用いて降水予測を補正することで実際の観測値とほぼ同等の降水予測が可能であることや、詳細な地形データを基にダウンスケーリングする手法を用いることで浸水深さ分布分析の高解像度化（30m）が可能であることを実証しました。また、自治体との協働により予測情報に対する具体的なニーズを洗い出すとともに、予測精度が60%を超えると実施可能な対応が大幅に増えることを明らかにしました。

本格研究では、予測技術に関し、人工衛星データをはじめ多様な観測情報や知見のデータ同化による早期洪水予測（3日前）と、浸水予測の全世界での高解像度化を達成します。上記第2と第3の課題に対しては、災害状況を再現・生成するサイバーフィジカル空間を構築し、予測情報の伝達・活用が防災行動と洪水防止につながるかを検証します。また、自治体の防災訓練等で行う社会実験を通じ防災行動を分析し、能動的な判断・行動につながる防災計画の立案手法を構築します。そして、それらを踏まえ国や自治体の中長期的治水・土地計画の策定にも貢献します。以上を通じ、洪水発生を最大限防止し、かつ誰もが能動的に防災対応を判断・行動できる「洪水を災害にさせない社会」の実現に貢献します。

<p>課題1 洪水予測性能が低い</p> <p>短時間・低精度・低解像度 →市内全域避難 →誰も避難しない</p> <p>洪水の高リスク地域が不明 →水防施設の強化が不十分 →洪水被害発生を防げない</p>	<p>課題2 情報が届いていない</p> <p>時間不足 逃げ遅れ 予備群 危険な場所から 全員避難!</p> <p>政府広報オンライン (gov-online.go.jp)</p> <p>課題3 社会が対応できない</p> <p>避難所 → 寒い体育館 不十分な水防施設 → 洪水被害発生</p> <p>避難生活 (mlit.go.jp)</p>
--	--

本格研究では3分野を統合して推進し、世界共通課題「洪水犠牲者・経済被害」の具体的な解決策を構築

<p>挑戦1 洪水予測技術の革新</p> <p>長時間・高精度・高解像度 →氾濫地域絞り込み →全員避難の実現</p> <p>高リスク地域での 中長期的な水防施設の 強化策を提示 →洪水被害発生を防止</p>	<p>挑戦2 適時適切な情報伝達 →様々なニーズにカスタマイズ</p> <p>3日前~</p> <p>挑戦3 社会対応力の強化 →予測を前提とした流域計画</p> <p>要配慮者事前避難 広域流量操作や計画的遊水</p>
---	--

図 洪水の防止・減災に関する課題と、「洪水を災害にさせない社会」実現に向けた挑戦

研究開発課題名：「マルチスケール計測・計算技術の融合による高スループットデバイス開発支援プラットフォーム」

研究開発代表者：井上 元（九州大学 大学院工学研究院化学工学部門 教授）



<課題概要>

2050年のカーボンニュートラルの実現には、温室効果ガス排出の8割以上を占めるエネルギー分野の取り組みが重要となります。蓄電池は、運輸分野の脱炭素化や、太陽光や風力等の再生可能エネルギーの主力電源化の鍵となる技術です。一方、蓄電池の本格的な導入拡大に向けては、蓄電池の容量・出力・コスト・信頼性の向上と希少資源の課題解決が急務です。

蓄電池は、複数の「マテリアル」の化学反応や輸送現象等を組み合わせた「デバイス」です。日本は、マテリアルにおいては60%以上の高い世界シェアを占める一方、液系リチウムイオン電池のようなデバイスでは近年著しくシェアが低下しています。従来の大量の試作・評価を前提とした手法では、潤沢な研究開発費と人材を擁する海外諸国に対抗できなくなっており、日本が強みを持つマテリアルを迅速にデバイスとして製品化する、新たな研究開発の方法論の確立が強く求められています。

