

## 4. 宇宙・海洋・地球・科学基盤分野の調査結果

### 内容

4.1 将来の展望 .....	363
4.1.1 総論 .....	363
4.1.2 宇宙 .....	364
4.1.3 海洋 .....	366
4.1.4 地球 .....	367
4.1.5 地球観測・予測 .....	368
4.1.6 加速器、素粒子・原子核 .....	369
4.1.7 ビーム応用:放射光 .....	370
4.1.8 ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等 .....	372
4.1.9 計算科学・シミュレーション .....	374
4.1.10 数理科学・ビッグデータ .....	376
4.1.11 計測基盤 .....	377
4.2 アンケートの回収状況 .....	380
4.3 細目の設定 .....	381
4.4 トピックに関する設問について .....	382
4.4.1 トピックの特性 .....	382
4.4.2 技術的実現予測時期 .....	393
4.4.3 技術的実現に向けた重点施策 .....	395
4.4.4 社会実装時期 .....	399
4.4.5 社会実装に向けた重点施策 .....	401
4.4.6 技術的実現から社会実装までの期間 .....	405
4.5.1 技術的実現予測時期 .....	411
4.5.2 社会実装予測時期 .....	416
4.6 細目別重要トピックにおける要素技術 .....	421
4.7 集計結果一覧 .....	442

### <概要>

本分野の関連では、これまでの調査において宇宙、海洋、地球関連の科学技術を中心に上げてきた。今回調査においては、国が推進の主体となるものであり、かつ、イノベーション、科学技術発展、国民の安全確保の実現に向けた科学的な基盤を担う科学技術を扱うことを基本方針として、範囲の検討を行った。その結果、上述の従来細目、並びに、ビーム応用、計算科学・シミュレーション、数理科学・ビッグデータ、計測基盤を内容とする「科学基盤」細目を本分野の対象として設定することとした。

本分野は、全般的に、重要度、国際競争力とも高く評価され、また、重要度が高いトピックは国際競争力も高いとされる傾向が見られる。重要度及び国際競争力が特に高いと評価されたのは、ビーム応用関連のトピックである。その他、火山、地震、洪水など、災害の予測・シミュレーション技術も同様に重要度並びに国際競争力が高い評価とされたが、地震発生予測は不確実性が高いとされ、「実現しない」との回答も多かった。

一方、重要度は高いが国際競争力が相対的に低いと評価されたのは、海洋観測・探査関連トピックである。その他、安全で低コストの宇宙利用、大量データ利用技術も同様の傾向が見られる。

技術実現に向けて政府に求められる施策としては、全般的に「資源配分」が最も重要とされ、特に、海洋関連及び加速器関連において顕著である。次いで重要とされたのは、宇宙関連では「内外連携・協力」、その他は「人材戦略」である。

## 4. 1 将来の展望

### 4. 1. 1. 総論

#### (1) 本分野の検討範囲

本分野では、基礎科学からイノベーションまで広く科学技術や社会の発展をもたらす基盤的な事項を扱っている。前回調査では、科学的探求及び社会応用の観点から、宇宙及び地球の諸現象を捉えるための科学技術を主に取り上げた。今回調査においては、科学技術の進展を下支えする技術と位置づけられる計測・解析技術、及び、計測・解析により得られる大量データの利用技術を検討範囲に加えた。これらの科学技術は、いくつかの分野で散発的に扱われてきていたが、独立した細目として明示的に取り上げることは大きな意味を持つ。

本分野の検討範囲に含まれる科学技術の多くは、多額の予算、大型装置・施設を要すること、多様な研究者が関与すること、手段あるいは結果の供用を前提としていること、といった特徴を持っている。科学技術イノベーションを支える基盤として、あるいは、産業界へのスピノフの可能性を持つ先端研究開発として、政府の関与が求められる分野と言える。

宇宙及び地球を対象とした探査・観測技術は、宇宙の進化や生命起源の探究など基礎科学の進展に寄与すると共に、地球環境や安全確保など社会の様々な課題解決に向けた展開の可能性を持ち、商業利用を想定しての研究開発の方向性も見られる。国際的な連携協力枠組みの下での活動や我が国の地理的特性に基づく先導的役割への期待など、国際的に相応の貢献が求められる領域でもある。

計測・解析技術については、従来捉えきれなかった現象の観察が可能となることにより新たな発見やアプローチがもたらされ、それが我が国の科学技術力や産業競争力の強化に繋がることが期待される。生み出される成果のみならず、装置・施設の開発自体も我が国の科学技術力を示すものとなる。

大量データの利用技術は、今後の科学技術発展や社会に大きな変革をもたらす可能性があることから、注目を集めている。計測・解析技術の発展に付随して推進すべき技術として、データベース構築やデータ統合などの基盤構築、及び、モデリングやシミュレーション技術が挙がる。データ保存・転送技術やハイパフォーマンスコンピューティングの進展も求められる。さらに、大量の非構造化データの活用も将来に向けて検討すべき事項である。

そこで今回調査では、従来から取り上げている宇宙・海洋・地球領域においては、基礎科学の進展の側面と共に、地球環境や防災等の社会課題を考慮した科学技術を取り上げた。計測・解析に関しては、産業界のイノベーションへの大きな寄与が見込まれるビーム応用、シミュレーション技術、及び、数理科学・社会数理を新たに取り上げた。また、計測基盤として、新たな可能性を拓く光計測技術を取り上げた。設定した細目は、計 10 細目である。科学技術トピックの中には複数細目に跨がるものも存在するが、トピック設定の視点や回答しやすさ等を考慮し、いずれかの細目に属させた。

#### (2) 結果の総括

本分野で取り上げたトピックについては、全般的に、重要度と国際競争力が高く、重要度が高いトピックは国際競争力も高いとの評価がなされた。また、不確実性や非連続性は相対的に低い、すなわち継続性が高いこと、また倫理面の考慮はあまり求められないことが示された。我が国の高い国際競争力は、過去の投資により世界有数の施設を保有し、最先端の研究を可能とする環境を備えていることと無関係ではないだろう。研究環境がすべてではないが、科学技術の世界に新たな展開をもたらすことは確かである。それが十分でない場合、研究の機会が大きく減じられ、その結果、国際競争力が高まらず、人材も育たない虞がある。重点施策として「資源配分」が選択された割合が他分野と比べて高いことが本分野の特徴を端的に表している。当然資源の総額は限られており、すべてを満たす配分は不可能である。限られた資源を最大限有効に生かすため、いつ何を整備すべきか、国内外または産学官の連携・協力をどう進めるか等、戦略的な議論が求められる。

### (3) 今後の展望

分野全体を概観すると、第一に、長期的視野に立った継続的な推進の必要性が挙げられる。独自開発であれ国際共同であれ、画期的な成果を生み出す装置・施設はその計画から稼働まで長期間を要するためである。また、自然の諸現象データはその時々でないと取得できないため、必要となった時点で取得体制が整っているか否かですべてが決まる。長期にわたる継続的なデータがあつて初めて意味を持つ例も少なくないことも忘れてはならない。早期の計画立案は、その必要性が一般に認知されにくいことから、社会受容のための説明も求められよう。併せて、装置・施設などの稼働のため、あるいは得られたデータの加工のためのソフトウェア開発と人材育成も適時に着手する必要がある。

将来のニーズと科学技術発展や社会経済に与えるインパクトを想定し、さらに整備からその後の運用や維持管理まで含めたリソースを見越し、優先度の高い装置・施設等の整備に向けた適時の取り組みが求められる。人材も、短期的な成果に着目するのではなく、長期的視点での育成が必要となる。

第二に、基盤としての認識の明確化と分野を超えた一体的推進のための検討の必要性も挙げられる。本分野で扱う科学技術は横断的な技術であり、応用先の分野の知見を取り入れることによって社会実装への展開につながると考えられる。こうした基盤的な領域は社会実装の観点からの議論の流れの中では見過ごされやすいが、意識して明確に位置づけていく必要がある。

(土肥 義治)

## 4. 1. 2. 宇宙

### (1) 本細目の検討範囲

国内においては 2008 年の宇宙基本法の成立以来、宇宙基本計画が作成・改定され宇宙利用の拡大、産業振興などの方向性が示され宇宙システムの社会インフラ化、宇宙産業の競争力強化等が叫ばれている。直近の計画改定にあたっては宇宙空間の安全保障上の重要性の増大、インド・中国を始めとする新興国や民間企業による宇宙活動の活発化とそれらに伴う安全な宇宙空間の利用のためのリスク低減の必要性やエネルギー、大規模自然災害、環境、食糧等の地球規模課題の解決に向けた宇宙技術の貢献などが重要な背景として認識されている。宇宙科学・探査や有人宇宙の分野ではこれまで多くの計画で世界的に高い評価を得ておりこれらの実績をベースに更なる世界的成果の創出等を目指した取組が行われようとしている。また大学や新しい企業による衛星開発も盛んになってきている。世界に目を向けると宇宙科学・探査や地球観測の分野においては国際協力による計画推進が多く見られる。さらに米国などでは宇宙の商業化が進み、宇宙ステーションへの民間の宇宙輸送システムによる物資補給やIT企業やベンチャー企業など異業種からの宇宙分野への参入も見受けられるようになった。

宇宙科学においては宇宙からの観測と地上からの観測が車の両輪となって宇宙の誕生・進化の謎を解明しつつある。地上ではハワイのすばる望遠鏡やチリのアルマ望遠鏡による研究が着実に成果を上げる一方で、次世代の TMT 望遠鏡計画が国際協力で進められている。また世界初の重力波観測を目指した KAGRA 実験が装置の建設段階にある。宇宙空間においては、これまでに打ち上げられた数々の科学衛星の実績を元に、大型科学衛星 ASTRO-H やイプシロンロケットを用いた小型衛星によるユニークな研究が進められている。このような状況において、今回の調査では新しい技術によって新しい展開が期待されるトピックを取り上げた。

これらの状況の下、次のような 14 のトピックが設定され調査対象とされた。

1. 宇宙利用の低コスト化実現のためのシステム
2. 地球外天体における有人活動拠点
3. 地球外生命探査技術

4. 宇宙デブリ回収システム
5. 宇宙エレベーター
6. 宇宙太陽光発電システム
7. 国土の24時間高精度監視システム
8. 衛星による数センチの精度の測位技術
9. 宇宙の商業利用の円滑化のための宇宙機管制システム
10. 宇宙初期のインフレーション仮説の検証のための観測技術
11. ダークマターが未知の粒子であるという仮説を検証する技術
12. ダークエネルギー解明のための観測技術
13. 重力波の直接観測技術
14. 宇宙線ミュオンを用いたイメージング技術

## (2) 本細目のトピック

宇宙システムの社会利用分野に関するトピックについて、国民の安全安心の確保のための衛星による国土の24時間高精度監視システムが高い重要度を有する調査結果となった。これにより安全保障への貢献に加えて地球規模の災害や温暖化などの課題解決への貢献が期待される。また宇宙の社会インフラ化が進むにつれてその安定的利用や低コスト化が問題になると思われるが、そのコストを低減させるために必要なシステム(再使用型輸送機、衛星等への燃料補給・修理点検・機器交換などのサービス技術)や安全な利用のための宇宙デブリの回収システムも重要度が高い技術として識別された。これらの重要度は高いとの結果であったがその国際競争力という観点では高いという調査結果は得られなかった。

最近研究が盛んになりつつある宇宙エレベーターであるが、これについては未だ重要性の認識は低く実現性についても否定的な意見が多くあった。

宇宙分野全般に言えることであるが、その実現に向けて国際協力・連携が重要であるとの声が多く特に宇宙デブリの回収や地球外天体への有人活動拠点の構築などはこれらの協力連携の必要性が高いとの調査結果になった。

宇宙科学分野の研究開発の重要性・国際競争力は平均的であるが、ダークエネルギーやダークマター等、研究の最前線においてその正体が未知の観測対象については不確実性が高い。関連して実現可能性が低いトピックが多い。技術実現・社会実装のために必要な施策の中では内外の連携・協力が重要視されている。

## (3) 今後の展望

安全保障分野での宇宙システムの活用が求められているが、この推進のためには衛星のサバイバル性の向上、通信妨害対策やスペースデブリ対策などの技術開発が今後重要となろう。また、この分野の当面の課題とされる宇宙状況監視(SSA)や海洋状況監視(MDA)であるが、これらに関する技術開発が必要である。環境問題や大規模災害などの課題へのより一層の貢献のためには地上システムによる観測データと宇宙からの観測データの連携を深める必要があるためビッグデータ処理技術の活用が重要である。この結果自然災害の予測研究などに大きな貢献が期待される。これらの分野への宇宙システムによるより継続的で安定した貢献が実現されるためにはそれに係るコストの低減化が重要である。

このためには低コスト宇宙輸送システムや軌道上における宇宙機修理技術などの研究開発を行う必要がある。宇宙技術の革新的進展のためには宇宙利用分野における技術開発に加えて、宇宙探査・宇宙科学・有人宇宙技術などの先進分野における技術開発を推進することも重要である。これらを積極的に取り入れた我が国の宇宙技術の競争力強化を図る施策が必要と考える。

民間における商業宇宙活動が活発になるにつれて宇宙の安全な利用のための行動規範やそれを支え実現するためにスペースデブリ除去や国際的な安全管理のための宇宙機管制技術等も必要となろう。

宇宙科学においては、資源配分だけではなく、人材戦略と内外の連携が重要である。次世代のトピック設定及び関連技術の開発において、国内外の研究者が連携して研究戦略を策定することが一層望まれる。

(小澤 秀司、野崎 光昭)

#### 4. 1. 3. 海洋

##### (1) 本細目の検討範囲

海洋は今や未踏地域の探求の場としてではなく、我々の生活に不可欠な役割を担う場として見なされており、その探査技術にはイノベーションが期待されている。現在、社会問題となっている地球温暖化に対しては、熱や二酸化炭素のリザーバーとしての役割を持ち、その機能の定量的な解明が待たれている。多種多様な生物が生息しており、生物多様性確保の観点からも実態調査が重要とされている。また、海洋酸性化をはじめとする環境変化による影響調査も喫緊の課題である。さらに近年では、熱水鉱床やメタンハイドレートなど資源開発の場としても注目されている。これらの背景を踏まえ、細目としての「海洋」では、海中・海底探査の基盤となる無人探査機や通信技術、環境調査技術、生物調査技術、資源開発技術についてトピックを設定した。なお、海洋によせられる期待は大きく、分野も多岐にわたるため、いくつかのトピックについては他の細目に含まれている。

##### (2) 本細目のトピック

研究開発特性については、研究開発の重要性は総じて高い(平均 3.3)。また、不確実性(2.63)と非連続性(2.61)は低めである。研究開発を進めるにあたっての倫理的配慮の必要性(2.19)は低い。しかし、国際競争力(2.93)については必ずしも高いとは言えない。これらの傾向は、他細目に含まれる項目を考慮しても変わらない。不確実性、非連続性、倫理的配慮の必要性が低いと判断されていることを反映し、トピックが実現する、との予測が大勢を占めており(平均約 8 割)、その実現年の予測は 2021 年から 2025 年に集中している。また、社会実装年の予測も 2021 年から 2025 年に集中しており、実現から実装までの期間が短い。技術的実現に向けた重点施策は、人材戦略、資源配分、内外の連携・協力、環境整備、その他が、それぞれ 18.5%、52.0%、17.1%、10.8%、1.5%となっており、資源配分が突出していることが特徴となっている。他細目に含まれる項目を考慮すると実現するとの予想が平均約 7 割程度、また社会実装年が平均的に数年遅れ、資金配分の突出度合いが若干下がるが、定性的な傾向は変わらない。他細目にある関連項目を含め、資源関係の項目の重要度が相対的に高く、環境調査技術関連がそれに次ぐ。社会的な要請の度合いを反映と見ることができよう。

##### (3) 今後の展望

要約すれば、海洋研究開発は、総じて社会的意義が大きく、また実現する可能性は高く社会実装までの期間が短いと予測されている一方、人材や施設は相対的に整備されているものの、トピック実現のためのリソースが不足していると判定されている。その結果、研究開発のポテンシャルはあるものの国際競争力が高いとはいえない、という評価につながっている。海洋国家である我が国にとって海洋監視・観測技術は言うまでもなく国の自立・自律性を確保するために不可欠なものである。このことは、本調査によって、環境変動監視・防災・資源開発など多岐にわたる項目についてその重要性が広く認知されていることから明白で、いわば国としての「核」となる技術である。生活に直結することから社会からの要請は強いと考えら、さらに開発に伴うリスクは低い。AUV や海中における通信技術などは様々な分野への波及も期待できる。効果的なリソース配分によって、躍進が期待できる分野である。

(河野 健)

#### 4. 1. 4. 地球

##### (1) 本細目の検討範囲

地震・火山噴火現象を科学的に解明することは、それらの発生予測やそれに伴って生じる地震動、津波、火山灰、マグマの噴出などによる災害に備える上で重要である。文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会では、平成25年11月に地震及び火山噴火に関する観測研究の方向性として、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(平成26～30年)」を建議している。

本観測研究計画の建議において、地震・火山噴火の発生予測に関する研究は、長期的な防災・減災対策の基礎となる発生頻度と規模の評価を行うものと、日本国内に整備された地震火山観測網のデータから地殻活動とその推移を予測するものとされており、本調査はこの予測技術の具体的なトピックを抽出したものと見える。

##### (2) 本細目のトピック

科学技術と社会の両面からみた総合的な重要度では、「全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見出すための切迫度評価」のトピックが136件中が一番高いスコアとなっており、不確実性の高いトピックでも上位にランクされている。また、技術実現に向けた重点施策の人材戦略でも上位にランクされており、火山研究者の人材不足が問われているものと推察される。本調査は、御嶽山噴火前に実施されたものであるが、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって火山活動の活発化が懸念されていることもあり、活発化している火山への対策が喫緊の課題として認識されていることがわかる。火山災害は、長期間にわたり噴火が続くことがあり、噴石や噴煙、火山灰や土石流によって周辺地域の生活や経済活動にも多大な影響を与えるため、迅速な災害対応や避難行動、適切な避難解除による早期復旧・復興等のためにも、早期に自治体や住民等に切迫性のある情報を提供すること必要であり、本調査では2025年に技術的に実現し、2030年に社会実装されることが期待されている。

日本が外国に比べて国際競争力を有するトピックでは、「海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術」が2番目に高いスコアとなっている。また、技術実現に向けた重点施策の資源配分でも上位にランクされており、社会実装に向けた重点施策の資源配分では一番高いスコアとなっている。文部科学省研究開発局地震・防災研究課では、東北地方太平洋沖に日本海溝海底地震津波観測網(S-net)、南海トラフ沿いに地震・津波観測監視システム(DONET)を整備しているが、これらはケーブル式によるものである。ブイ式津波・地殻変動観測技術の開発は、津波の直接観測と地震前後の地殻変動観測が可能となるため、国際的な地震・津波監視体制の強化に貢献することが期待される。

不確実性の高いトピックでは、「M7以上の地震の発生時期(1年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術」が一番高いスコアになっており、技術実現に向けた重点施策の人材戦略でも上位にランクされている。1995年兵庫県南部地震から今年で20年になるが、地震予知の手法は未だ確立していないため、長期的視野に立ち、若手研究者や防災研究・防災業務に携わる人材育成を体系的かつ継続的に行う必要がある。

##### (3) 今後の展望

地震・火山災害から国民の生命と暮らしを守るためには、長期的な視点に立ち、地震・火山噴火の現象を理解するための観測研究を推進し、地震・火山噴火の発生を予測するとともに、地震動、津波、降灰、溶岩噴出などの災害の直接的な原因(災害誘因)の発生・推移を予測することが重要である。

「地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8以上の大規模地震の発生を予測する技術」のトピックでは、不確実性の高いトピックとして上位にランクされており、社会実装に向けた重点施策の連携・協力でも上位にランクされている。今後の地震・火山噴火の予測技術開発では、地震学や火山学を中核として、理学、工学、人文・社会科学分野と連携し、総合的かつ学際的研究として推進することが必要である。

(大井 昌弘)

#### 4. 1. 5. 地球観測・予測

##### (1) 本細目の検討範囲

地球観測は地震や津波、豪雪、台風や高潮、豪雨や洪水、山体崩壊、火山噴火、竜巻などの地球物理学的事象を監視し、可能な限り予測して自然災害による被害を最小限に抑えるのに大きく貢献していると共に、地球温暖化に伴う気候変動など、地球規模の長期的な環境変動の探知やメカニズムの解明、そして予測精度の向上に役立っている。また、国連気候変動枠組み条約では気候変動に関する科学的知見が国際政治や国の基本的施策に直結しているし、北極海の海水の長期変化は北極海航路の可能性を通じて沿岸各国や世界の海運関係者の関心の的となっている。

観測推定される地形変化や気温、海面水温、土地被覆などのデータそのものにも価値があるが、ICT 技術の発達に伴い、地球観測と数値モデルとを組み合わせるデータ同化手法が近年の観測・予測精度の向上に大いに貢献しており、効率的な漁業のための海況情報提供や異常気象をもたらすエルニーニョ南方振動の監視、普段の天気予報などに生かされている。

そうした観点から「地球観測・予測」細目では衛星や野外拠点などによる地球観測と、数値モデルによる気象、海象、水象などのモニタリングと予測、防災・減災に貢献する社会実装などに関連する 11 のトピックを設定した。なお、「海洋」「地球」「計算科学・シミュレーション」「数理学・ビッグデータ」などの細目にも関連トピックが含まれている。

##### (2) 本細目のトピック

「地球観測・予測」細目の中では「高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」(以下、『高解像度予測技術』とする)が「宇宙・海洋・地球・科学基盤」分野における「科学技術と社会の両面からみた総合的な重要度」において 6 番につけ、「人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で高精度・高感度に観測する技術(GCOM-C で分解能 250m、観測幅 1000km 程度。GCOM-W で 1450km 程度。)」も上位 20 に入った。また、別の細目に分類されているが関連するトピックとして「台風時の高潮・高波と降雨による内水・外水氾濫を統合して扱う沿岸災害予測」や「津波の即時評価と連動した避難指示システム」も重要トピックの上位となっている。

近年頻発しているとされる自然災害による被害軽減に直結するトピックへの関心の高さがうかがわれる一方で、「衛星搭載センサーで測定した大気上空の酸素の同位体比の情報を大気数値モデルのデータ同化に用い、天気予報の精度を向上させる技術」は重要度が低いというアンケート結果となっているが、データ同化自体の重要性は認知されていると考えられるし、天気予報の精度がすでに十分であると認識されているとも思えないので、当該トピック自体がまだ発展途上で将来の有効性がわからないということであろう。

トピックの将来予測の不確実性に関しては細目は異なるが「衛星観測並びに地上観測に基づき、人間活動も考慮した陸面水循環モデルを用いたシミュレーションによる、数時間から数日先までの全世界の洪水や渇水の予測」や「21 世紀末に至る全大陸上のエネルギー・水・物質(CO<sub>2</sub> 等)の収支が推計され、再生可能エネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスに関して今後懸念される問題点が 1km といった超高解像度で明らかになるシステム」などの関連トピックが上位に入っているのに対し、「地球観測・予測」細目では、「短期の気象から長期の気候変動までを単一のモデルのフレームワークによって取り扱うシームレス予測技術」ならびに『高解像度予測技術』が上位 20 の相対的には下位につけており、自然科学の知見だけでは実現できないトピックやそもそも予測可能性があるのかどうか根本的な疑問がないわけではないトピックの不確実性が指摘されている。

逆に、「水産業等に利用するため、人工衛星等により、海氷、海面温度、波浪、海流、クロロフィル等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム」(以下『海況監視』)については不確実性が低いという結果となっており、すでに一部現業化が実現しているトピックに対する正当な評価である。



非連続性が高いという評価を上位で受けたトピックがなく、「降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術」(以下『雪氷災害』)と『海況監視』が非連続性の低さで上位につけている点が「地球観測・予測」細目の特徴であり、地球科学の叡智を国際社会に生かす重要性は認められるものの、科学的な華々しさ、アイデアの目新しさでは他の「宇宙・海洋・地球・科学基盤」分野のトピックに譲っている。また、倫理性にかかわる問題が低いという共通認識である点も「地球観測・予測」細目の特徴であり、特に『雪氷災害』は倫理性があまり問われないと認識されている。

国際競争力に関しては上位にも下位にも「地球観測・予測」細目のトピックはランキングしておらず、良く知られていないというのが実態なのであろう。そうした実態を反映してか、技術的実現時期としては 11 トピックすべてが 2021～25 年と予測されており、今すぐ可能とはならないが、しばらくすると可能になるだろうと思われるようである。社会的実現についても 8 トピックが同時期、3 トピックが 2026～30 年と予測されており、技術的に可能となればすぐにも社会実装されると期待されている。

そうした技術的実現、社会実装にもっとも必要なのは他の細目と同様、主に「資源配分」であると考えられており、特に「東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術」では社会実現のために特に資源配分が重要であると考えられている。一方で「30km 程度の格子間隔で、表面から海底までの水温、塩分、溶存酸素、栄養塩、全炭酸を高精度で自動計測する技術」では「内外の連携・協力」が重要だと考えられている。

### (3) 今後の展望

日常的に自然災害被害軽減に貢献しつつ現状を記録して将来世代の地球規模変動研究に資するという短長期の両側面が地球観測・予測分野にはある。現在の状況は今観測しておかないと将来になってからでは二度と観測不可能であり、現在の不適切な観測体制が将来の環境変動研究に大きな禍根を残すという意味でも、地球物理学的な突発現象に伴う被害を監視と予測によって軽減するという意味でも地球観測・予測の各トピックに対する期待は高い。

地球観測・予測分野では継続的な現業観測、データの蓄積が重要であるため、長期的な資源配分の確保が重要となるが、各国の財政的逼迫のため、国際的な協力と分業をせざるを得ない状況である。そうした中で主導権を握るためには、逆説的ではあるが、他国機関などにおいて現実的な投資では現時点では実現不可能なセンサーや観測プラットフォーム、数値モデル、データ同化手法などからなる地球観測システムを保持している必要がある。そのため、観測の継続だけではなく新たな観測技術開発への挑戦を支える資源配分も常に必要であり、特に広い裾野を持つ研究者コミュニティの維持、研究開発人材の絶えざる育成確保が国際的な優位性保持の鍵となる。

衛星や船舶、航空機などからの地球観測と地上 in-situ 観測データを、数値モデルを用いたデータ同化手法によって融合する技術はますます発展すると期待されるが、そうして構築された膨大な地球観測・予測情報が広く国民に浸透し利用されるよう、携帯端末等のメディアに対するユーザーインターフェースの構築も社会実装としては非常に重要であると考えられる。

(沖 大幹)

## 4. 1. 6. 加速器、素粒子・原子核

### (1) 本細目の検討範囲

ノーベル物理学賞が数多くの加速器・測定器の技術に与えられてきたことからわかるように、新しい技術は新しいサイエンスを産み出す原動力となってきた。なかでも素粒子・原子核物理学は加速器・測定器技術とともに発展してきた。戦後、日本の素粒子物理学は理論研究が先行したが、1980 年代には超伝導加速技術を駆使

した世界最高エネルギーの電子・陽電子コライダーが稼働し、素粒子物理の実験研究を大きく発展させた。2000年代には最先端のビーム制御技術等により世界最高のルミノシティを達成し、小林・益川理論の検証に大きな貢献をした。大強度陽子加速器と標的技術を駆使したニュートリノビーム実験では、神岡鉱山内に設置された巨大光検出装置と連携して、世界に先駆けてニュートリノ振動を検証した。このように最先端の加速器は数多くのサイエンスの成果を産み出している。

近年、加速器が生成する放射光やパルス中性子等は、物質科学・生命科学における重要な研究基盤のひとつとなり、基礎科学に留まらず産業・医療利用等、幅広く展開されている。今回の調査では、加速器で生成されるビームの高度化及びその利用技術の新たな展開、ならびに加速器・測定器そのものの開発の両面を調査対象とした。後者は主に素粒子・原子核研究に直結するものである。

## (2) 本細目のトピック

実用化が視野に入ったビーム技術は概ね「連続」「確実」と評価された。逆に「不確実」「非連続」が高い技術は、プラズマまたは誘電体航跡場加速技術、100 TeV級のハドロンコライダー、大強度陽子加速器によるADS技術である。100 TeV級コライダーについては今年度からCERNで基礎研究開発が始まり、本調査でも国際連携の必要性が本細目中最も高い。「不確実」「不連続」技術とはいえ重要度は決して低くはないので、地道な基礎研究の継続が必要と考えられる。ADS技術に関しては「重要度」が高い一方で、「実現性」は低く「倫理性」が高い。国の原子力政策と密接に関連する技術だけに、「環境整備」が本細目中最も高い。

ビームの高度化を実現するトピックについては、技術実現・社会実装の両面で、「資源配分」が最も重要な要因である。一方、素粒子・原子核物理関連のトピックでは、資源配分だけではなく、「内外の連携・協力」が高い。またテーマの「重要度」では、一般にビームの高度化の「重要度」が高く、基礎物理学などは比較的低い。TeV級の電子・陽電子コライダーとマヨラナニュートリノの研究は「重要度」がビーム高度化に匹敵する。スーパーコンピュータを使った素粒子研究は「人材戦略」が他のトピックに比べて高く、注目される。

## (3) 今後の展望

全体的に見ると、ビームの高度化については技術的確実性・連続性は高く、適切な資源投入により確実に成果が上がると期待される。素粒子・原子核研究の大型加速器計画については資源投入だけではなく、内外の連携・協力が重要な鍵となる。

スパコンによる素粒子研究、X線光学素子開発、極超短パルス光の発生技術においては、特に人材戦略が重要と考えられている。いずれも技術とサイエンスを繋ぐコーディネータが重要な役目を果たす分野であり、今後の人材育成が望まれる。

最も実現が困難な技術は以下の3技術である；①プラズマまたは誘電体航跡場加速は、原理は実証されたものの、加速器として使える段階ではなく、実用化までの道は遠いが、加速器利用に革命をもたらす革新技術である。②ADS技術も同様に原子力エネルギーの利用システムに大変革をもたらす。③100 TeVコライダーに必要なとされる技術は、素粒子研究に留まらず幅広い波及効果をもたらすことが期待される。このようなハイリスクの技術は戦略的に推進する必要がある。

(野崎 光昭)

## 4. 1. 7. ビーム応用：放射光

### (1) 本細目の検討範囲

我が国は、世界初の放射光利用専用施設を1974年に建設した。1990年代における欧州と米国での大型放

射光施設建設に続き、世界で最大かつ最高の電子エネルギーをもつ大型放射光施設 SPring-8 を 1997 年に建設した。さらに、X 線自由電子レーザー施設においても独自技術によるコンパクトな施設 SACLA を 2011 年に建設した。我が国が開発した放射光基盤技術によって、現在では、中規模放射光施設において、大型施設に迫る高性能の放射光を発生させることが可能になり、一部のエネルギー領域(波長領域)では大型放射光施設を凌駕する性能が諸外国で達成されている。以上のように、過去 40 年間、放射光利用に特化した加速器技術、光源・光学技術、計測技術を発展させて、我が国は本分野を先導し牽引してきた。しかしながら、現在、我が国において中型放射光施設の建設や大型施設の高度化計画が欧米に比して遅れている。放射光分野では技術開発と利用者ニーズとのマッチングが極めて重要であり、利用者を含む研究者らによる当該細目の調査結果とその総括は政策立案のための重要な資料となる。世界最先端の放射光技術基盤を有する我が国は、加速器技術、光源・光学技術、計測技術において今後も技術革新を達成し、それらの技術を応用して先端施設を整備することが期待されている。

## (2) 本細目のトピック

世界を先導してきた我が国の放射光利用研究は、学術の進歩と産業の発展に大きく貢献したことにより、各国でその重要性が認識された。さらに、我が国が開発した先端技術を基盤とする中型放射光施設は、高い性能を有し、大型放射光施設に比べ建設費用も抑えられることから、世界各国で中型放射光施設の建設ラッシュが起きている。我が国は世界的にも放射光施設の多い国であり、それらの利活用による学術と産業への貢献は高いが、最先端中型放射光施設の建設は進んでいない。その結果、軟 X 線領域の放射光利用では、欧米と東アジア諸国の後塵を拝する危機にある。また、大型放射光施設においては、欧米で高度化計画が実行に移されつつあり、硬 X 線領域の放射光利用においても、その先端計測技術の競争が激化している。我が国が今後も放射光利用研究の推進において世界を先導し牽引し続けるためには、組織的かつ戦略的に当該分野の科学技術開発を進展させ、既存施設の高度化と先端施設の建設を進める必要がある。

当該細目には、化学反応カインेटクス、物質のダイナミクスや機能発現・構造・電子状態の解析、電子デバイスの動作メカニズムの解析、創薬のためのタンパク質解析など、現代社会の持続的発展と課題解決のために必要不可欠な先端放射光分析技術が列挙されている。それらの技術内容は、中型高輝度放射光施設の建設、最先端高輝度・低エミッタンス・高コヒーレント・省コスト型光源の開発と実現など放射光源にかかわる科学技術、nm オーダーの微小領域、高い空間分解能、ps~fs 領域の高速、高時間分解能での放射光計測技術の開発などである。また、これらの計測に必要な、X 線顕微鏡技術、X 線イメージング技術、反応中でのその場観察技術、オペランド観察技術などの基盤技術項目も挙げられている。関連する技術としては、「加速器・素粒子・原子核」細目において、X 線光学素子、省エネルギー・省メンテナンス X 線光源の開発などもトピックとして挙げられている。このように当該細目は、放射光施設の加速器・光源・光学にかかわる基盤技術開発から先端光源を活用した利用研究に資する計測技術開発まで多岐にわたる。

このような多様な科学技術目標に対して、各トピックの重要度の平均値、最高値はそれぞれ 3.55、3.68 であり、国際競争力の平均値、最高値はそれぞれ 3.24、3.43 と、非常に高い値を示している。一方で、不確実性の平均値は 2.36、倫理性の平均値は 2.01 と低い値を示しており、各項目の実現可能性が高く、実施における倫理的問題は低い。これらの結果は、これまでの我が国の本分野におけるリーダーシップに対する高い評価と今後の更なる発展への強い期待の表れであると理解できる。トピックの多様性、複合性、先端性を考慮しても、非連続性の平均値 2.9 は比較的低い値であり、実現化が視野に入ったトピックであると評価されている。各トピックの技術実現年の多くが 2020 年、実装可能年が 2020 年代前半と予測されており、有効な人材戦略と資源配分戦略の下で各トピックの実現に向けて努力する必要がある。

これらの調査結果は、最先端中型放射光施設の建設、最先端光源へのアップグレード、放射光・X 線にかかわる光学技術や計測技術の高度化において、資源と技術開発を集中するよう求めている。また、我が国の各放射光施設に対して、光子エネルギー領域(UV、軟 X 線、硬 X 線)、利活用目的(学術利用、産業活用)、利活用

形態(先端研究、ルーチンワーク)、地域性などを考慮した役割分担を戦略的に行うよう求めている。さらに、将来に予想される大型放射光施設の高度化のための停止期間においては、国内での産学官の利用研究が停滞しないよう、施設間での利用調整など運営上の配慮を求めている。

### (3) 今後の展望

放射光施設では、高輝度、低エミッタンス、高コヒーレンシーの先端光源を省コスト、省エネルギーで実現することが求められており、技術開発における世界的潮流でもある。また、利用研究においては、高性能な材料、素子、医薬などを創成するための機能発現機構の理解を目的として、多様な物質の状態を nm オーダーの空間分解能や fs オーダーの時間分解能で可視化し分析することが求められている。目標の実現に向けた科学技術開発は、現在、各施設で精力的に進められている。当該細目の各項目は、いずれも社会的課題に関連した科学技術開発であり、本調査によって産学官の研究社会における重要な科学技術開発目標であることが明らかとなった。多くの項目において、技術実現は 2020 年頃、そして社会実装は 2020 年代前半と予測されている。これらの予測は、我が国の人材、技術基盤、資金などの資源を必要十分に戦略投入すれば実現可能な理想値である。国内の放射光関連組織と利用者コミュニティは連携して、本調査の各項目を実現するよう努力することが肝要である。

(土肥 義治、藤原 明比古)

## 4. 1. 8. ビーム応用：中性子・ミュオン・荷電粒子等

### (1) 本細目の検討範囲

レントゲンによるX線の発見から、放射線は基礎科学から産業応用までの幅広い分野で利用され、基礎科学において数多くのノーベル賞受賞者を輩出するとともに、産業応用では放射線を用いた半導体加工・製造、突然変異育種、先進的がん診断・治療など、工業、農業、医療等の分野における革新的技術の創出、産業振興等を通して、我が国の経済発展、国民の福祉及び生活の水準向上に大きく貢献してきた。昨今では、人工的に発生させ、高度に制御された電磁波(レーザー、X線、ガンマ線等)、レプトン(電子、陽電子、ミュオン、ニュートリノ等)、ハドロン(陽子、中性子、メソン、イオン等)がつくる波動性と粒子性を併せ持つ高品位の放射線は、「量子ビーム」と呼ばれている。量子ビームは、科学技術イノベーションを産み出すための基盤技術であり、我が国の科学技術イノベーション戦略上、極めて重要かつ有用であることから、「第 4 期科学技術基本計画」(平成 23 年 8 月閣議決定)や「科学技術イノベーション総合戦略 2014～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～」(平成 26 年 6 月閣議決定)においては、領域横断的科学技術の強化として、先端計測及び解析技術等の発展につながり、分野横断技術を下支えする「光・量子科学」の活用推進が言及されている。

また、量子ビームは優れた観察・解析手段であると同時に、物質を構成する原子や分子と相互作用して、その配列や組成、結合状態や電子状態を変化させることから、原子・分子レベルの加工が可能な優れた加工・改質手段である。このような量子ビームの応用(ビーム応用)は、物質・材料科学、生命科学等の幅広い領域での革新的成果の創出を促進し、我が国の科学技術・学術の発展、産業の振興等につながることから、当該技術が科学基盤の中核と位置付けられ、前項細目「ビーム応用：放射光」とあわせ、細目「ビーム応用：中性子、ミュオン、荷電粒子等」として取り上げられたものである。当該細目における個別トピックについては、基礎から応用分野における利活用ニーズに基づき、将来技術として重要性の高い 14 トピックが選出・設定された。

### (2) 本細目のトピック

量子ビーム応用技術は、基礎から応用までの広範な分野で革新的成果を創出するための科学基盤として期待され、大強度陽子加速器施設 J-PARC、研究炉 JRR-3、イオン照射研究施設 TIARA、RI ビームファクトリー

RIBF、高強度レーザーシステム J-KAREN、大型放射光施設 SPring-8、X線自由電子レーザー施設 SACLA 等の量子ビーム施設が稼働し、量子ビームの発生・制御・利用技術の開発・高度化が精力的に進められるとともに、幅広く産学官の利用に供されている。本細目が対象とする中性子、ミュオン、荷電粒子等においても、放射光と同様、学会や産業界から期待が大きいのは観察・解析手段としての利用であるが、この観点からは、表面・界面をはじめ物質の局所構造解析のニーズが高まりつつある。最近では、スピントロニクス の隆盛に代表されるように、物質内のスピン状態を精密に把握する要望が大きく、中性子、ミュオン、陽電子等のスピン偏極度を制御したビームを用いて、物質の局所的磁気構造を高精度で観測する技術開発に対し期待が高まっている。特に陽電子は、物質に対して正の結晶ポテンシャルを有すること、即ち物質から斥力を受けるため、物質最表面の原子配列やスピン状態をモデルフリーで決定できるという特長を有し、世界最高強度 ( $10^{10}e^+/sec$  オーダー) 陽電子ビーム施設の整備並びに偏極陽電子ビームの生成・制御・利用技術の開発は今後注力すべき重要トピックとみなされ、その実現に向けた資源配分、人材戦略が求められている。

