

双葉電子記念財団表彰式
2018.7.6

サイバーフィジカル時代を先導 するフィジカル空間の研究とは

佐藤勝昭

東京農工大学名誉教授・JST CRDS特任フェロー

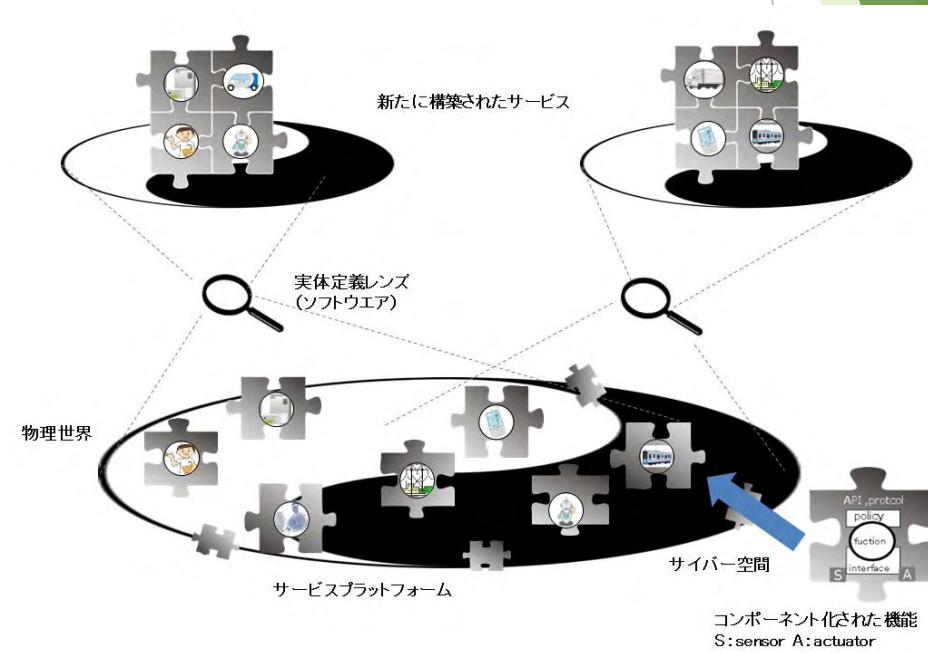
サイバーフィジカル社会とは？

- ▶ 平成28年1月に閣議決定されたわが国の第5期科学技術基本計画(平成28～32年度)の第2章では、新たな価値創出の取組として、
 - (1) 未来に果敢に挑戦する研究開発と人材の強化
 - (2) 世界に先駆けた「超スマート社会」の実現(Society 5.0)
 - (3) 「超スマート社会」における競争力向上と基盤技術の戦略的強化を掲げており、特に(2)では、サイバー空間とフィジカル空間(現実社会)が高度に融合した「超スマート社会」を未来の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組を「Society 5.0」とし、更に深化させつつ強かに推進するとしています。
- ▶ この基本計画は、(国研)科学技術振興機構(JST)の研究開発戦略センター(CRDS)が行ったワークショップ「IoTが開く超サイバー社会のデザイン -Reality2.0-」(平成27年9月27日～28日)、および、それを受けて開催されたワークショップ「IoTが開く超スマート社会のデザイン」(平成27年11月5日)がベースになっています。
- ▶ 超スマート社会では、フィジカル空間の機能がコンポーネント化され、サイバー空間を通じて利用可能になるとともに、実体定義レンズを通じて社会の機能にフィードバックされるとしています。



CRDSの提唱するReality2.0とは？

- ▶ REALITY 2.0の世界では、社会に存在するモノや人、サービスの機能が一つの部品（コンポーネント）として存在し、必要な時にネットワークを介して機能呼び出し、それらを即座に組み合わせて、新しいサービスやビジネスを作る事ができるようになります。
- ▶ 例えば、電車、バス、タクシー、カーシェアなどを組み合わせ、個人の目的、好みや地域に合わせた最適な交通システムを構築できます。また、医療機関や介護事業者、医師や保健師等を組み合わせ、個人に最適な医療サービスを提供する事ができます。
- ▶ さらに、災害等緊急時には交通や医療システム、防犯システム等を即時に組み合わせて、防災・減災システムの構築も可能になります。



