

## 社会の要請・ビジョン

### ■ Society 5.0の実現

- あらゆる人・コトがつながった超スマート社会の実現により、デジタル技術に立脚したビジネス、産業構造、社会システムへの変革が期待される。クラウドのサイバー世界と人々が生活するフィジカル世界をつなぐ境界領域（CPS）を支えるコア技術として、材料・デバイスへの期待が大きい。特に、IoTデバイス、最先端半導体、自動運転、ロボット、ポスト5G通信などに注目が集まる。

### ■ グローバルな環境・エネルギー問題の解決

- SDGsの達成、人間と地球が調和する持続的な発展への取り組みが進む。特にカーボンニュートラルの動きに呼応して世界中でエネルギー政策の見直しが進む。再生可能エネルギー大量導入に向け、発電技術、電力貯蔵技術、電力変換技術などの鍵を材料・デバイス技術が握る。
- 環境面では大量生産・大量消費・大量廃棄からの脱却を掲げた循環型社会（サーキュラーエコノミー）への取り組みが進む。大気や土壌汚染の改善・防止技術、海洋汚染（特にナノ粒子も含むマイクロプラスチック）の改善・防止技術がクローズアップされる。物質・材料・デバイスの研究開発において、資源循環過程を考慮した最適設計、最適製造を行うことが長期的な重要課題である。

### ■ 超高齢社会、ポストコロナ社会への適応

- 高齢人口の割合が増加するなか、健康寿命を延伸するためには「健康維持」「疾患治療」「身体機能の補修・代替・拡張」がより重要になる。
- 感染症対策、未病段階における超早期診断のための生体情報モニターや簡便な在宅医療システム、難治疾患・がん・脳疾患などの根本的治療にナノテク・材料への期待は大きい。

## 社会・経済の動向

### ■ 経済的側面

- 米中の貿易摩擦や、新型コロナウイルス感染症流行拡大などによって、従来のグローバルサプライチェーンの脆弱さが明らかとなり、わが国の重要な位置を占める部材産業の展望には不透明さが伴う。
- 日本は、高度なすり合わせを必要とするシステム化製品産業、高精度技術を必要とする製造装置産業、高性能・高信頼性を実現している部品や素材（部材）産業に存在感を示してきた。しかし、NAND型フラッシュメモリ、パワートランジスタ、リチウムイオン二次電池(LIB)とその構成材料、炭素繊維などここ数年でシェアが低下しているものもみられる。
- 日本の特許国際競争力に着目すると、マイクロ構造・ナノテクノロジー、半導体、基本的な材料化学、表面技術・コーティング、光学機器、有機ファイン・ケミストリー、高分子化学・ポリマーなどナノテク・材料分野と関連深い分野で高い競争力を保っているが、近年陰りもみられる。

### ■ 社会的側面

- 欧州各国を中心に、ナノ材料の登録規制や評価基準の規定が進んでいたが、近年先端材料（アドバンスドマテリアル）のリスク評価検討が進んでいる。
- ナノテク・材料研究への外国人人材の参画を短絡的に安全保障の危機としてとらえる議論があるが、研究開発のフェーズ、秘匿区分に応じた情報管理、輸出管理などに配慮した体制構築が重要。むしろ基礎研究フェーズでは積極的な国際連携を図ることが望ましい。
- オープンイノベーションの時代に入り、産学連携のエコシステムのあり方も変容をせまられるなかで、知的財産をどのように戦略的に取り扱いイノベーションにつなげるか、オープン・クローズ戦略など抜本的な検討が求められる。

## 世界の研究開発トレンド

<b>次世代パワー半導体</b> SiC, GaNが実用化フェーズにSiの高性能化も着実に進む。Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、ダイヤモンドなどウルトラワイドギャップ半導体への関心が高まる。	<b>次世代蓄電デバイス</b> LIBの着実な高性能化が進む中、全固体型、金属-空気、多価イオン、リチウム一硫黄などの革新電池の研究にも進展。一部のギャップ半導体への関心が高まる。	<b>バイオファブ리케이션</b> 細胞からなる3次元組織体を生体外で構築する技術が進む。組織・臓器再生、創薬などの医療用途に加えて、培養肉製造への応用にも期待。	<b>集積化 3次元チップ</b> AI等による危険予知や状況認識には、多種多様な情報（データ）が必要。信頼性が高く、様々なデータを取得可能なマルチモーダルセンサに期待。	<b>脳型AIチップ</b> 次世代人工知能技術に要求される高度な情報処理の実現に向け、脳構造・機能にヒントを得た情報処理技術とそのチップ化に期待。	<b>量子コンピュータ</b> 米国Google、中国科大が量子優位性を発表。と相次いで発表。米国IBMも量子ビットの高集積化に向けた開発を進めるなど、競争が白熱。
<b>循環可能な材料設計・創製</b> 材料の使い捨てから再利用へのシフトに関心が高まりつつあり、材料における結合・分解の精密制御による循環可能な材料の設計・創製への期待が高まる。	<b>多機能・複雑系材料設計・プロセス</b> 高性能化、多機能化、相反する機能の共存などを表現する複雑な組成や構造を有する新材料の設計とプロセス技術に期待。	<b>データ駆動型材料設計・創製</b> 機械学習などデータ科学的手法により物質設計・創製を革新。ロボットによる自律的探索や合成プロセスを活用。材料開発期間を大幅短縮。	<b>低次元・2次元材料</b> 低次元性やトポロジに起因する特徴的な電子状態を活かした次世代の電子デバイスやエネルギー変換デバイスの候補として、低次元材料やトポロジカル材料に注目。	<b>3次元微細加工</b> セルフアライメント化と高アスペクト比化が先端半導体プロセスの重要な進化軸。選択的ALDや、超高選択比加工を可能にするALEへの期待が高まる。	<b>オペランド計測</b> 材料の合成過程やデバイスの動作状態の動的計測を通じて機構を解明。高機能材料・デバイスの開発を支援。