産業応用面では、各種材料の信頼性・耐久性評価及び性能向上に係る可視化技術開発に対する強い要望から、中性子や X 線等を利用した、実働過程における機能・構造材料の 3 次元応力・ひずみ分布の可視化・その場観測技術、局所的金属組成分析や金属部品内微細構造の 3 次元可視化計測技術等に注目が集まっている。これらを実現するためのハード面では、細目「加速器、素粒子・原子核」のトピックとして掲載されているパルス極冷中性子源や大強度中性子発生 (中性子束  $5 \times 10^{14}n/cm^2/sec$ ) 研究用原子炉の整備に加え、これを利用した中性子集束計測技術 (中性子マイクロビーム、偏極中性子顕微鏡等) の開発等に期待したい。

また、実使用環境下で各種材料・デバイスに生じる現象を時系列で直接観察する「オペランド解析」にも関心が高まっており、放射光やレーザー等を用いて結晶成長中・デバイス動作下など実際の製造・使用条件下で、材料構造を原子レベルで測定する計測・分析技術開発の有用性が本調査結果で裏付けられた。一方、量子ビームを加工・解析手法として活かす観点から、高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等の先端機能材料開発への応用を想定した、単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術が、国際競争力の高い優れた技術として注視されており、その実現に向けた戦略的取り組みが望まれる。

異なる量子ビームの特長を活かした複数の量子ビームの相補的・複合的利用による多角的観察・加工技術開発の取り組みは、科学技術イノベーション創出の観点から最も期待が大きい。関連する個別トピックとして挙げられている複数の量子ビーム (中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等) を同一試料の同一位置に再現性良く同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態や一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術、並びに複数の量子ビームを複合的・相補的に利用して nm~mm の幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術については、世界をリードする技術として重要視されている。

本調査を通して、ビーム応用技術は、国民生活に密着した医療、農業分野において極めて有望視されていることがあらためて浮き彫りになった。精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な  $^{211}At$  等の放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術、生体細胞塊内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術及び三次元的な局所線量付与分布を正確に計測・推定する技術、イオンビーム等による突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、目的の突然変異を確実に獲得する技術等のトピックは、重要性が非常に高い上、技術的な非連続性が高く、イノベーション創出につながるものと予期されることから、様々な施策を通して早期に社会実装を目指すべきと言えよう。

原子力エネルギー開発への寄与が期待される核物理・化学分野でも、ビーム応用技術は有用視されている。大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術、長寿命核種  $^{135}Cs$  の核変換による無害化に向けた高強度 THz パルスによる Cs 同位体選択分離技術、イオン加速器と高強度レーザーの融合で短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術等が注目され、社会受容は考慮すべきものの、新たな原子力技術を切り拓くものとして期待は高まりつつある。

### (3) 今後の展望

ビーム応用は、我が国にとって、科学技術と社会の両面から重要性が高いとの調査結果が得られており、トピックの非連続性の観点から、イノベーションを引き起こす革新的技術とも捉えられている。さらに、我が国における量子ビーム科学技術のアクティビティが高いことを反映して、調査結果においても国際競争力が極めて高いと評価され、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野の上位 20 トピックのうち半数を当該細目関連トピックが占めた。また、技術的実現から社会実装までの期間は比較的短く、開発技術を早期に社会に還元できると期待されていることが読み取れる。これらを総合すると、当該細目「ビーム応用：中性子・ミュオン・荷電粒子等」は、「ビーム応用：放射光」とともに、我が国として取り組むべき最も重要な技術領域であると言える。

科学基盤の中核をなす本技術領域を伸展させるためには、適切な資源配分と人材戦略により、世界最先端の量子ビーム施設・設備を計画的に整備・増強して、量子ビーム施設群と利用技術研究者から構成する「量子ビームプラットフォーム」を構築し、量子ビームの高品位化、複合的・相補的利用を含むビーム利用技術の開発・高度化を絶え間なく推し進めるとともに、定常的・安定的な施設の運転や技術支援を行い、世界最高レベルの量子ビーム技術を産学官に幅広く提供していく必要がある。さらに、量子ビームの優れた機能を総合的に活用した先導的研究への戦略的投資により、基礎から応用にわたる広範な分野における革新的成果の創出を促し、幅広い発信・普及を通して、我が国の科学技術・学術の発展、地域・産業の振興、次代を担う若手人材の育成等に結び付けることが肝要である。

(南波 秀樹、伊藤 久義)

## 4. 1. 9. 計算科学・シミュレーション

### (1) 本細目の検討範囲

実験、理論に次ぐ第三の学問的手法として計算科学・シミュレーション技術は自然科学のみならず社会科学の分野でも確立しつつある。また、産業界ではシミュレーションなしには製品開発が出来ない状況となっており、自動車、機械、材料、医薬品等の大企業はもちろん、中小企業においても CAD/CAM の活用は急速に普及しているのが現状である。

こうした計算科学・シミュレーション技術を支えるものはハードウェアであり、ソフトウェアである。すでに我が国では、世界最高性能級のスパコン「京」が 2012 年 9 月より本格稼働し、産官学の研究者・技術者が利用できる環境にあり、2014 年度からはその後継プロジェクトとして、2020 年を目処に「京」の 100 倍の処理能力を有するシステムの開発を目指す“フラッグシップ 2020”が開始されている。これらのハードウェアの整備事業に並行して、その高性能性を十分に引き出すソフトウェアの研究開発も進められており、流体解析、構造解析、分子科学、物性科学、素粒子、気象、地震等の各分野で活用できるソフトウェアがすでに数十本開発され、だれでも利用できる状況になっている。さらに、我が国には「京」以外にも高性能スパコンが大学等に設置されているが、これらを高速ネットワークで相互接続し、有機的な利用も可能とする制度(革新的 HPCI)も施行されており、こうした環境によって「京」を中核とした産官学の HPC コミュニティーが構築されつつある。

シミュレーション技術は新しい原理原則の発見、ものづくりの高度化・迅速化に活用できるだけでなく、地震や津波、台風といった災害を引き起こす自然現象の影響評価とそれに基づく減災やビッグバン時点からの銀河の形成のような実験出来ない事象の研究、さらには経済現象や交通流、感染症伝播等の社会現象といった法則性(基礎方程式)が知られていない現象を解析することができる。これまでは実験を置き換える存在であったシミュレーション技術は、ハードウェア、ソフトウェアの飛躍的な進歩もあって、現在では科学技術・生産技術そのものを先導する時代となっている。

## (2) 本細目のトピック

今回の調査結果では、ハードウェア的な項目については開発資源が律速するにせよ、短期間での実現が期待されているのに対して、ソフトウェア的な項目については人材戦略が課題であり、その成果の達成には長期間を要するだろうという傾向がみられる。これは一つには、ソフトウェアの研究開発に従事する人材が他国に比べて数量的に不足しているということだけでなく、供給側の学における育成の考え方と受け入れ側の産における人材に対する考え方とにミスマッチがあり、かならずしも適切なソフトウェア人材が必要十分には社会に供給されていない状況を反映しているものと思われる。また、この分野は新興分野であるだけに、キャリアパスに関する施策が今後より重要になると考えられる。

シミュレーション技術がもっとも力を発揮する分野の一つが実際に実験出来ない現象の解析である。しかしながら社会生活に密接する災害予測や材料劣化評価、動物実験を代替する技術、社会政策評価等の設問に対しては実現見通しが低い結果が得られている。従来のシミュレーション技術は、計算資源の貧弱さもあり、理想化された系を扱って現実系をどれだけ説明できるか、という面に注力してきたこともあり、現実の社会現象そのものの予測には受け入れがたい不安・不審を抱いているものと思われる。技術的にはここ十数年でシミュレーション環境は大きく変わり、現象の説明・解析から実験の代替・精密予測の段階に入っている。しかしその成果を実際に活用するにはシミュレーション技術の社会受容性を増す必要がある。

## (3) 今後の展望

ハイエンド HPC 技術は諸外国では国家安全保障の観点から、すなわち国防・軍事技術として研究開発が進められており、とくに近年、この分野での中国の進展は著しく、システムの心臓部であるスパコン向け CPU も自国技術で開発中である。これらは数値核実験、高速飛翔体設計、暗号解析等に用いられているようである。一方、我が国のハイエンド HPC 技術は学問上あるいは産業上の課題を解決することを目的に研究開発・整備が進められている。民生技術から国防技術への転用としてのデュアルユースは、今後、広く議論が行われるべき内容であるが、民生技術が軍事技術より劣ってよいという理由はなく、科学技術を先導するためにも、今後も世界最高性能レベルのハイエンド HPC の環境整備は進めなければならない。

現代の社会活動の本質は情報のハンドリング(収集・加工・伝達)である。しかし、いわゆる情報化社会以前は、情報はモノを介在してしか扱うことが出来なかった。計算科学・シミュレーション技術は情報そのものを扱うことができる分野である。このため、感染症伝播、経済活動、交通流等の社会現象を情報の処理として直接扱うことができるが、その結果を受け取るべき社会にまだ受容性が十分には醸成されてはいないようである。人の活動にかかわる内容については倫理的な面も含めて、研究者・技術者のコミュニティーと一般市民のコミュニティーの間で認識を共有化し、社会的な合意形成を行う必要がある。そのためには国および HPC コミュニティーは広い意味での啓発活動・施策を実施すべきであると同時に、先端的な成果を早期に社会実装し、その事例(感染症拡散防止等の成功例)によって計算科学・シミュレーション技術の効果を国民に示すべきである。

我が国の産業競争力強化の面でも、HPC 技術は必要不可欠なものである。広くその利用環境を迅速に整備することは産業界全体にとっても重要なことであるが、その一方で、一企業で行うには投資負担が大きすぎる状況になっている。したがって科学技術および産業上の我が国の国家基盤インフラとして、当面は国が開発・整備し、その後、国から公的組織・非営利組織による運営・整備に移行していく方策が望まれる。このようなインフラ整備によって、中小企業も HPC 技術を活用することが出来、さらには計算科学・シミュレーション技術を活用した課題解決ビジネス等の新市場が切り開かれると期待される。

このようにしてハード、ソフト、利用環境が整備されれば、設計開発の超上流段階からシミュレーション技術を活用することが今後は当然のこととして進行すると思われる。産業界での利用においてはとくに解析結果の品質(解析品質)の吟味はなお一層重要になってくる。しかし、解析品質の研究は欧米に比べ我が国では取り組みが遅れているのが現状であり、この方面へのさらなる取り組みが必要である。一方で、今後の HPC の高性能化が主に演算処理の並列度の向上によって実現されることを考慮すれば、計算科学的には並列アルゴリズムの研

究開発が重要である。固有値問題のような標準的アルゴリズムが存在する問題に関しても並列化の観点や、さらにはクラウド的な観点も含めた新しいアルゴリズムの研究が進められるべきである。また、精度保証付き数値解析アルゴリズムも研究されなければならない。

(伊藤 聡)

#### 4. 1. 10. 数理学・ビッグデータ

##### (1) 本細目の検討範囲

理論、実験、計算に次ぐ第四の科学としてデータ科学が昨今、言われており、とくに産業界からはビッグデータは広大なビジネスを提供する未開拓領域として期待が大きい。我が国では数学・数理学は基礎科学として扱われたこともあり、“忘れられた科学”とすら言われた時期もあった。しかし、2014年には、文部科学省は「数学イノベーション戦略」を策定し、数学・数理学が主導するイノベーションの在り方を公表した。また、数理学の研究開発を支援する「数学協働プログラム」の実施や、数理学と他分野を繋ぐ研究拠点形成事業を「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」の一つとして推進している。さらには九州大学マスフォアインダストリ研究所をはじめいくつかの大学には応用数学に関する研究拠点が設置されている。データ解析に関しては統計数理研究所など実績のある研究施設もある。しかしながら研究人材に対しては課題があり、とくにデータ科学分野における人材不足は深刻で、米国での十分の一以下の学位取得者しか育成できていない状況にある。

ICT技術、なかでもインターネットとウェアラブル・モバイルが急激に発達したため、医療現場や医薬品・新規材料の開発においてもビッグデータ解析が重要な役割を果たしている。バイオにおけるこの動きはバイオインフォマティクスとして20年以上前から活発化しているが、2011年6月に米国オバマ政権は米国における製造業振興政策としてマテリアルゲノムイニシアティブ(MGI)を打ち出した。この施策に基づき二次電池電極材料の開発などで成果が出始めている。我が国でもJST-CRDS等でマテリアルインフォマティクスの調査検討が行われてきたが、2014年度より開始された「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」においては、実施課題の一つとして設定されている。

産業界においては個々の物流データ・流通データを集約する仕組みはすでに確立していたが、さらに電子マネーの普及、携帯機器のGPS機能の活用によって個人行動のデータ化も可能となり、これらのデータを関連付けた扱いが新しいビジネスを生みつつある。こうした仕組みの基礎には数理学とくに数理モデル化理論の進展があることも見逃すことが出来ない。

##### (2) 本細目のトピック

ビッグデータ分野に関する動向調査は今回が初めてであるが、その重要度は高く認識されているものの、社会現象や人そのものにかかわる技術であるだけに、回答には環境整備の重要性を指摘する傾向がみられる。ビッグデータの出所の多くは個人活動に基づくものであるため、個人情報保護のみならず倫理性の観点からも、国民の間での合意形成が不可欠であるが、現状では不十分であると言わざるを得ないことを反映していると思われる。また、政策等の社会制度設計・評価におけるビッグデータ解析に関しては、従来の学問的分類では括りきれないものであり、現状ではあまり馴染みのないデータ駆動型科学の特徴が強く反映されることもあって、その実現には長期間かかる結果も得られている。これらを踏まえ、ビッグデータを活用することの社会的合意形成とともに、その結果の社会的受容性を高めることが必要である。

数理学・ビッグデータ解析は、急速に進展しつつある分野でもあるので、その技術実現および社会実装においても人材戦略の重要性を指摘する傾向がみられる。この分野の人材戦略には二つの面がある。第一に、諸外国に比べて数量的に劣っているデータサイエンティストの育成は我が国の喫緊の課題である。現実の課題に対して実データを用いたデータ解析を必要十分な形で行い、課題を解決できる研究者・技術者の層を厚くしな



ければならない。第二に、ビッグデータ解析では多くの場合、基礎方程式(法則性)がわかっておらず、解析方法そのものをまず開発する必要がある。これには純粋数学も含めた新しいモデル化理論を開拓できる研究人材の育成を行っていかなければならない。

### (3) 今後の展望

ビッグデータ解析においては、大規模かつ網羅的なデータの収集とその活用が前提である。海外では Amazon、Google、Facebook 等がグローバルにデータの収集を進めており、これに対して我が国の産業界には強い危機感がある。一方で、匿名化した電子マネー利用データのビジネス応用に対して国民の間から強い批判が起きたことからわかるように、ビッグデータ解析ビジネスは今の段階では産業界としてはリスクの高い市場でもある。しかし、複雑な現象(たとえば健康増進の在り方や経済活動の推移等)では演繹的方法はもちろん、従来の帰納的手法ですら難しいように思われる。大量のデータの在り方やその関連性解析はこうした課題を解決できる可能性がある。すなわち“データに語る”必要がある。

こうした現状を踏まえ、国はデータ収集とその利用に関するガイドラインを早急に策定するとともに国民の理解増進にも努めるべきである。さらに公的機関は現状でも多くのデータを保有しているため、これらを研究活動および経済活動に利用できる制度を整備する必要がある。これには匿名化技術や新しい数理モデル化理論の研究も必要になるであろう。とくに多くのセンシングデバイスを用いて得られる多数の社会活動データを組み合わせることにより必然的に個人が同定される可能性がある反面、そうした多様なデータ収集と解析によって局所的かつ短時間に発生する自然災害の高い確率での予測・対応も可能になるため、ビッグデータ解析のメリットとリスクを広く議論し、早期の社会的合意を目指す必要がある。

我が国の科学技術力は優れたものであるが、今回の調査回答にもみられるように、要素技術に対しては技術実現性も社会実装性も高いが、一方でシステム技術やソリューション技術に関しては、日本は弱いところがある。ソリューション技術は既存技術の組み合わせ作業ではなく、解くべき課題が明確になっていること、その課題に対して正しい数理モデル化が行われること、その結果として定量的解析が行われ課題が解決できることが重要である。そのためには俯瞰的な視点に立って数理科学力を発揮する必要がある。現代社会はますます複雑化をきわめており、こうした作業を個人レベルで行うことが現実には難しくなっていることを鑑みると、現在設置されている学問的な数理科学の公的研究所では不十分であり、産業界と学界・大学等が等しく参画する新たな組織(たとえばデータソリューションセンターのようなもの)の設置を検討すべき時期に来ていると考えられる。

本分野は本動向調査の「計算科学・シミュレーション」分野と密接に関係おり、今後その区分は不要になるであろう。とくに網羅的にデータを収集し、現象を数理モデル化し、それを計算機で解析するという一連の流れにおいて、現状のHPCを活用した科学技術計算主導から trillion sensors universe と広域分散処理を基礎としたデータ駆動型のコグニティブコンピューティングへと移行していくと思われる。急速に進むこの技術革新に対して、産官学一体となって、基礎から応用まで研究開発に取り組むべきである。

(伊藤 聡)

## 4. 1. 11. 計測基盤

### (1) 本細目の検討範囲

計測は「科学技術の母」と呼ばれる。「測れないものは作れない」のであり、知の形成も産業も成立しない。計測技術の進歩が科学技術を支えると同時に、しばしば最先端の計測技術が従来にない概念を生み出し科学技術の進歩を先導していく。本トピックでは、このような先端的・先導的な「計測基盤」に焦点を当てた。従来から、下支えとしての計測技術は取り上げられており、各分野に分散したトピックが設定されてきた。しかし、分野横断的な横串としての計測基盤は、それ自体が時代の最先端の科学技術の粋を集め、日本の科学技術を牽引すべ

きイノベーションの宝庫である。なかでも、近年の光科学技術の進展は目覚しく、誕生から 50 年を経たレーザーの進展に支えられ、情報通信、ナノ、ライフ、環境、エネルギーに至るあらゆる分野の共通基盤技術として、ますます存在感が増している。そこで、本トピック設定においては、計測基盤のうち、特に「光科学・光技術による計測基盤」を軸足として、広範な計測基盤の共通トピックを抽出することを目指した。その際には、偏りを恐れずに、より急速な進展が期待され、共通基盤としてのインパクトの大きいトピックスを挙げることに心を砕いた。これらのトピックは、光の高速・並列・高強度・精密性を使い尽くすことで、従来考えられなかったレベルの精密さで広範囲の物理量を扱えるようになってきたことを背景としている。これらの光源や周辺技術の進展により、イノベーションの牽引役としての計測基盤の役割はますます発展していくと期待される。

## (2) 本細目のトピック

近年、計測技術の基盤となる光波制御技術に大きな革新があった。それは、「光コム(櫛)」と呼ばれる先端光源であり、20 世紀末に登場し 2005 年にノーベル物理学賞が与えられている「人類が手にした最も正確なものさし」である。それにより、全ての物理量の中で最も精密な周波数を軸とした光波制御技術の進展を生み出し、あらゆる基礎物理量の計測を統合する道筋が見えてきた。同時に、単なる超精密に留まらない技術領域のリンクや融合が実現し、基礎科学や情報通信、半導体、製造、安全、宇宙、環境、医療など広範な分野に従来想定できなかった革新的基盤ツールをもたらし始めている。これらの動向はまさに今後を占う軸となる横串にふさわしい技術であり、以下の具体的トピックが挙げられる。

まずは、基盤となる『先端光源技術』においては、光コムの革新に支えられ、電波、テラヘルツ波から光波、X 線領域に至る周波数領域の超高精度な電磁波の発生と、それらのコヒーレントなリンク技術が進展している。これらの光波を中心とした強度、周波数、位相などの自在な制御「光シンセサイザ技術」の進展が加速すると同時に、実用光源技術の進展が望まれる。これらの恩恵を直接的に受けるのが、『次世代標準』分野である。近年、光時計の圧倒的な高精度化が日本の先導で進展するなど、基礎科学の根幹に関わる重要なトピックスが進展すると同時に、遠隔利用技術など産業分野への普及も進行している。

次に、橋渡しとしてのミドルウェア技術である『高機能計測制御技術』の進展が不可欠で、今後、力を入れるべきレイヤーである。光コムなどの先端技術を生かした、未踏領域の超高精度、多次元性、超高ダイナミックレンジを持つ、自在な計測基盤技術の誕生が目前である。同時に新原理に基づく次世代計測技術の進展も期待される。さらに応用への実装には、『実用計測制御システム』が必要である。光ファイバー網や、光のポテンシャルを十分に生かしたオール光技術、マイクロシステム化などと同時に、低環境負荷、安全・安心、極限環境への適用性拡大などが重要となってくる。

最後に、個別応用分野の基盤技術が不可欠である。生体、医療やソフトマテリアル、環境、工業プロセス、宇宙・天文などの制約が大きい対象、半導体から宇宙までを自在に扱えるダイナミックレンジ、対象の特性に適應するアダプティブ性の獲得など先端的なトピックが多い。同時に、光コムを核とした分光、センシング、天文など分野融合的な新規トピックスの加速により、基盤技術の進展にフィードバックされていくことが期待される。

「計測基盤」は限られた数の調査項目に収まりきれない宿命にあり、アンケートにおいても、対象が広く予測として絞りにくいとの意見が寄せられた。しかし、逆に、取り上げられたトピックの重要性、発展性は明確で、また国として長期的視点に立って推進すべきとの結果が得られたといえる。特に、分野融合と国際連携を本質とすることから、研究開発を担う人材育成の重要性が挙げられた。これは、既存の分野別の教育システムの限界もあり、専門教育においても最先端の研究開発に即した On the Job Training 的な人材育成が望まれる。そのためには、短期的成果主義に偏らない研究開発資源の投入が必要で、技術のシーズ育成と人材育成を一体として推進できるような長期的視点に立った基盤の整備が望まれる。

## (3) 今後の展望

本トピックで取り上げた新たな技術潮流は、それ自身の進展もさることながら、周辺分野に留まらず、より広範

な科学技術、そして社会のイノベーションを牽引していくものと期待される。そのためには、現状では、計測基盤研究とエンドユーザー研究の間に立ちだかるギャップを乗り越え「間をつなぐ技術」の研究開発が必要である。点から面への連携を推進し、真の分野融合がますます加速されると期待される。

以上のように、計測基盤は、その横串としての性格から、従来の出口に立脚した重点分野の切り口にはまりにくい面があった。これは、資源の投入に反映することから、研究開発の進展及び人材育成において重大な影響をもたらす。科学技術立国である日本には、産業・社会における現状の閉塞感を打ち破る独創的科学技術が世界から期待されており、将来のイノベーションの核となる計測基盤を長期的視点に立って推進することが、国の施策として求められる。

(美濃島 薫)

#### 4. 2. アンケートの回収状況

宇宙・海洋・地球・科学基盤分野についての回答者内訳は以下のようになっている。

表 2-4-1 宇宙・海洋・地球・科学基盤分野のアンケート回収状況及び内訳

年代	20代	50人	職業	企業その他	481人	回答者の専門度の構成	高	14.9%
	30代	363人		学術機関	701人			
	40代	371人		公的研究機関	249人			
	50代	316人	職種	研究開発従事	1197人		中	26.1%
	60代	147人		管理・運営	156人			
	70代以上	19人		その他	77人			
	無回答	165人		無回答	1人		低	59.0%
				合計	1431人			

### 4. 3. 細目の設定

個別科学技術トピックを検討するにあたっては、その前提として、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野において重要な細目についての議論を行い、これに基づいて、以下の細目を設定した。

表 2-4-2 本分野の細目の概要

細目名	概要
宇宙	宇宙利用・探査 宇宙物理
海洋	海洋観測・探査 生物資源、鉱物資源
地球	火山 地殻変動、地震
地球観測・予測	大気・植生・海洋観測 海象、気象 気候変動、水循環
加速器、素粒子・原子核	設備の省エネ化、省メンテナンス化、小型化、大強度・高輝度 電子状態・化学状態・磁気構造・タンパク質構造等解析、イメージング等
ビーム応用:放射光	
ビーム応用:中性子・ ミュオン・荷電粒子等	
計算科学・シミュレーション	データ同化、シミュレーション
数理科学・ビッグデータ	社会数理モデル 大規模データ保存・転送
計測基盤	光計測、計測標準

## 4. 4. トピックに関する設問について

### 4. 4. 1. トピックの特性

#### (1) 重要度

##### ① 重要度の高いトピック

本分野のトピックのうち、科学技術と社会の両面から、総合的に重要とされたトピック(上位20位まで)は、以下のとおりである。

細目別では、「ビーム応用:放射光」関連トピックが10件、「地球」関連トピックが3件を占める。技術的実現時期は概ね2022年前後と予測されている。

表 2-4-3 重要度の高いトピック(上位20件)

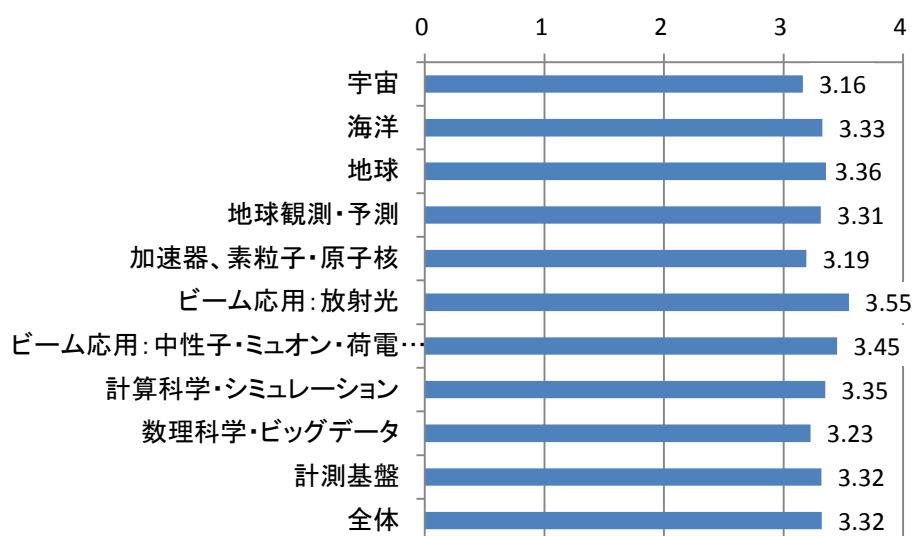
番号	トピック	重要度	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
71	機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートル・フェムト秒オーダーで観測する技術	3.68	2020	2022	ビーム応用: 放射光
30	全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見出すための切迫度評価	3.67	2025	2030	地球
68	軟X線領域でSPring-8を凌駕する中型高輝度放射光施設(電子エネルギー3 GeV, 水平エミッタンス 1.2 nmrad 以下、輝度 $10^{20}$ phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%b.w.以上)	3.64	2020	2020	ビーム応用: 放射光
101	台風時の高潮・高波と降雨による内水・外水氾濫を統合して扱う沿岸災害予測	3.62	2025	2026	計算科学・ シミュレーション
79	原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術	3.61	2020	2022	ビーム応用: 放射光
48	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雪、落雷、降雪等を予測する技術	3.60	2025	2025	地球観測・予測
69	化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速(ps~fs オーダー分解能)放射光分析基盤	3.60	2020	2021	ビーム応用: 放射光
112	津波の即時評価と連動した避難指示システム	3.60	2020	2025	数理科学・ ビッグデータ
90	生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術	3.60	2020	2025	ビーム応用:中性 子・ミュオン・荷電 粒子等
72	ナノ分解能でミクロンオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの化学結合状態を3次元でイメージング可能な次世代X線顕微鏡	3.59	2020	2023	ビーム応用: 放射光
87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによるAt211などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	3.58	2020	2025	ビーム応用:中性 子・ミュオン・荷電 粒子等
70	極低エミッタンス蓄積リングによる次世代の省コスト型・超高輝度放射光源	3.58	2020	2022	ビーム応用: 放射光

番号	トピック	重要度	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
75	創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能な、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマ X 線等)による超高速高解像 X 線顕微技術やコヒーレント X 線によるイメージング技術などの解析技術	3.58	2020	2025	ビーム応用: 放射光
19	自律無人探査機(AUV)により、完全自動化された調査を長期的(数か月)に実施する技術	3.57	2025	2025	海洋
40	人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で高精度・高感度に観測する技術(GCOM-C で分解能 250m、観測幅 1000km 程度。GCOM-W で 1450km 程度。)	3.56	2021	2025	地球観測・予測
74	細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析	3.56	2020	2023	ビーム応用: 放射光
80	1 光子検出が可能な 2 次元 X 線検出器の高分解能化、高速化、大型化による低線量診断	3.55	2020	2024	ビーム応用: 放射光
73	サブナノメートル分解能からマイクロメートル分解能まで連続倍率可変な構造・化学状態・電子状態分析のための放射光イメージング技術	3.55	2020	2023	ビーム応用: 放射光
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	3.55	2030	2030	地球
4	安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム	3.54	2025	2030	宇宙

## ②細目別のトピックの重要度

細目別の平均でみた場合、「ビーム応用:放射光」が 3.55 と最も大きく、次いで「ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等」が 3.45 であった。

図 2-4-1 トピックの重要度(細目別:指数)



## ③重要度の低いトピック

本分野のトピックのうち、重要度が低いと評価されたトピック(下位 5 位まで)は、次表に示す通りである。

表 2-4-4 重要度の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	重要度	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
38	地球内部で発生しているニュートリノを用いた地球内部の探査技術	2.90	2025	2030	地球
117	将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム	2.88	2025	2030	数理科学・ビッグデータ
66	クォーク 3 個またはクォーク・反クォーク対で構成される通常のハドロンとは異なるエキゾチックハドロン of 解明に資する加速器・測定器技術	2.71	2025	2025	加速器、素粒子・原子核
50	衛星搭載センサーで測定した大気上空の酸素の同位体比の情報を大気数値モデルのデータ同化に用い、天気予報の精度を向上させる技術	2.67	2025	2030	地球観測・予測
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	2.63	2040	2040	宇宙

(2) 国際競争力

① 国際競争力の高いトピック

本分野のトピックのうち、研究開発における国際競争力が高いと評価されたトピック(上位 20 位まで)は、以下のとおりである。細目別では、「ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等」関連トピックが 10 件、「ビーム応用: 放射光」の関連トピックが各 5 件占める。技術的実現時期は平均して 2022 年頃とするトピックが多い。

表 2-4-5 国際競争力の高いトピック(上位 20 件)

番号	トピック	国際 競争力	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
124	黒体輻射シフト抑制等により高精度化し、ジオイド計測に応用可能な $10^{-18}$ 精度の光格子時計	3.53	2022	2026	計測基盤
70	極低エミッタンス蓄積リングによる次世代の省コスト型・超高輝度放射光源	3.43	2020	2022	ビーム応用: 放射光
37	海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術	3.42	2020	2025	地球
68	軟 X 線領域で SPring-8 を凌駕する中型高輝度放射光施設(電子エネルギー 3 GeV, 水平エミッタンス 1.2 nrad 以下、輝度 $10^{20}$ phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%w.以上)	3.41	2020	2020	ビーム応用: 放射光
94	イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術	3.39	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
83	超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術	3.39	2020	2021	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
85	複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を同一試料の同一位置に再現性よく、または同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態、一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術	3.37	2025	2025	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
64	ニュートリノの CP 非対称性と質量階層性を解明するための大強度ニュートリノビーム生成技術及び大型ニュートリノ検出器技術	3.36	2025	2028	加速器、 素粒子・原子核

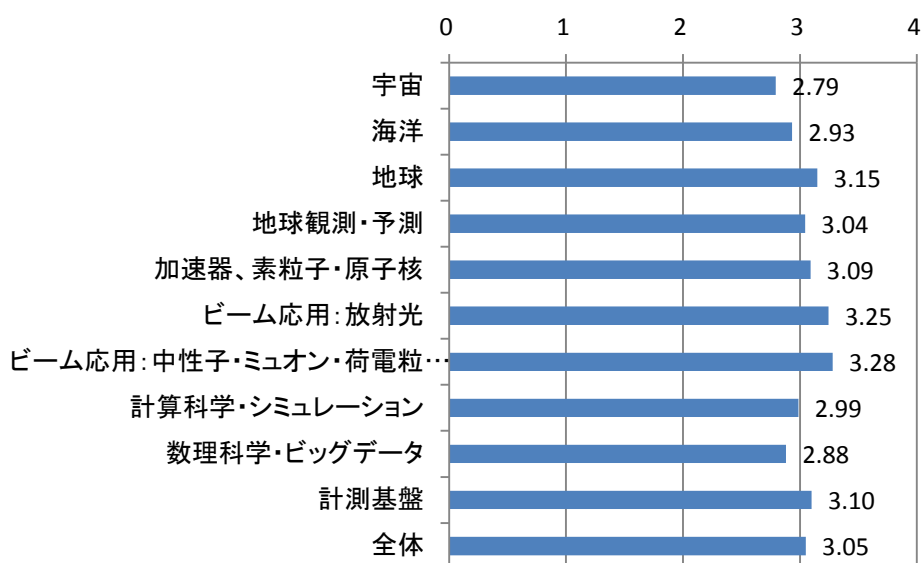


番号	トピック	国際競争力	技術的実現時期	社会実装時期	細目
91	単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術(高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等への応用を想定)	3.34	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
90	生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術	3.34	2020	2025	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
71	機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートル・フェムト秒オーダーで観測する技術	3.33	2020	2022	ビーム応用: 放射光
118	1秒間の演算速度が10エクサ=10 <sup>19</sup> 回を超えるスーパーコンピュータ	3.32	2022	2025	数理科学・ビッグデータ
86	複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm～mmの幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術	3.32	2020	2025	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
92	大強度中性子イメージング技術の高度化による、局所の金属組成分析や金属部品内微細構造の3次元可視化計測技術	3.32	2020	2024	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
81	偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術	3.31	2020	2025	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
88	イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術	3.31	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
73	サブナノメートル分解能からマイクロメートル分解能まで連続倍率可変な構造・化学状態・電子状態分析のための放射光イメージング技術	3.30	2020	2023	ビーム応用: 放射光
62	TeV級の電子・陽電子コライダー技術	3.29	2025	2028	加速器、素粒子・原子核
75	創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能な、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマX線等)による超高速高解像X線顕微技術やコヒーレントX線によるイメージング技術などの解析技術	3.28	2020	2025	ビーム応用: 放射光
39	海底測地測量技術	3.27	2025	2025	地球
84	偏極陽電子を生成・制御し、表面第1層の構造および磁気構造をモデルフリーで観測する技術	3.27	2020	2023	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等

## ②細目別のトピックの国際競争力

細目別の平均でみた場合、「ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等」が3.28と最も大きく、次いで「ビーム応用:放射光」が3.25となっている。

図 2-4-2 トピックの国際競争力(細目別:指数)



③国際競争力の低いトピック

本分野のトピックのうち、「国際競争力」が低いと評価されたトピック(下位 5 位まで)は、以下のとおりである。「宇宙」関連が3トピック含まれる。

表 2-4-6 国際競争力の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	国際競争力	技術的実現時期	社会実装時期	細目
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	2.70	2030	2035	計算科学・シミュレーション
3	衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術	2.62	2030	2030	宇宙
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	2.58	2040	2040	宇宙
117	将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム	2.38	2025	2030	数理科学・ビッグデータ
2	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	2.32	2035	2040	宇宙

(3)不確実性

①不確実性の高いトピック

本分野のトピックのうち、研究開発における失敗の許容、複数手法の検討等が必要となる不確実性が高いと評価されたトピック(上位 20 件まで)は、以下のとおりである。

細目別では、「計算科学・シミュレーション」、「地球」、「宇宙」の関連トピックがいずれも 5 件を占める。技術的実現時期は 2028 年前後と予測するトピックが多い。

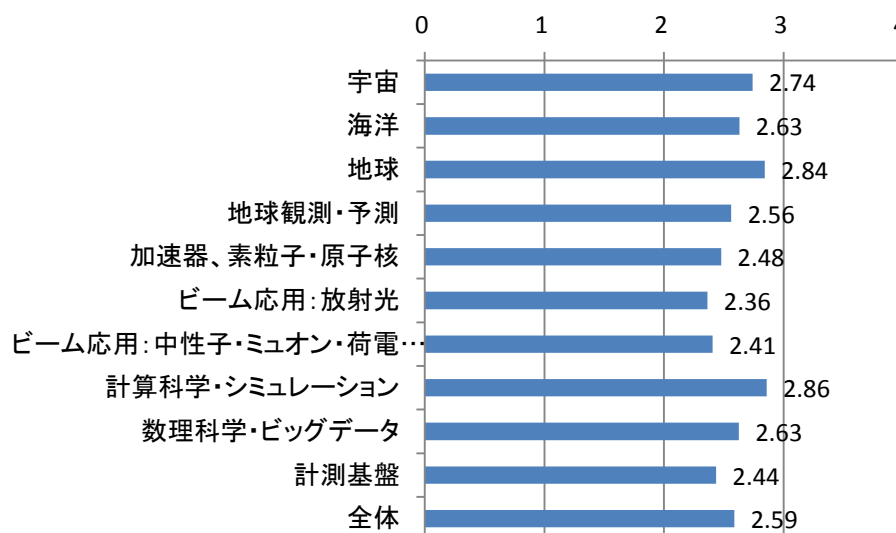
表 2-4-7 不確実性の高いトピック(上位 20 件)

番号	トピック	不確実性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
34	M7 以上の地震の発生時期(1 年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	3.61	2030	2032	地球
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	3.51	2030	2030	地球
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	3.33	2040	2040	宇宙
102	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	3.25	2025	2030	計算科学・シミュレーション
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	3.18	2030	2031	宇宙
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	3.14	2030	2035	計算科学・シミュレーション
100	衛星観測並びに地上観測に基づき、人間活動も考慮した陸面水循環モデルを用いたシミュレーションによる、数時間から数日先までの全世界の洪水や渇水の予測	3.11	2025	2030	計算科学・シミュレーション
2	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	3.09	2035	2040	宇宙
30	全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見出すための切迫度評価	3.08	2025	2030	地球
3	衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術	3.06	2030	2030	宇宙
31	山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術	3.06	2025	2030	地球
98	21 世紀末に至る全大陸上のエネルギー・水・物質(CO <sub>2</sub> 等)の収支が推計され、再生可能エネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスに関して今後懸念される問題点が 1km といった超高解像度で明らかになるシステム	3.03	2027	2030	計算科学・シミュレーション
107	ほとんどの材料(開発対象となる材料の 90%程度)において、特性を要求値に適合させる逆問題的な材料開発	3.00	2030	2035	計算科学・シミュレーション
117	将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム	2.99	2025	2030	数理科学・ビッグデータ
63	100TeV 級の陽子・陽子コライダー技術	2.96	2030	2040	加速器、素粒子・原子核
114	非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム	2.96	2025	2026	数理科学・ビッグデータ
11	ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術	2.95	2025	2027	宇宙
49	短期の気象から長期の気候変動までを単一のモデルのフレームワークによって取り扱うシームレス予測技術	2.95	2025	2025	地球観測・予測
28	地球深部物質を汚染なしに取得するための大深度科学掘削技術	2.95	2025	2030	地球
48	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術	2.94	2025	2025	地球観測・予測

②細目別のトピックの不確実性

細目別の平均でみた場合、「計算科学・シミュレーション」が 2.86 と最も大きく、次いで「地球」が 2.84、「宇宙」が 2.74 などとなっている。

図 2-4-3 トピックの不確実性(細目別:指数)