つくばサイエンスニュース：CPSとREALITY 2.0
CRDS 山田直史による

超スマート社会のイメージ

個別のシステムが更に高度化し、分野や地域を越えて結びつき、必要なもの・サービスを必要な人に対し、必要な時に、必要なだけ提供でき、社会の様々なニーズに対し、きめ細やかに、かつ、効率よく対応できる社会



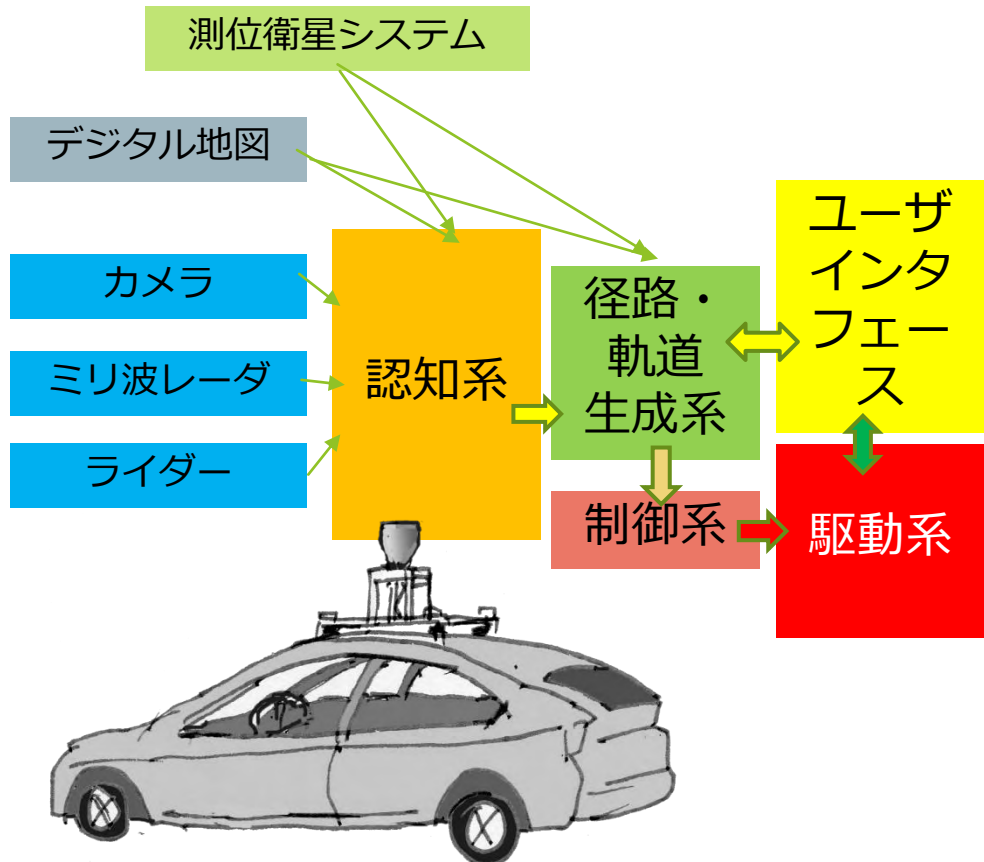
第一回 基盤技術の推進の在り方に関する検討会より

超スマート社会における フィジカル空間技術の役割

- ▶ 「超スマート社会」実現のためのアプローチとして、ともすればサイバー空間の方が強く意識され、フィジカル空間でのデバイスや材料の開発がおろそかにされる傾向が見られるのは残念なことです。
- ▶ 私は、現在文科省ナノテクノロジープラットフォーム事業のPDを仰せつかっていますが、しばしば「もはやナノテクではないだろう」など厳しい批判を受けます。
- ▶ しかし、サイバー・フィジカル社会は、サイバーとフィジカルが融合して初めて実現する社会です。