研究開発代表者らは、デバイスをマテリアルの粒子レベルまで一貫してモデル化し、実物での試作評価を繰り返すことなく、モデルに基づくシミュレーションを行いながら設計開発を進めるモデルベース開発（MBD）手法を提案しています。本手法の活用により、設計工程段階から製品検証を行うことで手戻りを減らし、開発工数の大幅な短縮と高品質化が期待されます。また製品検証の結果を、マテリアルや化学反応、輸送現象等のメカニズムにフィードバックすることで、研究開発力の強化にもつながります。このとき、各工程において実物試作評価を伴うPDCAサイクル（Plan・Do・Check・Action）ではなく、OODAループ（Observe（内部評価）・Orient（データ処理）・Decide（現象計算）・Act（最適設計））を仮想空間上で実行することで、様々な試行錯誤を高速に行います。

探索研究では、デバイスとして全固体電池を対象に、①化学反応や輸送現象等とそれらの相互作用を解析する、非定常な高速シミュレーションモデルを作成し、劣化に伴う電池内部の面内反応分布や電気抵抗成分の変化要因を解明することに成功しました（井上課題）。また、②X線CT-XAFS（X線吸収微細構造）を基盤とし、マテリアル・デバイスの深部・内部における微細構造・物理化学状態を3Dマルチスケール／モーダルオペランドで分析可能なプラットフォームを開発し、電池内部の現象を俯瞰的に理解することに成功しました（雨澤課題）。そして、①②を組み合わせることで、容量劣化や充放電による応力とクラック発生という接触界面不良による劣化機構を解明しました（図1）。

本格研究では、OODAループの高度化を柱とし（図2）、井上課題の計算技術と雨澤課題の計測技術を統合し、高度計測によって統合計算モデルを構築することで、全固体電池の状態予測と最適設計を行う高速・高精度MBDを開発し、リードタイムを1/160に短縮します（図3）。

そして、全固体電池で確立した高速・高精度MBDを燃料電池や水電解等のデバイスに適用し、開発工数の大幅な短縮と高品質化を実現することで、カーボンニュートラル達成等に貢献します。

※統合前の探索研究課題

「3Dマルチスケール／モーダルオペランド化学分析プラットフォームの確立」（雨澤 浩史）、「非破壊計測・時空間逆解析・モデリングの融合によるマルチスケールデジタルフィードバックの構築」（井上 元）