③不確実性の低いトピック

本分野のトピックのうち、「不確実性」は低いと評価されたトピック(下位 5 件まで)は、以下のとおりである。「ビーム応用:放射光」のトピックが 2 件占める。

表 2-4-8 不確実性の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	不確実性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
78	マイクロメートルの空間分解能、マイクロ秒以下の時間分解能での高エネルギー放射光による、レーザー加工中材料のその場時分割計測・分析技術	2.16	2020	2021	ビーム応用: 放射光
126	光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバーリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期による GPS 技術の高精度化、超高精度化技術など)	2.15	2021	2025	計測基盤
87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	2.13	2020	2025	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
44	水産業等に利用するため、人工衛星等により、海氷、海面温度、波浪、海流、クロロフィル等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム	2.09	2021	2025	地球観測・予測
68	軟 X 線領域で SPring-8 を凌駕する中型高輝度放射光施設(電子エネルギー 3 GeV、水平エミッタンス 1.2 nrad 以下、輝度 $10^{20}$ phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%w.以上)	1.96	2020	2020	ビーム応用: 放射光

(4)非連続性

①非連続性の高いトピック

本分野のトピックのうち、研究開発の成果が現在の延長ではなく、市場破壊的・革新的と評価されたトピック(上位20件まで)は、以下のとおりである。細目別では、「ビーム応用:放射光」関連トピックが6件を占める。技術的実現時期は2026年前後と予測されているトピックが多い。

表 2-4-9 非連続性の高いトピック(上位20件)

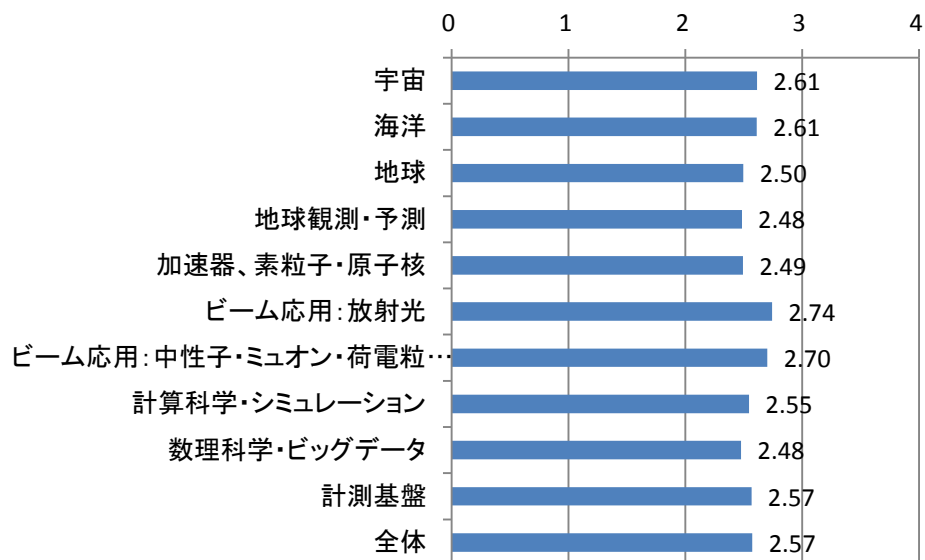
番号	トピック	非連続性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	3.18	2040	2040	宇宙
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	2.97	2030	2031	宇宙
54	レーザー駆動またはビーム駆動によるプラズマまたは誘電体航跡場を利用し、飛躍的な加速勾配を実現する新しい粒子加速技術(小型・可搬型の加速器・自由電子レーザー、アフターバーナー技術、高エネルギーコライダーへの展開)	2.96	2025	2030	加速器、素粒子・原子核
77	タンパク質1分子を試料として、その構造解析を行うX線回折技術	2.94	2024	2025	ビーム応用: 放射光
94	イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術	2.93	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
93	放射性廃棄物中の長寿命核種 135Cs を核変換技術によって無害化するために必要となる Cs 同位体分離に向けた、高強度 THz パルスを用いた量子制御技術に基づく新しい物質分離手法(同位体選択的加熱)	2.89	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
71	機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートルスケール・フェムト秒オーダーで観測する技術	2.89	2020	2022	ビーム応用: 放射光
75	創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能で、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマ X 線等)による超高速高解像 X 線顕微技術やコヒーレント X 線によるイメージング技術などの解析技術	2.87	2020	2025	ビーム応用: 放射光
83	超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術	2.87	2020	2021	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
133	半導体の極限的な微細加工により可能となる光と物質の相互作用を用いた、通常のサイズの装置では考えにくい原理や性能を持つセンサー	2.87	2025	2030	計測基盤
34	M7 以上の地震の発生時期(1 年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	2.87	2030	2032	地球
69	化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速(ps~fs オーダー分解能)放射光分析基盤	2.85	2020	2021	ビーム応用: 放射光
2	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	2.84	2035	2040	宇宙
102	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	2.84	2025	2030	計算科学・シミュレーション

番号	トピック	非連続性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	2.83	2030	2035	計算科学・シミュレーション
72	ナノ分解能でミクロンオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの化学結合状態を3次元でイメージング可能な次世代X線顕微鏡	2.82	2020	2023	ビーム応用: 放射光
11	ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術	2.82	2025	2027	宇宙
73	サブナノメートル分解能からマイクロメートル分解能まで連続倍率可変な構造・化学状態・電子状態分析のための放射光イメージング技術	2.81	2020	2023	ビーム応用: 放射光
88	イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術	2.81	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・荷電粒子等
107	ほとんどの材料(開発対象となる材料の90%程度)において、特性を要求値に適合させる逆問題的な材料開発	2.80	2030	2035	計算科学・シミュレーション

### ②細目別のトピックの非連続性

細目別の平均でみた場合、「ビーム応用:放射光」が2.74と最も大きく、次いで「ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等」が2.70であった。

図 2-4-4 トピックの非連続性(細目別:指数)



### ③非連続性の低いトピック

本分野のトピックのうち、「非連続性」が低いと評価されたトピック(下位5件まで)は、以下のとおりである。「地球観測・予測」、「加速器、素粒子・原子核」等のトピックが含まれる。

表 2-4-10 非連続性の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	非連続性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
32	火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術	2.22	2025	2025	地球
47	降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術	2.18	2023	2026	地球観測・予測
44	水産業等に利用するため、人工衛星等により、海氷、海面温度、波浪、海流、クロロフィル等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム	2.17	2021	2025	地球観測・予測
66	クォーク 3 個またはクォーク・反クォーク対で構成される通常のハドロンとは異なるエキゾチックハドロン of 解明に資する加速器・測定器技術	2.09	2025	2025	加速器、 素粒子・原子核
67	ハドロン of 構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)	2.07	2025	2027	加速器、 素粒子・原子核

(5) 倫理性

① 倫理性の高いトピック

本分野のトピックのうち、研究開発において倫理性の考慮や社会受容の考慮が必要と評価されたトピック(上位 20 件)は、以下のとおりである。細目別では、「数理科学・ビッグデータ」関連トピックが 6 件、「宇宙」の関連トピックが各 4 件を占める。技術的実現時期は平均して 2025 年頃とするトピックが多い。

表 2-4-11 倫理性の高いトピック(上位 20 件)

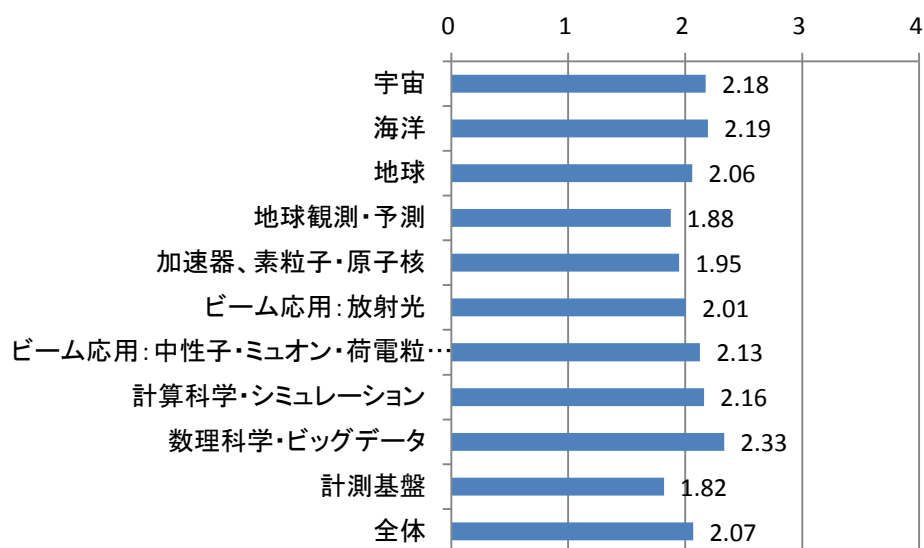
番号	トピック	倫理性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	2.94	2030	2035	計算科学・ シミュレーション
117	将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム	2.80	2025	2030	数理科学・ ビッグデータ
88	イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術	2.79	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
111	災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	2.77	2020	2025	数理科学・ ビッグデータ
55	大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術	2.72	2030	2035	加速器、 素粒子・原子核
7	国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の 24 時間高精度監視システム	2.69	2025	2025	宇宙
2	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	2.63	2035	2040	宇宙
114	非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム	2.62	2025	2026	数理科学・ ビッグデータ
115	観測データ、センサーデータ、ソーシャルメディアデータ等を統合した自然災害・被害状況の把握	2.58	2022	2025	数理科学・ ビッグデータ

番号	トピック	倫理性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
26	メタンハイドレートの経済的な採取技術	2.56	2025	2030	海洋
3	衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術	2.51	2030	2030	宇宙
113	現在地及び避難経路の被災状況（現状及び予測）に関する大量の定型・非定型情報を統合して、適切な避難場所まで誘導するシステム	2.48	2020	2025	数理学・ビッグデータ
90	生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術	2.44	2020	2025	ビーム応用： 中性子・ミュオン・荷電粒子等
87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	2.43	2020	2025	ビーム応用： 中性子・ミュオン・荷電粒子等
112	津波の即時評価と連動した避難指示システム	2.43	2020	2025	数理学・ビッグデータ
23	超小型電子チップ埋め込み等の技術を用いた海洋（深海含む）におけるバイオリギング技術	2.37	2020	2025	海洋
79	原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術	2.37	2020	2022	ビーム応用： 放射光
28	地球深部物質を汚染なしに取得するための大深度科学掘削技術	2.33	2025	2030	地球
18	海洋中の距離 10,000m で、100kbps を超える高速通信技術	2.30	2025	2030	海洋
6	宇宙太陽光発電システム	2.29	2030	2035	宇宙

## ②細目別の課題の倫理性

細目別の平均でみた場合、「数理学・ビッグデータ」が 2.33 と最も大きくなっている。

図 2-4-5 トピックの倫理性（細目別：指数）





### ③倫理性の低いトピック

本分野のトピックのうち、「倫理性」があまり問われないと評価されたトピック(下位5件まで)は、以下のとおりである。「加速器、素粒子・原子核」、「計測基盤」の各2件が含まれる。

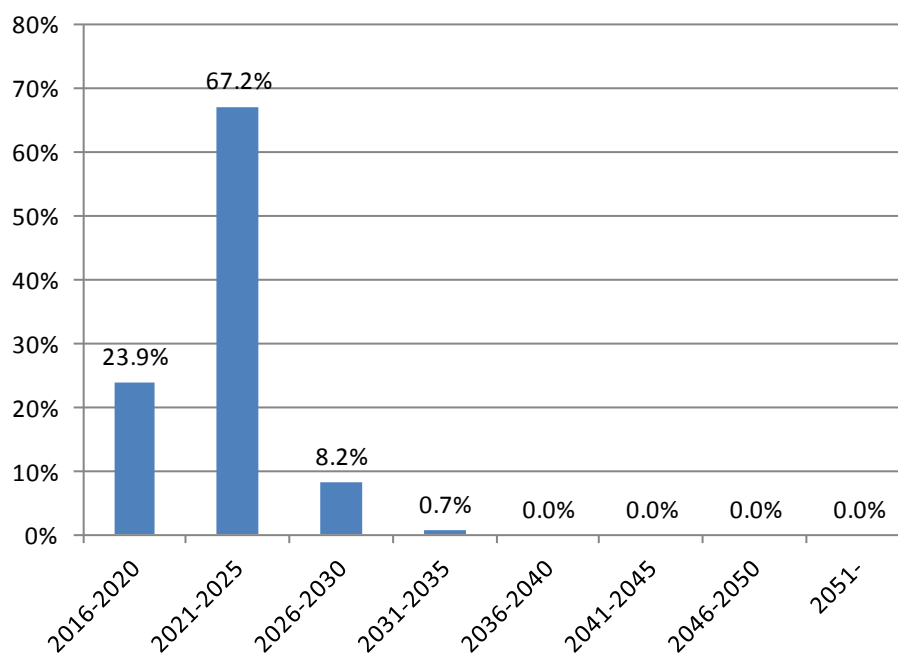
表 2-4-12 倫理性の低いトピック(下位5件)

番号	トピック	倫理性	技術的実現時期	社会実装時期	細目
51	波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たなX線光学素子	1.70	2022	2025	加速器、素粒子・原子核
126	光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバーリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期によるGPS技術の高安定化、超高精度化技術など)	1.69	2021	2025	計測基盤
132	デバイス集積化のための微小領域の変位絶対計測(ピコメートル精度、ミリメートル範囲、真空中および大気中)	1.66	2020	2025	計測基盤
47	降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術	1.65	2023	2026	地球観測・予測
67	ハドロン構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)	1.61	2025	2027	加速器、素粒子・原子核

#### 4. 4. 2. 技術的実現予測時期

技術的実現予測時期の分布は下図の通り、2021~2025年がピークとなっている。

図 2-4-6 技術的実現予測時期の分布



技術的実現予測時期別のトピック数は下表の通りである。「ビーム応用:放射光」細目のトピックは、他の細目に比べて早い時期の技術的実現を予測されている。逆に「宇宙」細目のトピックは、若干、技術的実現予測時期が遅くなっている。

表 2-4-13 技術的実現予測時期別のトピック数(細目別)

細目	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-
宇宙		8	4	1	1			
海洋	2	11						
地球	1	9	2					
地球観測・予測		11						
加速器、素粒子・原子核	1	14	2					
ビーム応用:放射光	12	1						
ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等	8	6						
計算科学・シミュレーション		10	3					
数理科学・ビッグデータ	4	10						
計測基盤	4	11						
全体	32	91	11	1	1			

ここでは、実現時期のほかに「実現しない」、「わからない」という選択肢も設けてある。それぞれの回答の比率の高かったトピック(上位 5 件)は以下の通りである。「地球」細目の関連トピックで、「実現しない」あるいは「わからない」などの回答比率が高いものがやや目立っている。

表 2-4-14 「実現しない」の回答が多いトピック

番号	トピック	重要度	実現しない (%)	技術的実現時期	細目
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	2.63	41.0	2040	宇宙
34	M7 以上の地震の発生時期(1 年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	3.54	40.2	2030	地球
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	3.55	28.0	2030	地球
102	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	3.28	24.7	2025	計算科学・シミュレーション
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	3.13	24.5	2030	計算科学・シミュレーション

表 2-4-15 「わからない」の回答が多いトピック

番号	トピック	重要度	わからない (%)	技術的実現時期	細目
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	3.17	36.7	2030	宇宙

番号	トピック	重要度	わからない (%)	技術的実現時期	細目
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	3.55	36.0	2030	地球
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	3.13	32.1	2030	計算科学・シミュレーション
30	全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見出すための切迫度評価	3.67	30.3	2025	地球
114	非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム	3.02	29.4	2025	数理科学・ビッグデータ

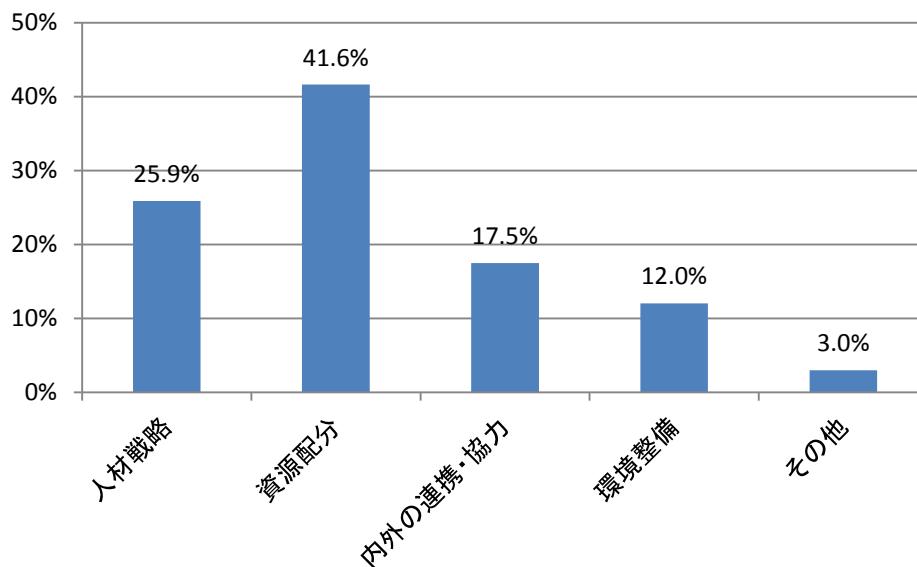
#### 4. 4. 3. 技術的実現に向けた重点施策

##### (1) 分野全般の傾向

技術的実現に向けた重点施策の回答結果は以下の図の通りである。

技術的実現に向けた重点施策のうち、最も回答が多かったのは、「資源配分」(41.6%)であり、次いで「人材戦略」(25.9%)と続く。

図 2-4-7 技術的実現に向けた重点施策 (%)



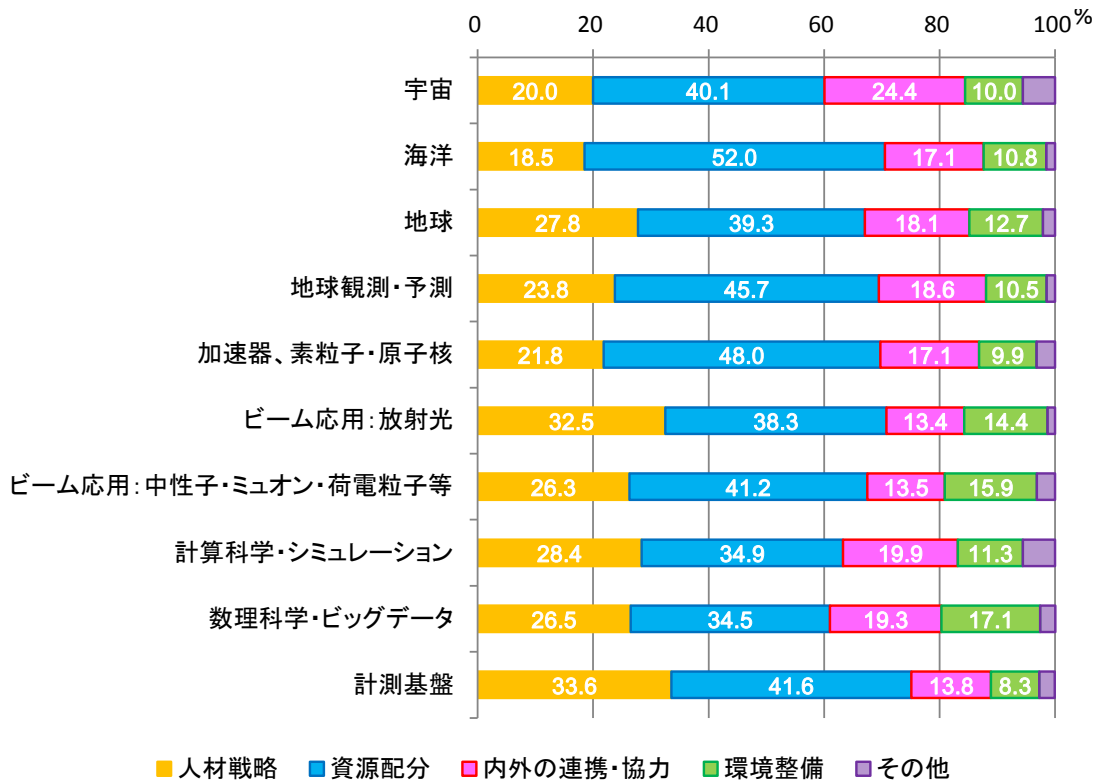
##### (2) 細目別の傾向

細目別では、「計測基盤」、「ビーム応用:放射光」、「計算科学・シミュレーション」等の細目では、トピックの技術的実現に向けた重要施策として、比較的多くの回答者が「人材戦略」と回答している。

また、「海洋」、「加速器、素粒子・原子核」などのトピックでは、重点施策として「資源配分」とする回答が比較的高い。

それ以外に、「宇宙」の細目のトピックでは「内外の連携・協力」、「数理科学・ビッグデータ」の細目のトピックでは「環境整備」とする回答が他の細目と比べ、高い。

図 2-4-8 技術的実現に向けた重点施策(細目別)(%)



①人材戦略

技術的実現に向けた重点施策として、「人材戦略」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-16 「人材戦略」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
51	波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たな X 線光学素子	47.5	2022	2025	加速器・素粒子・原子核
83	超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術	44.9	2020	2021	ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等
130	計測、伝送、信号処理からアクションまでをオール光でアダプティブに対応する、計測制御システム	42.2	2025	2027	計測基盤
74	細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析	40.1	2020	2023	ビーム応用:放射光
111	災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	39.4	2020	2025	数理科学・ビッグデータ
39	海底測地測量技術	11.4	2025	2025	地球
87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	10.6	2020	2025	ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等
4	安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム	10.2	2025	2030	宇宙
6	宇宙太陽光発電システム	8.1	2030	2035	宇宙

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
16	11,000m 級有人潜水船	4.5	2024	2025	海洋

## ②資源配分

技術的実現に向けた重点施策として、「資源配分」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-17 「資源配分」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	資源配分 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
16	11,000m 級有人潜水船	72.7	2024	2025	海洋
22	係留索を用いない定点時系列観測技術	66.7	2025	2025	海洋
39	海底測地測量技術	63.6	2025	2025	地球
19	自律無人探査機(AUV)により、完全自動化された調査を長期的(数か月)に実施する技術	62.2	2025	2025	海洋
61	高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐久化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術	62.1	2025	2030	加速器、素粒子・原子核
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	20.9	2030	2030	地球
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	20.0	2030	2035	計算科学・シミュレーション
34	M7 以上の地震の発生時期(1 年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	17.6	2030	2032	地球
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	16.7	2030	2031	宇宙
111	災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	10.6	2020	2025	数理科学・ビッグデータ

## ③内外の連携・協力

技術的実現に向けた重点施策として、「内外の連携・協力」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-18 「内外の連携・協力」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	連携・協力 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
4	安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム	38.9	2025	2030	宇宙
63	100TeV 級の陽子・陽子コライダー技術	34.4	2030	2040	加速器、素粒子・原子核
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	33.3	2030	2031	宇宙
21	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術	30.3	2025	2025	海洋
98	21 世紀末に至る全大陸上のエネルギー・水・物質(CO <sub>2</sub> 等)の収支が推計され、再生可能エネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスに関して今後懸念される	29.5	2027	2030	計算科学・シミュレーション

番号	トピック	連携・協力 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
	問題点が 1km といった超高解像度で明らかになるシステム				
31	山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術	8.2	2025	2030	地球
132	デバイス集積化のための微小領域の変位絶対計測(ピコメートル精度、ミリメートル範囲、真空中および大気中)	8.1	2020	2025	計測基盤
118	1秒間の演算速度が10エクサ=10 <sup>19</sup> 回を超えるスーパーコンピュータ	8.0	2022	2025	数理学・ビッグデータ
60	非周期物質生命系研究とその産業応用拡大に資する、パルス極冷中性子源や大強度中性子発生(中性子束5x10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> /sec)研究用原子炉、及び中性子集束計測技術(中性子マイクロビーム、偏極中性子顕微鏡等)	7.1	2025	2030	加速器、素粒子・原子核
127	計測対象、環境、条件の変動に瞬時・自在・高精度・広帯域に対応し、目的の計測そのものを用いて変動要因を補正する技術	4.9	2022	2025	計測基盤

#### ④環境整備

技術的実現に向けた重点施策として、「環境整備」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-19 「環境整備」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
119	家庭でも利用できる、通信速度 1Tbps のネットワークインフラ	28.6	2022	2025	数理学・ビッグデータ
108	大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	27.3	2020	2025	数理学・ビッグデータ
79	原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術	23.7	2020	2022	ビーム応用：放射光
87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	22.7	2020	2025	ビーム応用：中性子・ミュオン・荷電粒子等
82	中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ分布等を可視化し、その場観測する技術	21.7	2020	2022	ビーム応用：中性子・ミュオン・荷電粒子等
11	ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術	5.7	2025	2027	宇宙
61	高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐久化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術	5.2	2025	2030	加速器、素粒子・原子核
132	デバイス集積化のための微小領域の変位絶対計測(ピコメートル精度、ミリメートル範囲、真空中および大気中)	4.8	2020	2025	計測基盤
67	ハドロン構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)	2.6	2025	2027	加速器、素粒子・原子核

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
136	従来の手法では計測困難な材料(ソフトマテリアル等)の劣化診断や非破壊検査が可能な3次元イメージング技術(テラヘルツ領域で3次元空間分解能100um、光波領域でサブマイクロメートル)	2.6	2021	2025	計測基盤

⑤その他

技術的実現に向けた重点施策として、「その他」とする割合の高いトピック(上位5件)は、以下のとおりである。

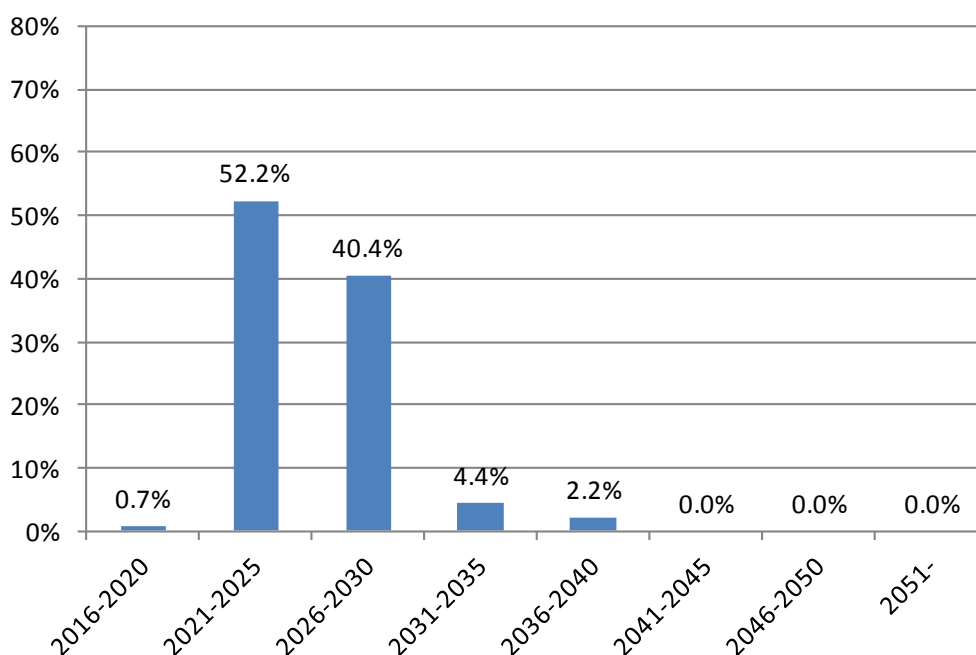
表 2-4-20 「その他」とする割合の高いトピック

番号	トピック	その他 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	20.0	2030	2035	計算科学・シミュレーション
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	10.0	2030	2031	宇宙
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	9.6	2040	2040	宇宙
11	ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術	8.6	2025	2027	宇宙
9	宇宙の商業利用(有人、超小型衛星など)の円滑な推進のための簡便で汎用可能な宇宙機管制システム	8.2	2025	2026	宇宙

4. 4. 4. 社会実装時期

社会実装予測時期の分布は下図の通りである。社会的実装時期は2021～2025年の間が半数超(52.2%)で最も多いが、2026～2030年の間も40.4%に達している。

図 2-4-9 社会実装時期の分布



社会実装予測時期別のトピック数は、以下のとおりである。

「ビーム応用:放射光」、「ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等」の細目のトピックは、比較的社会実装予測時期が早くなっている。

表 2-4-21 社会実装予測時期別のトピック数(細目別)

細目	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-
01. 宇宙		4	6	2	2			
02. 海洋		9	4					
03. 地球		3	8	1				
04. 地球観測・予測		8	3					
05. 加速器、素粒子・原子核		7	8	1	1			
06. ビーム応用:放射光	1	12						
07. ビーム応用:中性子・ミュオン・荷電粒子等		10	4					
08. 計算科学・シミュレーション		1	10	2				
09. 数理科学・ビッグデータ		9	5					
10. 計測基盤		8	7					
全体	1	71	55	6	3			

ここでは、実装時期のほかに「実装しない」、「わからない」という選択肢も設けてある。それぞれの回答の比率の高かったトピック(上位5件)は、以下のとおりである。

「地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター」や「M7以上の地震の発生時期(1年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術」細目の関連トピックで、「実装しない」との回答比率が高く、また、「ダークエネルギーの正体を解明する観測技術」、「基礎物理定数の精密測定に基づく、光子の運動量を単位とした極微小な質量測定や力測定技術」等の細目のトピックの中には、社会実装について「わからない」との回答比率の高いトピックが含まれる。

表 2-4-22 「実装しない」の回答が多いトピック

番号	トピック	重要度	実装しない (%)	社会実装時期	細目
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	2.63	46.2	2040	宇宙
34	M7以上の地震の発生時期(1年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	3.54	43.9	2032	地球
63	100TeV級の陽子・陽子コライダー技術	2.98	34.7	2040	加速器、素粒子・原子核
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8以上の大規模地震の発生を予測する技術	3.55	32.0	2030	地球
102	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	3.28	31.5	2030	計算科学・シミュレーション



表 2-4-23 「わからない」の回答が多いトピック

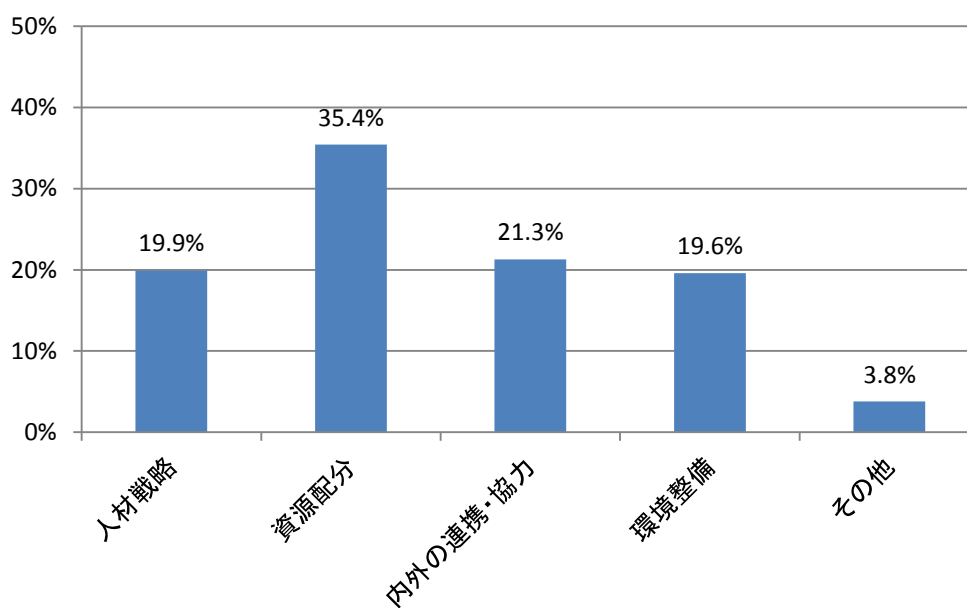
番号	トピック	重要度	わからない (%)	社会実装時期	細目
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	3.17	44.9	2031	宇宙
125	基礎物理定数の精密測定に基づく、光子の運動量を単位とした極微小な質量測定や力測定技術	3.25	43.1	2030	計測基盤
114	非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム	3.02	41.2	2026	数理学・ビッグデータ
111	災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)をもたらす社会的影響のシミュレーション	3.08	38.3	2025	数理学・ビッグデータ
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	3.55	37.3	2030	地球

#### 4. 4. 5. 社会実装に向けた重点施策

##### (1) 分野全般の傾向

社会実装に向けた重点施策として、最も回答が多いのは「資源配分戦略」(30.1%)であり、次いで、「内外の連携・協力」、「環境整備」等の細目が続く。

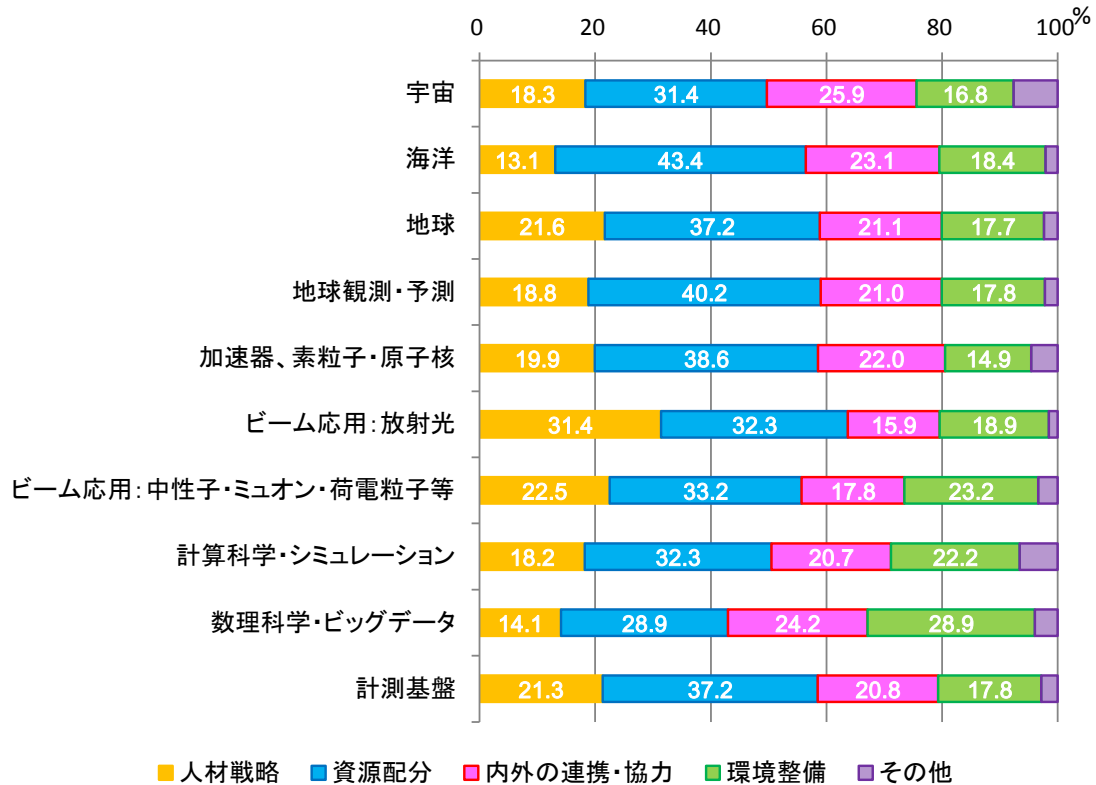
図 2-4-10 社会実装に向けた重点施策



##### (2) 細目別の傾向

細目別では、「海洋」、「地球観測・予測」等のトピックの社会実装に向けて、「資源配分戦略」が必要との回答が比較的多い。また、「ビーム応用:放射光」は「人材戦略」、「宇宙」では「内外の連携・協力」、「数理学・ビッグデータ」では「環境整備」との回答が比較的多くなっている。

図 2-4-11 社会実装に向けた重点施策(細目別)(%)



①人材戦略

社会実装に向けた重点施策として、「人材戦略」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-24 「人材戦略」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
51	波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たな X 線光学素子	37.3	2022	2025	加速器、素粒子・原子核
74	細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析	37.2	2020	2023	ビーム応用:放射光
67	ハドロン構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)	36.8	2025	2027	加速器、素粒子・原子核
72	ナノ分解能でマイクロオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの化学結合状態を 3 次元でイメージング可能な次世代 X 線顕微鏡	33.9	2020	2023	ビーム応用:放射光
76	酵素の反応機構を解明する時分割タンパク質解析技術	33.6	2020	2024	ビーム応用:放射光
109	数週間先までの雪氷災害発生予測に基づき、道路、交通、電力、農業施設等の事前対策を可能とするシステム	8.6	2023	2025	数理科学・ビッグデータ

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
121	年間 1 エксаバイトの割合で生成される実験データを記録・保存し、1Tbps 級のネットワークを通して世界中の大学・研究機関の研究者の利用に供する技術	7.5	2025	2027	数理科学・ビッグデータ
27	我が国の排他的経済水域における大水深下のレアアース・レアメタル探査及び採掘技術	7.2	2025	2030	海洋
108	大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	7.0	2020	2025	数理科学・ビッグデータ
119	家庭でも利用できる、通信速度 1Tbps のネットワークインフラ	3.9	2022	2025	数理科学・ビッグデータ

## ②資源配分

社会実装に向けた重点施策として、「資源配分」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-25 「資源配分」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	資源配分 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
37	海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術	57.8	2020	2025	地球
20	自律無人探査機(AUV)同士が協調して作業する技術	56.6	2025	2025	海洋
118	1 秒間の演算速度が 10 エкса = $10^{19}$ 回を超えるスーパーコンピュータ	55.6	2022	2025	数理科学・ビッグデータ
18	海洋中の距離 10,000m で、100kbps を超える高速通信技術	54.2	2025	2030	海洋
43	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術	53.4	2025	2025	地球観測・予測
108	大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	18.0	2020	2025	数理科学・ビッグデータ
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	17.0	2030	2031	宇宙
114	非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム	17.0	2025	2026	数理科学・ビッグデータ
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	15.6	2030	2035	計算科学・シミュレーション
111	災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	7.9	2020	2025	数理科学・ビッグデータ

## ③内外の連携・協力

社会実装に向けた重点施策として、「内外の連携・協力」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-26 「内外の連携・協力」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	連携・協力 (%)	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
63	100TeV 級の陽子・陽子コライダー技術	38.8	2030	2040	加速器、 素粒子・原子核
45	30km 程度の格子間隔で、表面から海底までの水温、塩分、溶存酸素、栄養塩、全炭酸を高精度で自動計測する技術	38.3	2025	2029	地球観測・予測
21	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術	36.5	2025	2025	海洋
4	安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム	35.8	2025	2030	宇宙
2	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	35.3	2035	2040	宇宙
127	計測対象、環境、条件の変動に瞬時・自在・高精度・広帯域に対応し、目的の計測そのものを用いて変動要因を補正する技術	9.8	2022	2025	計測基盤
118	1 秒間の演算速度が 10 エкса=10 <sup>19</sup> 回を超えるスーパーコンピュータ	9.7	2022	2025	数理科学・ ビッグデータ
79	原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術	9.6	2020	2022	ビーム応用: 放射光
119	家庭でも利用できる、通信速度 1Tbps のネットワークインフラ	6.8	2022	2025	数理科学・ ビッグデータ
94	イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術	6.0	2025	2030	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等

④環境整備

社会実装に向けた重点施策として、「環境整備」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-4-27 「環境整備」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
119	家庭でも利用できる、通信速度 1Tbps のネットワークインフラ	49.5	2022	2025	数理科学・ ビッグデータ
87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	46.9	2020	2025	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
108	大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	44.5	2020	2025	数理科学・ ビッグデータ
55	大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術	35.7	2030	2035	加速器、 素粒子・原子核