フィジカル空間技術の重要性

車の自動運転を例に



- ▶ 車の自動運転を例に取ると、周囲の状況を検知するセンサーを通して、歩行者、対向車、道路標識の指示、信号などの情報を画像解析と光や超音波などの反射波の測定などで確認します。
- ▶ また、道路地図や、交通渋滞などの刻々と変化する情報がインターネットを通して獲得されます。
- ▶ 検知したデータとインターネットからの情報は車載コンピュータに送信され、高速で分析が行われます。
- ▶ 分析したデータを駆動機構のハードウェアに伝えることで、ステアリング、ブレーキ、車線変更などの基本的な運転操作が行われます。
- ▶ このように、多くの情報をセンサーやネットワーク機器などのハードウェアから得て、コンピュータというハードウェア上で処理し駆動機構に伝えるので、フィジカル空間の研究開発は、ますます重要になります。

CPS時代の計測技術

物理量計測→意味的計測→自律的計測

- ▶ 計測技術の発展におけるICTの貢献は、3タイプが考えられる。
 - ▶ 第一の貢献タイプは「物理量計測の高性能化」である。
 - ▶ 第二の貢献タイプは「計測の高次化」である。物理量計測を「狭義の計測」と呼ぶならば、ICTを活用することで、意味的計測・自律的計測といった、より高次の計測が可能になる。これを「広義の計測」とよぶ。
 - ▶ 第三の貢献タイプは「社会計測」という新しい観点の計測である。計測対象は物理量に限らず、人々の意見・心情なども取り込み、計測量が広がり多面化する。
- ▶ 広義の計測では、物理量計測→意味的計測→自律的計測の3段階をとる。
 - ▶ 物理量計測とは、センシングに相当する狭義の計測で、カメラ撮影画像、GPS位置情報、振動センサー情報等がその例である。
 - ▶ 物理量計測にAI技術による分析を組み合わせたものを広義の計測として捉えるならば、意味的計測と考えることができる。計測した物理量に意味を与えるものであり、モノ認識・顔認識、交通渋滞把握、異常検知、不審行動検知等がその例である。
 - ▶ 物理量を計測・分析し、次のアクションのプランニングまで行うのが自律的計測である。移動しながら見るべき所を決める適応的/自律的センシングや、実世界への作用とその結果の計測を繰り返すロボット・自動運転・運用自動化等がその例である。

CPS時代の材料開発

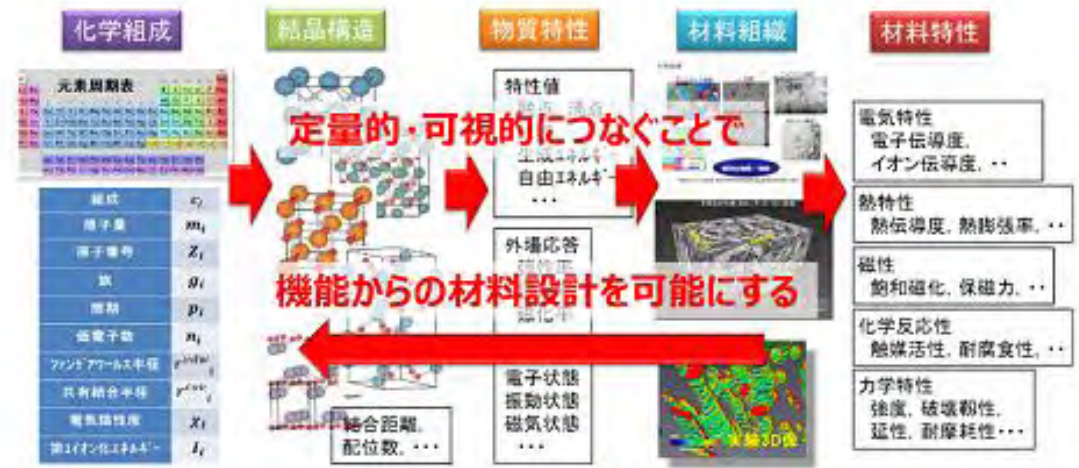
データ駆動型物質・材料開発(Materials Informatics)

