

# 社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新

計測・解析技術の革新により「見る→気づく→わかる」の一連の研究開発プロセスを次の世代へ

## いまこそ計測 + 解析技術に注目！

- 2050年カーボンニュートラルの実現やSDGsなど、従来技術の延長だけでは達成不可能な社会課題が山積み。
- 各国がしのぎを削る先端技術開発において、研究対象がより複雑化。「見えない」「気づけない」「わからない」ことを、どのように解決し、「できる」につなげていくかがカギ。
- 「見る」「気づく」「わかる」の基本となる、計測技術そのものの底上げやインフォマティクスを活用した解析技術との融合及び他分野との連携こそが、我が国の研究力・産業競争力の強化に不可欠。
- 技術開発・応用研究での活用を軸に「見る→気づく→わかる」（計測から知識抽出）までの研究開発プロセスの革新を目指す。



## 具体的な研究例

- ① **先端計測限界突破**  
～「見る」の可能性を拓く  
計測手法の飛躍的進展による、「これまでに見ることのできなかったものを見る」技術の研究開発
- ② **計測データインフォマティクス活用**  
～「見る」を「気づく・わかる」につなぐ  
計測技術とインフォマティクスの組み合わせによる、「理解が困難な計測データから知見を引き出す」技術の研究開発
- ③ **マルチスケール・マルチモーダル計測 ユースケース開拓**  
～「見る・気づく・わかる」から「できる」を引き出す  
①②で構築した技術等を活用し、様々なスケールにまたがる階層構造や、様々な物理量をより多面的に収集・分析・モデル化する一連の手法の研究開発およびユースケースの開拓

## 我が国の研究力・産業競争力の向上

- マテリアルズ・インフォマティクス（物質設計）、プロセス・インフォマティクス（工程設計）、実験自動化と進むデータ駆動研究プロセスを補完。



## 社会課題・実課題解決への貢献

- 燃料電池、高機能プラスチック、高性能エコタイヤ、易製造航空機など、複雑な研究対象を自在に制御できる技術を獲得。



社会課題解決に向けた実用技術開発の基礎・基盤を構築

10年・20年先の未来で、我が国が世界最前線で挑戦し続けられる骨太なイノベーション・システムを創出

## 令和4年度戦略目標

### 1. 目標名

社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新

### 2. 概要

最先端の研究開発現場においては、研究対象が、複雑・不均一な階層構造・物質変化に特徴を持つ実用材料等へと拡大してきている。これらを詳細に把握・解析・制御するためには、従来の計測・解析技術の単なる改良といった逐次改善・条件別すり合わせのアプローチでは困難であり、複雑怪奇な対象物を的確に捉えられるような、計測・解析手法のブレイクスルーが求められる。歴史に鑑みても、科学技術の進歩は「見」て「気づく」ことで大きく飛躍している。「計測は科学の母」とも言われるように、科学技術の発展の歴史は、計測技術の発展の歴史でもあった。革新的な計測技術の創出は、既存の研究対象の深掘りに留まらず、これまでになかった全く新しい研究分野の開拓につながる可能性を秘めている。計測・解析手法のブレイクスルーなしでは、2050年カーボンニュートラルの実現やSDGs等の世界的な社会課題の解決は成し得ず、計測・解析技術は、材料、創薬・医療、環境・エネルギー等の数多くの研究分野において、将来的に、国際競争力を強化するために不可欠なキーテクノロジーの一つとなることは疑いようがない。

本戦略目標では、平成28年度戦略目標「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」において開拓を目指した「情報計測」分野（計測技術と情報科学・数理科学等を組み合わせることにより、見えない物理量を計る・見えなかった変化を見る・見つけられなかった変化を見つけること等の実現を目指す新たな分野）をさらに発展させ、次世代の計測・解析技術を徹底的に追求し、先端計測から意味抽出までの過程、すなわち「見る→気づく→わかる」という研究開発上の重要なプロセスそのものを変革させることで、社会課題解決に向けた実用技術開発の基礎・基盤を構築し、研究開発競争が激化する国際社会において、10年・20年先の未来で我が国が世界最前線で挑戦し続けられる骨太なイノベーション・システムを創出することを目指す。