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
126	光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバーリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期による GPS 技術の高安定化、超高精度化技術など)	34.3	2021	2025	計測基盤
51	波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たな X 線光学素子	8.5	2022	2025	加速器、素粒子・原子核
65	ニュートリノと反ニュートリノが同じ粒子か異なる粒子かを検証するための大型検出器技術	8.0	2025	2025	加速器、素粒子・原子核
13	重力波を直接観測する技術	7.8	2025	2030	宇宙
61	高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐久化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術	5.2	2025	2030	加速器、素粒子・原子核
67	ハドロンの構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)	2.6	2025	2027	加速器、素粒子・原子核

⑤その他

社会実装に向けた重点施策として、「その他」とする割合の高いトピック(上位 5 件)は、以下のとおりである。

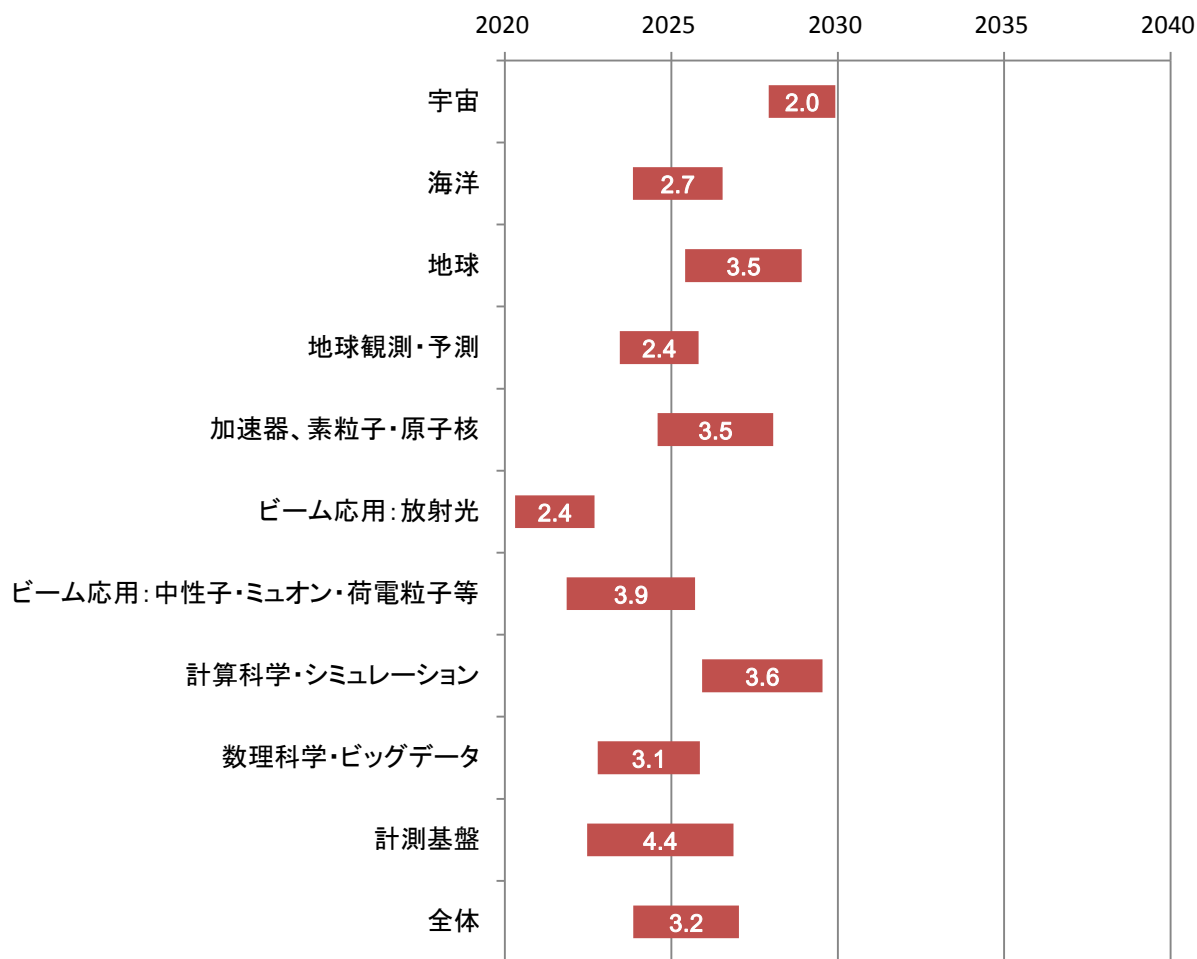
表 2-4-28 「その他」とする割合の高いトピック

番号	トピック	その他 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	20.0	2030	2035	計算科学・シミュレーション
13	重力波を直接観測する技術	14.7	2025	2030	宇宙
11	ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術	13.1	2025	2027	宇宙
12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	12.5	2030	2031	宇宙
14	宇宙線ミュオンを用いたイメージング技術	9.6	2026	2025	宇宙
102	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	9.6	2025	2030	計算科学・シミュレーション

4. 4. 6. 技術的実現から社会実装までの期間

技術的実現から社会実装までの期間を細目別にみると、「計測基盤」が 4.4 年と最も長い一方で、「宇宙」は 2.0 年、「地球観測・予測」、「ビーム応用:放射光」の細目は 2.4 年と比較的短くなっている。

図 2-4-12 技術的実現から社会実装までの期間(年)



技術的実現から社会実装までの期間の長いトピック(上位 57 件)および期間の短いトピック(下位 23 件)は、それぞれ以下のとおりである。

表 2-4-29 技術的実現から社会実装までの期間が長いトピック及び短いトピック

番号	トピック	技術的 実現時期	社会実装 時期	期間 (年)	細目
63	100TeV 級の陽子・陽子コライダー技術	2030	2040	10	加速器、 素粒子・原子核
52	現行に比べ 70%以上の省エネルギー・省メンテナンス型の X 線光源	2022	2028	6	加速器、 素粒子・原子核
122	電波領域からテラヘルツ、赤外光、可視光、UV、X 線領域までの広帯域コヒーレント周波数リンク技術	2024	2030	6	計測基盤
1	宇宙利用を低コストで実現できるシステム(再使用型輸送システム、衛星等への燃料補給・修理点検・機器交換などのサービス技術等)	2025	2030	5	宇宙
2	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	2035	2040	5	宇宙
4	安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム	2025	2030	5	宇宙
6	宇宙太陽光発電システム	2030	2035	5	宇宙

番号	トピック	技術的 実現時期	社会実装 時期	期間 (年)	細目
13	重力波を直接観測する技術	2025	2030	5	宇宙
15	海面から海底までのCO <sub>2</sub> を測定可能なセンサー	2020	2025	5	海洋
18	海洋中の距離10,000mで、100kbpsを超える高速通信技術	2025	2030	5	海洋
23	超小型電子チップ埋め込み等の技術を用いた海洋(深海含む)におけるバイオリギング技術	2020	2025	5	海洋
25	深海環境を再現し生物を大規模に飼育する技術	2025	2030	5	海洋
26	メタンハイドレートの経済的な採取技術	2025	2030	5	海洋
27	我が国の排他的経済水域における大水深下のレアアース・レアメタル探査及び採掘技術	2025	2030	5	海洋
28	地球深部物質を汚染なしに取得するための大深度科学掘削技術	2025	2030	5	地球
29	人工衛星及び海洋・海中センサー等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム	2025	2030	5	地球
30	全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見出すための切迫度評価	2025	2030	5	地球
31	山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術	2025	2030	5	地球
33	火山噴火に伴う津波や融雪災害の発生予測・評価技術	2025	2030	5	地球
36	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術	2025	2030	5	地球
37	海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術	2020	2025	5	地球
38	地球内部で発生しているニュートリノを用いた地球内部の探査技術	2025	2030	5	地球
50	衛星搭載センサーで測定した大気上空の酸素の同位体比の情報を大気数値モデルのデータ同化に用い、天気予報の精度を向上させる技術	2025	2030	5	地球観測・予測
53	産業用自由電子レーザー(FEL)ベースEUVリソグラフィ光源	2020	2025	5	加速器、 素粒子・原子核
54	レーザー駆動またはビーム駆動によるプラズマまたは誘電体航跡場を利用し、飛躍的な加速勾配を実現する新しい粒子加速技術(小型・可搬型の加速器・自由電子レーザー、アフターバーナー技術、高エネルギーコライダーへの展開)	2025	2030	5	加速器、 素粒子・原子核
55	大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術	2030	2035	5	加速器、 素粒子・原子核
60	非周期物質生命系研究とその産業応用拡大に資する、パルス極冷中性子源や大強度中性子発生(中性子束 $5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ )研究用原子炉、及び中性子集束計測技術(中性子マイクロビーム、偏極中性子顕微鏡等)	2025	2030	5	加速器、 素粒子・原子核
61	高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐力化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術	2025	2030	5	加速器、 素粒子・原子核
75	創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能な、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマX線等)による超高速高解像X線顕微技術やコヒーレントX線によるイメージング技術などの解析技術	2020	2025	5	ビーム応用: 放射光
81	偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術	2020	2025	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等

番号	トピック	技術的 実現時期	社会実装 時期	期間 (年)	細目
86	複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm～mm の幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術	2020	2025	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	2020	2025	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
88	イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術	2025	2030	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
90	生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術	2020	2025	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
91	単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術(高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等への応用を想定)	2025	2030	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
93	放射性廃棄物中の長寿命核種 135Cs を核変換技術によって無害化するために必要となる Cs 同位体分離に向けた、高強度 THz パルスを用いた量子制御技術に基づく新しい物質分離手法(同位体選択的加熱)	2025	2030	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
94	イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術	2025	2030	5	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
97	1km といった超高解像度の気象大循環モデルを用いた、20世紀初頭から21世紀末に至るグローバルな気候変動の数値シミュレーション	2025	2030	5	計算科学・ シミュレーション
99	衛星からの水面高度計測や氾濫面積計測と数値モデルとを用いた逆解析により、河川の水深や流速を世界規模で広域に推計するシステム	2025	2030	5	計算科学・ シミュレーション
100	衛星観測並びに地上観測に基づき、人間活動も考慮した陸面水循環モデルを用いたシミュレーションによる、数時間から数日先までの全世界の洪水や渇水の予測	2025	2030	5	計算科学・ シミュレーション
102	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	2025	2030	5	計算科学・ シミュレーション
105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	2030	2035	5	計算科学・ シミュレーション
106	劣化に起因する事故を発生させない、大型工業製品(タービン、プラント、架橋等)等のシミュレーションによる劣化解析技術と高感度非破壊診断技術	2025	2030	5	計算科学・ シミュレーション
107	ほとんどの材料(開発対象となる材料の 90%程度)において、特性を要求値に適合させる逆問題的材料開発	2030	2035	5	計算科学・ シミュレーション
108	大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	2020	2025	5	数理科学・ ビッグデータ
111	災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	2020	2025	5	数理科学・ ビッグデータ
112	津波の即時評価と連動した避難指示システム	2020	2025	5	数理科学・ ビッグデータ
113	現在地及び避難経路の被災状況(現状及び予測)に関する大量の定型・非定型情報を統合して、適切な避難場所まで誘導するシステム	2020	2025	5	数理科学・ ビッグデータ



番号	トピック	技術的 実現時期	社会実装 時期	期間 (年)	細目
117	将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム	2025	2030	5	数理科学・ビッグデータ
123	平坦な広帯域スペクトル発生、位相レベルのタイミング制御、精密なモード操作・利用・合成など、個別応用ニーズに合わせて光波のあらゆるパラメータを自在に操作・制御して任意波形を発生させ、計測・物性科学等に応用する技術	2025	2030	5	計測基盤
125	基礎物理定数の精密測定に基づく、光子の運動量を単位とした極微小な質量測定や力測定技術	2025	2030	5	計測基盤
129	深い穴を持つ工業製品など高いアスペクト比を持つ対象を始め、任意の形状を高速・高精度に多点計測し、イメージングに展開する技術	2020	2025	5	計測基盤
131	長距離絶対計測技術(精度サブマイクロメートル、範囲 100m 以上、長時間安定性)	2020	2025	5	計測基盤
132	デバイス集積化のための微小領域の変位絶対計測(ピコメートル精度、ミリメートル範囲、真空中および大気中)	2020	2025	5	計測基盤
133	半導体の極限的な微細加工により可能となる光と物質の相互作用を用いた、通常のサイズの装置では考えにくい原理や性能を持つセンサー	2025	2030	5	計測基盤
134	天文学(アストロコム)、分光データベース、環境分析、医療診断などへの応用のための、電波領域から光、X線領域までの超広帯域精密分光技術による絶対精度の測定技術	2025	2030	5	計測基盤
135	赤外からテラヘルツ領域の波長を利用した、エアロゾル混在揮発性有機化合物(VOC)ガスの in situ 分析技術(検出感度 10ppm~1%@気体分子種に依存)	2020	2025	5	計測基盤
3	衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術	2030	2030	0	宇宙
5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	2040	2040	0	宇宙
7	国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の 24 時間高精度監視システム	2025	2025	0	宇宙
8	農業の無人化・自動化及び農業管理による生産性向上のため、人工衛星により、リアルタイムに誤差数 cm 程度の正確な位置情報を提供する高精度精密測位技術(原子時計の性能向上を含む)	2025	2025	0	宇宙
10	宇宙初期のインフレーション仮説を検証するための観測技術	2025	2025	0	宇宙
19	自律無人探査機(AUV)により、完全自動化された調査を長期的(数か月)に実施する技術	2025	2025	0	海洋
20	自律無人探査機(AUV)同士が協調して作業する技術	2025	2025	0	海洋
21	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術	2025	2025	0	海洋
22	係留索を用いない定点時系列観測技術	2025	2025	0	海洋
32	火山噴火史を解明するため、5~10 万年前の年代測定精度を向上させる技術	2025	2025	0	地球
35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	2030	2030	0	地球
39	海底測地測量技術	2025	2025	0	地球
43	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術	2025	2025	0	地球観測・予測

番号	トピック	技術的 実現時期	社会実装 時期	期間 (年)	細目
48	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術	2025	2025	0	地球観測・予測
49	短期の気象から長期の気候変動までを単一のモデルのフレームワークによって取り扱うシームレス予測技術	2025	2025	0	地球観測・予測
56	中性子線や X 線等を用いて、地下構造、地上構造物、機械構成材料の 3 次元応力・ひずみ分布を非破壊、非接触で、その場測定するための小型・可搬型加速器	2025	2025	0	加速器、 素粒子・原子核
65	ニュートリノと反ニュートリノが同じ粒子か異なる粒子かを検証するための大型検出器技術	2025	2025	0	加速器、 素粒子・原子核
66	クォーク 3 個またはクォーク・反クォーク対で構成される通常のハドロンとは異なるエキゾチックハドロンの解明に資する加速器・測定器技術	2025	2025	0	加速器、 素粒子・原子核
68	軟 X 線領域で SPring-8 を凌駕する中型高輝度放射光施設 (電子エネルギー 3 GeV, 水平エミッタンス 1.2 nmrad 以下、輝度 $10^{20}$ phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%b.w.以上)	2020	2020	0	ビーム応用: 放射光
85	複数の量子ビーム (中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等) を同一試料の同一位置に再現性よく、または同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態、一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術	2025	2025	0	ビーム応用: 中性子・ミュオン・ 荷電粒子等
104	実物試作をほとんどせずに自動車や大型工業製品を設計・開発することを可能にする、現実に忠実なシミュレーション	2025	2025	0	計算科学・ シミュレーション
120	1 エクサバイトのデータを 1 秒で検索できる検索技術	2025	2025	0	数理科学・ ビッグデータ
14	宇宙線ミュオンを用いたイメージング技術	2026	2025	*	宇宙

\* 技術の実現時期と社会実装時期が逆転したトピック

#### 4. 5. 未来科学技術年表

##### 4. 5. 1. 技術的実現予測時期

年	トピック
2020	15 海面から海底までの CO <sub>2</sub> を測定可能なセンサー
	23 超小型電子チップ埋め込み等の技術を用いた海洋(深海含む)におけるバイオリギング技術
	37 海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術
	53 産業用自由電子レーザー (FEL) ベース EUV リソグラフィ光源
	68 軟 X 線領域で SPring-8 を凌駕する中型高輝度放射光施設 (電子エネルギー 3 GeV, 水平エミッタンス 1.2 nmrad 以下、輝度 10 <sup>20</sup> phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%b.w.以上)
	69 化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速 (ps~fs オーダー分解能)放射光分析基盤
	70 極低エミッタンス蓄積リングによる次世代の省コスト型・超高輝度放射光源
	71 機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートルスケール・フェムト秒オーダーで観測する技術
	72 ナノ分解能でマイクロオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの化学結合状態を 3 次元でイメージング可能な次世代 X 線顕微鏡
	73 サブナノメートル分解能からマイクロメートル分解能まで連続倍率可変な構造・化学状態・電子状態分析のための放射光イメージング技術
	74 細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析
	75 創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能な、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマ X 線等)による超高速高解像 X 線顕微技術やコヒーレント X 線によるイメージング技術などの解析技術
	76 酵素の反応機構を解明する時分割タンパク質解析技術
	78 マイクロメートルの空間分解能、マイクロ秒以下の時間分解能での高エネルギー放射光による、レーザー加工中材料のその場時分割計測・分析技術
	79 原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術
	80 1 光子検出が可能な 2 次元 X 線検出器の高分解能化、高速化、大型化による低線量診断
	81 偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術
	82 中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ分布等を可視化し、その場観測する技術
	83 超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術
	84 偏極陽電子を生成・制御し、表面第 1 層の構造および磁気構造をモデルフリーで観測する技術
	86 複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm~mm の幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術
	87 精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術
	90 生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術
92 大強度中性子イメージング技術の高度化による、局所の金属組成分析や金属部品内微細構造の 3 次元可視化計測技術	
108 大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	
111 災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	
112 津波の即時評価と連動した避難指示システム	
2020	113 現在地及び避難経路の被災状況(現状及び予測)に関する大量の定型・非定型情報を統合して、適切な避

年	トピック
	難場所まで誘導するシステム
	129 深い穴を持つ工業製品など高いアスペクト比を持つ対象を始め、任意の形状を高速・高精度に多点計測し、イメージングに展開する技術
	131 長距離絶対計測技術(精度サブマイクロメートル、範囲 100m 以上、長時間安定性)
	132 デバイス集積化のための微小領域の変位絶対計測(ピコメートル精度、ミリメートル範囲、真空中および大気中)
	135 赤外からテラヘルツ領域の波長を利用した、エアロゾル混在揮発性有機化合物(VOC)ガスの in situ 分析技術(検出感度 10ppm~1%@気体分子種に依存)
2021	40 人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で高精度・高感度に観測する技術(GCOM-C で分解能 250m、観測幅 1000km 程度。GCOM-W で 1450km 程度。)
	44 水産業等に利用するため、人工衛星等により、海氷、海面温度、波浪、海流、クロロフィル等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム
	89 放射光やレーザー等を用いて、結晶成長中・デバイス動作下など実際に製造・使用されている条件下で、ナノスケールの材料の構造を原子レベルで測定する計測・分析技術
	126 光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバーリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期による GPS 技術の高安定化、超高精度化技術など)
	136 従来の手法では計測困難な材料(ソフトマテリアル等)の劣化診断や非破壊検査が可能な 3 次元イメージング技術(テラヘルツ領域で 3 次元空間分解能 100um、光波領域でサブマイクロメートル)
2022	41 人工衛星等による、イメージング分光計技術を用いた大気微量成分観測システム
	51 波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たな X 線光学素子
	52 現行に比べ 70%以上の省エネルギー・省メンテナンス型の X 線光源
	57 物質・生命科学研究に利用するため、軟 X 線および X 線領域における回折限界光を生成・加工する技術
	58 電子ビームとレーザーの相互作用を利用し、アト秒パルスの放射光を発生させる技術
	115 観測データ、センサーデータ、ソーシャルメディアデータ等を統合した自然災害・被害状況の把握
	118 1 秒間の演算速度が 10 エクサ=10 <sup>19</sup> 回を超えるスーパーコンピュータ
	119 家庭でも利用できる、通信速度 1Tbps のネットワークインフラ
	124 黒体輻射ソフト抑制等により高精度化し、ジオイド計測に応用可能な 10 <sup>-18</sup> 精度の光格子時計
	127 計測対象、環境、条件の変動に瞬時・自在・高精度・広帯域に対応し、目的の計測そのものを用いて変動要因を補正する技術
	128 光源、計測装置を一体化したマイクロシステム化、チップ化
2023	17 海中において、母船等の補助なしで、絶対位置を計測できる技術(海中ロラン、海中 GPS 等)
	24 海洋中の微小生物(1mm まで)の in situ 遺伝子解析技術
	42 人工衛星等による、ライダー技術を用いた植生環境把握システム
	46 沿岸海域や縁辺海を含む全球の海象状況や海底地形を把握するための、干渉 SAR 技術による高精度海面高度観測システム
	47 降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術
	109 数週間先までの雪氷災害発生予測に基づき、道路、交通、電力、農業施設等の事前対策を可能とするシステム
2024	16 11,000m 級有人潜水船
	77 タンパク質 1 分子を試料として、その構造解析を行う X 線回折技術
	122 電波領域からテラヘルツ、赤外光、可視光、UV、X 線領域までの広帯域コヒーレント周波数リンク技術
2025	1 宇宙利用を低コストで実現できるシステム(再使用型輸送システム、衛星等への燃料補給・修理点検・機器交換などのサービス技術等)
	4 安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム
2025	7 国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の 24 時間高精度監視システム
	8 農業の無人化・自動化及び農業管理による生産性向上のため、人工衛星により、リアルタイムに誤差数 cm 程度

年	トピック
	の正確な位置情報を提供する高精度精密測位技術(原子時計の性能向上を含む)
	9 宇宙の商業利用(有人、超小型衛星など)の円滑な推進のための簡便で汎用可能な宇宙機管制システム
	10 宇宙初期のインフレーション仮説を検証するための観測技術
	11 ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術
	13 重力波を直接観測する技術
	18 海洋中の距離 10, 000m で、100kbps を超える高速通信技術
	19 自律無人探査機(AUV)により、完全自動化された調査を長期的(数か月)に実施する技術
	20 自律無人探査機(AUV)同士が協調して作業する技術
	21 氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術
	22 係留索を用いない定点時系列観測技術
	25 深海環境を再現し生物を大規模に飼育する技術
	26 メタンハイドレートの経済的な採取技術
	27 我が国の排他的経済水域における大水深下のレアアース・レアメタル探査及び採掘技術
	28 地球深部物質を汚染なしに取得するための大深度科学掘削技術
	29 人工衛星及び海洋・海中センサー等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
	30 全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見い出すための切迫度評価
	31 山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術
	32 火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術
	33 火山噴火に伴う津波や融雪災害の発生予測・評価技術
	36 地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
	38 地球内部で発生しているニュートリノを用いた地球内部の探査技術
	39 海底測地測量技術
	43 東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術
	45 30km 程度の格子間隔で、表面から海底までの水温、塩分、溶存酸素、栄養塩、全炭酸を高精度で自動計測する技術
	48 高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術
	49 短期の気象から長期の気候変動までを単一のモデルのフレームワークによって取り扱うシームレス予測技術
	50 衛星搭載センサーで測定した大気上空の酸素の同位体比の情報を大気数値モデルのデータ同化に用い、天気予報の精度を向上させる技術
	54 レーザー駆動またはビーム駆動によるプラズマまたは誘電体航跡場を利用し、飛躍的な加速勾配を実現する新しい粒子加速技術(小型・可搬型の加速器・自由電子レーザー、アフターバーナー技術、高エネルギーコライダーへの展開)
	56 中性子線やX線等を用いて、地下構造、地上構造物、機械構成材料の3次元応力・ひずみ分布を非破壊、非接触で、その場測定するための小型・可搬型加速器
	59 世界最高強度( $10^{20}$ e <sup>+</sup> /sec オーダー)陽電子ビーム施設
	60 非周期物質生命系研究とその産業応用拡大に資する、パルス極冷中性子源や大強度中性子発生(中性子束 $5 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> /sec)研究用原子炉、及び中性子集束計測技術(中性子マイクロビーム、偏極中性子顕微鏡等)
	61 高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐力化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術
	62 TeV 級の電子・陽電子コライダー技術
	64 ニュートリノの CP 非対称性と質量階層性を解明するための大強度ニュートリノビーム生成技術及び大型ニュートリノ検出器技術
2025	65 ニュートリノと反ニュートリノが同じ粒子か異なる粒子かを検証するための大型検出器技術
	66 クォーク 3 個またはクォーク・反クォーク対で構成される通常のハドロンとは異なるエキゾチックハドロンの解明

年	トピック
	に資する加速器・測定器技術
	67 ハドロン構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)
	85 複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を同一試料の同一位置に再現性よく、または同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態、一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術
	88 イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術
	91 単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術(高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等への応用を想定)
	93 放射性廃棄物中の長寿命核種 135Cs を核変換技術によって無害化するために必要となる Cs 同位体分離に向けた、高強度 THz パルスを用いた量子制御技術に基づく新しい物質分離手法(同位体選択的加熱)
	94 イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術
	95 データ同化やパラメータ最適化等の技術を導入した、大気・海洋の組成、生態系、物質循環などに関する地球環境予測モデル
	96 生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展による水循環変動及び水士砂災害等の予測
	97 1km といった超高解像度の地球大気循環モデルを用いた、20 世紀初頭から 21 世紀末に至るグローバルな気候変動の数値シミュレーション
	99 衛星からの水面高度計測や氾濫面積計測と数値モデルとを用いた逆解析により、河川の水深や流速を世界規模で広域に推計するシステム
	100 衛星観測並びに地上観測に基づき、人間活動も考慮した陸面水循環モデルを用いたシミュレーションによる、数時間から数日先までの全世界の洪水や渇水の予測
	101 台風時の高潮・高波と降雨による内水・外水氾濫を統合して扱う沿岸災害予測
	102 ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション
	103 地震動・津波の直接被害のほか、構造物倒壊、火災、液状化、漂流物等も含めた、広域複合災害の予測システム
	104 実物試作をほとんどせずに自動車や大型工業製品を設計・開発することを可能にする、現実に忠実なシミュレーション
	106 劣化に起因する事故を発生させない、大型工業製品(タービン、プラント、架橋等)等のシミュレーションによる劣化解析技術と高感度非破壊診断技術
	110 大規模噴火の降灰に対する都市機能や地域経済の脆弱性評価手法
	114 非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム
	116 大型輸送機器(船舶、鉄道、航空機等)の高信頼設計を可能とする、過去の事故・災害データや想定される気象災害シミュレーション結果等を用いた統合安全評価システム
	117 将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム
	120 1 エクサバイトのデータを 1 秒で検索できる検索技術
	121 年間 1 エクサバイトの割合で生成される実験データを記録・保存し、1Tbps 級のネットワークを通して世界中の大学・研究機関の研究者の利用に供する技術
	123 平坦な広帯域スペクトル発生、位相レベルのタイミング制御、精密なモード操作・利用・合成など、個別応用ニーズに合わせて光波のあらゆるパラメータを自在に操作・制御して任意波形を発生させ、計測・物性科学等に應用する技術
	125 基礎物理定数の精密測定に基づく、光子の運動量を単位とした極微少な質量測定や力測定技術
	130 計測、伝送、信号処理からアクションまでをオール光でアダプティブに対応する、計測制御システム
2025	133 半導体の極限的な微細加工により可能となる光と物質の相互作用を用いた、通常のサイズの装置では考えにくい原理や性能を持つセンサー
	134 天文学(アストロコム)、分光データベース、環境分析、医療診断などへの応用のための、電波領域から光、X 線領域までの超広帯域精密分光技術による絶対精度の測定技術

年	トピック
2026	14 宇宙線ミュオンを用いたイメージング技術
2027	98 21世紀末に至る全大陸上のエネルギー・水・物質(CO <sub>2</sub> 等)の収支が推計され、再生可能エネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスに関して今後懸念される問題点が1kmといった超高解像度で明らかになるシステム
2030	3 衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術
	6 宇宙太陽光発電システム
	12 ダークエネルギーの正体を解明する観測技術
	34 M7以上の地震の発生時期(1年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術
	35 地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8以上の大規模地震の発生を予測する技術
	55 大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術
	63 100TeV級の陽子・陽子コライダー技術
	105 動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション
	107 ほとんどの材料(開発対象となる材料の90%程度)において、特性を要求値に適合させる逆問題的材料開発
2035	2 科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築
2040	5 地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター

4. 5. 2. 社会実装予測時期

年	トピック
2020	68 軟 X 線領域で SPring-8 を凌駕する中型高輝度放射光施設 (電子エネルギー 3 GeV, 水平エミッタンス 1.2 nmrad 以下、輝度 $10^{20}$ phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%w.以上)
2021	69 化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速 (ps~fs オーダー分解能)放射光分析基盤
	78 マイクロメートルの空間分解能、マイクロ秒以下の時間分解能での高エネルギー放射光による、レーザー加工中材料のその場時分割計測・分析技術
	83 超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術
2022	70 極低エミッタンス蓄積リングによる次世代の省コスト型・超高輝度放射光源
	71 機能性材料 (電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料) において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートルスケール・フェムト秒オーダーで観測する技術
	79 原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術
	82 中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ分布等を可視化し、その場観測する技術
2023	72 ナノ分解能でマイクロオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの化学結合状態を 3 次元でイメージング可能な次世代 X 線顕微鏡
	73 サブナノメートル分解能からマイクロメートル分解能まで連続倍率可変な構造・化学状態・電子状態分析のための放射光イメージング技術
	74 細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析
	84 偏極陽電子を生成・制御し、表面第 1 層の構造および磁気構造をモデルフリーで観測する技術
2024	42 人工衛星等による、ライダー技術を用いた植生環境把握システム
	76 酵素の反応機構を解明する時分割タンパク質解析技術
	80 1 光子検出が可能な 2 次元 X 線検出器の高分解能化、高速化、大型化による低線量診断
	92 大強度中性子イメージング技術の高度化による、局所の金属組成分析や金属部品内微細構造の 3 次元可視化計測技術
2025	7 国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の 24 時間高精度監視システム
	8 農業の無人化・自動化及び農業管理による生産性向上のため、人工衛星により、リアルタイムに誤差数 cm 程度の正確な位置情報を提供する高精度精密測位技術 (原子時計の性能向上を含む)
	10 宇宙初期のインフレーション仮説を検証するための観測技術
	14 宇宙線ミュオンを用いたイメージング技術
	15 海面から海底までの CO <sub>2</sub> を測定可能なセンサー
	16 11, 000m 級有人潜水船
	17 海中において、母船等の補助なしで、絶対位置を計測できる技術 (海中ロラン、海中 GPS 等)
	19 自律無人探査機 (AUV) により、完全自動化された調査を長期的 (数か月) に実施する技術
	20 自律無人探査機 (AUV) 同士が協調して作業する技術
	21 氷海域 (氷海下含む) における海洋環境モニターや海底探査 (石油、天然ガス、鉱物資源等) 技術
	22 係留索を用いない定点時系列観測技術
	23 超小型電子チップ埋め込み等の技術を用いた海洋 (深海含む) におけるバイオリギング技術
	24 海洋中の微生物 (1mm まで) の in situ 遺伝子解析技術
	32 火山噴火史を解明するため、5~10 万年前の年代測定精度を向上させる技術
	37 海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術
	39 海底測地測量技術
40 人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で高精度・高感度に観測する技術 (GCOM-C で分解能 250m、観測幅 1000km 程度。GCOM-W で 1450km 程度。)	



年	トピック
2025	41 人工衛星等による、イメージング分光計技術を用いた大気微量成分観測システム
	43 東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術
	44 水産業等に利用するため、人工衛星等により、海氷、海面温度、波浪、海流、クロロフィル等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム
	46 沿岸海域や縁辺海を含む全球の海象状況や海底地形を把握するための、干渉 SAR 技術による高精度海面高度観測システム
	48 高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術
	49 短期の気象から長期の気候変動までを単一のモデルのフレームワークによって取り扱うシームレス予測技術
	51 波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たな X 線光学素子
	53 産業用自由電子レーザー (FEL) ベース EUV リソグラフィ光源
	56 中性子線や X 線等を用いて、地下構造、地上構造物、機械構成材料の 3 次元応力・ひずみ分布を非破壊、非接触で、その場測定するための小型・可搬型加速器
	57 物質・生命科学研究に利用するため、軟 X 線および X 線領域における回折限界光を生成・加工する技術
	58 電子ビームとレーザーの相互作用を利用し、アト秒パルスの放射光を発生させる技術
	65 ニュートリノと反ニュートリノが同じ粒子か異なる粒子かを検証するための大型検出器技術
	66 クォーク 3 個またはクォーク・反クォーク対で構成される通常のハドロンとは異なるエキゾチックハドロンの解明に資する加速器・測定器技術
	75 創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能な、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマ X 線等)による超高速高解像 X 線顕微技術やコヒーレント X 線によるイメージング技術などの解析技術
	77 タンパク質 1 分子を試料として、その構造解析を行う X 線回折技術
	81 偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術
	85 複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を同一試料の同一位置に再現性よく、または同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態、一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術
	86 複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm~mm の幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術
	87 精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術
	89 放射光やレーザー等を用いて、結晶成長中・デバイス動作下など実際に製造・使用されている条件下で、ナノスケールの材料の構造を原子レベルで測定する計測・分析技術
	90 生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術
104 実物試作をほとんどせずに自動車や大型工業製品を設計・開発することを可能にする、現実忠実なシミュレーション	
108 大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	
109 数週間先までの雪氷災害発生予測に基づき、道路、交通、電力、農業施設等の事前対策を可能とするシステム	
111 災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	
112 津波の即時評価と連動した避難指示システム	
113 現在地及び避難経路の被災状況(現状及び予測)に関する大量の定型・非定型情報を統合して、適切な避難場所まで誘導するシステム	
115 観測データ、センサーデータ、ソーシャルメディアデータ等を統合した自然災害・被害状況の把握	
118 1 秒間の演算速度が 10 エクサ=10 <sup>19</sup> 回を超えるスーパーコンピュータ	
119 家庭でも利用できる、通信速度 1Tbps のネットワークインフラ	

年	トピック
2025	120 1 エクサバイトのデータを1秒で検索できる検索技術
	126 光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバーリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期によるGPS技術の高安定化、超高精度化技術など)
	127 計測対象、環境、条件の変動に瞬時・自在・高精度・広帯域に対応し、目的の計測そのものを用いて変動要因を補正する技術
	128 光源、計測装置を一体化したマイクロシステム化、チップ化
	129 深い穴を持つ工業製品など高いアスペクト比を持つ対象を始め、任意の形状を高速・高精度に多点計測し、イメージングに展開する技術
	131 長距離絶対計測技術(精度サブマイクロメートル、範囲100m以上、長時間安定性)
	132 デバイス集積化のための微小領域の変位絶対計測(ピコメートル精度、ミリメートル範囲、真空中および大気中)
	135 赤外からテラヘルツ領域の波長を利用した、エアロゾル混在揮発性有機化合物(VOC)ガスのin situ分析技術(検出感度10ppm~1%@気体分子種に依存)
	136 従来の手法では計測困難な材料(ソフトマテリアル等)の劣化診断や非破壊検査が可能な3次元イメージング技術(テラヘルツ領域で3次元空間分解能100um、光波領域でサブマイクロメートル)
	2026
47 降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術	
59 世界最高強度( $10^9 e^+ / sec$ オーダー)陽電子ビーム施設	
101 台風時の高潮・高波と降雨による内水・外水氾濫を統合して扱う沿岸災害予測	
110 大規模噴火の降灰に対する都市機能や地域経済の脆弱性評価手法	
114 非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム	
124 黒体輻射シフト抑制等により高精度化し、ジオイド計測に応用可能な $10^{-18}$ 精度の光格子時計	
2027	
	67 ハドロン構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)
	103 地震動・津波の直接被害のほか、構造物倒壊、火災、液状化、漂流物等も含めた、広域複合災害の予測システム
	121 年間1エクサバイトの割合で生成される実験データを記録・保存し、1Tbps級のネットワークを通して世界中の大学・研究機関の研究者の利用に供する技術
	130 計測、伝送、信号処理からアクションまでをオール光でアダプティブに対応する、計測制御システム
	2028
62 TeV級の電子・陽電子コライダー技術	
64 ニュートリノのCP非対称性と質量階層性を解明するための大強度ニュートリノビーム生成技術及び大型ニュートリノ検出器技術	
95 データ同化やパラメータ最適化等の技術を導入した、大気・海洋の組成、生態系、物質循環などに関する地球環境予測モデル	
96 生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展による水循環変動及び水士砂災害等の予測	
116 大型輸送機器(船舶、鉄道、航空機等)の高信頼設計を可能とする、過去の事故・災害データや想定される気象災害シミュレーション結果等を用いた統合安全評価システム	
2029	
	2030
3 衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術	
2030	4 安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム

年	トピック
	13 重力波を直接観測する技術
	18 海洋中の距離 10, 000m で、100kbps を超える高速通信技術
	25 深海環境を再現し生物を大規模に飼育する技術
	26 メタンハイドレートの経済的な採取技術
	27 我が国の排他的経済水域における大水深下のレアアース・レアメタル探査及び採掘技術
	28 地球深部物質を汚染なしに取得するための大深度科学掘削技術
	29 人工衛星及び海洋・海中センサー等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
	30 全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見い出すための切迫度評価
	31 山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術
	33 火山噴火に伴う津波や融雪災害の発生予測・評価技術
	35 地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術
	36 地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
	38 地球内部で発生しているニュートリノを用いた地球内部の探査技術
	50 衛星搭載センサーで測定した大気上空の酸素の同位体比の情報を大気数値モデルのデータ同化に用い、天気予報の精度を向上させる技術
	54 レーザー駆動またはビーム駆動によるプラズマまたは誘電体航跡場を利用し、飛躍的な加速勾配を実現する新しい粒子加速技術(小型・可搬型の加速器・自由電子レーザー、アフターバーナー技術、高エネルギーコライダーへの展開)
	60 非周期物質生命系研究とその産業応用拡大に資する、パルス極冷中性子源や大強度中性子発生(中性子束 $5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ ) 研究用原子炉、及び中性子集束計測技術(中性子マイクロビーム、偏極中性子顕微鏡等)
	61 高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐力化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術
	88 イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術
	91 単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術(高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等への応用を想定)
	93 放射性廃棄物中の長寿命核種 $^{135}\text{Cs}$ を核変換技術によって無害化するために必要となる Cs 同位体分離に向けた、高強度 THz パルスを用いた量子制御技術に基づく新しい物質分離手法(同位体選択的加熱)
	94 イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術
	97 1km といった超高解像度の地球大気大循環モデルを用いた、20 世紀初頭から 21 世紀末に至るグローバルな気候変動の数値シミュレーション
	98 21 世紀末に至る全大陸上のエネルギー・水・物質( $\text{CO}_2$ 等)の収支が推計され、再生可能エネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスに関して今後懸念される問題点が 1km といった超高解像度で明らかになるシステム
	99 衛星からの水面高度計測や氾濫面積計測と数値モデルとを用いた逆解析により、河川の水深や流速を世界規模で広域に推計するシステム
	100 衛星観測並びに地上観測に基づき、人間活動も考慮した陸面水循環モデルを用いたシミュレーションによる、数時間から数日先までの全世界の洪水や渇水の予測
	102 ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション
	106 劣化に起因する事故を発生させない、大型工業製品(タービン、プラント、架橋等)等のシミュレーションによる劣化解析技術と高感度非破壊診断技術
	117 将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム
	122 電波領域からテラヘルツ、赤外光、可視光、UV、X 線領域までの広帯域コヒーレント周波数リンク技術
2030	123 平坦な広帯域スペクトル発生、位相レベルのタイミング制御、精密なモード操作・利用・合成など、個別応用ニーズに合わせて光波のあらゆるパラメータを自在に操作・制御して任意波形を発生させ、計測・物性科学等に应用する技術
	125 基礎物理定数の精密測定に基づく、光子の運動量を単位とした極微小な質量測定や力測定技術