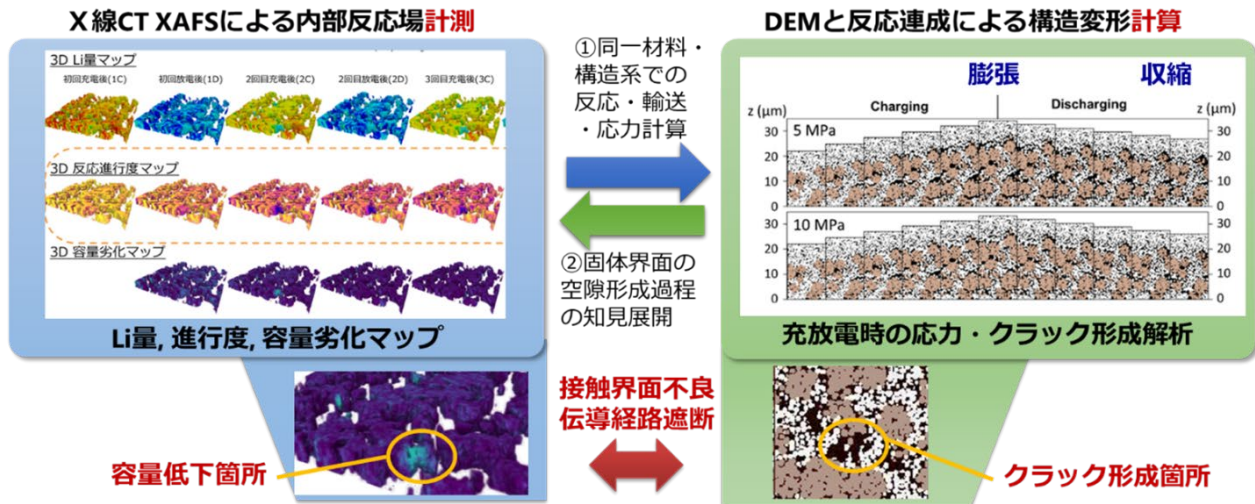


図1 計測計算技術の連携による劣化機構の解明

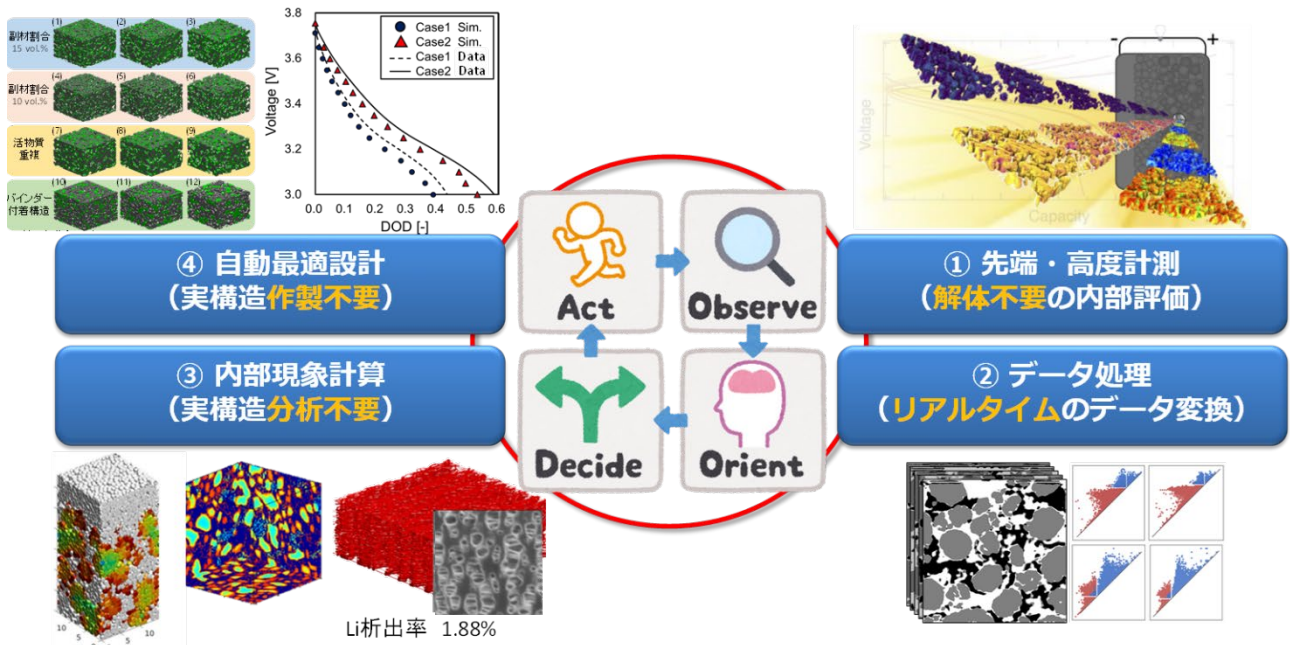


図2 計測・データ処理・計算・最適設計の連携

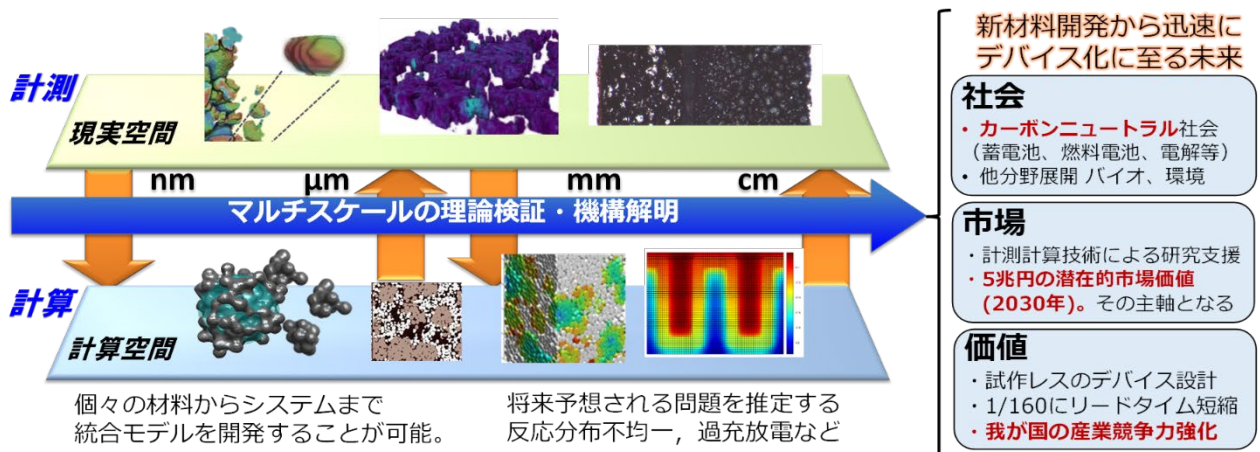


図3 未来社会実現のために導入すべき計測・計算連携技術とその効果

研究開発課題名：「酵素「活性」の診断と活用による、精密がん低分子セラノスティクス医療^{注1)}技術の創製」

研究開発代表者：浦野 泰照（東京大学 大学院薬学系研究科／医学系研究科 教授）



<課題概要>

近年、最先端薬物治療法として、分子標的薬や免疫治療法などの個別化医療技術が注目を集めています。がんは遺伝子変異を原因とする病気であるため、がん患者毎に遺伝子診断を行い、適切な薬剤を選択する手法が進展している一方、現状では、本手法が実際に適用できる割合はおよそ10%程度に留まっており、より多くのがん患者に適用可能な新たな創薬手法の実現が望まれています。

研究開発代表者は、がん細胞由来の特異的酵素活性がバイオマーカー^{注2)}となることに着目し、有機化学合成による基質の精密分子設計技術を基礎に、本酵素の存在下で蛍光を示す蛍光プローブのライブラリーの創製に取り組んできました。その結果、本蛍光プローブライブラリーを活用することで、疾患部位に特徴的な酵素活性を検出することを可能とする独自のライブイメージング^{注3)}手法（浦野方式）を確立することに成功しました。