本戦略目標を推進する際のポイントを以下に示す。

- ① 計測過程や計測ハードウェアそのものの高度化・先鋭化により、これまでの限界を突破して「見る」の可能性を拓くこと
- ② 直感的に理解することが困難であった複雑な計測データから、インフォマティクス等を利用し、新しい知見を効率的に引き出し活用する、という「気づく」「わかる」の過程までを視野に入れた革新的な分析・解析手法の確立を目指すこと
- ③ マルチスケール・マルチモーダルで多面的な情報を得る計測技術の開発を図るとともに、多面的な計測データを統合・分析することで、より完成度の高いモデルの構築が可能な分析・解析技術を開発すること

- ④ この研究の新しいアプローチが、「計測のための計測」「インフォマティクスのためのインフォマティクス」等、手段の自己目的化に陥ることなく、様々な社会課題解決に資する研究開発において技術的なブレークスルーをもたらすものとなるよう、社会課題解決を志向した利用研究のモデルケースの開拓を図ること

我が国が提唱する Society 5.0 では、フィジカル空間のセンサーからの膨大な情報をサイバー空間に集積し、そこで膨大なビッグデータを人間の能力を超えた AI が解析し、その結果を人間にフィードバックすることを通じて、これまでには出来なかった新たな価値を産業や社会にもたらすことが目指されている。本戦略目標における社会課題解決を志向した革新的な計測・解析プロセスは、Society 5.0 が目指すあり方を、研究開発プロセスにブレークダウンして実装するためのツールとなることが期待される。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、研究開発における新しいアプローチの方策を確立し、2050 年カーボンニュートラルの実現や SDGs 等の社会課題解決・実課題解決に資する革新的な計測・解析プロセスの創出を目指す。具体的には、以下の 3 つの達成を目指す。

#### (1) 先端計測限界突破

計測手法の飛躍的進展による、「これまでに見ることのできなかつたものを見る」技術を確立する。(⇒「見る」の可能性を拓く)

#### (2) 計測データインフォマティクス活用

計測技術とインフォマティクスを組み合わせることで、「理解が困難な計測データから知見を引き出す」技術を確立する。(⇒「見る」を「気づく」「わかる」につなぐ)

#### (3) マルチスケール・マルチモーダル計測、ユースケース開拓

(1) (2) で構築した技術その他を活用し、様々なスケールにまたがる階層構造や、様々な物理量をより多面的に収集・分析・モデル化する一連の手法を確立する。さらにこれらを実際のユースケースの開拓へつなげる。(⇒「見える」「気づく」「わかる」から「できる」を引き出す)

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3. 「達成目標」の実現を通じ、社会課題解決を志向した革新的な計測・解析プロセスを構築することで、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・ 2050 年カーボンニュートラルの実現や SDGs 等の社会課題・実課題の解決に資する実用材料開発等において、世界と戦い得る研究成果の創出に向けて挑戦し続けられる社会
- ・ 我が国の研究力・産業競争力の基盤である計測・解析技術が一段高いレベルに引き上げられ、様々な分野において研究生産性やものづくりの効率が向上している社会
- ・ 計測/インフォマティクス/実用化・製品化、の各コミュニティが融合し、新しい科学の方法

論を提供し続けるプラットフォームが構築されている社会

## 5. 具体的な研究例

### (1) 先端計測限界突破

複雑な挙動や構造の実用材料、実用デバイス、生体高分子等に係る研究開発において、計測技術の不足が根源的なボトルネックとなり、かつ、個々の材料開発・技術開発の延長線上にある計測技術改良のみでは超えられない壁がある難計測課題の解決、あるいは、これまでに誰も見たことのない領域に切り込む革新的計測手法について研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・材料内部のメソスケールの領域で起きる化学反応・電子状態の不均一分布の時間変化測定
- ・時間分解能と空間分解能の両立
- ・内部・界面の物理・化学状態や形状変化の精密計測の実現
- ・微量成分計測・追跡、計測再現性の確立
- ・異なるスケールで連動して起きる現象の解明（マルチスケール計測）
- ・異なる性質の間の関連性が分からない課題の解決（マルチモーダル同時計測）

本達成目標に関しては、将来の社会課題の解決や新たな研究開発領域を切り開くものであれば、画期的な計測ハードウェアの開発でも、計測ハードウェアの計測限界をインフォマティクスとの融合により突破するものでも構わない。事業期間中の進捗に応じて、他の達成目標と協働した研究もあり得る。