年	トピック
	133 半導体の極限的な微細加工により可能となる光と物質の相互作用を用いた、通常のサイズの装置では考えにくい原理や性能を持つセンサー
	134 天文学(アストロコム)、分光データベース、環境分析、医療診断などへの応用のための、電波領域から光、X線領域までの超広帯域精密分光技術による絶対精度の測定技術
2031	12 ダークエネルギーの正体を解明する観測技術
2032	34 M7 以上の地震の発生時期(1 年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術
2035	6 宇宙太陽光発電システム
	55 大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術
	105 動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション
	107 ほとんどの材料(開発対象となる材料の90%程度)において、特性を要求値に適合させる逆問題的な材料開発
2040	2 科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築
	5 地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター
	63 100TeV 級の陽子・陽子コライダー技術

## 4. 6. 細目別重要トピックにおける要素技術

各トピックの設問に加え、2050年までを展望し、我が国の取組みとして、重要性の高いトピックを構成するための要素技術についての意見は、下記のとおりである(記載内容は、各回答者から寄せられた意見を掲載したものの)。

<p>1 宇宙利用を低コストで実現できるシステム(再使用型輸送システム、衛星等への燃料補給・修理点検・機器交換などのサービス技術等)</p>
<p>○微小重力下での液体制御技術、○熱管理技術、○繰り返し使用できる宇宙への輸送システム、○繰り返し利用の推進系、○高いレンジを有する機体開発、○社会的理解、○推進エンジン開発、○軽量高耐熱高剛性素材、○資源探査、○開発資金の導入、○推進装置(エンジン)、○熱防御システム、○ロボティクス、○微小重力発生装置(3Dクリノスタットなど)、○再使用／部分再使用型の機体開発。特に有人モジュールの開発、○推進系の制御技術を、より簡易に制御できるよう開発する必要がある、○宇宙利用のメリットを周知するための広報活動、○通信技術、○制御技術、○輸送技術、○現状より飛躍的に安価なロケットシステム、○再使用型ロケットシステム技術、○安価な推進薬の開発、○信頼性の高い宇宙輸送機器、○汎用化された技術・部品の利用、○高信頼・低コストな推進技術、○確実に帰還できるアボート技術、○軽量低コスト構造設計技術、○高性能エンジン技術、○手間の要らない再使用技術(帰還して簡単な点検で再度利用できること)、○ロケットエンジンの寿命と高効率輸送システムの確立、○ロケットの材料開発、○モーションコントロールシステム、○資金、○国際連携、○輸送機の振動特性やエンジンのシミュレーション技術、○輸送機の設計支援ツール、○人的な運用コストの改善、○軽量高強度材料の開発、○先端技術開発では無く、信頼性の高いシステムの構築、○前に続くが継続性によるコスト低下と信頼性向上を目指すシステム構築、○低コスト再使用エンジンと回収システム、○高比推力スラスター、○レーザーエネルギー伝送システム、○推進系技術、○熱防護技術、○地上と低軌道間の宇宙輸送コストを劇的に低減する再使用宇宙輸送システムの実現に資する超軽量熱防御システム、○宇宙空間で軌道間輸送機に燃料を補給したり、機器の修理・点検・保守等を行ったりする高機能な宇宙ロボット、○電気推進等による宇宙機の燃費改善、○宇宙機の共通バス開発、○低価格高性能で量産可能な液体燃料ロケットエンジンの開発、○低コストな機体回収システムの開発</p>
<p>2 科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築</p>
<p>○現地の資源を現地で活用する in situ resource utilization、○高信頼性の自立制御ロボティクス、○宇宙環境における人体の放射線被曝線量の計測および記録に関する技術、○地球外天体における人を含む生物の詳細な生命活動モニタリング技術(動物個体・組織におけるリアルタイムでの細胞死や再生の観察技術を含む)、○国際協力・国際連携、○国民の理解・支援、○財政面の支援、○大型宇宙往還機技術、○生命環境維持技術、○大型ロケット技術、○精度のより軌道制御技術(惑星周回軌道投入、エアロブレーキング、着陸技術等)、○軽量で信頼性の高い宇宙機バスシステム、○深宇宙通信技術、○有人飛行技術、○宇宙における人工物建築・資源探査技術、○宇宙における長期滞在に対する技術、○大まかに言って、スペースステーション技術等で基本的なものはすでにあると思う、○人類の生存のためには地球外への移住を可能にしておくことが必要という認識の共通化が必要、○地球外の居住区に関して、従来の国土に立脚したルールでなく、人類共同の財産であるという新たなルールを作ることが必要、○宇宙輸送機技術(特に液体推進薬管理技術(蒸発量低減技術))、○過酷な環境下で動作する機器類(ローバ等)</p>
<p>3 衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術</p>
<p>○生命科学の基礎研究(研究開発)への人的資産的投資が必要、○既存の有機物質による汚染が無いクリーン化技術(滅菌や殺菌ではなく、物理的・化学的にクリーンである環境を実現する)、○直接踏査による探査は太陽系内に限定される。宇宙望遠鏡などへの投資によって、大量に存在し多様な太陽系外惑星系での生命探査を推進すべきである、○具体的には、冷却宇宙望遠鏡、高精度の宇宙機の姿勢制御システム、大量のデータを地上に伝送する通信系などが必要になる。技術的障壁は大きくない、○小型・省電力・高精度搭載測器開発、○深宇宙通信技術、○深宇宙航行技術、○蛍光顕微鏡を用いて微生物を探査する技術</p>
<p>4 安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム</p>
<p>○宇宙デブリの捕獲方法によって違うので、たくさんあると思う、○地上および衛生からのデブリ観測システム、○観測に基づくデブリの位置予測システム、○安価なロケット打ち上げ技術、○デブリ回収および軌道変更技術、○デブリ把握技術、○低コスト、デブリ発生なしに宇宙と地上を行き来できる技術、○安全にデブリを捕獲できる技術、○宇宙空間における高エネルギーイオンビーム加速器の利用・応用、○大出力宇宙レーザー、○ロボット技術の向上、○遠隔操作技術の向上、○人工知能技術の向上、○安定した宇宙船の開発、○デブリの掌握システム(観測技術)、○デブリの破壊、落下、あるいは集塵システム、○国際的な衛星情報公開および、相互技術への信頼</p>
<p>5 地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター</p>
<p>○軌道安定化技術、○エレベーター安定化技術、○自然災害対策(台風、成層圏での気流・強風・高圧、雲間雷)、○カーボンナノチューブの大規模化</p>

6 宇宙太陽光発電システム
<p>○半導体製造技術の向上、○放射線に対する耐性、○大規模予算の確保、○地上へのエネルギー伝送技術、○太陽風に対する対策、○太陽からの放出物・放出エネルギーを宇宙空間において正確に評価定量する技術、○総合的なエネルギー収支を考察し、実現可能性を事前評価する技術、○火星の資源を利用して地球外で発電パネルを製造する技術、○再利用可能な宇宙輸送システム、○マイクロ波による安全な送電システム、○素子の対環境特性の向上、○マイクロ波送電技術、○太陽光直接励起レーザーの開発、○軽量高剛性な展開構造システム、○軌道上での構造物の自律的組立技術、○マイクロ波送電におけるビーム制御、○発電エネルギーの高効率変換技術、○発電エネルギーの地上への伝送技術、○宇宙プラズマ環境下耐久性向上、○太陽光全波長スペクトルでの変換効率向上、○宇宙ー地上間におけるエネルギー輸送技術開発、○宇宙への低コスト輸送システムの構築、○長距離無線電力送電技術の構築、○大型宇宙機の軌道上建設技術の構築、○安価に資材を静止軌道まで運ぶ、ロケットシステムの開発。種々の宇宙開発と連携して、安価なロケット開発がキーポイントであり、科学技術立国として重要なテーマ、○静止軌道から地上の受信アンテナまでの距離が相当有る。ピンポイントでマイクロ波を定常的に送る技術開発が急務、○過渡的に太陽エネルギーを衛星間で送るような、システム(小電力輸送)の利用が重要。その後、大型化していく、○発電後のエネルギー貯蔵方法の高機能化。高エネルギー密度・パワー密度のエネルギーデバイスの構築、○エネルギーの伝送技術。高エネルギー無線伝搬技術や宇宙エレベーターを通した有線低損失エネルギー伝搬技術の開発、○太陽エネルギーの電気変換の高効率化技術、○科学衛星などを用いた定常的な観測による地球周辺の宇宙環境の理解と、宇宙環境変動の宇宙太陽光発電システムへの影響評価、○宇宙太陽光発電システムから地上への送電技術の開発と、送電における地球環境への影響評価</p>
7 国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の 24 時間高精度監視システム
<p>○高精度リアルタイム単独測位、○撮像地点数を増加させるため、大口径望遠鏡を備えた大型光学観測衛星の高機動姿勢制御技術、○電気推進システムの実現と搭載システム技術の確立、○24 時間高精度に監視するための複数人口衛星の管制制御、○高精度に監視する基礎となる合成開口レーダー、○高度暗号化通信技術(量子暗号等)、○類似画像検索技術を含む高度なオブジェクト検出技術、○人工衛星の計測機器の高精度化、○人工衛星そのものの高信頼性化(太陽電池を含む電源や各種エレクトロニクス)、○気象観測の精度向上(リアルタイム情報処理および表示技術)、○高精度位置決定精度を定める姿勢決定システム、○データのリアルタイム処理および自動データ判読・解析する地上システム、○高分解能の画像センサー、○ビッグデータを含む状況認識処理分析技術、○いつでもどこでも情報取得伝達と 3 次元表示技術、○異常気象や大気汚染などの空間分布情報の高精度観測のためのレーザーセンシング技術、○高精度測定機器の開発にかかるリソースの配分、○大規模な計測データをリアルタイムで処理解析する技術の開発、○一地点について 24 時間連続監視は困難で、天候や昼夜も考慮し、独の RapidEye のような観測戦略を確立することが必要、○高性能の観測センサー技術(例えば高空間分解能の可視域センサーや熱赤外センサーなど)、○観測データからの情報抽出・提供技術、○安価で高信頼性の衛星打ち上げ技術</p>
8 農業の無人化・自動化及び農業管理による生産性向上のため、人工衛星により、リアルタイムに誤差数 cm 程度の正確な位置情報を提供する高精度精密測位技術(原子時計の性能向上を含む)
<p>○高精度 複数のポジショニング衛星の運用技術、○自動運転の安全確保技術、○GPS デバイスの低電力下、○農作物リソースを用いた高付加価値アプリケーションとそれに必要なプロセス技術(化学原料等から化学製品までのプロセス等)開発、○通信等を用いた他の位置計測システム、地理情報システムとの密な連携手法、○農業機械側での位置情報取り扱い技術の標準化</p>
9 宇宙の商業利用(有人、超小型衛星など)の円滑な推進のための簡便で汎用可能な宇宙機管制システム
<p>○宇宙ステーションの有効利用、○月探査の生命科学に関する基礎的研究、○火星探査の生命科学に関する基礎的研究、○衛星の軌道精度向上のための推進系の高度化、○システムの高度化、低コスト化(地上、衛星(打ち上げも含む))、○観測技術の向上</p>
10 宇宙初期のインフレーション仮説を検証するための観測技術
<p>○マイクロ波背景放射の超精密測定、○衛星上で測定装置を運用する技術、○データ解析、○理論的な解析</p>
11 ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術
<p>○観測装置の大型化・精密化、○人的・資金的バックアップ、○極低放射能技術、○大型化技術、○高感度光センサー技術、○超高感度量子センサー技術、○超低バックグラウンド実現のための高性能放射線同位元素分離技術、○加速器技術、○検出器技術、○ビーム制御技術、○検出器技術、○データ取得および処理技術、○低バックグラウンドで大型の検出器を実現すること、○光センサー、○低放射能化技術、○地下実験室環境の整備、○従来の 2 倍の磁場を発生する超伝導電磁石を従来並みのコストで製造する技術、○円形電子・陽電子コライダーのエネルギーとルミノシティを最大限に高めるためのビーム力学的設計、○検出器の開発、○超低温技術、○低ノイズデータ取得技術</p>
12 ダークエネルギーの正体を解明する観測技術
<p>○宇宙を広範囲かつ詳細に観測する望遠鏡技術、○ガンマ線、エックス線から遠赤外線にわたる広範囲の波長に対する光観測技術</p>
13 重力波を直接観測する技術

○重力波との相互作用に関する基礎理論の構築、○極低温技術、○大規模計算機制御技術、○超高性能光学技術(超高性能反射鏡など)、○電波望遠鏡を使ったパルサータイミングアレイのためのデータ解析手法、○人材育成、○国際競争に勝つために、計画の停滞をさけること、○効率的な冷却技術、○制震技術、○低温材料技術、○レーザー光学、○周波数安定化レーザー、○量子力学(素粒子に関する研究)、○制御工学(大規模レーザー干渉計の振動制御)、○極低温技術(大規模レーザー干渉計の制御)
14 宇宙線ミュオンを用いたイメージング技術
○大面積高位置分解能検出器、○安定的屋外検出器設置技術、○宇宙線と直接関係ないのですが、世界に1台しかないμSRなどの装置をちゃんと性能向上・普及・活用して行くことは大切です、○解像度の高い検出器が必要です
15 海面から海底までのCO <sub>2</sub> を測定可能なセンサー
○現在のセンサーの6000m耐圧化、○白色光ライダ、○高感度のセンサー、○長寿命電池、○データ伝送、○まずは、水平方向および垂直方向の連続性を把握すること
16 11,000m級有人潜水船
○配電装置、ケーブルの耐圧、耐水性能、○重圧下の全体構造検討、機器の性能維持、○耐圧殻の製造技術、○有人潜水船の運用技術(運航・操縦・整備と活用を含む)、○深海まで潜れる耐圧性の確保、○長時間潜水をかなえるため、船内の空間確保、○潜水船と母船をつなぐ有線の軽量化・耐久性の確保、○若手の安定雇用、○耐圧殻の材料(薄く、軽く、強い)の選定と加工技術
17 海中において、母船等の補助なしで、絶対位置を計測できる技術(海中ロラン、海中GPS等)
○地磁気センシング、○音源定位技術、○音響測距の高精度化、○低消費電力の姿勢センサーの開発、○低消費電力・高機能の自律制御システム、○水中音響技術(音波伝搬についての高度な理解と応用)、○水中の温度分布計測、予測技術(音波伝搬に直接影響する温度分布の詳細な計測と予測)、○音響トモグラフィ解析技術
18 海洋中の距離10,000mで、100kbpsを超える高速通信技術
○水中レーザー通信技術
19 自律無人探査機(AUV)により、完全自動化された調査を長期的(数か月)に実施する技術
○AUVのハード面、ソフト面での総合的性能の向上、○AUV動作に必要なエネルギー供給手法の開発、○海水中でのデータ校正機能を伴う現場センサーの開発、○音響計測技術の向上、○深海潜水船構成素材、○深海位置制御・航法、○深海との通信、○モーターや通信デバイス等の省エネルギー化技術、○AI技術、○海水中の通信技術、○海洋の温度差発電によるエネルギーの自給技術、○観測データを浮上せずに定期的に送信する技術、○海中での絶対位置計測技術、○人工知能をはじめとするソフトウェア、○センサー技術、○搭載生物地球化学・生物センサーの開発、○駆動電源の確保、○生物付着、○電源の開発もしくは原子力電源の利用可能な社会環境、○人材育成。船舶や探査機自体ではなく情報・機械系のプログラミングが得意な人材の海洋分野での育成、○ROVやAUV技術の標準化による、開発プラットフォームの開放、○海中での位置出しを行える技術、○大量のエネルギーを確保する技術(燃料電池かそれ以上の性能)、○海中での長距離大容量通信技術
20 自律無人探査機(AUV)同士が協調して作業する技術
○海水からのエネルギー供給、○海中GPS、○自律推進制御
21 氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術
○氷海域で活動可能な砕氷船等のプラットフォーム、○豊富な資金、○国際的にリーダーシップをとれる人材育成、もしくはすでにリタイアした人の再雇用、○氷海用AUV(自立型無人潜水艇)と無人航空機、○極域通信網整備、○船体ヘルスマonitoring用簡易型センサー群の開発、○AUVが基地から長距離離れた場所で継続的に活動するための技術開発、○海底からの石油噴出等を抑制して安全に資源を探査する技術、○海底仕上げ・生産設備とメンテナンス技術、○砕氷輸送技術、○低温氷海域での構造物建造・運転技術
22 係留索を用いない定点時系列観測技術
○海上での高精度海上気象計測、○衛星通信技術、○水中音響技術、○定点保持を行う水中グライダー等の国内での開発が必要、○搭載するセンサーも国内製品を利用し、部品調達が容易な環境で繰り返し試験を実施することが必要、○集中的な予算と人員の投入が必要、○ロボット分野の技術の積極的な導入、○再生エネルギーを活用した定点維持システムまたは移動システム、○物理、化学、生物センサーの開発、○レーザーなど音響技術を用いた広範囲観測技術の開発、○航路、漁船、飛行機など日常的に対象範囲を通過している乗り物にリアルタイムモニターセンサーをとりつけて、定点観測に適用する技術の開発および適用、○宇宙からのリモートセンシング技術の適用、○リアルタイム伝送システム、○腐食防止機構、○安定したセンサー群の開発、○自動昇降機能、○母船、○自然環境の情報の収集技術、○浮体の制御技術、○流れに抗して、効率的に低燃費で位置を制御する技術
23 超小型電子チップ埋め込み等の技術を用いた海洋(深海含む)におけるバイオリギング技術
○電子チップの超小型化、○電子チップの回収方法、○電子チップの耐圧性、○日本初のこの技術を伸ばすため、予算的措

置が最も重要な課題である、○バッテリー容量が記録時間の制限要因となっているので、バッテリーの開発が重要、○データを得るために現在は装置(記録計)の回収を必要とするが、データ転送技術が発達するとこの問題をクリアできる、○バイオリギングセンサーの開発、特に映像技術、○バイオリギングセンサーの実装、特に飛翔性鳥類
24 海洋中の微小生物(1mm まで)の in situ 遺伝子解析技術
○多様な試料を現場で分析するための分析機材、○ハイスループット環境メタゲノム解読を、原核生物と真核生物の両方を同時にアセンブリまで正確に行なう技術、○海洋のあらゆる環境からあらゆるものをサンプリングできる技術(例えばフルデプス有人潜水艇を含む)、○メタゲノム解析により存在が確認された生物の培養・飼育技術、○ナノボアテクノロジーによる遺伝子解析技術、○insitu フローサイトメーター、○insitu 次世代シーケンサー、○高度な光量子センサー、○特殊な光で反応する遺伝子の発見、○海洋中の微小生物からの遺伝子精製法、○目的を限定して考える必要がある、○現行の技術の延長でも 15 年程度あれば実現が可能かもしれないが、ブレイクスルー的な新しい解析法が生まれれば、早まる可能性が大、○遺伝子解析のための高性能機器の開発
25 深海環境を再現し生物を大規模に飼育する技術
○動物プランクトンの鉛直移動の解明、○内部潮汐によるプランクトンの輸送過程の解明、○効率的な深海調査技術、○対象生物を生きたまま捕獲回収する技術、○飼育環境を再現する技術
26 メタンハイドレートの経済的な採取技術
○大気を汚染しないで効率よく採取する事、○深海から、物を安価に引き上げる技術、○集中的に産出するための技術開発、○産出すること自体に必要なコストの削減や削減技術の開発、○国の理解と予算配分、○高圧環境下でのメタンの気化、○エネルギーのコストパフォーマンス、○安価な水平掘削、メタンガスハイドレート取り出し技術、○掘削リグの開発、生産能力、○海底パイプラインおよび洋上天然ガス液化技術、○掘削技術、○オンサイト測定技術、○輸送技術、○深海からメタンハイドレートが豊富に存在する場所を調査する、○メタンハイドレートの無人採掘技術を開発する、○深海作業に係わる作業状況の情報収集、採掘作業管理の方策を確立する、○資源量評価技術、○大規模掘削時の環境影響評価、○内部侵食、○目詰まり、○安価に深海から採取できる経済的な方法の確立、○地球温暖化に配慮した利用方法の確立、○採集後の輸送技術が不可欠、○コスト低減、○メタンハイドレートの分解(ガス化)を阻害する機構の確立
27 我が国の排他的経済水域における大水深下のレアアース・レアメタル探査及び採掘技術
○自然保全技術の確率、○大水深環境からの採掘試料の効率的かつ大規模運搬技術、○探査技術、○回収技術、○精製技術
28 地球深部物質を汚染なしに取得するための大深度科学掘削技術
○採取されたサンプリングコアの保管研究環境の更なる向上と整備が必要、○コアビット付近でのその場観測技術の拡充、○深海底掘削技術
29 人工衛星及び海洋・海中センサー等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
○政治力、○データ処理システムの融合(同化)がキーとなると思います、○人工衛星打ち上げによる GPS 実現技術、○センサー技術、○高解像度リモートセンシング、○センシングデータ(ビッグデータ)処理による実際データを精度良く再現できるモデリング技術、○スパースモデリング、○船舶、○有人・無人探査機、○AUV、○長期間の観測可能なセンサーの開発、○赤外線領域等の観測センサー技術、○観測データからの情報抽出・提供技術、○三次元的に地下資源の分布状況を把握する技術開発が必要になっている
30 全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見出すための切迫度評価
○全活火山のうち約半数にしか整備されていない火山監視・研究観測施設を、全活火山に整備することが最重要、○気象庁、大学、関係研究機関が連携し、大量のデータから異常を検知し、総合的に判定する手法の開発に重点的に取り組む、○個々の火山形成史を編むための地質調査、○岩石の年代測定法、○噴火規模見積りの高度定量化、○現在の地表観測に加えて、ミュオグラフィ技術を支える観測設備の強化、その小型化にむけての改良、○人材育成。特に大学の常勤研究者を増やすこと。特に地方にある火山観測所の人員増が必要(その分東京を減らしてよい)。気象庁の火山部署への火山学を専攻した博士学位取得者の採用が欠かせない、○基礎研究の充実。火山構造、噴火機構、マグマ蓄積評価の研究推進。特に、これらの研究の中心である定常的な火山観測を行っている組織での論文生産性の向上が必要、○老朽化した観測施設の更新。特に大学が持つ定常的な火山観測施設の老朽化が著しく、法人化以降新設はない。大学の観測施設の更新が急務、○火山体内部、特にマグマ溜りの挙動を捉えることのできる技術(従来の地震学的手法以外の新技術)、○火山性地震観測、○山体地殻測量(変動測量)技術、○有史火山噴火史解明、○個々の火山の詳細な火山地質調査(1960 年代の地質データが未だに使われている火山が多いが、詳細な火山地質調査のできる人材が減っている)、○地球物理測定技術の向上、火山観測地点を増やすこと、地質年代測定技術(特に 5 万年から 10 万年前の年代測定)の向上、○火山地質と火山物理学の連携(火山地質と火山物理学の両方を理解できる人が少ない。人材の育成が必要)、○この分野への研究者人口の確保、○研究組織や機構の設置、○長期的かつ継続性のある研究資金確保
31 山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術
○レーザー地形測量の全国的かつ定期的な実施体制、○山体地下に存在する脆弱性材料の分布把握技術、○砂防、○センサー設計、○地理情報システム、○デジタル地形モデル、○深部探査技術



32 火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術
○マルチコレクターを用いた Ar 同位体高精度分析装置の開発と普及、○若手火山研究者の育成、○単に年代測定のみではなく、過去の噴火史・活動履歴を噴出物層序に基づき明らかにする、火山地質・層序学の基盤的技術
33 火山噴火に伴う津波や融雪災害の発生予測・評価技術
○コンピュータ・シミュレーション、○この課題に関連した地質情報の取得、○モデル実験と実例解析に基づくシミュレーション技術の向上
34 M7 以上の地震の発生時期(1 年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術
○マイクロゾーニングを考慮した地震動の振動特性予測の精度向上、○毒劇物、危険物の貯蔵保管状況に関する実態把握の精度向上、○地震被害モードの予測に関する精度向上、○高精度 GPS 網を用いた地表面微移動から地震を予測する技術、○人材育成、○社会的理解、○地殻内断層蓄積を測定する技術、○地殻内断層ズレの時期を予測する技術、○観測網の継続的維持管理、○新たな観測技術の開発、○地震予測モデルの開発、○M7 クラスの地震は、M8 クラスの巨大地震に比べてデータが少なく、活断層も多く、調査は不十分であり、調査技術の開発と現地調査を推進すべき、○震源が浅い地震が多く、被害も激甚になるので、大きな外力による被害の予測技術を確認すべき、○不確実性の評価とそれに対する社会的合意形成が重要
35 地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術
○全国に多点型光ファイバー式ひずみセンサー網を設置し、地殻ひずみ分布を連続測定する、○地殻ひずみ分布の時間変化と地震発生との関係を理論的および経験的に評価する、○断層面上における歪み、応力、構成物質等の観測データの取得、○断層面上における摩擦法則の解明、○過去の地震履歴の分析、○地表と大気圏の静電気蓄積量をエリアごとに計測する技術、○地震の発生履歴を調べるための高精度な年代測定技術、○活断層が連動するか否かを判断するための評価手法、○稠密な広帯域地震計等による観測、○海域におけるできるだけ稠密な広帯域地震計等による観測、○地殻のひずみ変化を正確に観測するための陸域・海域での地殻変動観測技術、○過去の地震の履歴を数千年にわたって調べるための地形・地質学的調査手法の確立、○周辺域との相互作用やランダム性を考慮するための断層帯での地震発生シミュレーション技術、○海底での長期的な重力観測、○地殻の応力場の観測、○GPS による地殻変動観測の高密度化、○地質調査による断層の調査、○現在のみならず長い時間スケールにおける過去の地殻変動を正確に把握する、○物質科学研究による鉱物と岩石の物性特定。これも短時間のみならず長時間に於ける変形を明らかにする必要がある、○現在国内で行われている地殻変動測定データの蓄積とさらなる解析
36 地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
○日本列島の太平洋側に、海底ケーブル地震計観測網を満遍なく配置することが必要
37 海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術
○長期モニタリングシステム、○腐食防止、○洋上からの海底変動計測手法、○多数展開した際の維持管理に関する技術、○安価に信頼性の高い装置を製造・設置する技術、○安価にデータ収集・メンテ可能にする技術
38 地球内部で発生しているニュートリノを用いた地球内部の探査技術
○高感度撮像技術、○海底敷設技術、○ニュートリノ検出設備技術(カミオカンデ)、○世界各地にニュートリノ検出設備を設置するアライアンス、○地殻構造、核融合反応・反応痕跡を明らかにする解析技術、○低エネルギーのニュートリノの測定技術
39 海底測地測量技術
○砕氷性能と音響測定装置設置の両立、○海中音響測距技術の高度化、○省電力型の高精度姿勢・重力センサーの開発、○遠距離音響データ通信、○研究費、○人材、○技術開発、○海底基準点精密測定技術の普及化(特別な測量船に限らず、普通の観測船でも海底基準点が測定でき、その測定成果が応用できるようにする技術)、○レーザー技術、○音響技術
40 人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で高精度・高感度に観測する技術(GCOM-C で分解能 250m、観測幅 1000km 程度。GCOM-W で 1450km 程度。)
○多波長の同時観測、解析技術、○打ち上げ後のセンサー校正の高精度化、○衛星本体およびセンサーの耐久性の向上、○衛星観測が連続的になされるような戦略がまず必要である、○1. を実現するため、高精度地球観測衛星を作ると同時にコストを抑えて継続性を重視した「量産型」衛星を作ることが必要である、○1. 2. で得られたデータを効率良く利用できる枠組みを日本を中心にグローバルで展開させること、○雲とエアロゾルの判別手法の確立、○高解像度と精度を兼ね備えたセンサー技術、○複数の衛星を同一軌道に乗せるコンステレーション技術(国際的には実施されているが、日本だけでそれが可能か?)、○高頻度観測に伴うデータ増大への対応(データ保存技術、転送技術、高速解析技術)、○地球物理および熱流体力学などの研究をもっとすすめるべきではない、○すでに衛星の主要部分は開発済みである、○データの長期取得とモニタリングが必要であり、シリーズ化が重要である、○マイクロ波サウンダの高性能化、○雲レーダー、降水レーダーの高性能化と軽量化、○水蒸気、降水、雲エアロゾルの同時観測と継続観測
41 人工衛星等による、イメージング分光計技術を用いた大気微量成分観測システム

<p>○遠方の静止軌道から十分な SN で観測可能な衛星センサーの開発、○衛星観測データを効率的にダウンリンクする技術開発:場合によってはレーザービームによる光通信も、○地上検証のためのハイパースペクトルカメラなどセンサー開発およびアルゴリズム開発、○レーザー技術 耐衝撃性 無保守化 長寿命化、○光検出器の性能向上、○面的に連続的な濃度情報を精度よく取得するための分光技術(回折格子、フーリエ変換赤外分光計等)、○真値を保証するための精度の高い地上からの検証観測システム、○非常に微弱な吸収度しか示さない重要な微量成分濃度の導出技術</p>
<p>42 人工衛星等による、ライダー技術を用いた植生環境把握システム</p>
<p>○地上検証データの整備、○長期的気候観測との連携、○人口動態との連携</p>
<p>43 東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術</p>
<p>○衛星高度が高いことから、大型の望遠鏡を静止軌道まで打ち上げて運用する技術、○衛星高度が高いことから、衛星の姿勢制御技術、○晴天時以外に代替となる技術(光学観測だけでなく、電波観測も含めた検討)、○軌道上で超大型アンテナを展開するための技術革新、○静止衛星の観測能力の向上は、高頻度 高分解能観測を可能にする。そのためのセンサーの高度化、○レーダー衛星を中心とした天候に左右されない観測体制および変化抽出手法の確立、○データ同化、○衛星リモートセンシング観測、○モデルシミュレーション、○土砂の動きの短時間把握、○雲下の画像再現技術、○取得画像の高解像度化技術、○現地観測の強化、○高い空間分解能のセンサー技術、○センシング技術、○データ通信技術、○利用分野のデータ解析研究</p>
<p>44 水産業等に利用するため、人工衛星等により、海氷、海面温度、波浪、海流、クロロフィル等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム</p>
<p>○陸-海間の高速通信技術の開発、○海水耐性の強い機器の開発、○洋上発電装置の開発、○複数センサーの統合による同時観測、○大量データ伝送システム、○水産業従事者などが容易にタブレット端末などから海況データを利用できるような web ベースのデータ配信技術、○雲などによる赤外や可視域の光学データ欠損を他のデータや数値モデルにより補うためのデータ補完技術、○得られた海況データを元に漁業資源量を推定可能な全球海洋生態系物質循環モデル技術、○リモートセンシング、○衛星関連技術、○衛星搭載センサーの精度向上、○データ解析システムの開発</p>
<p>45 30km 程度の格子間隔で、表面から海底までの水温、塩分、溶存酸素、栄養塩、全炭酸を高精度で自動計測する技術</p>
<p>○現在観測している ARGO フロートでは流されてしまうため、水中グライダー(国産)の開発が必要、○大量の水中グライダーの投入が必要なため、コストダウンのために、本体および測器の小型化が必要、○大量の水中グライダーの投入・回収を行う母船の創設が必要、○耐圧型の pH センサーをできるだけ安価に開発すること、○海洋酸性化に対する生物(炭酸塩プランクトン)の応答を把握するための現場型資料採取装置、○長期間観測に耐えられるセンサー、○キャリブレーションシステム、○メンテナンスのための母船、○海中の溶存酸素と衛星観測によって得られるスペクトルとの関係解析</p>
<p>46 沿岸海域や縁辺海を含む全球の海象状況や海底地形を把握するための、干渉 SAR 技術による高精度海面高度観測システム</p>
<p>○送信衛星から送信されて、海面で反射した電磁波を捉えられる位置に正確に受信衛星を配置する技術、○複数衛星間で送受信を行って干渉 SAR 画像を得るための解析技術、○捉えたい海象状況の時間スケールで 1 シーンの撮影を完了するよう走査時間を高速化する技術、○干渉 SAR 技術による海面高度の測定技術、○衛星の姿勢の感知および制御技術、○大容量データの地上へのダウンリンク技術、○沿岸域の海面高度は、外洋域に比べて潮汐や副振動など相対的に雑音が大きくなり、それを除去するモデル開発が必要</p>
<p>47 降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術</p>
<p>○地形に係わらず正確に降水量を把握できる技術、○地形・地質と雪氷災害を結び付けられる技術、○データ伝送技術、○地球規模気候シミュレーション</p>
<p>48 高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術</p>
<p>○計算機の高精度化、○シミュレーションで使用される式の高精度化、○リモートセンシングに基づく観測ネットワークの充実(特に衛星観測と地上設置のレーダーやライダーなど)、○データ同化技術の向上、○数値モデルの性能向上(雲物理過程や乱流過程、放射過程などの物理過程も含む)、○計算機資源、○人材育成、○観測網の充実(地上レーダー、航空観測 など)、○災害リスク回避行動の基本的考え方の転換、○多偏波多波長レーダ気象観測、○高速度コンピューターの開発、○スーパーコンピューティングシステム(ポスト京)、○静止衛星観測、○気象ドップラーレーダー、○気象シミュレーション技術の高度化が必要、○観測データ(時系列)の空間的、時間的処理が重要、○予測結果と実際の気象データとの突合せによる技術的な見直しシステム(常時改良できるシステム)の開発が重要、○乱流構造解析、○液-気連成解析、○マルチスケール解析、○高解像度の計算を可能とするスーパーコンピュータ、○データ同化に必要な現場観測データ、○極端現象のシミュレーションに必要な雲などのパラメタリゼーションの開発、○メソスケールの諸現象の発生メカニズム、発生環境に対する観測的な解明、○超大容量、超高速計算機システムの構築、○高密度レーダー観測網、○高解像度シミュレーション、○小スケールデー</p>

<p>タ同化、○小スケール大気力学、○詳細な地上リモートセンシング網、○海上センシング情報の安価かつ大量の送信、○可読型プログラミング技術の開発、○観測網の細密化、○モニタリング</p>
<p>49 短期の気象から長期の気候変動までを単一のモデルのフレームワークによって取り扱うシームレス予測技術</p> <p>○異なるスケールの気象現象を統合するようなモデル、○シミュレーション、○局地的気象現象の観測装置の密度の向上、○シミュレーションのための計算機の開発、○NICAM など気候変動力学フレームの発展、○排出インベントリ、地表面データ、将来シナリオなど入力データの整備、○予測検証のための観測データの蓄積、○研究者の安定雇用。モデル開発には時間がかかるので、数年単位での結果を求め過ぎない、○スーパーコンピュータの開発運用、○気象業務法の緩和</p>
<p>50 衛星搭載センサーで測定した大気上空の酸素の同位体比の情報を大気数値モデルのデータ同化に用い、天気予報の精度を向上させる技術</p> <p>○検証用データとしての降水中酸素同位体比測定ネットワークの構築、○検証用データとしての地上水蒸気中酸素同位体比測定ネットワークの構築</p>
<p>51 波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たな X 線光学素子</p> <p>○精確な理論計算、計算機シミュレーション、○X 線の光学技術、○結晶の安定化、高速化、最適化</p>
<p>52 現行に比べ 70%以上の省エネルギー・省メンテナンス型の X 線光源</p> <p>○永久磁石を用いた偏向磁石などの製作、○精密な集束電磁石のアライメント技術、○ビームの振る舞いを制御するビーム工学技術、○次世代放射光技術、○永久磁石を用いた加速器光学系技術の開発、○高周波回路や電磁石用の省エネ電源回路</p>
<p>53 産業用自由電子レーザー (FEL) ベース EUV リソグラフィ光源</p> <p>○電子源。500kV 程度の高電圧と 10mA 級の大電流が必要。前者は JAEA、KEK で、後者はコーネル大で別々に実現済、○超伝導加速器。KEK のコンパクト ERL で試作機を使ってビーム試験中、○高輝度大電流電子ビームをアンジュレータに導くビーム圧縮・輸送技術。コーネル大学で 10MeV まで実現、○光源強度、○省スペース化、○高変換効率、○CW 超伝導空洞、○高輝度電子銃、○高性能アンジュレータ</p>
<p>54 レーザー駆動またはビーム駆動によるプラズマまたは誘電体航跡場を利用し、飛躍的な加速勾配を実現する新しい粒子加速技術 (小型・可搬型の加速器・自由電子レーザー、アフターバーナー技術、高エネルギーコライダーへの展開)</p> <p>○大電流に耐える超伝導技術。粒子の加速が実現出来たとして実用に供するには省電力が必須の技術、○ビーム密度の観測及び制御技術、○大強度超短パルスレーザー生成及び制御技術、○100 MeV 級の高エネルギーイオンビームの同定手法開発、○プラズマ状態を実時間モニターするプラズマ診断装置開発、○高繰返し・高安定な加速勾配を提供する種々のターゲット技術開発、○コントラスト比の低いレーザー装置の開発、○レーザー伝送の自動化 (レーザーの光軸制御)、○レーザー技術者の育成、○レーザー装置の小型化・高効率化、○高出力レーザー開発、○フェムト秒時間分解能計測技術、○プラズマ制御技術、○大強度レーザー設備の整備、○加速粒子の高エネルギー化技術、○高安定性、高連続性の粒子発生技術、○生成粒子の正確な計測、制御技術、○レーザー装置の開発、○プラズマ計測技術、○ビーム輸送技術、○レーザー駆動粒子線加速技術、○高輝度レーザー光源</p>
<p>55 大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術</p> <p>○超伝導陽子リニアック、○熔融塩炉、○トリウム核燃料サイクル、○加速器の大強度化または複数使用での大強度実現、○非常に高いビームパワーを安全に扱えるようにする周辺技術。放射線レベルや機器異常検出から停止への適切な操作、○実験設備、○理論・実験双方の連携、○人材、○陽子加速器の大強度化、○加速器駆動原子炉と発電用エネルギー取出しの方法の開発、○中性子生成ターゲット技術、○未臨界炉技術、○社会的受容性、○加速器駆動原子炉はエネルギー効率の観点から不相当だと考える、○核変換技術はビームのエネルギー損失と核反応のエネルギー依存性から非常に難しいと思われるが、非常に重要な問題なので取り組むべき。ビームに対する核燃料廃棄物の配置が非常に重要であると考え、○核変換を行うターゲットや原子炉設計の要素技術の確立を早急に進めることが重要と考える、○高信頼性大電流超伝導陽子加速器システム、○大電流による発熱に耐えるビーム窓の開発、○システムの信頼性確保と LCC 低減のための固体高周波電源の開発 (電子管に対して)、○大強度陽子加速器の開発、○ターゲット冷却と熱回収の経済的なサイクルの確立、○高レベル放射線環境下で稼働する高機能作業ロボットの開発</p>
<p>56 中性子線や X 線等を用いて、地下構造、地上構造物、機械構成材料の 3 次元応力・ひずみ分布を非破壊、非接触で、その場測定するための小型・可搬型加速器</p> <p>○小型電子加速器、○大面積位置敏感型 X 線検出器、○多チャンネル信号処理回路、高速信号処理技術、○小型加速器技術、○小型検出器技術、○簡易な取扱い方法、○加速器の小型化、ローコスト化、○小型加速器の低要素数化、信頼性の向上、○省エネ、○原子分子の力学と連続体物理学をシームレスに接続する理論、○小型の加速器技術、○放射線遮蔽、○flag-erit 等の開発、○イオン源、○超電導技術、○小型中性子源、○小型高強度 X 線源、○ソフトウェア開発</p>
<p>57 物質・生命科学研究に利用するため、軟 X 線および X 線領域における回折限界光を生成・加工する技術</p>