探索研究では、将来的な臨床に向けて、蛍光プローブライブラリーの充実を図るべく、新規の蛍光寿命特性を持つ色素群の開発に取り組みました。また、同一波長の蛍光色素の寿命特性に基づく分別検出、自家蛍光を排除した生細胞蛍光イメージングを実現し、1mm以下の微小がんの精密検出につながる有用な色素・プローブの開発に成功しました。加えて、大腸、卵巣原発・腹膜播種、膵がんの特異的な酵素を発見し、この酵素活性によって機能するプロドラッグを開発し、マウスモデルにおいて既存薬よりも低い副作用で、肺がんや腹膜播種がんの顕著な縮小・寛解を確認しました。

本格研究では、探索研究で取り組んだ蛍光ライブイメージングを踏まえ、高精度・定量的な酵素活性診断法の確立に取り組みます。一方、深部がんの蛍光イメージングは困難であるため、蛍光イメージングプローブに代えて、核医学・光音響イメージングプローブの開発を行い、がんの超早期診断の実現を目指します。さらに、治療面においては、蛍光プローブライブラリーで得た知見を活用し、プローブ中の蛍光物質部位を細胞傷害性物質へ置き換えることで、酵素活性によって初めて薬効を示すプロドラッグ^{注4)}型低分子がん治療薬ライブラリーを創製します。さらに新たに開発する前記診断法と組み合わせ、副作用を最小限に抑えつつ、最大のがん治療効果を得るための薬剤投与量や投与方法を決定し、実効性の高い医療技術の実証を目指します。これにより、がん患者毎にバイオマーカーとなるがん細胞由来の特異的酵素活性を診断し、これに対応するプロドラッグを投与する新たな個別化・精密がん治療に適用可能な低分子セラノスティクス医療技術を創製します。