### (2) 計測データインフォマティクス活用

近年、現実のデバイス中の機能性材料（例えば燃料電池中の触媒や電極のナノ・メソスケールでの変化）等、複雑で人間が直感的に理解するのはもはや困難であるような事例が分野を問わず散見されるようになってきている。これらの課題について、計測科学と情報科学・数理統計学・計算科学などを融合させることで研究開発上のブレイクスルーを図る取組みを行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・メソスケールレベルの不均一化学状態・電子状態等について、3次元大容量データを生み出す精密計測技術と機械学習やシミュレーション技術を融合させ、データ内に潜在する相関関係の発見・仮説の提示等を計測から一気通貫に行う統合システムの開発
  - ・既存の類似材料に対する測定データを教師データとして、測定点を最適化し、未知の材料に対して短時間で精度の高い構造解析を行うシステムの開発
  - ・計測実験中に、それまで得られたデータから以後の計測データを予測し、それに基づいてより適切な計測条件を提案する人工知能介入型計測システムの開発研究
- なお、事業期間中の進捗に応じて、他の達成目標と協働した研究もあり得る。

### (3) マルチスケール・マルチモーダル計測、ユースケース開拓

現実の物質は、均質で全く変化しないなどということはほとんどなく、多くの場合、一時・一部分の原子配列・分子配列だけを見ても全体の特性を反映していない。さらには、階層構造を為し、全体としてモノの機能を左右する。このような場合、原子分子～ナノ～メソ～マクロスケールをバラバラに考えていても高度な技術開発は難しい。また、現実の物質では、化学結合、価数、元素分布、形、歪みや硬さ分布等の力学要素、電位、温度分布等が絡み合っており、それぞれの物理量をバラバラに考えても解決しない問題も多数存在する。さらには、それらを整合的に扱えるだけの精度をもった一連の計測データが入手できないことも多い。

これらの困難の解決には、スケールや種類の異なる複数の計測を適切に組み合わせるだけでなく、それらのデータを総合する多くの解析技術の組み合わせが必要となる。本戦略目標では、上記のようなマルチスケール・マルチモーダル計測の統合等、計測・解析技術を現実の材料開発に適用する際に不可避となる課題について、何らかの個別の材料開発等をモデルに、次世代の計測技術と分析・解析技術を総合的に活用することで、研究開発過程がどのように革新され得るのかを具体的に示すことを目的に、ユースケースの開拓研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・燃料次世代蓄電池用の各種機能性材料の電気化学的劣化メカニズムの分析と長寿命化
- ・複合材料、接着剤の破壊メカニズムの分析と強靱化
- ・リサイクル・アップサイクルを前提としたプラスチック・ゴムなどの新高分子材料の開発
- ・高温超伝導をはじめとした強相関電子系におけるメカニズム解析や不純物等の影響評価、それを活用した材料等の実用化

その他、上記(1)、(2)との連携及び、他の戦略目標等とのシナジー効果についても期待されている。

## 6. 国内外の研究動向

自然科学の新たな動向・大きな転機として科学技術の研究開発プロセスにおいて、マテリアルズ・インフォマティクスによる物質設計、プロセス・インフォマティクスによる生成過程設計をはじめとして、様々な段階で情報科学・計算科学を活用し、インテリジェント化する流れが進行しており、従来型の「実験科学」、「理論科学」に加え、「計算科学」、「データ駆動科学」が第3、第4の科学として成長しつつある。

この流れの中で、マテリアルズ・インフォマティクス、プロセス・インフォマティクスにとどまらない、創り上げたモノ、イキモノ等が実際にどうなっているかについて先端技術を駆使して計測し、データ駆動科学による高度解析と連動させることで、人間の手作業では到達しにくい新たな知見を引き出す研究事例が散見されるようになってきており、新たな萌芽がみられる状況にある。

(国内動向)