○20MeV 大電流電子蓄積リング、○10KW 入射機、○ダイヤモンドライクカーボン薄膜生成、○先端加速器技術、○先端光学素子技術、○先端計測技術、○光源用電子加速器技術、光ビーム制御技術
58 電子ビームとレーザーの相互作用を利用し、アト秒パルスの放射光を発生させる技術
○高精度な高エネルギー電子加速器、○アト秒同期レーザー
59 世界最高強度( $10^{19}e^+/sec$ オーダー)陽電子ビーム施設
○スピン偏極陽電子ビーム発生・制御技術、○陽電子コンバータ冷却技術、○陽電子モデレータメンテナンスシステム、○高出力かつ低コストの電子ビーム加速器技術、○高強度陽電子源の開発、○電子利用と同様の広がりをもつ、陽電子利用関連の研究者・技術者の協力、○高強度陽電子ビームターゲットの冷却技術を国内技術として確立すること。世界的には実現している、○偏光フォトカソード・リニアックを利用した高強度スピン偏極陽電子ビーム生成、○高等教育からの教育を含めた基礎学力の向上と人材の育成、○多くの施設に分散して発展される方が良い(互いに独自の競争力を高めるため、共同研究で進めるのはかえってマイナスと考える)、○加速器技術。わが国にはすでに多くの技術があり、それを利用すれば実現は可能である、○陽電子生成の技術。わが国にはすでに多くの技術があり、それを利用すれば実現は可能である、○陽電子ビーム高品質化の技術。わが国にはすでに多くの技術があり、それを利用すれば実現は可能である、○電子ビームドライブ方式では、高耐熱性ターゲット、○逆コンプトン方式では、高強度レーザーや高変換効率ターゲット、○アンジュレータ方式では、小型・省電力加速器
60 非周期物質生命系研究とその産業応用拡大に資する、パルス極冷中性子源や大強度中性子発生(中性子束 $5 \times 10^{14}n/cm^2/sec$ )研究用原子炉、及び中性子集束計測技術(中性子マイクロビーム、偏極中性子顕微鏡等)
○中性子高感度高 S/N 検出器、○中性子収束光学系、○効率的な中性子遮蔽体、○高出力密度に耐える燃料要素開発技術、○高度核計算技術、○高度熱計算技術、○理想的な減速特性をもった中性子減速材の研究開発、○高い位置分解能、高計数率を有する中性子検出器の開発、○物質の動的構造因子や磁気相互作用を含めた中性子輸送計算が可能なシミュレーションコード、○偏極中性子発生技術、○中性子集束技術、○高輝度中性子発生技術、○大強度中性子用原子炉は欧米に各 1 台づつしかなく、炉技術のキャッチアップが必要
61 高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐久化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術
○コヒーレント合成(高出力レーザーを束ねる技術)、○半導体レーザー、○高耐久光学素子、○レーザー設計・開発できる研究者の養成、○極限集光技術、○光学素子の安定性と再現性、○レーザーの位相制御技術、レーザーの空間モードの分割・結合技術と帯域の分割・結合技術の両方のアプローチが必要、○高耐久の光学素子製造技術、多層膜によるレーザー鏡、回折格子等の分散素子のレーザー耐性の向上が必要、○高平均出力レーザー技術、コヒーレント結合を前提とした、パルスあたりの出力よりは繰り返し周期の向上を目指した新型レーザーの開発、○超低ジッター位相ロックシステム、○フィードフォワード制御、○最新のコンピュータ制御技術を兼ね備えた新しいパワーレーザーを開発すること、○高耐久光学素子を損傷誘発原因の物理解釈までさかのぼって解明すること、○コンピュータ制御に資するレーザー性能診断技術を開発すること
62 TeV 級の電子・陽電子コライダー技術
○高勾配加速空洞、○ビーム収束系、○ビームプロファイルモニター、○超伝導加速技術、○コライダー測定器技術、○加速器技術、○超伝導空洞の量産化技術、○陽電子源の確実性を向上する技術、○超伝導加速技術のコストダウン、○省エネルギー技術、○高度なビーム制御、○高電界超伝導加速空洞、○ナノビーム制御、○最先端粒子測定器、○超伝導加速空洞技術、○ナノサイズのビーム制御技術、○超高精度量子検出器技術、○大強度陽電子源、○ナノメータ電子・陽電子衝突技術、○安定超伝導線形加速器技術、○超伝導加速技術、○衝突点でのビーム収束、○陽電子生成技術、○長期間、安定に陽電子ビームを供給できる技術、○加速勾配が確実に担保できる超伝導加速空洞の量産、○ナノサイズのビーム制御、○超高加速電場空洞によるコンパクトかつ安価な加速装置、○低エミッタンス入射ビームの生成技術、○高電界加速空洞の開発、○長距離の精密測量技術、○衝突点での nm オーダーのビーム集束、○超伝導加速空洞、○高精度ビーム制御、○効率の良い加速方法の開発、○ルミノシティを向上させる方法の開発、○高効率、高い PID、汎用性の高い検出器とそのデータの解析システムの開発、○加速空洞のコストの削減、○超伝導加速技術、○超小型半導体光センサー、○超微細ピクセル半導体粒子測定器、○超伝導加速空洞、○ナノメートルビーム収束技術、○実験のための最先端粒子検出器とそれらを統合した測定器システム、○超伝導加速空洞の製作技術の確立、○大強度陽電子源の技術確立、○衝突点付近のビームダイナミクス、○大量生産を念頭においた超伝導空洞に関する技術開発、○大型ヘリウム冷凍機設備に関する技術開発、○高品質ビーム生成に関する技術開発、○超伝導加速器技術、○ナノビーム制御技術、○大強度陽電子源実現の技術
63 100TeV 級の陽子・陽子コライダー技術
○新しい超伝導素材、○地下トンネル掘削コストを低減するための土木技術、○ $>16T$ の超伝導電磁石。LHC(8T)の 2 倍の磁場の電磁石を少なくとも長さ当り同じ値段で実現する。高温超伝導体とも組み合わせる
64 ニュートリノの CP 非対称性と質量階層性を解明するための大強度ニュートリノビーム生成技術及び大型ニュートリノ検出器技術
○J-PARC 陽子加速器の陽子ビーム強度の強化、○ニュートリノ検出器用新型光センサー及び電源、電子回路など周辺装置を含めた低コスト化、○大口径微弱光検出器技術、○加速器の大強度化、○小型高エネルギー加速器技術

<p>65 ニュートリノと反ニュートリノが同じ粒子か異なる粒子かを検証するための大型検出器技術</p> <p>○極低放射能環境、○大型装置、○高感度光センサー</p>
<p>66 クォーク 3 個またはクォーク・反クォーク対で構成される通常のハドロンとは異なるエキゾチックハドロンの解明に資する加速器・測定器技術</p> <p>《特になし》</p>
<p>67 ハドロンの構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)</p> <p>《特になし》</p>
<p>68 軟 X 線領域で SPring-8 を凌駕する中型高輝度放射光施設(電子エネルギー3 GeV、水平エミッタンス 1.2 nmrad 以下、輝度 <math>10^{20}</math> phs/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%w.以上)</p> <p>○現在の技術の改良で実現可能である、○土地、○計測技術、○加速器の総合的技術、○ビーム動力学計算技術、○高機能高性能電磁石の製作・制御技術、○理論的最適化と実現可能磁気コンポーネントによる超低エミッタンスリングの設計、○技術的な問題は、ほぼ解決済み、○現有する要素技術の洗練と連携、○不確実性の高い要素技術の開発はあまりないと思われる、○新たな放射光施設、○加速器開発の人的資源が限られているので、国内外の連携・協力体制の構築が非常に重要だと思います、○技術的にはそれほど困難ではないと思います、○国産の光学素子、○国産の計測機器、○制御技術、○ミニギャップアンジュレーター技術、○ナノメートルサイズのビーム集光技術、○高精度電子加速器、○低エミッタンス&amp;大電流電子ビームの長期的安定供給を可能とする電子銃。(ERL の場合)、○大電流電子ビームの加速、エネルギー回収を可能とする超伝導空洞および周辺技術(カプラ、HOMダンパー等)。(ERL の場合)、○低エミッタンスビームの輸送、安全系を含むビーム制御技術、○蓄積リング技術、○ビームライン技術、○測定技術、○中型高輝度光源に関しては、その技術はすでに日本にあるだけでなく、挿入光源技術を考えると世界のトップといえるので政府が資源さえ投入すれば実現可能な課題である、○Photon Factory のアップグレード、○若手人材の育成、○低エミッタンスリングを安定に運転するために必要な立地条件選定、および、加速器とビームライン光学技術、○低エミッタンス、かつ、高輝度の軟 X 線を利活用するための先端実験装置開発、○すでに基本となる要素技術は手中にあると考える、○電子蓄積リングのラティス設計とその実装、○既に日本が保有する技術で実現可能、○何よりもそういう施設の企画から運営まで俯瞰出来る組織委員会、○高い機器の安定度:電源電圧、環境温度、環境湿度、低い機械振動振幅、○高輝度かつ広い安定性を有するビームオプティクス、○放射光の光源技術、○メカトロニクス、○量子力学、○材料科学、○低電力高機能な超伝導マグネットの開発、○高機能な集光ミラー及びモノクロメーターの開発、○光源性能を活かす高精度、高機能回折計の開発、○特に開発すべき新たな要素技術はないが、しいて挙げるなら加速器要素(各種電磁石、ビーム位置モニター等)の精密加工と微小誤差での設置技術、○技術よりも、資金と考えられる。資金さえ投入すれば実現すると思われる、○電子蓄積リングの小型化・低コスト化技術、○高精度の電磁石製作技術、○高精度の電磁石設置技術、○超高真空システム技術、○加速器技術、○電子分光技術、○加速器技術、○真空技術、○磁石材料、○資金と研究者間の協力、○費用、○設置場所の決定、○人材、○技術面よりは、社会への有用性アピール、特に産業界へのアピールと継続的利用のための制度整備が重要(SPring-8 の反省)、○技術的には確立している、○最先端リング型加速器、○既存技術で十分対処可能である、○予算、○人員配置、○低エミッタンス放射光リング、○要素技術よりも建設母体と予算が最大の問題、○既存の最先端技術により可能</p>
<p>69 化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速(ps~fs オーダー分解能)放射光分析基盤</p> <p>○高輝度・単バンチの XFEL もしくは ERL、○フェムト秒~アト秒のレーザー装置及び時間分解計測装置、○超高速データ処理装置、○X 線自由レーザー、○局所分析のための高輝度放射光の集束技術、○高輝度放射光の検出技術の向上(時間分解能、空間分解能)、○高感度、高分解能検出器開発技術、○検出器の高速、高分解能化、ダイナミックレンジ範囲拡大、○X 線自由電子レーザーのビームタイムの拡充、○電子分光へ適用可能なエネルギー分解能および時間分解能を同時に満たす超短パルス電子線源の開発、○液体サンプルあるいは大気圧下の条件下で動作する電子分光技術の確立、○特にフェムト秒(fs)の時間オーダーで、励起光(レーザー)とプローブ光(放射光)とのタイミングジッターを精度良くモニターし計測する技術、○物質の反応ダイナミクスの変化を捉える為に、放射光の強度および位置揺らぎをモニターし、検出系のバックグラウンドが無く感度良く計測する技術、○光相関分光などによる高精度の時間計測技術、○構造や電子状態のスナップショット像を適切に可視化出来る時間分解能をもった分光技術、○高速分光に適した試料調整技術、○新たな分光計測技術の開発、○マッシュエンダー干渉計を用いた、あらゆる波長の分光技術、○SACLA よりも優れた XFEL の開発、○高輝度・高分解能放射光と超短パルスレーザーの同期実験技術、○光電子エネルギー分析技術、および、光電子顕微鏡技術</p>
<p>70 極低エミッタンス蓄積リングによる次世代の省コスト型・超高輝度放射光源</p> <p>○電子バンチの運動を超精密に制御する技術、○加速器技術(真空技術、電子制御、計測・制御技術、ソフトウェア技術も含む)、○分光技術(X 線を含む軌道放射光の分光と集光にかかわる光学系の設計と制御)、○データ解析技術(末端実験装置の設計と計測・制御、データ処理)、○加速器構成要素の高精度化、高安定化、○極低エミッタンス加速器技術、○機能複合型電磁石の高精度アライメント手法、○ビーム位置モニタの高精度(~10 ミクロン)アライメント手法、○永久磁石を用いた磁石開発</p>
<p>71 機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な</p>

<p>情報である局所構造・電子状態を、ナノメートルスケール・フェムト秒オーダーで観測する技術</p> <p>○温度変化発電のための、「自発分極の大きな、強誘電体材料」開発、○非破壊でナノスケールの構造解析が国際的に競争力を有する機能性材料の創成に不可欠、○XAFS、○既存放射光施設より高い輝度を有する軟 X 線放射光施設の設営、○高い輝度を有する磁気モーメントをそろえた中性子線施設(磁性材料には必須)、○超短パルス X 線源の開発、○X 線発生手法の安定化、低コスト化、○加速器の小型化、○安価で安定なレーザー開発技術、○観測のための量子ビーム高品位化、○電子状態観測における深さ分析技術(硬 X 線光電子分光法等)のさらなる検出効率の向上、○機能発現の解明における反応中の”その場”観測技術、○時間分解観測におけるレーザー-pump-probe 技術や SACLA の短パルス技術、○低エミッタンスな放射光(各種部材のあるデバイス内で、非解体でその場解析が可能となる)、○局所領域からのナノスケール電磁場検出技術、○局所領域からの高速な電磁場検出技術、○高輝度・高エネルギー分解能を実現した新しい放射光光源、○高速・高エネルギー分解能で電子スペクトル、吸収スペクトルなどを計測する技術、○新機能性材料を創生するための発現メカニズムの実観測、○微細材料作製技術、○データ解析技術、○X 線集光技術、○高輝度放射光、○適切なバックグラウンドを持った研究者の育成、○適切なバックグラウンドを持った技術者(装置の管理、維持)の育成、○材料技術、○放射光解析技術、○計算化学、○放射光ビームライン機器技術開発及びそれに用いる素子開発(結晶、反射鏡、回折格子、ゾーンプレート、検出器)、○先端的性能を狙わず安定した運転をおこなう機器(永久磁石、電磁石、電源等)の品質管理向上及び加速器運転制御技術の開発、○上記 1、2 に精通した研究者、技術者の養成及び地位向上、○高輝度放射光施設の建設、○広いダイナミックレンジをもつ検出器の開発、○振動吸収定盤、○高速データ処理システム、○光電子顕微鏡の収差補正技術、○放射光切り出しのための高速チョッパー、○ナノビーム整形技術、ビーム位置の安定化技術、○極低エミッタンス光源、○高検出効率、高速度の検出器、○データストレージおよびデータ解析環境、○検出器の性能向上、○多くの研究者・技術者が希望する時に使用出来るように十分な数の施設を準備する、○1 の施設のレベルを維持出来るよう、十分な人材を確保する、○超低エミッタンスかつ短パルス特性をもった X 線レーザー、○ナノメートルスケールの分解能を担保する超高安定な試料環境、○光源性能を活かすことのできる超高速超高分解能なフォトンカウンティングタイプの 2 次元検出器、○フェムト秒・アト秒オーダーの時間応答を示す、無機・有機ポッケルス EO 結晶、○メタマテリアルによるメートルオーダーでの無減衰導波回路の開発、○検出器の感度の向上、○極低エミッタンスの放射光光源(課題 68、70)の実現と幅広いユーザーに対応する研究環境の構築、○非接触原子間力顕微鏡・走査トンネル顕微鏡・電子顕微鏡等におけるより高感度な信号検出技術、○FPGA をはじめとした高速制御・計測技術、○これらが完全な形で達成できることは難しく、なにかを犠牲にする必要があり、十分な理解の上にとどの部分を優先するかをうまくコントロールする必要がある、○ナノメートルフォーカス可能な高輝度軟 X 線放射光ビームライン、○高分解能光電子エネルギー分析技術(内殻吸収、光電子分光、蛍光分光)、○放射光回折、○中性子回折、○量子ビーム光源技術、○高性能・高速検出器開発、○目的性能の発現メカニズム解明および機能性材料の物性と目的する性能との相関把握、○材料/モジュール設計および作製技術、○システム設計/構築技術、○X 線吸収微細構造解析、○小角・広角 X 線散乱法、○第一原理シミュレーション、○基本的な物理量の測定技術、○研究成果の迅速な発信方法、○データ処理技術</p>
<p>72 ナノ分解能でマイクロメートルの視野を有し、かつ元素ごとの化学結合状態を 3 次元でイメージング可能な次世代 X 線顕微鏡</p>
<p>○高い開口(NA)を持つ X 線集光光学系、○超精密多層膜技術、○高繰返し小型軟 X 線レーザーの開発、○色収差のないゾーンプレートの開発、○高精度ミラー加工技術、○高精度アライメント機構の開発、○X 線集束技術の開発、○元素固有のエネルギーから元素を選別できる 2 次元検出器(海外メーカーが開発中で、一部が市販される段階に入りつつある)、○CT(コンピュータトモグラフィ)処理用の安価で高速な計算処理システム、○X 線を拡大・結像できる高精度な光学系、○フレネルゾーンプレートの高精度化、○検出器、○ソフトウェア、○新しい放射光光源、○高感度、高分解能、かつ高速の検出器、○イメージを解析して有用な情報を取り出す技術、○ナノメートル空間分解能を実現するための X 線レンズ、○低エミッタンス高輝度 X 線源(小型光源も含む)、○エネルギー分解能の高い高感度・大視野・高空間分解能・画像検出器、○放射光集光技術、○微小領域の分析技術、○透過能、エネルギー分解能等に優れた分光器の開発、○X 線顕微システムの開発、○シミュレーションとの整合性検討、○SPRING-8 の 100 倍のフラックスを提供する高輝度光源、○ナノ分解能を達成するための高精度 X 線光学素子、○試料の放射線損傷と照射強度がバランスのとれた新規顕微手法</p>
<p>73 サブナノメートル分解能からマイクロメートル分解能まで連続倍率可変な構造・化学状態・電子状態分析のための放射光イメージング技術</p>
<p>○自由度の高い新規光学系、○高強度光源およびビームサイズ可変ビームライン光学系、○吸収分光解析技術、○広範なエネルギー範囲に対応する検出器技術、○顕微分光法開発、○高い効率のスピン検出器開発、○高エネルギー分解能電子分光器開発、○課題 80 とつながるが、高効率な検出器が非常に高価である。日本の技術で安くできることが望まれる、○可視レーザーのように極めて安定した、揺らがないシングルモード光源。光路上に分光器のような不安定なもの、窓の様にコヒーレンスを乱すものはなるべく入らない事が望ましい、○広い散乱領域をカバーし、かつダイナミックレンジの大きな(<math>10^6</math>以上)大面積かつ高空間分解能(10 ミクロン/ピクセル)を有する 2 次元検出器。APD(アバランシェフォトダイオード)アレイの様なもの、○X 線光学素子(結晶)の高度化開発、○放射光源技術、○X 線集光技術、○X 線検出技術、○高感度高分解能なイメージモニターの開発、○高輝度光源あるいはビーム加工技術、○画像解析技術およびシミュレーション、○高感度、高ダイナミックレンジ、大面積、高分解能を兼ね備えた高速イメージングデバイス、○各種光学素子からの不要な散乱成分を完全に抑制または除去し、理想的な放射光プローブを形成する光学素子</p>
<p>74 細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析</p>
<p>○データ解析技術、○コヒーレント X 線生成技術の高度化、○実用的な高コヒーレンス光源の実現、○汎用的な解析手法の確立、○測定に適したサンプル処理法やモデルサンプルの選定、○測定手法、○統一的な解析手法の確立、○放射光の性能の向上(コヒーレント性、ビーム径、輝度)、○解析技術(構造のイメージ化、逆空間→実空間の変換モデル)、○検出器の性能</p>

<p>の向上(分解能、分解時間、S/N 比)、○放射光を用いた構造解析により得られた情報を、企業が利用して新しい材料開発に生かせるための産学間の協力</p>
<p>75 創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能な、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマ X 線等)による超高速高解像 X 線顕微技術やコヒーレント X 線によるイメージング技術などの解析技術</p> <p>○放射光施設、○人材育成、○レーザー電子加速を利用した XFEL、○項目 1 を実現するための安定な高強度レーザーの開発、○項目 1 を実現するためのレーザー電子加速技術の開発、○コヒーレント X 線光源などの X 線光源の高平均出力化、○高効率の X 線光学素子開発。既存のモリブデンシリコン多層膜(13nm の波長に利用可能)以外の広範な波長領域で高い反射率を持つ軟 X 線鏡の製造技術開発、○高性能レーザーの開発(我が国はレーザー技術開発が世界の先進国のなかでも著しく遅れをとっている)、○現状の SACLA より 4 ケタ以上高輝度なコヒーレント X 線光源、○高感度・高精度かつ高速な 2 次元 X 線検出器、○タンパク質分子のハンドリング技術、○X 線しぼり技術、○高速、精密掃引技術、○放射光の高輝度化、○高輝度放射光の安定供給、○解析技術の向上</p>
<p>76 酵素の反応機構を解明する時分割タンパク質解析技術</p> <p>○ナノメートルサイズのビームが使える放射光実験施設の充実、○酵素反応に由来する弱いシグナルを感度よく検出できる検出器の開発技術、○酵素やタンパク質の抽出、精製技術、○分光学的な研究を酵素やタンパク質に応用した解析技術</p>
<p>77 タンパク質 1 分子を試料として、その構造解析を行う X 線回折技術</p> <p>○高輝度コヒーレンス光の実現、○ビーム輝度の向上、○ビームコヒーレンスの向上、○短パルス 5fs 以下かつ <math>10^{22}</math> photons/pulse、○回折検出器の解析、ダイナミックレンジが <math>10^{10}</math> 程度必要、○データ処理技術、○タンパク質の損傷をいかに防ぐか、○XFEL の高輝度化、○X 線による試料損傷の詳細な解析、○X 線集光技術、○高感度で低ノイズな検出器の開発、○真空カメラなどのバックグラウンドの低減技術、○ビーム強度の向上と、その検出を劇的に向上させる何らかの技術革新、○固定技術、○ダメージ抑制技術、○高分解能検出器、○高強度 X 線、○高感度、高 S/N 比、高速読み取り検出器</p>
<p>78 マイクロメートルの空間分解能、マイクロ秒以下の時間分解能での高エネルギー放射光による、レーザー加工中材料のその場時分割計測・分析技術</p> <p>○大型二次元検出器、○ビーム集光技術、○高い量子効率を実現した 2 次元検出器、○2 次元検出器の低価格化(存在しても普及しない技術であっては利用されない)、○大型 2 次元検出器の高度化(時間分解能 1msec 以下、空間分解能 <math>10 \mu\text{m}</math> 以下、画素サイズ <math>8096 \times 8096</math> 以上)、○放射光における人材育成システムの構築</p>
<p>79 原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術</p> <p>○放射性物質を取り扱えるビームラインの整備、○放射性同位体の短寿命化、○極短超高出力光パルスの発生・制御技術</p>
<p>80 1 光子検出が可能な 2 次元 X 線検出器の高分解能化、高速化、大型化による低線量診断</p> <p>○モリシックセンサー技術、○三次元デバイスの技術、○更なる微細加工を可能とする超 LSI 技術、○優れた放射線物性を有する X 線検出媒体、○大容量データを高速処理可能なソフトウェア、○X 線検出器のための微細加工技術、○大量の検出データの高速処理技術、○広範囲エネルギー領域で動作可能な X 線検出器技術、○新規アイデアに基づく X 線検出器の実現</p>
<p>81 偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術</p> <p>○ヘリウム 3 の核スピン偏極技術、○高いエネルギーの中性子にも使えるスーパーミラー、○中性子光学系の高度化による中性子ビームを格段に集束する技術、○中性子の飛来位置の分解能を格段に高分解能で計測できる技術。現在の技術はベストでも 50 ミクロン程度であるが、ミクロンを切る技術の開発が欠かせない、○大強度パルス中性子源を使うとなると中性子検出器の時間分解能がナノ秒の高速性が必要である、○ヘリウム 3 のオプティカルポンピングによるスピン偏極を中性子に移行する技術、○磁性人工超格子による中性子全反射ミラー、○高精度磁場制御技術とシミュレーション、○中性子の偏極化技術、○中性子源の高度化、○中性子光学素子の高度化、○コンパクトな無磁場環境の構築、○高効率高寿命偏極フィルタの開発、○広いエネルギー範囲(1meV~数 100meV)までの中性子を 90%以上の偏極率で偏極するデバイス。(完全偏極状態を 100%とする)、○試料での散乱後の偏極率を測定する検極子で、かつ大立体角(散乱角にして 130 度の範囲をカバーできるもの)、○飛行中の中性子のスピンの向きを制御するデバイス、とくに J-PARC での白色中性子用、○熱外中性子に対するスピン偏極フィルタ開発、○偏極中性子散乱を効率的に測定する為の分光法開発、○核偏極を含めた試料環境偏極技術の開発、○中性子回折</p>
<p>82 中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ分布等を可視化し、その場観測する技術</p> <p>○装置の台数を増加、○科学スタッフの増員、○利用条件の簡素化、○X 線を用いて非破壊に測定した部材表面のひずみデータから部材全域の残留応力分布を推定する複雑な計算プログラムを汎用化するソフトウェア開発、○現場で測定可能な可搬式 X 線回折装置の性能改善に伴う測定精度の更なる向上、○中性子・X 線回折測定技術、○高輝度中性子・X 線発生装置、○高位置分解能かつ積分型の 2 次元検出器、○量子ビーム施設と利用者を結ぶ人的資源を含めたネットワーク環境、○中性子・X 線イメージング技術、○応力およびひずみ評価技術、○高効率・高分解能な中性子検出器、○高強度中性子源、○実</p>

<p>働環境を模擬する試料環境装置、○高速、大面積の二次元検出器</p>
<p>83 超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術</p> <p>○超低速ミュオンを生成するためのレーザー、○超低速ミュオンの偏極度を高く保つ技術、○超低速ミュオンの絶対数、○大強度ミュオン源の実現、○高強度レーザーの開発と安定化、○大容量データの収集と解析、○パルスレーザーの大強度化と安定化に関する技術、○第一原理計算に基づき物質内部での荷電粒子の状態を決定する要素技術、○加速器で生成されるビームの高強度化に関する技術要素、○高強度ライマン<math>\alpha</math>レーザー、○低速ミュオン再加速装置、○超高真空下試料交換装置、○大強度陽子加速器、○大強度紫外線レーザー、○効率的なミュオン収集。現有の施設においても低予算でミュオン収集効率を増倍させることが可能である。資源・予算の配分を見直して、各施設でのミュオン活用効率を上げる、○大強度レーザー開発。現実的利用計画にまだレーザー強度が追いついていない。強度のみを追い求めるよりもある程度の安定性をもつレーザー開発へ研究方針のかじを切る、○効率的なレーザー照射方法。たった一回の照射では超低速ミュオン発生効率が悪い。レーザー光路を変える技術を活用し、同じレーザーでもよりおおくの超低速ミュオンを発生させる技術開発へ方針を展開する。、○超低速ミュオン生成技術、○超低速ミュオン加速技術、○最も、重要且つ困難である部分はレーザーによる熱ミュオンの解離反応を高効率に行うこと、○大強度パルス真空紫外(VUV)レーザー源の開発、○スピン再偏極技術、○ミュオン加速</p>
<p>84 偏極陽電子を生成・制御し、表面第1層の構造および磁気構造をモデルフリーで観測する技術</p> <p>○加速器ベース大強度低速陽電子ビームのさらなる高強度化、○レーザー逆コンプトン散乱による大強度スピン偏極低速陽電子ビーム生成、○陽電子回折実験による物質最表面及び表面近傍のホログラフィーイメージ取得、○強力偏極陽電子ビーム生成技術、○偏光フォトカソード・リニアックを利用した高強度スピン偏極陽電子ビーム生成</p>
<p>85 複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を同一試料の同一位置に再現性よく、または同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態、一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術</p> <p>○同一場所における複数の加速器照射技術、○量子ビームタイミング制御技術、○入射ビーム精密制御可能なデバイス、○ビーム発生源の小型化、ex. 中性子サイトにレーザー発信源を作る、○ビーム生成技術の融合、複数量子ビームを同時に生成する、○それぞれの量子ビームの大強度のマイクロビーム生成技術、○エネルギー、光量等の安定した量子ビームの生成技術、○量子ビームの取り回し及び局所照射を行う技術、○特性の異なる量子ビームの時間及び空間的な精密計測技術、○基礎理論の構築、○種々の量子ビームの正確な照準照射技術、○複数の量子ビームの正確な同期照射技術、○複数の量子ビームを相互の干渉無しに精密に計測する技術、○複数の加速器・装置の利用なので、各加速器・装置の安定化技術、○照射効果等の指標となる信号の計測技術の開発、○電子状態や構造状態等分析結果と「物性」との相関性の解析技術、○レーザー光学技術、○電子分光技術、○電子検出技術、○コンパクト中性子源、○中性子非弾性散乱実験、○同時照射と言える輝度の実現、○高性能かつ汎用性の高い量子ビーム源の整備、○上記を継続的に維持・高度化するための資源(人的を含む)配分、○高効率で各量子ビームを生成する技術、○各量子ビームの時空間制御技術、○時空間での高精度計測技術、○材料科学の発展と新規現象の発見につながる極めチャレンジングな研究のため、人材育成が非常に重要になる、○特に大学組織に戦略的に施設建設することで若手の人材を育成することが重要となる(ポスト組織からなる研究所ではブレイクスルーは望めない)、○高輝度量子ビーム線源の開発、○量子ビーム制御技術(ビーム輸送・集光・スピン偏極・パルス同期など)の高度化、○各量子ビームの高度化・ナノビーム化、○位置再現技術、○各量子ビームにより得られたデータを相補的に利用するための解析技術、○加速器などビーム発生技術、○放射線等の計測技術、○中性子での微小試料実験が可能となること、○放射光で極端条件下の単結晶実験が出来ること</p>
<p>86 複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm~mmの幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術</p> <p>○高精度な量子ビーム照射技術、○高精度、長時間分解能の材料観測技術、○個々の量子ビーム装置を融合する技術、○中性子光学技術など、中性子ビーム形状や輝度などを精密に制御する技術、○量子ビームを利用した研究の発展は目覚ましいものがある、とはいえ、今後の大きなブレイクスルーには、複数量子ビームの相補的利用にあると思われる、○これら量子ビーム利用が可能な人材の育成は、喫緊の課題である、○中性子や放射光等の施設の高度化、特にビーム強度の増強と単色化、○複数の量子ビームを利用し易く、利用の機会を増やすこと、○解析技術を普及させ、量子ビーム研究者だけでなく材料研究者の参加を促すこと、○材料本位の装置高度化、○中性子源の高輝度化、○高分解能かつ大面積の検出器、並びにそれらを支える大型計算機、データ解析システム、○ナノプロセス技術、○空間・時間分解能を引き上げるための高精度検出器及び分析システム開発、○解析結果と照合しながら行える精密加工技術・システム、○量子ビーム集束・高輝度化技術、○量子ビーム照射位置精密測定および制御技術、○Producing technologies of the nanocrystal ion beam with a monodisperse size distribution、○High-energy acceleration technologies of the nanocrystal ion beam with a high intensities、○High-functional analysis technologies of the nanocrystal ion beam with a monodisperse size distribution、○それぞれのビームを同じ試料位置に同時入射するための連携およびビーム発生源の小型化、○3D プリント技術、○ビーム収束技術、○その場観察技術</p>
<p>87 精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術</p> <p>○荷電粒子による大電流照射に耐えうる固体ターゲット照射技術、○照射済ターゲットからの超微量生成 RI の分離および高純度化精製技術、○高線量非密封 RI の取り扱いに関する技術(人材育成)、○大強度ビームの発生技術、○大強度ビームの熱エネルギーによる溶解に耐えうるターゲット照射システム、○生成放射能のターゲットからのオンライン分離技術、○中性子</p>



<p>やイオンビームの発生と照射制御技術、○照射後ターゲットから目的とする放射性同位元素を分離・生成・標識する技術、○標識した分子(化合物)の細胞照射効果や生体内安定性など、放射性薬剤として利用するための特性評価技術、○大強度の加速器を安定的に、低コストで運転する技術、○計画的な元素生成のための理論、○設備計画、○生体用放射線技術、○At211などの放射性同位元素を大量かつ安定的に製造するための中性子・イオンビーム照射用試料の作製技術の確立、中性子・イオンビームを効率的に照射可能にする照射装置の整備ならびに照射技術の開発、○中性子・イオンビーム照射によって製造した At211 などの放射性同位元素を高収率(少なくとも 80%以上)で分離精製する技術の確立ならびに分離精製技術の装置化、○製造した At211 などの放射性同位元素がどのような化学形で存在し、放射性薬品開発に利用可能な純度を有しているかどうかを分析する技術の開発、○大強度加速器の建設、○高中性子束の研究用あるいは RI 製造を主目的とした原子炉の建設、○At-211 を大量に製造する設備および施設、○照射されたターゲットから At-211 を回収する技術、○純度の高い At-211 を得るための精製方法の開発、○イオンビーム等の照射技術および分離精製技術の開発、○大量製造にむけた加速器、照射装置、分離装置の開発、○着実な医療への応用にむけた標識実験技術ならびに生体内での線量等評価技術の開発、○大量製造に適した照射ターゲット部の設計、○大量製造に適した <sup>211</sup>At の分離法の開発</p>
<p>88 イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術</p>
<p>○突然変異を導入する対象生物の遺伝情報、○対象生物の網羅的な遺伝子配列解析情報、○対象生物の環境応答に関する情報</p>
<p>89 放射光やレーザー等を用いて、結晶成長中・デバイス動作下など実際に製造・使用されている条件下で、ナノスケールの材料の構造を原子レベルで測定する計測・分析技術</p>
<p>○ナノサイズのビーム集光技術、○高輝度放射光源、大強度レーザーの開発、○高時間分解能、高検出率を有する 2 次元検出器、○光源の同期技術、○光電子顕微鏡の導入、○X 線光電子分光装置、○透過型電子顕微鏡、○TIARA 等の高エネルギーイオンビーム、○中性子回折</p>
<p>90 生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術</p>
<p>○マイクロビームをさらに高度化する必要があるため、さらにビームを絞れる技術を開発する、○高精度な二次粒子計測技術、○孤立ナノ粒子標的の実現、○次世代光源の開発(卓上小型放射光発生装置、レーザー駆動陽子線発生装置など)、○高精度位置検出、位置調整技術(ナノメートルオーダーの高精度位置制御技術)、○高精細画像解析システムの開発(高精度ビーム検出および照射領域計算技術の開発)、○生体組織内部でのマイクロビーム照射効果を非破壊的かつリアルタイムに高感度検出するための蛍光イメージング技術、○生体組織内部を模擬した三次元局所線量計の開発と実測データに基づいた線量付与分布のシミュレーション技術、○高エネルギーの荷電粒子又はエックス線マイクロビームの形成及び生体組織照射技術</p>
<p>91 単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術(高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等への応用を想定)</p>
<p>○放射線利用技術とその普及、○放射線グラフト重合技術、○高分子材料複合技術、○高品質な荷電粒子ビームを安定して供給する技術、○微細領域の化学構造変化を観察する技術、○単一イオンを任意の位置に精度よく照射する技術、マイクロビーム、シングルイオンヒット技術、○材料の物理的・化学的構造変化をナノレベルで分析する技術、○複数の量子ビームをナノレベルで照準して同時に照射する技術、○機能付与の物理的領域の制御技術の確立が必要だと考えている、○各種イオンをナノメートルレベルで制御して注入する技術、○一つ一つのイオンを正確に計測する技術、○単一イオン照射技術、○低真空度や大気中等で高エネルギーの重粒子線を、含水高分子などの生体材料に照射できる技術、○単一イオン照射と他の照射を同時、或いは雰囲気を制御した状態で他の量子ビームを逐次照射できる複合処理技術、○単一イオンビームを、精度良く狙った位置に照射できる、高精度マイクロビーム技術、○フラーレン等のクラスターの高強度イオンビームや金属等の生成の難しいイオンを安定に生成する技術、○小型で安価な加速器及びこれを用いて上記ビームをマイクロビームに形成する技術、○一定の教育訓練により容易に上記装置を運転・操作できるように、ハード・ソフトの両面を高度化することが重要</p>
<p>92 大強度中性子イメージング技術の高度化による、局所の金属組成分析や金属部品内微細構造の 3 次元可視化計測技術</p>
<p>○中性子イメージング技術、○画像データ高速処理・可視化技術、○超高精度な中性子ビーム制御技術、○超高空間分解能中性子検出器、○各要素技術の開発はできており、それらを組み合わせる組織またはシステム、ソフトウェアを作ることが重要であろう</p>
<p>93 放射性廃棄物中の長寿命核種 <sup>135</sup>Cs を核変換技術によって無害化するために必要となる Cs 同位体分離に向けた、高強度 THz パルスを用いた量子制御技術に基づく新しい物質分離手法(同位体選択的加熱)</p>
<p>○THz パルスによって誘起される分子内部のダイナミクスを取り扱うための数理論物理学的理論の構築、○同位体選択的に加熱されたセシウムを分離回収できるガス吸着材・ガス分離膜の開発、○メタマテリアルによるテラヘルツ波の位相制御デバイスの開発、○高輝度 THz パルスの発生および制御技術、○高強度中赤外光パルスの発生および制御技術、○セシウム原子の取扱技術、○THz および振動励起用中赤外光源開発、○遠心力ひずみに対応した分散制御技術、○模擬の分子集団に対する同位体選択的回転及び振動励起の実証試験、○高強度 THz パルスの波形制御技術・位相制御技術・反射防止膜製作等の基盤技術、○中赤外高強度ピコ秒パルスの発生技術、○セシウムの分離回収技術</p>