- ▶ 「マテリアルズ・インフォマティクス」とは、物質・材料に関わる研究に計算機、特に第3の科学と言われる「計算科学」、さらには新しい視点として第4の科学と言われる「データ科学（機械学習）」を使う研究手法の総称で、「データ駆動型物質材料研究」とも言われます。
- ▶ 計算科学とデータ科学の組合せによって新しい研究の潮流が出てきています。材料開発を得意としてきた多くの日本企業が関心をもっていて、実際に自社に取り入れる企業も増えてきています。今後さらに多くの研究者がこのような手法を取り入れて、新しい発見が出てくること、また研究室での新発見から材料として実用化されるまでの時間やコストが大幅に削減されることが期待されます。

データ駆動型物質・材料研究（マテリアルズ・インフォマティクス）とは

$$F(x_1, x_2, x_3, \dots) \Rightarrow \text{Functionality}$$

注目する物性や機能（functionality）を支配する法則が分からない場合に、それらと、記述子(x_1, x_2, x_3, \dots) の間の関係を機械学習などデータ科学的手法によって見出すこと、また、適切な記述子を見つけること。



2期SIPに見るフィジカル空間の技術

- ▶ 内閣府でも、フィジカル空間の重要性を意識し始めています。
- ▶ 2期SIPにおいて「フィジカル空間基盤技術・フィジカル領域デジタルデータ処理基盤技術」「材料開発基盤統合型材料開発システムによるマテリアル革命」「光・量子技術基盤光・量子を活用したSociety 5.0 実現化技術」などが対応します。

NO	課題候補	課題名
1	サイバー空間基盤技術	ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術
2	フィジカル空間基盤技術	フィジカル空間デジタルデータ処理基盤
3	セキュリティ（サイバー・フィジカル・セキュリティ）	IoT社会に対応したサイバー・フィジカル・セキュリティ
4	自動走行	自動運転（システムとサービスの拡張）
5	材料開発基盤	統合型材料開発システムによるマテリアル革命
6	光・量子技術基盤	光・量子を活用したSociety 5.0実現化技術
7	バイオ	スマートバイオ産業・農業基盤技術
8	エネルギー・環境	脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム
9	防災・減災	国家レジリエンス（防災・減災）の強化
10	健康・医療	AIホスピタルによる高度診断・治療システム
11	物流（陸上・海上）	スマート物流サービス
12	海洋	革新的深海資源調査技術