JST 未来社会創造事業 探索加速型「共通基盤」領域(2018年度～)、では、計測機器開発等を

中心に現在も研究が進められているが、基礎フェーズの研究として応募できるものは科研費以外には、未来社会創造事業 大規模プロジェクト型「界面マルチスケール4次元解析による革新的接着技術の構築」(2018年度～最大10年間)、CREST「革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明」(2019～2026年度)、科学研究費補助金 新学術領域研究「ハイパーマテリアル：補空間が創る新物質科学」(2019～2023年度)、「蓄電固体界面科学」(2019～2023年度)、「ハイドロジェノミクス：高次水素機能による革新的材料・デバイス・反応プロセスの創成」(2018～2022年度)、「ミルフィーユ構造の材料科学-新強化原理に基づく次世代構造材料の創製」(2018～2022年度)、特別推進研究「原子・イオンダイナミクスの超高分解能直接観察に基づく新材料創成」(2017～2021年度)、JST 戦略的創造研究推進事業 ALCA「先端的低炭素化技術開発」(2010年度～)、NEDO「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」(2016～2020年度)、文部科学省が実施している「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」(2012～2021年度)などの個々の研究開発プロジェクトの一部として、特定の計測技術を取り上げることはあったが、計測技術自体を対象とした基礎研究フェーズの大型プロジェクトとしては、過去に「先端計測分析技術・機器開発プログラム」(2004～2020年度)、JST CREST/さきがけ「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」(2016～2023年度)があるものの、いずれも既に公募を終了している。(出典：CRDS 戦略プロポーザル「機能解明を目指す実環境下動的計測の革新」)

#### (国外動向)

米国連邦政府の基本政策としては、2007年米国競争法の一部に計測科学への言及が行われ、主要な政策実施機関として、商務省傘下の国立標準技術研究所(NIST)の強化が進められてきた。例えば、NIST 3カ年計画書(FY2017-2019)では、サイバー・フィジカルシステム(CPS)分野における計測科学の基礎研究の推進、データ駆動型技術に必要な計測技術の開発などが提案されている。(出典：CRDS 計測横断チーム調査報告書「計測の俯瞰と新潮流」)また、PNNL 主導のバッテリー500コンソーシアムにおける研究開発では、放射光測定技術、機械学習、シミュレーションなどを連動させ、電極の劣化を抑制しつつエネルギー密度の大幅向上を図るなど、産学連携による計測インフォマティクスのアプローチの胎動も見られる。

英国では2017年3月にはメイ内閣・ビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)より「国家計測戦略(UK measurement strategy)」が発表された。この世界トップレベルの国家計測システムを利活用するという英国の計測ビジョンを実現するために、5つの戦略テーマ - ①優れた政策、基準、規制を確保、②エンドユーザとの繋がりの深化、③英国の計測技術の向上、④信頼に足るデータの合理的かつ効果的な利用、⑤世界をリードする計測インフラへの投資 - を特定している。ドイツ連邦政府の「アクションプラン・ナノテクノロジー2020」では、計測の研究開発は国際標準(ISO/TC24)に準拠させていくことが急務であると指摘された。具体例として毒性影響評価、化学物質仕様、リスクアセスメントツール、試験方法の開発など、幅広い種類のアプリケーションの測定技術が挙げられている。この他、欧州では、欧州シンクロトロン放射光

研究所（ESRF、フランス）、ダイヤモンド放射光源（DIAMOND、英国）、スイス放射光源（SLS、スイス）などの放射光施設や、ラウエ・ランジュヴァン研究所（ILL、フランス）など大型研究施設を利用した研究開発も活発である。

中国では、「産業技術体系の整備による競争優位の構築」において、幅広く使われるナノ材料の人体への影響を評価するナノ材料安全に関する計測技術、バイオ技術の利用がもたらす危険を防ぐためのバイオセキュリティにおける観測技術・追跡技術、食品の品質に関する迅速な測定技術、およびリアルタイムにオンライン情報に反映する食品安全モニタリングネットワーク技術が重要領域と指定されるなどしている。（出典：CRDS 計測横断チーム調査報告書「計測の俯瞰と新潮流」）

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及びCRDS 戦略プロポーザル「機能解明を目指す実環境下動的計測の革新 ～次世代オペランド計測～」、同「研究機器・装置開発の諸課題 - 新たな研究を拓く機器開発とその実装・エコシステム形成へ向けて - (-The Beyond Disciplines Collection-)」、同「人工知能と科学 ～AI・データ駆動科学による発見と理解～」、同「革新的デジタルツイン～ものづくりの未来を担う複合現象モデリングとその先進設計・製造基盤技術確立～」、CRDS 報告書「デジタルトランスフォーメーションに伴う科学技術・イノベーションの変容 (-The Beyond Disciplines Collection-)」、CRDS 計測横断チーム調査報告書「計測の俯瞰と新潮流」等を参考にして分析を進めた結果、今後、社会課題の解決に資する優れたデバイス、装置、技術を開発して世界市場に提供し続けていくためには、“革新的な計測・解析プロセス”の果たす役割は特に大きいとの認識を得て、注目すべき研究動向「社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新」を特定した。
3. 令和3年11月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「カーボンニュートラルをはじめとした社会課題の解決に資する革新的計測インフォマティクスシステムの創出」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、中長期的にみて我が国の研究開発力の底上げや、社会課題の解決等に資する新たな計測－解析－理解のプロセス