<p>94 イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術</p>
<p>○高強度レーザーを安定に運転する技術、○加速器サイトへのペタワット級レーザーの設置、○診断を含めたレーザープラズマ制御技術、○レーザー技術(大強度で可変波長)、○イオン操作技術(イオンのトラップ・荷電変換・識別の技術)、○レーザー研究開発、○イオン計測技術、○高強度レーザーと物質の相互作用の解明、○レーザーの安定化技術、○必要とされる要素技術は、高エネルギー加速器の小型化・低コスト化技術、○必要とされる要素技術は、大強度レーザーの大強度化・小型化・低コスト化技術、○レーザーの高強度化技術、○安定した高強度レーザーの開発、○高強度・高輝度レーザー開発、○先進的ビーム計測システムの開発</p>
<p>95 データ同化やパラメータ最適化等の技術を導入した、大気・海洋の組成、生態系、物質循環などに関する地球環境予測モデル</p>
<p>○地球環境の物理モデルの高精度化、○パラメータの同定方法の確立、○生物・化学過程についての実験・観測、○生態系についての現場データが不足しているため、モデルの高度化が不十分であり、予測の確実性を担保できていない、○非線形モデリング、○高度な並列計算、○複雑系、○計算機の性能向上、○人工衛星などを用いた広域高精度計測技術、○関連する衛星観測の充実、○地球環境数値モデルの開発、○データ同化技術の開発、○データ同化手法、○大気化学・エアロゾルモデリングの向上、○スーパーコンピューティングシステム、○高精度な衛星観測、○情報処理機器の高速化、○世界中にちらばる計測機器からのデータ収集およびその解析を実現するICT技術。それらは低消費電力かつ自律性を有した組み込み型デバイスからスパコン等の大規模データ解析・シミュレーションプラットフォームを含み、そのようなICT技術を駆使することが重要、○データ同化やパラメータ最適化に必要な多岐にわたる膨大な観測データを広域・高頻度にモニタリングする技術、○物理・化学・生物・計算機学など多岐にわたる研究分野の膨大な知見を整理し、適切に定式化する技術、○モデルの出力結果についてそれらの予測の不確実性を含めて適切に社会へ情報発信する技術、○それぞれの専用センサーの開発と観測、データからの特徴抽出とその統計処理手法の開発、○各地域における物質循環のモニタリング技術、○各地域における微気象観測の技術、○データの統合化システム、○スーパーコンピュータの一層の発展</p>
<p>96 生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展による水循環変動及び水土砂災害等の予測</p>
<p>○有限要素法の連成解析技術、○森林生態系と海洋を含む水系生態系のモニタリング、○生態系全般のシミュレーション、○シミュレーションをもとに適切な予測情報に変換する教育、○シミュレーション結果の検証のための同位体マッピングとモデリング</p>
<p>97 1kmといった超高解像度の気象大循環モデルを用いた、20世紀初頭から21世紀末に至るグローバルな気候変動の数値シミュレーション</p>
<p>○並列計算技術、○数値計算アルゴリズム、○気象モデル、○高解像度の計算を行うスーパーコンピュータ、○現象の再現に必要な雲などのパラメタリゼーションの開発、○信頼性の高い詳細物理モデル開発、○超並列計算機による高速処理(量子コンピュータなど)、○ロバストな数値解析手法の開発、○スーパーコンピュータによる計算機資源</p>
<p>98 21世紀末に至る全大陸上のエネルギー・水・物質(CO<sub>2</sub>等)の収支が推計され、再生可能エネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスに関して今後懸念される問題点が1kmといった超高解像度で明らかになるシステム</p>
<p>○観測・統計データの世界的な共有、○計算機、○入力データの整備、および即時提供のためのシステム構築、○同化技術と連動させた全体としてのシステム作り、○情報通信技術(ICT)の広帯域化及び大容量化、○コンピューティング環境における更なる処理能力の向上、○測定データの一元化、○過去のデータと結果の比較の公開、○エネルギーや資源、その他の流れのモデル化</p>
<p>99 衛星からの水面高度計測や氾濫面積計測と数値モデルとを用いた逆解析により、河川の水深や流速を世界規模で広域に推計するシステム</p>
<p>《特になし》</p>
<p>100 衛星観測並びに地上観測に基づき、人間活動も考慮した陸面水循環モデルを用いたシミュレーションによる、数時間から数日先までの全世界の洪水や渇水の予測</p>
<p>○世界各国からのリソースの提携、○正確なデータの入手、○リアルタイムでの大容量データの共有技術、○衛星観測精度、○気象予測の高精度化、○水利用・防災インフラなどの人間活動の要素情報、○人工物・自然物における水循環経路の詳細でリアルタイム(～週単位程度)な把握、○降水量の局所的な予測・推定の高精度化と、その幅広い活用、○上記両者に含まれる不確実性を考慮したアンサンブルシミュレーションと、それを適切に理解できる社会的理解</p>
<p>101 台風時の高潮・高波と降雨による内水・外水氾濫を統合して扱う沿岸災害予測</p>
<p>○精緻な地形情報の整備、○計測インフラの強化(通信機能を持つ水位計・降雨計の多点設置、リアルタイム氾濫モニター+シミュレータの運用、放送網への自動的な配信など)、○多数のシミュレーション結果から構築される、降雨パターンから検索可能な氾濫予測データベースの整備、○気象台風モデル、局所的な豪雨を予測可能なモデル、海面・水位・降雨を統合した災害シミュレーション技術の実現、○観測データの整備、○シミュレーション技術の精緻化、○人工衛星による気象・海洋のモニタリング、○河川の水位や流量をリアルタイムでモニターできる観測網、○リアルタイムで予測モデルを動かせる大型計算機と数値</p>

モデル
102 ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション
○地震発生のシミュレーションは現在でも行われているが、現実の地震発生を予測するほどの精度が得られることは、データ同化を進めたとしても期待できない、○稠密な観測網、○高精度・高確度の観測データ解析、○複雑な計算を高速処理できるスーパーコンピュータ(京よりも通信速度が速いもの)、○観測データ(特に断層面上における)の取得、○摩擦法則の解明、○現在、「京」クラスの計算機資源を必要とするので、実用化にあたっては同化手法の高速化アルゴリズムの検討も必要では？、○大規模点過程モデルのシミュレーション技術、○リアルタイム計測とリアルタイム解析技術、○計算機の発達、○地震波とプレート移動の地球規模解析
103 地震動・津波の直接被害のほか、構造物倒壊、火災、液状化、漂流物等も含めた、広域複合災害の予測システム
○震源断層から都市までを含む地震応答シミュレーションにより、地震災害のリスクを総合的に評価するためのアプリケーション開発技術、○地震現象を第一原理的に計算し、現象の理解を助けるための、大規模シミュレーション技術、○都市の人間活動の災害応答シミュレーション技術、○流体と固体の連成シミュレーションの大規模化、○高精度かつ合理的な物理モデルの効率的な構築技術、○あいまいさに対する感度の効率的かつ合理的な評価法、○高速かつ低コストのスーパーコンピュータ、○破壊解析、○連成解析、○ダイナミクス、○広域地盤・構造物の連成地震動・液状化現象シミュレーション解析技術、○津波のシミュレーション予測技術、○地震予知技術、○個々の事象のシミュレーション技術の開発、○人材育成、○地震被害把握技術、○津波伝搬予測技術、○火災延焼予測技術、○観測網のさらなる充実、○非連続体の動的挙動を記述する非線形運動方程式の定式化とその数値解法、○超大規模数値計算機、○関連する専門分野の間の学祭的連携、○プロセスベースの水一土砂・構造物・漂流物連成計算手法、○安易に運用可能な高速計算機、○計算力学、○不連続性体力学、○HPC、○構造物、液状化地盤、漂流物の移動など、個々の構成要素の力学挙動シミュレーションの高精度化、○シミュレーションの精度保証、○シミュレーションモデル生成のためのデータ整備と、簡易にモデル生成するための手法確立、○個別の評価技術法の精度向上、○複合災害を議論する研究分野の形成とそれを可能にする研究・技術者の育成組織の必要、○高分解能データの取得と公開、○海域での地震・津波観測システム、○被害予測シミュレータ
104 実物試作をほとんどせずに自動車や大型工業製品を設計・開発することを可能にする、現実に忠実なシミュレーション
○多様な物理現象の連成解析技術、○大規模解析を高速に行うための数値計算アルゴリズムやモデルの低次元化技術、○複雑な物理現象のモデル化や同定技術、○スーパーコンピュータの産業界での利用の促進 利用コストの低減とシミュレーションソフトウェアの提供、○汎用並列処理ライブラリ、○多要素モデリング統合技術、○国産ソフトウェアの開発(海外ソフトウェアであっても、その国内サポート人材の長期的育成)、○大学での普及教育(実現象と数理モデルや大規模シミュレーションをつなげる人材の育成、さらには手計算でアタリをつけられる人材の育成)、○エンジニアがもてはやされる時代の到来(現状:なんかわからないことして、キモイ、オタク、人付き合いが下手?) 小中高の教員ですら、エンジニアのことがわからないこと多い、○こちらが御教授頂きたく、○計算速度、データ転送速度、実メモリ空間ともそれぞれ現在にくらべ 1~2 桁以上高い性能を持つ計算機、○高機能 PC、○情報技術教育、○人間は自己の気持が最も良く現れるのは表情である。6 基本表情は、万国共通とされているが、自然な形で被験者にそのような気持ちにさせることが 困難であり、顔の各部位によって表情を記述する、従来の FACS(Facial Action Coding System)も必ずしも正しくはないと言う 問題もある、○マルチスケール・マルチフィジックスのシミュレーションを成功に導く方法 :数理、物理・化学・生物等とコンピュータ科学との融合領域において、マイクロとマクロを結ぶマルチスケール・マルチフィジックスの基礎理論とソフトウェアを開発できる人材を育成すること、○数学・数理学や情報科学を前面にした研究推進と人材育成のミッションを有す 共同拠点の設置(第 22 期学術会議 計算科学シミュレーションと工学設計分科会からの第 22 期学術の大型施設計画・大規模研究計画への応募資料「計算科学シミュレーション先端基盤国際共同拠点」)、○構造系以外に、制御系、流体系など製品を構成する種々の物理特性を統合・連成して計算するマルチフィジックス・シミュレーション技術、および種々の物理特性の時間スケールや空間スケールが異なるものを統合して計算するマルチスケール・シミュレーション技術、○金属材料に比べて物理定数が不確かな高分子材料特性(FRP を含む)のばらつきなどを考慮した計算手法。その特性のばらつきを無くす製造技術、○「京」に代表されるような超高速計算機の計算速度を上回る計算機、○高速なコンピュータの開発、○実時間でのシミュレーションを可能とする計算手法の開発、○データ入力を省力化できるプリプロセッサの開発、○高精度な物理現象のモデリング技術、および形状データのハンドリング技術、○短時間で大規模な計算を実行する高速計算技術と実行環境、○確からしさを担保するための検証データベースの整備、可視化分析技術、○より大規模な計算を可能とするスーパーコンピュータの開発、○シミュレーション結果を検証するための実験、○スーパーコンピュータ、○シミュレーションソフトウェア、○従来の延長線上にない、革新的なシミュレーション技術、○メッシュなどの解析モデルを高速かつ高精度に作成する技術、○複合現象やソフト・制御も含めた連成解析・一貫解析、○暗黙的技術・技法を変質させることなくシステム化する技術、○コンピュータの世界と現物の世界を結ぶ技術、○計算力学、○高速計算機、○想定外事象のシミュレーション技術、○計算機性能を最大限発揮させるシミュレーションの実装技術、○多分野統合設計技術、○シミュレーションを実現するための実験データ、○大型計算機の開発および整備、○シミュレーション理論の開発および発展、○現物試作能力の向上、○基礎的な機械工作技術の初等教育の導入、○機械工作技術の教育人材の育成、○工作機械など生産設備の詳細なシミュレーションモデル、○切削加工など加工プロセスの詳細なシミュレーションモデル、○工業製品を構成する要素部品の詳細なシミュレーションモデル、○自動車に関してはほぼ実現済みと思われる。大型工業製品に関しては、情報の蓄積が必要、○異種連続体の相互作用問題のシミュレーション技術の向上。とくにロケットエンジンなどの振動特性や燃焼特性のシミュレーション、○流体シミュレーションに使える低温物性(たとえば液体水素・液体酸素)は未開拓、○生体力学・産業への応用を見据えた、熱輸送を考慮した原子分子・連続体の解析技術の向上、○高性能な計算機、○高性能な実験装置、○これまでの方法とは異なるアプローチ(ビッグデータの利用、知識処理など)、○人工物の構成科学、○モデリング技術の精緻化、○シミュレーション技術、○材料物性の正確な把握、○工業製品の組み上げ精度確保、○ユーザー行動の上流工

程におけるモデリング、○スーパーコンピュータ、○スーパーコンピュータ用のシミュレーションツール
105 動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション
○立体生体組織による培養等の基礎データの蓄積、○基礎医学の理解、○数理モデルの確立、○モデルの各要素のパラメータの決定、○個体内生理現象のモデル化、○生体物質の動態の実験的網羅、○実験的に得られた生体物質の動態を完全に再現できるシミュレーション、○医薬品の対象部位のシミュレーションモデル、○実験データからパラメータ推定を行う技術、○高性能計算技術、○タンパク質などの巨大分子シミュレーションの精度向上、○マイクロな一分子からマクロな細胞レベルをつなぐモデル構築、シミュレーション技術の向上、○あらゆる生体内分子の相互作用を網羅したデータベースの構築、○バイオインフォマティクスを活用した解析技術、○生物体内代謝の微量および連続測定技術
106 劣化に起因する事故を発生させない、大型工業製品(タービン、プラント、架橋等)等のシミュレーションによる劣化解析技術と高感度非破壊診断技術
○実験データの積み上げ、○理論の進展、○理論に基づいたシミュレーションモデルの発達、○量子ビームを活用した先端観測技術、○スパコンではない一般の計算機の性能向上、○人材育成、○予算配分、○大型工業製品の実際の劣化データの蓄積・解析技術、○劣化に起因する事故の発生確率を推定する確率モデル、○自動で劣化事故の可能性をフィードバックするセンサー技術、○過去の事故例の分析、○シミュレーションに対するチェック、○計測技術、○シミュレーションスケールの大規模化、○時間発展型の方程式を解くシミュレーション全般の時間積分法、○経年変化センシング(MEMS等による単なる情報センシング)、○現象のスケールが異なるシミュレーションのブリッジング(空間と時間のスケールが異なる現象を直接カップリングするのではなく、結果の橋渡し)、○センシングとシミュレーションの組み合わせによるモニタリング(劣化度合い、破壊度合いを判断出来るモニタリング)、○インフラの劣化診断、安価で扱いやすいDBが必要、○各種計測技術、○各種遠隔監視技術、○材料特性把握
107 ほとんどの材料(開発対象となる材料の90%程度)において、特性を要求値に適合させる逆問題的材料開発
○特性発現のメカニズム解明、○計算機の演算速度の飛躍的向上、○ナノ技術(加工、測定等すべて)、○分子原子レベルでの材料設計シミュレーション技術、○製品レベルへの組み込み時の最適化技術、○鉱物資源や化石資源由来の素材創出や生産技術は多くあるが、生物資源由来の素材変換技術や複合材合成技術は緒に就いたばかり、○石油化学素材代替よりも、生物資源の特性を活かした新規素材開発分野に大きな期待がかかる、○目標とする新規素材の特性を発揮・助長するような資源の開発(生物科学研究による細胞や繊維の形質制御技術)がこの分野の発展を促す、○スーパーコンピュータ、○クラウドワークステーション、○表面と固体内部をシームレスに計算する手法および計算理論、○省電力・高効率大規模計算機。特にメモリアクセスの高速化・効率化、○DFTなど第一原理計算理論で使用する交換相関ポテンシャルの高精度化、○材料評価技術(機械的性質評価、電子顕微鏡観察やリアルセクションングなど3次元組織観察など)、○情報処理技術(材料特性のデータベース)、○強度および機能から適した材料組織を見出すためのシミュレーション技術(有限要素法やマイクロメカニクスなど)、○強力な演算能力を持つ計算機、○高度に並列化されたシミュレーションソフトウェア、○効率的な計算アルゴリズム
108 大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム
○統計力学、○統計物理学、○力学系理論、○トラフィックシミュレーション、○プローブカー分析、○道路利用者の行動計画を集約する仕組み、○道路の利用状況が把握できるデータの取得と利用できる仕組み、○高性能計算、○渋滞発生の数理メカニズムの解明、○交通量を測定し、即座に通信するシステム、○大規模データの取得、○モデリング、○データ同化技術(時系列解析技術)、○Macroscopic Fundamental Diagram、○渋滞の要因分析の把握と現状の交通設備システムの課題分析手法、○人間の行動パターン分析手法、○ナビゲーションの情報が具現化できる交通システム
109 数週間先までの雪氷災害発生予測に基づき、道路、交通、電力、農業施設等の事前対策を可能とするシステム
○気象予測の向上がカギである。予測精度に応じた確率予報の利用が必要。短期(~3日)、中期(3~10日)、長期(10~40日)で、利用法を変える必要がある、○個々の技術開発というよりはどのように既存の技術を統合するかといったシステムの構築、○関係する各機関の協力といった人的な協力の仕組み、○非数値データと数値データを区別しないビッグデータのデータマイニングに関する基礎理論、○環境の整備が必要だと思います、○産学での連携と相互ネットワーク環境の整備、○確率予報に基づく意思決定手法、○少数の失敗を許容できるシステム作り、○民間を含めた配分可能資源の公開
110 大規模噴火の降灰に対する都市機能や地域経済の脆弱性評価手法
○信頼できる気象データとの連携した解析、○mオーダーの地図情報(建造物含む)の整備、○脆弱性評価手法そのものの高度化、○要素技術は既にあると思われるので、後は人材育成と予算投入が必要だと考える、○火山灰の粒径分布と降灰量の時空間的リアルタイム予測、○降灰量と降灰率による都市機能インフラへの影響の評価技術
111 災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション
○過去の事例の調査・分析、○人間心理行動の数理モデルおよびシミュレーション技術
112 津波の即時評価と連動した避難指示システム
○津波シミュレーションの近似・半経験的解法による高速化、○事前計算によるデータベース整備などにより、地震発生から震源及び海底変位量を津波予測用に簡易推定するまでの時間の短縮、○緊急地震速報システムを拡張し、津波予測結果を伝える、○沖合津波計測ブイシステム、○微細地形に対応した津波予測技術、○10cm程度の精度での、外洋の海面高の高頻

<p>度観測、○人工衛星からの高速大容量ダウンリンクステーション、○海上での常時接続できる高速ネットワークインフラ、○津波予測技術、○情報伝達技術、○情報の集積技術、センサーや情報を何に記録するかなど、○情報の解析技術、○情報の伝達技術、得られた情報を解析し一般人に伝える</p>
<p>113 現在地及び避難経路の被災状況(現状及び予測)に関する大量の定型・非定型情報を統合して、適切な避難場所まで誘導するシステム</p> <p>○通信・電力の保全に向けた強靱な環境、○災害に強い観測網の整備、○データのリアルタイムでの公開、○避難経路の予測技術、○携帯情報端末での利用、○災害時、避難時などの緊急時の、避難路、被災者その他の状況について正確性を担保できる情報をいかに収集し、あるいは抽出するかの方法、○津波や火砕流など一刻を争うような場合に適切な避難場所がない、つまり極めて危険な場合の情報提供のあり方、○正常性バイアスを克服して危機であることを認識させるインタフェースや情報提供のあり方、○高速アルゴリズム(ネットワークフロー、経路検索、配置問題等)特に劣線形計算技術、○データの蓄積とそれを学者が自由に使える環境、○高速データ検索、転送技術、○大まかな災害発生時の人間行動予測、○大まかな自然災害の被害予測、○災害時も途切れない情報提供網</p>
<p>114 非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム</p> <p>○人材、○国内外の連携、○グローバルな観測網、○スパースモデリング、○ベイズ推定、○計算工学、○シミュレーションと情報の連成、○乱舞するデータを整理し評価するシステム技術</p>
<p>115 観測データ、センサーデータ、ソーシャルメディアデータ等を統合した自然災害・被害状況の把握</p> <p>○学際研究の評価体制づくり、優秀な研究者のキャリアパス形成、○公共データ利用のガイドライン作成、倫理面の法整備、○観測地点の増加と観測の高精度化、○情報弱者への対応、○スパースモデリング、○自然言語処理、○超高速データ通信、○非定型データから、望む特性のデータを抜き出すデータ抽出技術、○冗長性の高い、災害時にも稼働できるネットワーク環境、○センサー網・観測網の構築、○多数のデータ収集・処理技術、○災害に対し強靱なネットワーク網の構築およびそれに関連する技術、○災害地の即時把握技術(衛星・UAV・地中レーダー)、○土砂臭気観測技術、○災害状況簡易 WebGIS サイト開発</p>
<p>116 大型輸送機器(船舶、鉄道、航空機等)の高信頼設計を可能とする、過去の事故・災害データや想定される気象災害シミュレーション結果等を用いた統合安全評価システム</p> <p>○事故データの収集・解析・検索システム、○気象災害予測モデル</p>
<p>117 将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム</p> <p>○シナリオモデリング・シミュレーション技術、○シナリオモデリング・シミュレーションの為のデータを取得・組織化する技術、○統計データ等の社会知識データベース上のプログラミング技術、○数理モデルを構築するために必要となる、対象そのものに対する数理的構造の理解、○モデルが例えば微分方程式という形で記述される場合、その理論的あるいは数値的に解く手法の確立、○モデルと実データを比較検討する手法の確立、○数理科学者と社会学、経済学、工学との連携を押し進める必要がある、○諸分野と連携を推進することができる若手研究者の育成が必要である、○政策評価、○人工知能、○機械学習、○統計数理、○政策の都合に左右されないモデルを作る、○実空間でセンシングする各種センサー技術、○社会の動きを察知するセンサーフュージョン技術、○プライバシーに配慮しつつ高速に現状を分析、予測するビッグデータ処理技術、○社会科学者と数学者と数理科学者の連携</p>
<p>118 1秒間の演算速度が10エクサ=10<sup>19</sup>回を超えるスーパーコンピュータ</p> <p>○高速計算機に対する膨大な入力・出力データを高速に移動・保管するためのストレージ技術、○高い並列性能を可能にする高速通信技術、○大規模計算機環境の性能を生かせるアプリケーション開発技術、○幅広い基礎研究、量子コンピュータの例にも見られる、○並列計算機ハードウェア、○並列計算アルゴリズム、○数値モデル化、応用の開拓、○情報科学の基盤技術(アルゴリズム)、○演算装置(計算ノード)間を接続する広帯域、低遅延な内部結合ネットワーク、○浮動小数点演算、整数演算を高速に処理するマルチコアプロセッサ、大容量・広帯域・低遅延なメモリモジュール、○利用者にとって使い易く生産性が高いプログラム開発環境の整備、○国が技術の維持発展に努力すること、○無歪、低損失伝送技術、○大規模演算素子をこれまである技術ではない方法、例えばフォトン演算素子の開発、○資源配分、○コンピュータの処理能力を総合的に飛躍的に高めること、○メモリアクセスを高速化する技術。ランダムアクセスの高速性を放棄し、シーケンシャルアクセスに特化する、など、○半導体集積回路技術(CPU やメモリの広帯域化、省電力化)、○光・高周波回路技術(CPU メモリ間、ノード間の通信)、○ソフトウェア技術(並列計算の最適化など)、○超高速プロセッサ技術、○並列演算技術、○超高速メモリアクセス、○計算ノード間を超高速で通信可能な技術、○莫大な数となるCPUの消費電力を低く抑え技術、○莫大な量の計算結果を超高速で容易に利用できるような形で保存する技術、○グリッドコンピューティングなどのネットワーク環境の整備、○計算機技術が1000倍進歩しても、三次元問題の解像度は、各辺で高々10倍増加にすぎない。優れた数理解析の専門家も同時に養成し、両輪で攻めるべき、○計算機の進歩に合わせ、可視化技術はますます困難を極めている。見つけるべき現象(異常)を認識する解析方法の発展が必要、○半導体技術、○超電導物質、○信号処理技術、○高速演算を可能にする新基盤(半導体)が必要不可欠、○磁性体開発(スピントロニクス)、○CPUの演算速度に直結するため、それを組み立てる高性能ナノ材料の構築技術(FETのチャネル長が50nm以下で動作するような素子の超微細化や新材料の配置の技術)、○微小個所への素子の詰め込み技術、○性能を持続するソフトウェア技術、○メモリ技術、○CPU技術</p>

119 家庭でも利用できる、通信速度 1Tbps のネットワークインフラ
○後世の低格 PIXEL vs sinnosaka no naka、○光通信と CMOS 技術の融合、○広帯域 I/O を実現する 3 次元実装等の実装技術、○超高速光スイッチ、○光ファイバノイズキャンセルシステム、○光情報処理技術。特に光と電子信号間の情報転写の高速化、または光のままでの情報処理、○光ファイバー、○光ファイバー技術の高度化、○転送のためのデータ分割・圧縮・結合技術、○データ暗号化技術
120 1 エクサバイトのデータを 1 秒で検索できる検索技術
○アルゴリズムの開発、○組み合わせ論などによる数学的なアルゴリズムの開発、○確率論や計算代数統計などを用いた計算時間の上限の見積もりや、情報統計物理学を用いた決定論ではない確率的な最適化の開発
121 年間 1 エクサバイトの割合で生成される実験データを記録・保存し、1Tbps 級のネットワークを通して世界中の大学・研究機関の研究者の利用に供する技術
○拠点となる大学や研究機関の夫々に高速コンピュータが必要とされ、グローバルなネットワークの構築も必要とされる。○受益者負担には必ずしもならない仕組みを夫々の国々でどうやって構築するのか、或いは適切な受益者負担システムをどう構築するのかが課題、○既に行われているものとしては ResearchGate が存在している。これらも参考にすることが必要である、○通信・コンピュータ を安価にダイナミックに超並列化する技術、○通信回線などのハードウェア、○データの標準化、○データの関連づけ
122 電波領域からテラヘルツ、赤外光、可視光、UV、X 線領域までの広帯域コヒーレント周波数リンク技術
○伝送デバイス、○テラヘルツ光源技術、○テラヘルツ検出技術、○複素比誘電率の分光計測技術、○該当電磁波帯域における日本独自の計測技術、○高感度高精度検出器、○コヒーレント光波の各種パラメータの独立制御フィードバック技術、○超高出力極短光パルス発生技術と原子核との相互作用制御技術、○データ解析上のリンク技術、○それぞれの周波数領域の専門家間の技術協力、○光周波数コム、○広帯域光生成技術、○超短パルスファイバーレーザー技術、○効率的なセンサー技術、○エネルギー変換技術、○表示技術、○周波数コム、○レーザー制御
123 平坦な広帯域スペクトル発生、位相レベルのタイミング制御、精密なモード操作・利用・合成など、個別応用ニーズに合わせて光波のあらゆるパラメータを自在に操作・制御して任意波形を発生させ、計測・物性科学等に应用する技術
○赤外域レーザー発振技術(波長変換に頼らない直接レーザー発振の達成)、○赤外・テラヘルツ域 位相変調素子、○光波の高精度な制御技術(パルス包絡線波形、電界位相、偏光、周波数軸上のモード、空間分布などのパラメータを高精度に制御する)、○広帯域化にかかわる非線形ファイバー・波長変換デバイス、○固体・分子などにおける光波特性を利用した計測・操作技術、○超広帯域スペクトルを安定かつ高効率に発生する手法、○超広帯域なスペクトル領域を同時に計測できる検出器、○高強度レーザー技術、○レーザー光の位相精度の精密制御技術、○多波長の光波を計測する技術、○光コム、超短パルスレーザー、光ファイバー、光学素子などの光源とその周辺技術、○光と物質の相互作用など、物理や材料科学などに関する知見や制御技術、○制御や検出などのエレクトロニクス技術、○光源の信頼性・確実性の向上、○光源のコンパクト化・集積化、○変動検出と制御精度技術の向上、○安定・簡便・精密な光波面計測・制御技術、○レーザー光源技術、○光波制御技術、○光周波数コム、○光周波数標準、○メンテナンスフリーでコヒーレンスの高いレーザー、○特に CEP を安定化した日本製のレーザー 現在海外製のものしかないが、これでは先端技術を発信しようがない、○高速デジタル(25GHz サンプリング、75GHz 帯域以上の性能をもつ)、○高安定なギガヘルツ光周波数コム(自在に制御するための光源としてギガヘルツ間隔の光周波数コムで安定でハイパワーな光源が望まれます)、○シリコンフォトニクス(機能デバイスの集積化により位相制御を可能とするシステムのチップ集積化が望まれます)、○周波数間のコヒーレンスを保った広帯域光源、高い空間コヒーレンスを持つ光源等、広範な操作・制御を受け入れる光源、○光を空間モード・周波数成分等に分解し、操作後に合成する技術。分解した光路間の光路長差の安定技術や偏光状態の時空間変調技術を含む、○目的の波形に合わせた最適な分解・操作・合成手順を探索する技術。機械学習や脳型コンピュータ等の IT 技術の活用を含む
124 黒体輻射シフト抑制等により高精度化し、ジオイド計測に応用可能な $10^{-18}$ 精度の光格子時計
○ペイロードへの搭載(可搬)性実現のための技術開発(宇宙での実験を含む)、○コヒーレント光源技術、○可搬型超高真空装置。特に、新しいタイプの原子線源(超低消費電力、冷却水不要など)の開発が必要、○可搬型狭線幅レーザー装置、○可搬型光周波数コム装置、○光学部品の超精密加工技術、○光学素子、電気回路の安定化技術および制御技術(ノイズ低減、SN 比の向上)、○実験環境の安定化技術
125 基礎物理定数の精密測定に基づく、光子の運動量を単位とした極微小な質量測定や力測定技術
○光放射圧の精密制御、○光放射圧の精密測定、○光放射圧による物質運動制御、○現在の重力場から 4 次元空間を考える場合など、光子や電子の散乱確率等からそれらの位置を把握しているが微小時間でとらえるため、その検出技術やマッピング技術が必要である、○絶対光子数カウンティング技術、○極微小質量、力検出センサー
126 光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期による GPS 技術の高安定化、超高精度化技術など)
○周波数安定度が高く、安価かつ堅牢な光周波数標準の開発、○伝送経路における雑音を低減する技術



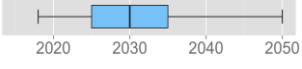
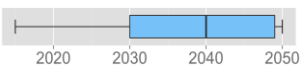

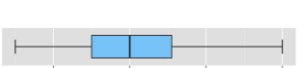



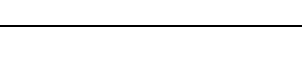


○高感度のイメージ素子、○スペクトルデータから効率的・効果的に必要となる情報を抽出する解析技術(ケモメトリックス)、○光源や検出器の小型化と低コスト化、○高出力な光源、○高感度な検出器、○高速に多機能な計測技術、○テラヘルツ分光学の確立、○テラヘルツ分光装置の高速、低価格化、○x 線画像センサー、○波長以下の分解能を持つ光画像センサー、○回折限界を超えた高速光計測システム、○テラヘルツ、赤外における高分解能センシング技術、○超解像技術の開発、○新規原理の提案、○電子顕微鏡と光学顕微鏡の融合、○劣化のメカニズムの解明、○計測手法の確立、○高空間分解能技術の開発、○超高感度 2D 検出技術、○高速画像処理技術、○テラヘルツ光源のさらなる発展、○イメージングを構築するアルゴリズム、○簡便に使える小型で強力かつ周波数可変のテラヘルツ光源の開発、○簡便に使える高感度テラヘルツ検出器の開発、○高出力テラヘルツ光源、○高感度テラヘルツ波検出器、○テラヘルツ領域の分光スペクトルデータベース、○ソフトマテリアルにおいて重要となる赤外～可視域における近接場光技術(振動分光)。特にその実材料・実製品への展開、○生体適用のための周辺基盤技術の開発、○超短パルスレーザー技術、○精密周波数計測技術、○偏光計測など新しい計測法を用いた診断技術





#### 4. 7. 集計結果一覧

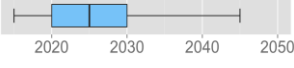
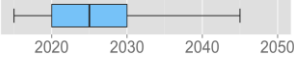
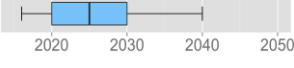
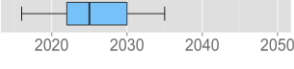
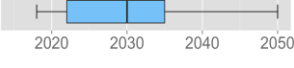



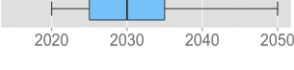
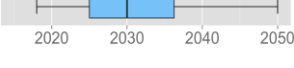
細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)				年	技術的実現 実現年幅	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性			倫理性
宇宙	1	宇宙利用を低コストで実現できるシステム(再使用型輸送システム、衛星等への燃料補給・修理点検・機器交換などのサービス技術等)	119	21	27	52	3.46	2.84	2.66	2.45	2.17	2025	
	2	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	121	9	31	60	2.98	2.32	3.09	2.84	2.63	2035	
	3	衛星の直接踏査等による対象天体の地球外生命探査技術	112	8	29	63	3.10	2.62	3.06	2.77	2.51	2030	
	4	安全な宇宙利用のための宇宙デブリの回収システム	114	9	25	66	3.54	2.75	2.87	2.60	2.24	2025	
	5	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	117	3	15	82	2.63	2.58	3.33	3.18	2.26	2040	
	6	宇宙太陽光発電システム	130	8	26	65	3.04	2.79	2.81	2.62	2.29	2030	
	7	国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の24時間高精度監視システム	112	7	24	69	3.46	2.91	2.17	2.23	2.69	2025	
	8	農業の無人化・自動化及び農業管理による生産性向上のため、人工衛星により、リアルタイムに誤差数cm程度の正確な位置情報を提供する高精度精密測位技術(原子時計の性能向上を含む)	93	4	26	70	3.06	2.86	2.29	2.25	2.23	2025	
	9	宇宙の商業利用(有人、超小型衛星など)の円滑な推進のための簡便で汎用可能な宇宙機管制システム	77	6	34	60	3.15	2.74	2.39	2.31	2.25	2025	
	10	宇宙初期のインフレーション仮説を検証するための観測技術	106	14	21	65	3.14	2.88	2.63	2.50	1.85	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装				社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他
3.4	2.5	17.1	49.6	22.2	9.4	1.7	2030		5.9	11.8	18.6	40.7	20.3	17.8	2.5
11.6	9.1	15.3	45.8	27.1	7.6	4.2	2040		24.8	14.9	16.4	29.3	35.3	16.4	2.6
9.8	10.7	17.1	44.8	28.6	6.7	2.9	2030		17.9	22.3	13.6	36.9	29.1	16.5	3.9
7.9	7.9	10.2	40.7	38.9	9.3	0.9	2030		12.3	14.0	15.1	30.2	35.8	17.0	1.9
41.0	20.5	15.4	32.7	27.9	14.4	9.6	2040		46.2	21.4	13.6	28.2	32.0	17.5	8.7
19.2	13.1	8.1	53.7	17.1	14.6	6.5	2035		23.8	19.2	10.7	38.5	19.7	22.1	9.0
0.9	7.1	14.0	53.3	17.8	8.4	6.5	2025		3.6	11.6	10.1	44.0	18.3	21.1	6.4
4.3	5.4	16.1	48.3	14.9	17.2	3.4	2025		6.5	6.5	15.3	38.8	14.1	27.1	4.7
2.6	11.7	21.9	34.2	26.0	9.6	8.2	2026		6.5	10.4	16.2	28.4	27.0	18.9	9.5
3.8	17.9	30.7	33.7	24.8	7.9	3.0	2025		9.4	33.0	29.8	24.5	29.8	8.5	7.4

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
宇宙	11	ダークマターが未知の粒子であるという仮説に基づき、そのような粒子を検出する技術	111	17	24	59	3.25	2.92	2.95	2.82	1.90	2025	
	12	ダークエネルギーの正体を解明する観測技術	98	14	28	58	3.17	2.82	3.18	2.97	1.90	2030	
	13	重力波を直接観測する技術	115	15	27	58	3.27	2.95	2.71	2.61	1.81	2025	
	14	宇宙線ミュオンを用いたイメージング技術	78	17	24	59	3.00	3.13	2.23	2.45	1.74	2026	
海洋	15	海面から海底までの CO <sub>2</sub> を測定可能なセンサー	80	9	30	61	3.42	2.97	2.47	2.37	2.01	2020	
	16	11,000m 級有人潜水船	68	9	25	66	3.05	3.26	2.45	2.34	2.24	2024	
	17	海中において、母船等の補助なしで、絶対位置を計測できる技術(海中ロラン、海中 GPS 等)	62	8	31	61	3.40	2.86	2.67	2.64	2.16	2023	
	18	海洋中の距離 10,000m で、100kbps を超える高速通信技術	48	8	15	77	3.33	2.73	2.89	2.76	2.30	2025	
	19	自律無人探査機(AUV)により、完全自動化された調査を長期的(数か月)に実施する技術	75	9	27	64	3.57	2.97	2.41	2.57	2.10	2025	
	20	自律無人探査機(AUV)同士が協調して作業する技術	55	13	20	67	3.28	2.92	2.53	2.67	2.00	2025	

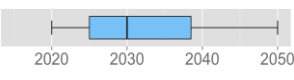
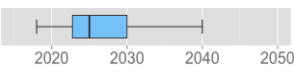
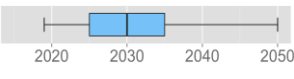
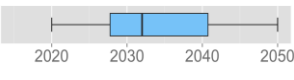
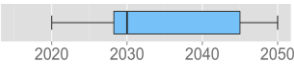
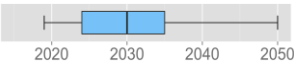
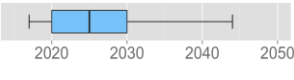
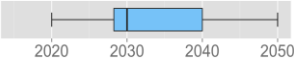
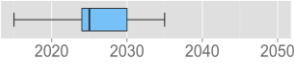
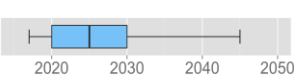
技術的実現		技術実現のための重点施策(%)						社会実装				社会実装のための重点施策(%)					
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他		
3.6	27.0	35.2	30.5	20.0	5.7	8.6	2027		9.0	36.9	27.3	20.2	28.3	11.1	13.1		
10.2	36.7	33.3	16.7	33.3	6.7	10.0	2031		14.3	44.9	28.4	17.0	30.7	11.4	12.5		
4.3	15.7	27.8	33.3	24.1	7.4	7.4	2030		7.8	28.7	27.5	27.5	22.5	7.8	14.7		
3.8	11.5	17.3	44.0	18.7	14.7	5.3	2025		3.8	21.8	13.7	35.6	19.2	21.9	9.6		
0.0	10.0	23.4	41.6	23.4	10.4	1.3	2025		1.3	13.8	10.8	39.2	31.1	18.9	0.0		
4.4	4.4	4.5	72.7	12.1	9.1	1.5	2025		13.2	10.3	9.1	53.0	13.6	19.7	4.5		
8.1	12.9	14.8	52.5	19.7	11.5	1.6	2025		9.7	11.3	13.1	49.2	26.2	11.5	0.0		
8.3	27.1	20.8	54.2	14.6	8.3	2.1	2030		10.4	22.9	14.6	54.2	16.7	14.6	0.0		
2.7	8.0	14.9	62.2	16.2	6.8	0.0	2025		6.7	13.3	17.8	46.6	21.9	12.3	1.4		
7.3	12.7	17.0	50.9	22.6	9.4	0.0	2025		10.9	14.5	13.2	56.6	20.8	9.4	0.0		

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
海洋	21	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術	69	12	20	68	3.49	2.84	2.69	2.73	2.28	2025	
	22	係留索を用いない定点時系列観測技術	61	15	39	46	3.45	2.77	2.55	2.47	1.93	2025	
	23	超小型電子チップ埋め込み等の技術を用いた海洋(深海含む)におけるバイオリング技術	65	12	17	71	3.33	2.91	2.38	2.52	2.37	2020	
	24	海洋中の微小生物(1mm まで)の in situ 遺伝子解析技術	54	7	15	78	3.10	2.84	2.57	2.63	2.14	2023	
	25	深海環境を再現し生物を大規模に飼育する技術	42	7	17	76	2.95	3.00	2.85	2.77	2.15	2025	
	26	メタンハイドレートの経済的な採取技術	88	6	15	80	3.42	3.10	2.90	2.77	2.56	2025	
	27	我が国の排他的経済水域における大水深下のレアアース・レアメタル探査及び採掘技術	72	11	15	74	3.44	2.96	2.86	2.72	2.27	2025	
地球	28	地球深部物質を汚染なしに取得するための大深度科学掘削技術	62	21	24	55	3.12	3.07	2.95	2.53	2.33	2025	
	29	人工衛星及び海洋・海中センサー等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム	61	8	31	61	3.48	2.95	2.57	2.44	2.16	2025	
	30	全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見い出すための切迫度評価	76	22	28	50	3.67	3.20	3.08	2.54	2.19	2025	

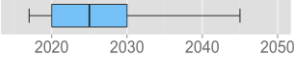
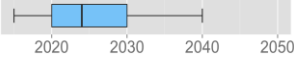
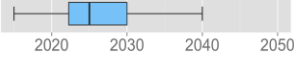
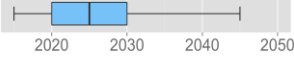
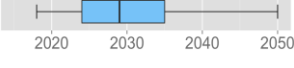