2期SIP 課題02

「フィジカル空間データ処理基盤」

02. フィジカル空間デジタルデータ処理基盤

目指す姿	
概要 Society 5.0実現の要である高度なサイバーフィジカルシステム(CPS)では、あらゆる現実空間を計算機に把握させ、意味のある時間内で最適化処理してフィードバックすることが求められる。これには、センサ近傍の圧倒的に少ない計算リソースで高度な分析を行いながら要求された時間内でフィジカル空間を制御する技術、電力消費量を大幅に削減する超低消費電力技術、従来取得できなかった情報を利用可能にする革新的センサ技術、CPS構築に必要な社会実装技術等が重要である。本課題では、これらの技術課題の解決を行うとともに、専門的なIT人材でなくても容易に高度なIoTソリューションを創出できるプラットフォームを構築し、我が国の社会課題の解決や新たな産業の創出によるSociety 5.0の実現を目指す。	
目標 ・Society 5.0の中核基盤技術として、従来と比較してIoTソリューションの開発期間または開発費用を1/10以下に削減するプラットフォームを他国に先駆けて開発する。 ・超低消費電力IoTチップと革新的なセンサ技術を実現し、センサ近傍処理に必要な電力を1/5以下に削減するなど、従来設置できなかった環境での計測を可能にする為の技術開発を行う。 ・上記プラットフォームおよびIoTチップ・革新的センサ技術の有効性を生産分野などで実証するとともに、複数の実用化例を創出し、社会実装の目途をつける。	
出口戦略 産業界にフィジカル空間の課題解決の具体例を示すとともに、関連企業のコンソーシアム等によりプラットフォームを自律的に維持更新できる仕組みを構築し、普及促進を図る。	社会経済インパクト ・2025年までに企業のIoTソリューション導入率を90%以上に引き上げる。(現状の調査における2025年までの導入見込み…日本65%、他の主要国90%程度 ^{*1}) ・2030年にはIoT市場規模を273兆円増(1,495兆円)に引き上げる ^{*2} ことに大きく貢献。
達成に向けて	
<p>研究開発内容</p> <p>I. IoTソリューション開発のための共通プラットフォーム技術 フィジカル空間の多様かつ莫大な情報をセンサ制御しながら収集し学習型分散マルチモーダル分析にてICT利活用のためのデジタル化を行う技術、サイバー空間からの要求に基づいて現場のアクチュエータを確実に接続・制御し連携する技術、システム構築や運用を簡易化する技術を開発し、プラットフォームとして提供する。</p> <p>II. 超低消費電力IoTチップ・革新的センサ技術 これまで収集できなかったデータを発掘できる、小型・低コストで実装可能な革新的センサ技術や、低消費電力でデータ処理を行う超消費電力IoTチップの開発・実用化を行う(Ⅰのプラットフォームで活用することも想定)。</p> <p>III. Society 5.0実現のための社会実装技術 Society 5.0実現に向け、クラウドシステムベースでは実現不可能なリアルタイム処理・フィジカル空間の制御管理等、CPS構築に必要な社会実装技術の開発を行う。 ※Ⅰ、Ⅱ、Ⅲが有機的に連携した研究開発を推進する。</p>	

*1 (出典) 総務省平成28年度「ICTの日本国内における経済貢献及び日本と諸外国のIoTへの取組状況に関する国際企業アンケート」
*2 (出典) 総務省「平成29年度版情報通信白書」

▶ ここでは、

「次世代のデジタルデータ処理基盤として、日本が競争力を有するエッジ側でのデバイス開発・システム化に戦略的に取り組むため、日本が強みを持つ新材料・新原理デバイスの実用化・基盤技術の開発、さらに爆発的普及を促すために各府省の関連する成果と統合した超高効率ハイブリッド型モジュールを開発する」としています。

2期SIP 課題

「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」

05. 統合型材料開発システムによるマテリアル革命

目指す姿

概要

- 日本が強みを有し、質の高いデータをもつ材料分野において、AIを駆使した材料開発に欧米中国等が集中投資しており、我が国として対応が急務。
- 産学官で取り組んできたマテリアルズインテグレーション(MI)を活かし、材料工学と情報工学の融合で材料開発手法を刷新。
- 世界に先駆けて、欲しい性能から材料・プロセスをデザインする「逆問題MI」を開発。
- 逆問題MIを先端材料・プロセスに展開して、社会実装を加速する。

目標

- 材料開発コストを50%以下、材料開発期間を50%以下に低減するとともに、材料の新しい機能を引き出す逆問題MIを開発し、その有効性を実証するとともに、民間企業や研究機関等に広く活用される体制を構築する。
- 逆問題MIを活用しつつ、設計自由度の高い複合材料や耐熱合金の最先端プロセスの開発を行い、発電プラント等の環境・エネルギー産業や航空機産業、健康・医療産業等で実部材として活用される目途をつける。