酵素活性を基軸とする世界初のアプローチにより、従来は有効な治療選択肢がなかった、進行肺がんや膵がんなどを含む大多数のがん患者にも、有効性の高い治療選択肢を提供します。そして、がん以外の疾患、老化や認知症など unmet medical needs の高い疾患においても、これらに特異的な酵素活性を見出すことができれば、新たな治療法の提示につながることを期待されます。

注1) セラノスティクス医療：治療（Therapeutics）と診断（Diagnostics）を一体化した新しい医療技術

注2) バイオマーカー：ある疾患の有無や、進行状態を示す目安となる生理学的指標

注3) ライブイメージング：生体組織や細胞を生かしたまま、個々の細胞のはたらきや遺伝子の発現の様子を可視化し、外部から観察する手法

注4) プロドラッグ：もとのままの形では薬理作用を示さず、生体内で代謝されることにより薬理活性を発揮する薬剤

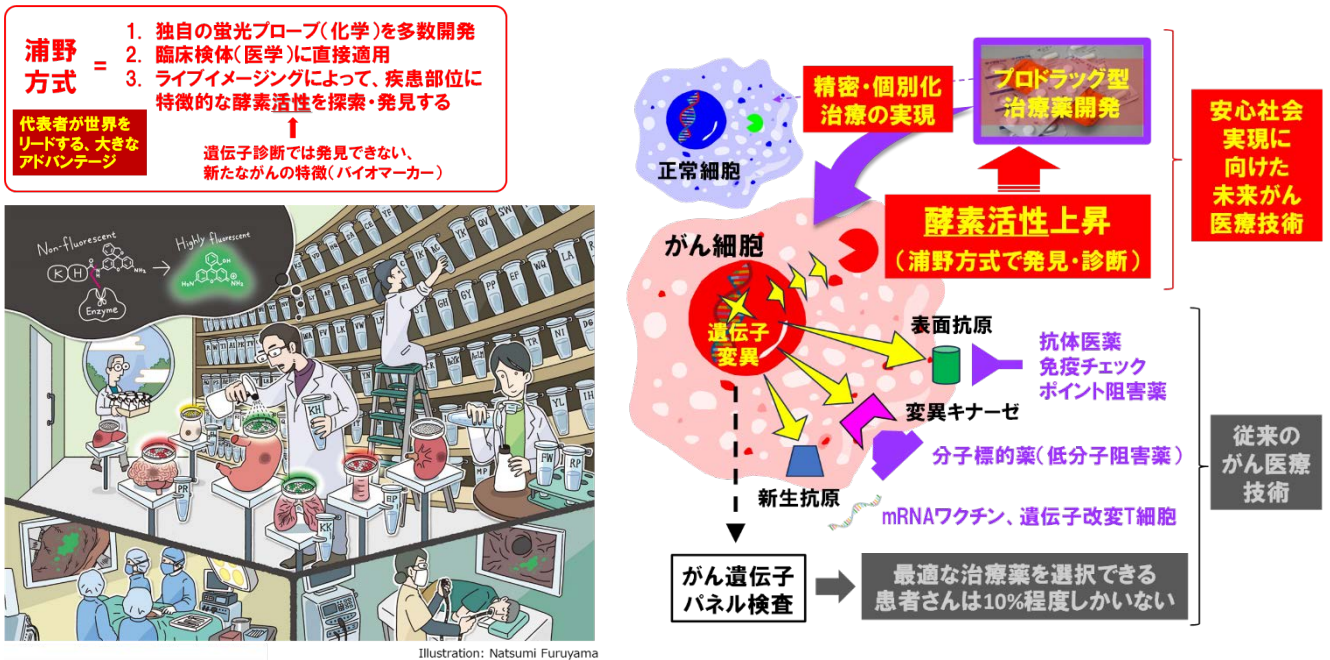


図 本格研究が目指す疾患部位に特徴的な新たな「酵素活性」検出法（浦野方式）およびプロドラッグ型低分子がん治療薬の開発