技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
2.9	10.1	13.6	48.5	30.3	7.6	0.0	2025		2.9	23.2	12.7	38.1	36.5	12.7	0.0	
1.6	8.2	12.3	66.7	12.3	7.0	1.8	2025		1.6	11.5	10.2	52.5	20.3	15.3	1.7	
4.6	6.2	28.6	39.7	15.9	15.9	0.0	2025		4.6	7.7	20.3	35.9	18.8	25.0	0.0	
1.9	20.4	26.5	49.0	12.2	12.2	0.0	2025		5.6	25.9	12.5	39.6	20.8	20.8	6.3	
4.8	21.4	25.6	48.7	10.3	10.3	5.1	2030		16.7	26.2	12.8	38.5	23.1	20.5	5.1	
10.2	14.8	21.2	41.2	18.8	16.5	2.4	2030		12.5	17.0	15.7	24.1	28.9	28.9	2.4	
9.7	12.5	17.1	48.6	14.3	15.7	4.3	2030		12.5	15.3	7.2	36.2	21.7	29.0	5.8	
6.5	25.8	21.7	41.7	23.3	11.7	1.7	2030		17.7	32.3	14.3	37.5	26.8	17.9	3.6	
4.9	18.0	28.6	37.5	16.1	17.9	0.0	2030		6.6	19.7	22.2	35.2	27.8	14.8	0.0	
11.8	30.3	37.8	31.1	14.9	16.2	0.0	2030		10.5	31.6	26.8	32.4	18.3	22.5	0.0	

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)				年	技術的実現 実現年幅	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性			倫理性
地球	31	山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術	64	20	27	53	3.48	3.08	3.06	2.45	2.13	2025	
	32	火山噴火史を解明するため、5~10万年前の年代測定精度を向上させる技術	50	20	22	58	3.04	2.88	2.44	2.22	1.91	2025	
	33	火山噴火に伴う津波や融雪災害の発生予測・評価技術	56	16	14	70	3.43	3.14	2.89	2.32	2.06	2025	
	34	M7以上の地震の発生時期(1年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	82	17	26	57	3.54	3.10	3.61	2.87	2.26	2030	
	35	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8以上の大規模地震の発生を予測する技術	75	16	24	60	3.55	3.24	3.51	2.74	2.10	2030	
	36	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術	58	12	31	57	3.19	3.21	2.74	2.42	1.76	2025	
	37	海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのプイ式津波・地殻変動観測技術	48	23	13	65	3.46	3.42	2.21	2.30	2.11	2020	
	38	地球内部で発生しているニュートリノを用いた地球内部の探査技術	49	8	10	82	2.90	3.25	2.73	2.75	1.70	2025	
	39	海底測地測量技術	46	13	22	65	3.46	3.27	2.31	2.39	2.02	2025	
地球観測・予測	40	人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で高精度・高感度に観測する技術(GCOM-Cで分解能250m、観測幅1000km程度。GCOM-Wで1450km程度。)	94	17	27	56	3.56	3.12	2.40	2.37	1.87	2021	

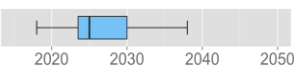
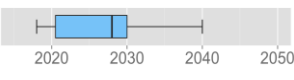
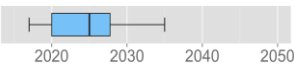
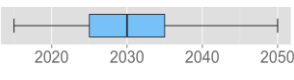
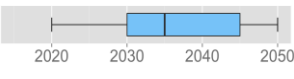
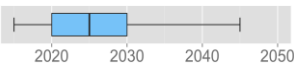
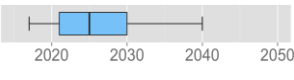
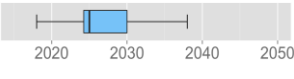
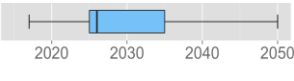
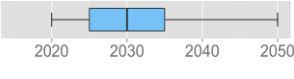


技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
14.1	20.3	37.7	41.0	8.2	11.5	1.6	2030		21.9	18.8	25.4	39.0	16.9	18.6	0.0	
2.0	18.0	27.7	42.6	19.1	10.6	0.0	2025		4.0	22.0	32.6	41.3	17.4	8.7	0.0	
10.7	16.1	35.8	30.2	26.4	7.5	0.0	2030		10.7	16.1	30.8	28.8	19.2	21.2	0.0	
40.2	29.3	37.8	17.6	24.3	12.2	8.1	2032		43.9	26.8	24.3	24.3	28.4	14.9	8.1	
28.0	36.0	31.3	20.9	23.9	16.4	7.5	2030		32.0	37.3	17.6	23.5	33.8	19.1	5.9	
8.6	20.7	30.2	43.4	9.4	15.1	1.9	2030		13.8	29.3	22.6	35.8	15.1	22.6	3.8	
4.2	6.3	13.3	60.0	15.6	11.1	0.0	2025		6.3	10.4	11.1	57.8	15.6	15.6	0.0	
10.2	12.2	20.0	42.2	22.2	11.1	4.4	2030		16.3	24.5	20.5	43.2	15.9	13.6	6.8	
0.0	8.7	11.4	63.6	13.6	11.4	0.0	2025		0.0	8.7	11.4	47.7	18.2	22.7	0.0	
1.1	8.5	19.3	53.4	14.8	11.4	1.1	2025		3.2	11.7	19.3	38.6	21.6	20.5	0.0	

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
地球観測・予測	41	人工衛星等による、イメージング分光計技術を用いた大気微量成分観測システム	70	14	26	60	3.38	3.00	2.47	2.47	1.84	2022	
	42	人工衛星等による、ライダー技術を用いた植生環境把握システム	66	14	23	64	3.17	2.93	2.46	2.47	1.86	2023	
	43	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術	79	14	25	61	3.47	3.13	2.50	2.54	2.13	2025	
	44	水産業等に利用するため、人工衛星等により、海水、海面温度、波浪、海流、クロロフィル等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム	72	13	24	64	3.39	3.02	2.09	2.17	1.87	2021	
	45	30km 程度の格子間隔で、表面から海底までの水温、塩分、溶存酸素、栄養塩、全炭酸を高精度で自動計測する技術	50	10	18	72	3.32	2.98	2.59	2.57	2.02	2025	
	46	沿岸海域や縁辺海を含む全球の海象状況や海底地形を把握するための、干渉 SAR 技術による高精度海面高度観測システム	56	7	34	59	3.33	3.04	2.43	2.55	1.91	2023	
	47	降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術	52	12	21	67	3.30	2.91	2.46	2.18	1.65	2023	
	48	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術	91	11	29	60	3.60	3.22	2.94	2.61	1.93	2025	
	49	短期の気象から長期の気候変動までを単一のモデルのフレームワークによって取り扱うシームレス予測技術	65	11	34	55	3.25	3.18	2.95	2.64	1.82	2025	
	50	衛星搭載センサーで測定した大気上空の酸素の同位体比の情報を大気数値モデルのデータ同化に用い、天気予報の精度を向上させる技術	37	8	22	70	2.67	2.97	2.89	2.75	1.74	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
1.4	10.0	16.2	51.5	14.7	16.2	1.5	2025		4.3	15.7	10.6	40.9	25.8	21.2	1.5	
0.0	13.6	19.7	59.0	9.8	11.5	0.0	2024		1.5	25.8	16.9	45.8	22.0	13.6	1.7	
1.3	22.8	16.7	55.6	18.1	8.3	1.4	2025		2.5	21.5	13.7	53.4	21.9	11.0	0.0	
1.4	19.4	16.4	49.3	22.4	10.4	1.5	2025		1.4	16.7	19.1	35.3	23.5	20.6	1.5	
8.0	20.0	25.5	46.8	21.3	6.4	0.0	2029		8.0	24.0	12.8	38.3	38.3	10.6	0.0	
3.6	19.6	20.0	52.0	16.0	10.0	2.0	2025		5.4	21.4	10.0	50.0	18.0	18.0	4.0	
0.0	25.0	30.4	39.1	21.7	8.7	0.0	2026		1.9	25.0	28.3	32.6	15.2	21.7	2.2	
9.9	7.7	36.0	36.0	17.4	8.1	2.3	2025		13.2	8.8	22.6	42.9	14.3	16.7	3.6	
10.8	15.4	33.3	31.7	20.0	11.7	3.3	2025		10.8	21.5	30.5	37.3	13.6	15.3	3.4	
13.5	27.0	28.1	28.1	28.1	12.5	3.1	2030		21.6	29.7	23.3	26.7	16.7	26.7	6.7	

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
加速器、素粒子・原子核	51	波長変換や非線形屈折率変化等の非線形現象を用いた新たな X 線光学素子	65	12	40	48	3.21	3.05	2.56	2.68	1.70	2022	
	52	現行に比べ 70%以上の省エネルギー・省メンテナンス型の X 線光源	78	17	37	46	3.18	3.11	2.43	2.41	1.84	2022	
	53	産業用自由電子レーザー(FEL)ベース EUV リソグラフィ光源	86	19	34	48	3.13	3.10	2.31	2.40	1.82	2020	
	54	レーザー駆動またはビーム駆動によるプラズマまたは誘電体航跡場を利用し、飛躍的な加速勾配を実現する新しい粒子加速技術(小型・可搬型の加速器・自由電子レーザー、アフターバーナー技術、高エネルギーコライダーへの展開)	117	19	38	44	3.28	2.97	2.94	2.96	1.80	2025	
	55	大強度陽子加速器を利用した加速器駆動原子炉及び核変換技術	123	6	33	62	3.27	3.07	2.94	2.77	2.72	2030	
	56	中性子線や X 線等を用いて、地下構造、地上構造物、機械構成材料の 3 次元応力・ひずみ分布を非破壊、非接触で、その場測定するための小型・可搬型加速器	116	9	40	51	3.32	3.10	2.38	2.50	2.27	2025	
	57	物質・生命科学に利用するため、軟 X 線および X 線領域における回折限界光を生成・加工する技術	69	29	30	41	3.36	3.15	2.29	2.41	1.93	2022	
	58	電子ビームとレーザーの相互作用を利用し、アト秒パルスの放射光を発生させる技術	80	23	36	41	3.11	3.03	2.50	2.52	1.90	2022	
	59	世界最高強度(10 <sup>9</sup> e <sup>+</sup> /sec オーダー)陽電子ビーム施設	91	20	33	47	3.11	3.10	2.29	2.44	1.99	2025	
	60	非周期物質生命系研究とその産業応用拡大に資する、パルス極冷中性子源や大強度中性子発生(中性子束 5x10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> /sec)研究用原子炉、及び中性子集束計測技術(中性子マイクロビーム、偏極中性子顕微鏡等)	58	17	38	45	3.28	3.07	2.24	2.44	2.09	2025	

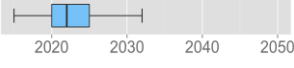
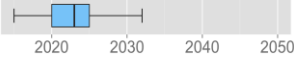
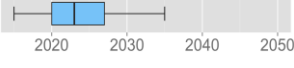
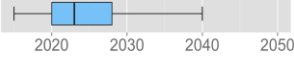
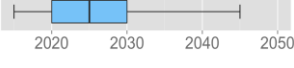
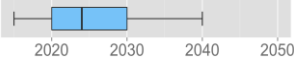
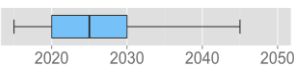
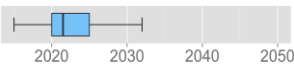
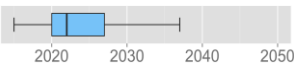
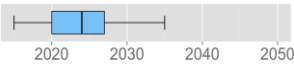
技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)						社会実装						社会実装のための 重点施策(%)					
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他				
1.5	13.8	47.5	28.8	13.6	8.5	1.7	2025		6.2	20.0	37.3	30.5	22.0	8.5	1.7				
7.7	11.5	28.2	46.5	14.1	9.9	1.4	2028		7.7	14.1	23.2	34.8	21.7	18.8	1.4				
8.1	10.5	19.0	44.0	17.9	14.3	4.8	2025		10.5	17.4	18.1	38.6	14.5	21.7	7.2				
10.3	15.4	26.2	44.9	15.9	9.3	3.7	2030		13.7	23.1	21.4	35.9	19.4	16.5	6.8				
13.0	26.8	20.7	38.8	19.0	17.2	4.3	2035		17.1	33.3	9.8	29.5	19.6	35.7	5.4				
4.3	14.7	22.3	48.5	8.7	15.5	4.9	2025		3.4	19.0	16.8	32.7	15.9	29.9	4.7				
0.0	8.7	12.1	57.6	16.7	10.6	3.0	2025		1.4	11.6	25.8	43.9	12.1	12.1	6.1				
3.8	12.5	36.4	41.6	15.6	6.5	0.0	2025		8.8	21.3	20.3	47.3	23.0	9.5	0.0				
4.4	9.9	12.8	61.6	10.5	11.6	3.5	2026		7.7	19.8	19.3	43.2	17.0	14.8	5.7				
1.7	3.4	12.5	60.7	7.1	16.1	3.6	2030		5.2	12.1	12.7	40.0	21.8	21.8	3.6				

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					技術的実現	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
加速器、素粒子、原子核	61	高平均出力レーザーからテラワット・ペタワット級高ピークパワーレーザーまで、レーザー装置の小型化、高安定化、高耐久化及び信頼性向上のためのコヒーレント結合技術	63	21	29	51	3.34	2.98	2.45	2.60	1.85	2025	
	62	TeV級の電子・陽電子コライダー技術	107	28	35	37	3.30	3.29	2.40	2.53	2.06	2025	
	63	100TeV級の陽子・陽子コライダー技術	98	16	45	39	2.98	2.74	2.96	2.74	2.08	2030	
	64	ニュートリノのCP非対称性と質量階層性を解明するための大強度ニュートリノビーム生成技術及び大型ニュートリノ検出器技術	80	21	35	44	3.20	3.36	2.25	2.26	1.88	2025	
	65	ニュートリノと反ニュートリノが同じ粒子か異なる粒子かを検証するための大型検出器技術	60	20	33	47	3.37	3.16	2.59	2.60	1.83	2025	
	66	クォーク3個またはクォーク・反クォーク対で構成される通常のハドロンとは異なるエキゾチックハドロンへの解明に資する加速器・測定器技術	60	18	32	50	2.71	3.18	2.38	2.09	1.77	2025	
	67	ハドロン構造及びハドロン間相互作用を第一原理計算とスーパーコンピュータを用いて解明するための手法(計算機技術と計算物理の最適化)	43	14	21	65	3.09	3.10	2.23	2.07	1.61	2025	
ビーム応用・放射光	68	軟X線領域でSPring-8を凌駕する中型高輝度放射光施設(電子エネルギー3 GeV、水平エミッタンス1.2 nmrad以下、輝度10 <sup>20</sup> phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%w.以上)	373	47	28	25	3.64	3.41	1.96	2.61	2.04	2020	
	69	化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速(ps~fsオーダー分解能)放射光分析基盤	297	24	34	42	3.60	3.25	2.40	2.85	1.92	2020	
	70	極低エミッタンス蓄積リングによる次世代の省コスト型・超高輝度放射光源	257	35	30	35	3.58	3.43	2.16	2.69	1.99	2020	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)						社会実装						社会実装のための 重点施策(%)					
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他				
0.0	15.9	15.5	62.1	13.8	5.2	3.4	2030		0.0	17.5	22.4	46.6	22.4	5.2	3.4				
6.5	12.1	19.2	50.0	22.1	5.8	2.9	2028		16.8	19.6	15.3	42.9	28.6	9.2	4.1				
14.3	26.5	13.3	40.0	34.4	7.8	4.4	2040		34.7	36.7	12.9	29.4	38.8	11.8	7.1				
2.5	10.0	14.9	55.4	21.6	6.8	1.4	2028		12.5	30.0	15.9	39.1	30.4	11.6	2.9				
6.7	18.3	14.8	48.1	24.1	9.3	3.7	2025		10.0	30.0	16.0	44.0	28.0	8.0	4.0				
5.0	10.0	19.2	40.4	23.1	11.5	5.8	2025		10.0	28.3	14.9	36.2	25.5	14.9	8.5				
2.3	16.3	35.9	46.2	12.8	2.6	2.6	2027		2.3	27.9	36.8	42.1	13.2	2.6	5.3				
0.5	10.2	32.0	37.8	18.8	10.8	0.6	2020		1.9	13.1	31.6	27.1	22.6	17.8	0.8				
1.0	13.5	35.3	31.8	14.8	17.3	0.7	2021		2.4	15.8	29.7	28.7	20.1	21.1	0.4				
0.8	10.9	25.1	48.6	17.3	7.8	1.2	2022		1.6	14.4	26.9	38.4	18.2	15.7	0.8				

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)				技術的実現		
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
ビーム応用 放射光	71	機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートル・フェムト秒オーダーで観測する技術	310	38	31	31	3.68	3.33	2.39	2.89	1.96	2020	
	72	ナノ分解能でマイクロオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの化学結合状態を3次元でイメージング可能な次世代X線顕微鏡	278	21	32	46	3.59	3.27	2.46	2.82	1.93	2020	
	73	サブナノメートル分解能からマイクロメートル分解能まで連続倍率可変な構造・化学状態・電子状態分析のための放射光イメージング技術	271	25	31	44	3.55	3.30	2.38	2.81	1.95	2020	
	74	細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析	250	17	32	51	3.56	3.27	2.45	2.80	2.02	2020	
	75	創薬や生命起源解明のためのナノメートルスケールでのタンパク質分子群可視化が可能な、先進的量子ビーム(放射光、レーザープラズマX線等)による超高速高解像X線顕微鏡技術やコヒーレントX線によるイメージング技術などの解析技術	216	18	27	55	3.58	3.28	2.46	2.87	2.06	2020	
	76	酵素の反応機構を解明する時分割タンパク質解析技術	140	20	29	51	3.49	3.16	2.41	2.66	1.99	2020	
	77	タンパク質1分子を試料として、その構造解析を行うX線回折技術	161	19	26	55	3.48	3.27	2.83	2.94	1.93	2024	
	78	マイクロメートルの空間分解能、マイクロ秒以下の時間分解能での高エネルギー放射光による、レーザー加工中材料のその場時分割計測・分析技術	179	12	31	56	3.19	3.10	2.16	2.50	1.87	2020	
	79	原子力安全性向上のための水素処理触媒開発や廃炉のための燃料デブリ組成・状態分析に必要な、高線量放射性物質または高線量環境下試料の構造・化学状態を放射光で解析する技術	121	12	30	58	3.61	3.10	2.28	2.46	2.37	2020	
	80	1光子検出が可能な2次元X線検出器の高分解能化、高速化、大型化による低線量診断	143	15	29	56	3.55	3.04	2.39	2.75	2.05	2020	



技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
1.3	13.5	36.1	35.7	15.5	12.4	0.3	2022		1.3	15.5	31.4	32.8	18.5	17.1	0.3	
1.4	17.3	34.9	35.7	11.6	16.7	1.2	2023		2.2	19.1	33.9	31.5	14.6	18.9	1.2	
1.8	18.8	35.4	35.8	15.7	11.4	1.6	2023		2.6	22.5	31.3	32.1	17.1	17.5	2.0	
2.4	18.4	40.1	34.1	11.6	12.5	1.7	2023		2.4	22.8	37.2	27.3	14.7	18.6	2.2	
2.8	16.7	36.7	39.7	9.5	13.1	1.0	2025		3.2	19.0	32.2	35.7	13.1	18.1	1.0	
1.4	17.1	34.1	36.4	11.6	17.1	0.8	2024		1.4	20.7	33.6	34.4	12.5	18.0	1.6	
8.1	24.2	32.4	34.5	11.7	17.9	3.4	2025		8.1	25.5	33.3	29.3	11.6	21.8	4.1	
1.7	13.4	26.5	44.0	10.2	18.1	1.2	2021		3.4	16.8	28.9	33.1	16.3	19.9	1.8	
3.3	14.9	25.4	36.0	14.0	23.7	0.9	2022		4.1	17.4	32.2	28.7	9.6	27.8	1.7	
1.4	16.1	28.7	47.8	12.5	8.8	2.2	2024		0.7	18.9	26.1	41.0	17.2	13.4	2.2	

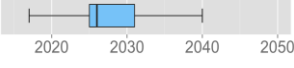
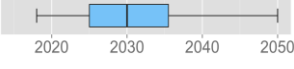
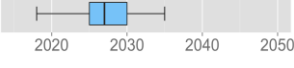
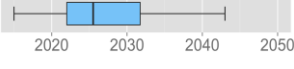





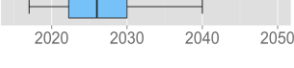
細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					技術的実現	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
ビーム応用・中性子・ミュオン・荷電粒子等	81	偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術	89	27	31	42	3.53	3.31	2.28	2.48	1.92	2020	
	82	中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ分布等を可視化し、その場観測する技術	124	17	29	54	3.46	3.17	2.23	2.45	1.95	2020	
	83	超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術	72	18	22	60	3.40	3.39	2.55	2.87	1.93	2020	
	84	偏極陽電子を生成・制御し、表面第 1 層の構造および磁気構造をモデルフリーで観測する技術	59	20	24	56	3.36	3.27	2.30	2.71	1.82	2020	
	85	複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を同一試料の同一位置に再現性よく、または同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態、一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術	131	30	39	31	3.52	3.37	2.50	2.77	2.01	2025	
	86	複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm~mm の幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術	123	34	28	37	3.45	3.32	2.30	2.74	1.97	2020	
	87	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによる At211 などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術	67	18	24	58	3.58	3.15	2.13	2.59	2.43	2020	
	88	イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術	74	19	23	58	3.41	3.31	2.72	2.81	2.79	2025	
	89	放射光やレーザー等を用いて、結晶成長中・デバイス動作下など実際に製造・使用されている条件下で、ナノスケールの材料の構造を原子レベルで測定する計測・分析技術	100	18	35	47	3.43	3.26	2.34	2.70	1.95	2021	
	90	生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術	81	20	27	53	3.60	3.34	2.30	2.58	2.44	2020	

技術的実現		技術実現のための重点施策(%)					社会実装					社会実装のための重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
0.0	14.6	35.7	31.0	13.1	15.5	4.8	2025		2.2	18.0	25.6	26.8	23.2	17.1	7.3	
0.8	14.5	31.3	29.6	15.7	21.7	1.7	2022		2.4	16.1	21.7	28.7	19.1	27.8	2.6	
1.4	23.6	44.9	34.8	8.7	11.6	0.0	2021		2.8	26.4	25.8	37.9	19.7	16.7	0.0	
0.0	13.6	23.2	41.1	16.1	17.9	1.8	2023		0.0	18.6	29.8	31.6	17.5	19.3	1.8	
3.1	13.7	20.2	43.5	18.5	14.5	3.2	2025		3.1	24.4	26.6	35.5	17.7	17.7	2.4	
0.8	11.4	21.4	41.9	20.5	12.8	3.4	2025		4.9	18.7	22.4	32.8	19.8	22.4	2.6	
0.0	11.9	10.6	51.5	13.6	22.7	1.5	2025		1.5	19.4	10.9	26.6	14.1	46.9	1.6	
8.1	21.6	24.3	38.6	11.4	18.6	7.1	2030		9.5	24.3	18.1	27.8	16.7	30.6	6.9	
2.0	18.0	22.6	51.6	10.8	11.8	3.2	2025		2.0	20.0	19.4	36.6	16.1	24.7	3.2	
0.0	12.3	24.1	44.3	13.9	15.2	2.5	2025		0.0	13.6	25.3	41.8	13.9	16.5	2.5	

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
ビーム応用：中性子・ミュオン・荷電粒子等	91	単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術(高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等への応用を想定)	63	41	22	37	3.38	3.34	2.37	2.68	2.11	2025	
	92	大強度中性子イメージング技術の高度化による、局所の金属組成分析や金属部品内微細構造の3次元可視化計測技術	91	13	30	57	3.42	3.32	2.23	2.63	2.00	2020	
	93	放射性廃棄物中の長寿命核種 135Cs を核変換技術によって無害化するために必要となる Cs 同位体分離に向けた、高強度 THz パルスを用いた量子制御技術に基づく新しい物質分離手法(同位体選択的加熱)	57	21	25	54	3.40	2.98	2.86	2.89	2.26	2025	
	94	イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術	54	22	35	43	3.33	3.39	2.59	2.93	2.20	2025	
計算科学・シミュレーション	95	データ同化やパラメータ最適化等の技術を導入した、大気・海洋の組成、生態系、物質循環などに関する地球環境予測モデル	138	9	22	68	3.41	3.00	2.88	2.44	2.04	2025	
	96	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展による水循環変動及び水土砂災害等の予測	120	10	27	63	3.44	2.97	2.78	2.37	2.12	2025	
	97	1km といった超高解像度の大気大循環モデルを用いた、20 世紀初頭から 21 世紀末に至るグローバルな気候変動の数値シミュレーション	129	8	25	67	3.24	3.10	2.84	2.38	1.91	2025	
	98	21 世紀末に至る全大陸上のエネルギー・水・物質(CO2 等)の収支が推計され、再生可能エネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスに関して今後懸念される問題点が 1km といった超高解像度で明らかになるシステム	92	7	21	73	3.18	2.84	3.03	2.72	2.24	2027	
	99	衛星からの水面高度計測や氾濫面積計測と数値モデルとを用いた逆解析により、河川の水深や流速を世界規模で広域に推計するシステム	76	7	20	74	3.20	2.84	2.81	2.51	2.09	2025	
	100	衛星観測並びに地上観測に基づき、人間活動も考慮した陸面水循環モデルを用いたシミュレーションによる、数時間から数日先までの全世界の洪水や渇水の予測	77	8	17	75	3.35	2.95	3.11	2.69	2.24	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
3.2	14.3	23.8	49.2	9.5	14.3	3.2	2030		3.2	15.9	19.0	41.3	22.2	14.3	3.2	
0.0	8.8	31.8	31.8	14.8	20.5	1.1	2024		1.1	11.0	27.0	27.0	21.3	24.7	0.0	
5.3	22.8	31.6	38.6	12.3	10.5	7.0	2030		12.3	26.3	19.6	30.4	21.4	21.4	7.1	
1.9	13.0	22.6	49.1	9.4	15.1	3.8	2030		1.9	25.9	24.0	40.0	6.0	24.0	6.0	
4.3	13.0	37.0	26.8	25.2	8.7	2.4	2028		7.2	21.0	25.0	31.5	19.4	20.2	4.0	
5.8	15.0	28.4	38.5	19.3	9.2	4.6	2028		5.8	18.3	19.1	32.7	19.1	22.7	6.4	
5.4	14.7	26.5	43.6	16.2	12.0	1.7	2030		7.0	20.9	18.0	36.9	19.8	20.7	4.5	
19.6	21.7	26.9	28.2	29.5	10.3	5.1	2030		19.6	23.9	15.8	30.3	27.6	18.4	7.9	
7.9	14.5	21.7	39.1	26.1	8.7	4.3	2030		10.5	22.4	13.4	37.3	22.4	20.9	6.0	
9.1	16.9	27.1	35.7	22.9	12.9	1.4	2030		9.1	20.8	17.6	30.9	14.7	32.4	4.4	

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
計算科学・シミュレーション	101	台風時の高潮・高波と降雨による内水・外水氾濫を統合して扱う沿岸災害予測	82	7	20	73	3.62	3.08	2.50	2.24	2.13	2025	
	102	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	89	8	16	76	3.28	3.10	3.25	2.84	2.16	2025	
	103	地震動・津波の直接被害のほか、構造物倒壊、火災、液状化、漂流物等も含めた、広域複合災害の予測システム	100	16	14	70	3.45	3.11	2.77	2.40	2.28	2025	
	104	実物試作をほとんどせずに自動車や大型工業製品を設計・開発することを可能にする、現実に忠実なシミュレーション	119	20	27	53	3.37	3.00	2.44	2.37	1.97	2025	
	105	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	53	2	19	79	3.13	2.70	3.14	2.83	2.94	2030	
	106	劣化に起因する事故を発生させない、大型工業製品(タービン、プラント、架橋等)等のシミュレーションによる劣化解析技術と高感度非破壊診断技術	77	6	26	68	3.50	3.09	2.61	2.52	2.11	2025	
	107	ほとんどの材料(開発対象となる材料の90%程度)において、特性を要求値に適合させる逆問題的な材料開発	52	4	29	67	3.37	3.04	3.00	2.80	1.85	2030	
数理科学・ビッグデータ	108	大都市圏での渋滞を発生させない、数理科学的渋滞予測モデルに基づくリアルタイムナビゲーションシステム	143	7	15	78	3.21	2.89	2.47	2.23	2.12	2020	
	109	数週間先までの雪氷災害発生予測に基づき、道路、交通、電力、農業施設等の事前対策を可能とするシステム	83	4	14	82	3.21	2.94	2.84	2.61	2.17	2023	
	110	大規模噴火の降灰に対する都市機能や地域経済の脆弱性評価手法	68	1	10	88	3.14	2.83	2.81	2.45	2.15	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
1.2	13.4	20.5	43.8	20.5	11.0	4.1	2026		1.2	14.6	14.1	43.7	18.3	19.7	4.2	
24.7	23.6	37.3	28.0	17.3	9.3	8.0	2030		31.5	27.0	19.2	23.3	17.8	30.1	9.6	
1.0	22.0	28.4	31.8	26.1	11.4	2.3	2027		2.0	26.0	19.8	30.2	25.6	22.1	2.3	
6.7	10.1	30.9	34.5	13.6	13.6	7.3	2025		6.7	9.2	22.9	34.9	18.3	17.4	6.4	
24.5	32.1	24.4	20.0	17.8	17.8	20.0	2035		26.4	32.1	8.9	15.6	24.4	31.1	20.0	
2.6	14.3	27.3	42.4	15.2	10.6	4.5	2030		1.3	16.9	19.7	36.4	25.8	15.2	3.0	
13.5	25.0	32.6	41.3	8.7	10.9	6.5	2035		13.5	28.8	22.7	36.4	15.9	18.2	6.8	
4.9	9.8	21.1	21.9	28.1	27.3	1.6	2025		7.0	14.7	7.0	18.0	29.7	44.5	0.8	
18.1	18.1	29.0	23.2	26.1	17.4	4.3	2025		16.9	19.3	8.6	28.6	25.7	30.0	7.1	
13.2	11.8	26.8	28.6	21.4	17.9	5.4	2026		13.2	16.2	19.6	25.0	26.8	25.0	3.6	

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
数理科学・ビッグデータ	111	災害発生時の人間行動(避難渋滞、パニック、買い占め、流言飛語等)がもたらす社会的影響のシミュレーション	81	7	17	75	3.08	2.71	2.91	2.55	2.77	2020	
	112	津波の即時評価と連動した避難指示システム	95	8	18	74	3.60	3.16	2.53	2.35	2.43	2020	
	113	現在地及び避難経路の被災状況(現状及び予測)に関する大量の定型・非定型情報を統合して、適切な避難場所まで誘導するシステム	86	6	21	73	3.33	2.99	2.76	2.53	2.48	2020	
	114	非定型・主観的・散逸的なビッグデータとシミュレーションを連成させ、災害による被害の加速化を予測するシステム	68	6	12	82	3.02	2.75	2.96	2.61	2.62	2025	
	115	観測データ、センサーデータ、ソーシャルメディアデータ等を統合した自然災害・被害状況の把握	116	9	14	78	3.35	2.93	2.64	2.42	2.58	2022	
	116	大型輸送機器(船舶、鉄道、航空機等)の高信頼設計を可能とする、過去の事故・災害データや想定される気象災害シミュレーション結果等を用いた統合安全評価システム	49	8	14	78	3.22	2.80	2.40	2.26	2.25	2025	
	117	将来の社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルを用いてシミュレーションを行い、政策の意志決定を支援するシステム	69	6	23	71	2.88	2.38	2.99	2.72	2.80	2025	
	118	1秒間の演算速度が10エクサ=10 <sup>19</sup> 回を超えるスーパーコンピュータ	163	10	23	67	3.45	3.32	2.36	2.51	1.85	2022	
	119	家庭でも利用できる、通信速度1Tbpsのネットワークインフラ	119	4	17	79	3.02	2.92	2.27	2.37	2.01	2022	
	120	1エクサバイトのデータを1秒で検索できる検索技術	100	1	19	80	3.34	2.82	2.47	2.63	2.19	2025	

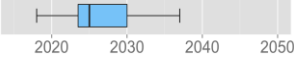
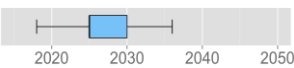

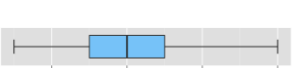

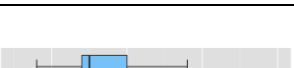


技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
13.6	28.4	39.4	10.6	27.3	21.2	1.5	2025		14.8	38.3	25.4	7.9	28.6	31.7	6.3	
2.1	12.6	24.1	38.6	21.7	15.7	0.0	2025		2.1	15.8	17.9	27.4	23.8	28.6	2.4	
5.8	20.9	21.4	44.3	14.3	17.1	2.9	2025		7.0	25.6	11.4	24.3	28.6	30.0	5.7	
14.7	29.4	38.2	27.3	18.2	12.7	3.6	2026		14.7	41.2	17.0	17.0	32.1	28.3	5.7	
2.6	13.8	21.4	32.7	28.6	15.3	2.0	2025		3.4	16.4	11.5	25.0	31.3	30.2	2.1	
10.2	14.3	25.6	46.2	17.9	10.3	0.0	2028		12.2	20.4	12.8	38.5	25.6	23.1	0.0	
21.7	21.7	37.5	28.6	16.1	14.3	3.6	2030		24.6	26.1	22.6	26.4	34	9.4	7.5	
0.6	14.7	20.7	62.0	8.0	6.7	2.7	2025		1.8	19.0	14.6	55.6	9.7	17.4	2.8	
4.2	19.3	13.3	45.7	8.6	28.6	3.8	2025		5.9	20.2	3.9	35.0	6.8	49.5	4.9	
1.0	28.0	35.2	34.1	13.6	14.8	2.3	2025		4.0	30.0	17.6	37.6	14.1	28.2	2.4	

細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
ビッグデータ・数理科学	121	年間1エクサバイトの割合で生成される実験データを記録・保存し、1Tbps級のネットワークを通して世界中の大学・研究機関の研究者の利用に供する技術	118	7	18	75	3.34	2.88	2.38	2.44	2.27	2025	
	122	電波領域からテラヘルツ、赤外光、可視光、UV、X線領域までの広帯域コヒーレント周波数リンク技術	120	40	29	31	3.50	3.24	2.44	2.75	1.92	2024	
計測基盤	123	平坦な広帯域スペクトル発生、位相レベルのタイミング制御、精密なモード操作・利用・合成など、個別応用ニーズに合わせて光波のあらゆるパラメータを自在に操作・制御して任意波形を発生させ、計測・物性科学等に応用する技術	102	33	40	26	3.45	3.19	2.53	2.66	1.86	2025	
	124	黒体輻射シフト抑制等により高精度化し、ジオイド計測に応用可能な10 <sup>-18</sup> 精度の光格子時計	59	12	22	66	3.36	3.53	2.39	2.79	1.93	2022	
	125	基礎物理定数の精密測定に基づく、光子の運動量を単位とした極微小な質量測定や力測定技術	65	18	20	62	3.25	2.93	2.76	2.71	1.81	2025	
	126	光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバーリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期によるGPS技術の高安定化、超高精度化技術など)	73	15	32	53	3.43	3.22	2.15	2.35	1.69	2021	
	127	計測対象、環境、条件の変動に瞬時・自在・高精度・広帯域に対応し、目的の計測そのものを用いて変動要因を補正する技術	64	17	25	58	3.38	3.02	2.52	2.64	1.90	2022	
	128	光源、計測装置を一体化したマイクロシステム化、チップ化	101	15	32	53	3.39	3.09	2.30	2.55	1.82	2022	
	129	深い穴を持つ工業製品など高いアスペクト比を持つ対象を始め、任意の形状を高速・高精度に多点計測し、イメージングに展開する技術	75	25	33	41	3.24	3.06	2.19	2.33	1.76	2020	
	130	計測、伝送、信号処理からアクションまでをオール光でアダプティブに対応する、計測制御システム	68	15	37	49	3.15	2.98	2.49	2.56	1.75	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
3.4	22.0	17.0	39.6	20.8	19.8	2.8	2027		6.8	27.1	7.5	37.7	21.7	29.2	3.8	
1.7	8.3	36.2	27.6	22.4	10.3	3.4	2030		4.2	13.3	26.5	29.2	23.9	16.8	3.5	
1.0	14.7	34.7	42.1	13.7	7.4	2.1	2030		2.9	22.5	23.7	38.7	23.7	11.8	2.2	
0.0	18.6	37	37.0	16.7	7.4	1.9	2026		3.4	22	21.2	36.5	17.3	23.1	1.9	
0.0	26.2	30.4	41.1	17.9	7.1	3.6	2030		3.1	43.1	21.8	30.9	25.5	18.2	3.6	
0.0	6.8	30.4	39.1	8.7	18.8	2.9	2025		1.4	9.6	10.4	32.8	20.9	34.3	1.5	
3.1	20.3	37.7	39.3	4.9	11.5	6.6	2025		3.1	25.0	31.1	32.8	9.8	21.3	4.9	
0.0	9.9	25.0	50.0	16.7	7.3	1.0	2025		0.0	14.9	19.4	40.9	25.8	12.9	1.1	
0.0	6.7	30.4	44.9	13.0	10.1	1.4	2025		1.3	9.3	18.8	36.2	20.3	23.2	1.4	
7.4	19.1	42.2	37.5	14.1	6.3	0.0	2027		8.8	25.0	27.0	41.3	15.9	14.3	1.6	

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
計測基盤	131	長距離絶対計測技術(精度サブマイクロメートル、範囲 100m 以上、長時間安定性)	59	8	29	63	3.22	3.07	2.37	2.48	1.84	2020	
	132	デバイス集積化のための微小領域の変位絶対計測(ピコメートル精度、ミリメートル範囲、真空中および大気中)	67	13	31	55	3.28	3.07	2.47	2.44	1.66	2020	
	133	半導体の極限的な微細加工により可能となる光と物質の相互作用を用いた、通常のサイズの装置では考えにくい原理や性能を持つセンサー	76	17	37	46	3.33	3.04	2.89	2.87	1.77	2025	
	134	天文学(アストロコム)、分光データベース、環境分析、医療診断などへの応用のための、電波領域から光、X線領域までの超広帯域精密分光技術による絶対精度の測定技術	75	24	33	43	3.30	3.04	2.31	2.51	1.79	2025	
	135	赤外からテラヘルツ領域の波長を利用した、エアロゾル混在揮発性有機化合物(VOC)ガスの in situ 分析技術(検出感度 10ppm~1%@気体分子種に依存)	55	11	38	51	3.19	2.92	2.24	2.30	1.90	2020	
	136	従来の手法では計測困難な材料(ソフトマテリアル等)の劣化診断や非破壊検査が可能な3次元イメージング技術(テラヘルツ領域で3次元空間分解能100um、光波領域でサブマイクロメートル)	80	25	24	51	3.31	3.09	2.50	2.56	1.89	2021	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
3.4	11.9	28.6	46.4	16.1	7.1	1.8	2025		6.8	13.6	17.9	32.1	28.6	17.9	3.6	
1.5	17.9	35.5	50.0	8.1	4.8	1.6	2025		1.5	19.4	22.0	49.2	10.2	18.6	0.0	
1.3	18.4	37.7	42.0	11.6	7.2	1.4	2030		1.3	22.4	14.9	41.8	23.9	16.4	3.0	
5.3	8.0	39.4	33.3	12.1	7.6	7.6	2030		6.7	13.3	24.2	31.8	22.7	13.6	7.6	
0.0	14.5	29.4	39.2	17.6	9.8	3.9	2025		0.0	18.2	22.0	36.0	22.0	16.0	4.0	
1.3	12.5	28.9	53.9	13.2	2.6	1.3	2025		2.5	17.5	18.2	48.1	22.1	9.1	2.6	