出口戦略

- 逆問題に対応する次世代MIシステムの実装・産業界による利用
- MIの適用例として産業用発電プラントや航空機機体・エンジン等の最先端材料・プロセスを想定し、材料/重工メーカーと連携して成果を実装

材料工学 4要素
プロセス 構造 特性 パフォーマンス (時間依存特性)

マテリアルズインテグレーション
計算機上で材料工学4要素を
連関させるシステム

社会経済インパクト

- MIの実装により素材メーカー等の材料開発を加速し、産業競争力を強化。
※金属、化学、繊維・皮革、窯業・紙、容器・包装、その他素材加工品等大手10社の研究開発費は1.5兆円。この下で行われる新材料開発を大幅に加速し、売上高63兆円を拡大
- 更新需要が増える中小型航空機の飛躍的な軽量化・エンジン効率化 等

達成に向けて

研究開発内容

- 逆問題MI基盤技術
 - ・逆問題解析技術
 - ・様々な材料プロセスをデザインする技術
 - ・原子から構造体をデザインする技術
 - ・構造材料特有のデータベース構築技術
 - ・逆問題MIの基盤となる統合システム技術
- 逆問題MIを展開していく適用例
 - 最先端構造材料【究極の軽く、強い材料】
 - ・多機能(難燃)高分子複合材料の開発
 - ・次世代超高張力鋼・超々ジュラルミンの開発 等
 - 最先端プロセス【究極の自在な造形】
 - ・耐熱合金(Ni基、TiAl等)の3D積層造形技術の確立
 - ・超耐熱複合材料の成形・評価技術の確立 等

逆問題MI基盤技術

プロセス 構造 特性 パフォーマンス

条件 組成 部材形状

寿命 損傷箇所

材料工学 × 情報工学

構造材料データベース

- 逆問題MIは世界で勝つ鍵技術
- 実材料は因子が多く、組み合わせが爆発。

材料工学と情報工学の融合で材料開発を刷新

先端材料・プロセスへ展開・開発効率化を実証
【日本を代表する材料メーカー・重工メーカー各社の参画を想定】
我が国が強みを有する最先端構造材料・プロセスに適用

▶ 提言では、

「我が国が強みを有する材料分野において、AIを駆使した材料開発手法の刷新に向けた投資が欧米等で行われており、喫緊の対応が必要。産学官が連携して取り組んできたマテリアルズインテグレーション(MI)の素地を活かし、次期SIPでは、欲しい性能から実際の材料・プロセスをデザインする「逆問題」に対応したMIを、世界に先駆けて開発する。さらに、MIを先端材料・プロセスに展開し、材料メーカー・重工メーカー等と一体的な開発体制のもと革新的な高信頼性材料を開発する」

としています。

関係府省：内閣府、文部科学省、経済産業省

※本研究開発計画については、現在プログラムディレクターにおいて検討中のものです。

7

2期SIP 課題06

「光量子光・量子技術基盤光・量子を活用したSociety5.0実現化技術」

光・量子を活用したSociety 5.0 実現化技術

別紙

目指す姿	
概要	
Society 5.0 実現には、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させるサイバーフィジカルシステム(CPS)の構築が鍵。現在、IoT/AIからスマート製造へと投資が開始されているが、 社会・産業界共通の投資を阻むボトルネックが存在 。我が国が強みを有す 光・量子技術を活用し 、これらの ボトルネックを解消可能な加工、情報処理、通信の重要技術を厳選・開発 を行い、「レーザー加工市場シェア奪還のための日本発コア技術等の製品化」「ものづくり設計・生産工程の最適化」「高秘匿クラウドサービスの開始」等を達成し、 Society5.0実現を加速度的に進展 させる。	
出口戦略	社会経済インパクト
下記に示すような技術・サービスの社会実装を行う。 <ul style="list-style-type: none"> ・最適な加工条件を提案・実行するCPS型レーザー加工機の実現 ・高品質なレーザー加工を実現する非熱レーザー加工装置の実用化 ・組合せ最適化問題の高度処理に関するサービスの提供 ・絶対に破られない量子暗号を用いた通信サービスの提供 等 	左記の社会実装を通じて、下記のような社会経済インパクトを実現する。 <ul style="list-style-type: none"> ・日本発コア技術等の製品化によるレーザー加工市場シェアの奪還 ・ものづくり設計・生産工程の最適化によるスマート製造の実現 ・高秘匿情報の安全な流通等による、医療・製造分野の生産性向上