の革新の方向性等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者個別聞き取り調査、前年に実施したワークショップ「次世代オペランド計測 ～機能計測による新しい科学技術へ～」での議論等を踏まえ、本戦略目標を策定した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（令和3年3月26日閣議決定）

### 第2章（2）

- ・まず、データの共有・利活用については、研究の現場において、高品質な研究データが取得され、これら研究データの横断的検索を可能にするプラットフォームの下で、自由な研究と多様性を尊重しつつ、オープン・アンド・クローズ戦略に基づいた研究データの管理・利活用を進める環境を整備する。特にデータの信頼性が確保される仕組みが不可欠となる。また、これらに基づく、最先端のデータ駆動型研究、AI駆動型研究の実施を促進するとともに、これらの新たな研究手法を支える情報科学技術の研究を進める。
- ・質の高い研究データの適切な管理・利活用や、AIを含めた積極的なデータサイエンスの活用、そして先進的なインフラ環境の整備は、単に研究プロセスの効率化だけではなく、研究の探索範囲の劇的な拡大、新たな仮説の発見や提示といった研究者の知的活動そのものにも踏み込んだプロセスを変革し、従前、個人の勤や経験に頼っていた活動の一部が代替されていくことになる。これにより、データを用いたインパクトの高い研究成果の創出につなげるほか、研究者の貴重な時間を、研究ビジョンの構想や仮説の設定など、より付加価値の高い知的活動へと充たさせていく。同時に、グローバルな視点からも、オープンサイエンスの発展に貢献する。

「マテリアル革新力強化戦略」（令和3年4月27日統合イノベーション戦略推進会議決定）

### 第4章2（2）基本方針2：データ駆動型研究開発基盤の整備 ～強みに立脚した差別化～

- ・擦り合わせ型のマテリアル産業の強み、すなわち高度な製造プロセス技術、それを支える計測・分析機器、加工、装置企業が持つ高度な技術力が、世界における我が国のプレゼンスと国際交渉力の生命線となっている。

### 3. 開発ライフサイクルから見た取組の方向性

- ・データ駆動型マテリアル開発技術の徹底した先行による競争優位の確保（材料から製造装置までのセット化、産学連携による先端計測機器開発、共用設備の戦略的整備、リバースエンジニアリングの不可能化等。

### 第5章1（2）アクションプラン

研究開発手法の革新のための、表面・界面・粒界制御、反応制御、原子・分子の自在制御等の「物質と機能の設計・制御技術」や、マテリアルデータの構造化、ハイスループット技術、高度な計測、分析、加工、精密プロセス技術、スマートラボラトリ化、安全性・信頼性・リスク評価等の「マテリアルの共通基盤技術」

- ・これまでの材料開発で探索されていない多元素系、複合系、準安定相といった未踏領域を対象とし、計測、計算、プロセス、データ駆動といった技術革新を用いた新機能材料開発

## 9. その他

近年、2050年カーボンニュートラルの実現やSDGs等、解決すべき社会課題という「山」は、より高く、より険しくなっている。この「山」に対し、ただ闇雲に登るだけでは、その全体像はもちろんのこと、自身の現在地すら見失い、遭難してしまう。

本戦略目標は、計測・解析技術という、高く険しい山に登るためのいわば「装備」について、真正面から見つめ直し、腰を据えて革新させていくことを目指すものである。この背景には、様々な研究分野において共通なボトルネックの一つとなっているのがこの計測・解析技術であり、個別の研究分野の技術開発の片手間では決して成し得ない、非常に困難な課題である、という危機感がある。

計測・解析技術は、サイエンスの「手段」であると同時に、そのものが研究者を未知なる世界へと誘う「鍵」であると言える。過去のノーベル賞受賞テーマを振り返ってみると、計測・解析技術関連のテーマが非常に多く、さらに、これらのテーマの多くは、現在に至るまで最先端の研究開発現場で活躍し続けている手法であることがわかる。このことから、この技術分野が、新しいサイエンスの潮流を切り拓くものであることは疑いようがないと言える。

本戦略目標において、革新的な計測・解析技術を核に社会課題解決を目指していく新たなコミュニティが立ち上がり、中長期的に我が国の様々な研究開発分野の底上げに貢献できるような、骨太なイノベーション・システムが構築されることを強く期待する。