達成に向けて	
研究開発内容	
I. レーザー加工 ①サイバー（シミュレータ）とフィジカル（レーザー加工）の高度な融合によるスマート生産の実現（特定用途のCPS（サイバーフィジカルシステム）型レーザー加工機の開発） ②日本が有するコア技術「空間光変調技術」の開発によるスマート生産の実現（高耐光・高精度空間光変調技術の開発） ③日本発フォトニック結晶レーザーの高出力化の実現 II. 光電子情報処理 ○光電子情報処理のソフトウェア、ミドルウェア開発によるものづくり設計・生産工程の最適化 ※ImPACT, Q-LEAP, NEDOプロ等の状況を踏まえ、今後検討 III. 光・量子通信 ○絶対に破られない量子暗号を用いたクラウドサービスの開発（量子セキュリティクラウド技術の開発）	

- ▶ 現在、IoT/AIからスマート製造へと投資が開始されているが、社会・産業界共通の投資を阻むボトルネックが存在する。
- ▶ 我が国が強みを有す光・量子技術を活用し、これらのボトルネックを解消可能な加工、情報処理、通信の重要技術を厳選・開発を行い、『レーザー加工市場シェア奪還のための日本発コア技術等の製品化』『ものづくり設計・生産工程の最適化』『高秘匿クラウドサービスの開始』等を達成し、Society5.0実現を加速度的に進展させる。

※本資料は、課題選定時に関係省庁間で検討した内容を示したものです。選任されたプログラムディレクターは、この内容を踏まえつつも、この内容には必ずしも限定されない研究開発計画を作成し、SIPガバナングボード、プログラム総括、事務局との間の意見交換等（いわゆる「作り込み」）を経て、最終的な研究開発計画が策定されることとなります。

フィジカル空間技術に関するJST-CRDSの提言

▶ 戦略プロポーザル

◆ 2014年度

- ▶ データ科学との連携・融合による新世代物質・材料設計研究の促進（マテリアルズ・インフォマティクス）

◆ 2014年度

- ▶ ナノスケール熱制御によるデバイス革新 - フォノンエンジニアリング -

◆ 2015年度

- ▶ ナノ・IT・メカ統合によるロボット基盤技術の革新 ～人に寄り添うスマートロボットを目指して～
- ▶ 次世代ものづくり ～高付加価値を生む新しい製造業のプラットフォーム創出に向けて～

◆ 2016年度

- ▶ トポロジカル量子戦略 ～量子力学の新展開がもたらすデバイスイノベーション～

◆ 2017年度

- ▶ 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～
- ▶ 革新的コンピューティング ～計算ドメイン志向による基盤技術の創出～

わが国が強みを持つフィジカル空間技術の強化を

- ▶ 既存のハードウェア技術にサイバー技術を持ち込んでも超スマート社会は実現しません。
- ▶ CPSが求める新しいエッジ側でのデバイス開発、特に省資源・省エネルギーの新原理デバイスの実用化・基盤技術の開発が求められます。この分野はわが国が競争力をもつ分野です。
- ▶ 我が国が強みを有する材料分野においても、マテリアルズインフォマティクス(MI)を活かし、革新的な高信頼性材料の開発が求められます。
- ▶ フィジカル空間の技術者には、MIなど「サイバー」技術を貪欲に取り込みながら、サイバー・フィジカル時代を先導する新しい材料・デバイスの開発に邁進されることを期待します。