# ナノテクノロジー・材料分野 (2021年)

## ナノテクノロジー・材料分野 研究俯瞰図



## 日本の現状・課題 (俯瞰区分ごと)

- 総論**
  - 長年の技術蓄積により、エネルギー材料、電子材料、複合材料などの物質創製・材料設計技術に伝統的に強み。上記を支える計測・分析・評価・加工技術に関しても、強みを有する技術が多数存在。
  - IoT社会実現に向けたセンサ・コンピューティングのヘテロ集積モジュール技術等に強み。
  - データ科学、標準化・規制戦略、医工連携、産学連携、ナノ物質・新物質のELSI/EHS/RRRI、人材育成に課題。
- 環境・エネルギー分野**
  - 再エネ利用、CO<sub>2</sub>削減、資源循環の観点から世界的に研究開発が活発化。
  - 日本は、太陽電池、蓄電デバイス、パワー半導体、エネルギーキャリアで国プロが充実し基礎研究フェーズに強み。
  - キーデバイスの研究開発に注力しすぎること、システム全体を含めた製品普及フェーズでの後れが懸念。
- ICT・エレクトロニクス分野**
  - 日本は、新概念にもとづくエレクトロニクスの基礎研究では存在感を発揮。
  - 従来産業界に蓄積された技術・人材の散逸を防ぎ、有効利用するための仕組みが課題。
  - 量子技術分野では国家戦略が策定され強化されつつあるが、他国と比較すると予算規模・増え方は十分とはいえない。
- ライフ・ヘルスケア分野**
  - 日本は、バイオ材料、ナノDDS等のナノ医療システム、バイオ計測・診断デバイス、バイオイメージングなど基礎研究のレベルは高い。
  - 医工連携・異分野融合が不十分。安全性評価・承認取得の難しさ、ベンチャー支援制度の不足など、応用研究・開発へつなぐための支援体制の構築が課題。
- 社会インフラ分野**
  - 日本は、金属材料、複合材料ともに研究レベルが高く、炭素繊維の生産は市場的にも圧倒的にシェアが高い。
  - SIPで開発してきたマテリアルズインテグレーションによる材料設計を活かした材料機能の高性能化が期待される。
  - 中国・韓国における基礎研究、応用・開発研究が活発化してきており、競争力の維持が課題。
- 物質と機能の設計・制御**
  - ナノテク・材料分野の中核をなす研究領域が含まれ、日本の競争力の源泉であり、活発な基礎研究が進む。
  - 応用研究・開発研究では、低次元・トポロジカル材料など欧米と比較して劣勢にある研究領域も存在する。
  - マテリアルズ・インフォマティクスが世界的に活発化。特に中国での論文・特許数の上昇傾向が著しい。
- 共通基盤科学**
  - 日本は、微細加工関連技術では、半導体素子製造材料、欠陥評価技術で産業優位性を維持。積層造形・レーザ加工へも力を注ぐが、欧米中が先に実用化段階にある。
  - オペランド計測分野で新規計測手法の開発に貢献。
  - 理論・計算では、量子コンピュータを活用した量子化学計算で先頭集団を維持する。

## 主要国におけるナノテク・材料科学技術の基本政策・国家戦略動向

- 米国では、国家ナノテクイニシアティブ (NNI) を20年間にわたり継続し、AIエレクトロニクスや量子イニシアティブに接続。データ駆動型材料設計を目的としたMaterials Genome Initiative (2011~2016年) の後継プロジェクト化に向けた動きが加速。また、希少鉱物資源対策に関する大統領令を受けCritical Materials Instituteが2018年より継続。
- 欧州はHorizon 2020において、ナノテク・先端材料をKET's (key enabling technologies) として位置づけている。Graphene Flagship、Human Brain Project、Quantum Flagshipを大型予算 (1Bユーロ) で推進。2021年に開始されるHorizon Europeの準備が進んでいる。サーキュラーエコノミーへの移行、グリーン水素など環境・エネルギー関連の取り組みで世界を牽引。またナノELSI/EHSで世界のリーダーに。
- アジアでは中国の台頭が目立つ。中国製造2025など製造技術・材料デバイス技術の覇権獲得に向けた国家的取組が活発化。蘇州市などを中心とするナノテクイノベーション特区の整備により世界各国の企業、投資家の誘致にも力を入れる。台湾・韓国・シンガポールなどもナノテクの先端研究開発拠点を築き、世界のR&D、製造拠点を吸引。

## めざす社会像

### 6つのニーズ、13のグランドチャレンジ

#### ■ 安全・安心で豊かなデジタル社会

- ① コンピュータ革新を支えるIoT/AI/量子デバイス**  
生活空間、社会空間に張りめぐらされたセンサ群から得られるビッグデータを安全・高速・低消費電力で情報処理する革新的なコンピューティングデバイスの実現。
- ② 安全低環境負荷の輸送と低消費電力・大容量の通信**  
人や物などの物理的実体 (リアル) や大容量の情報 (サイバー) のいずれも低環境負荷かつ安全に輸送、送達するインフラの実現。

- 1. 量子状態の高度制御**  
量子物性の高次制御によって新たなセンシング、通信、コンピューティングを実現。トポロジ等々の新概念を導入することで従来エレクトロニクスを超える新機能を創出。
- 2. ポスト5Gデバイス・材料基盤**  
完全自動運転などの実現を支えるポスト5G通信技術で求められるミリ波・テラヘルツ帯の高周波域で動作する材料・デバイスの革新。
- 3. IoTデバイス集積**  
物理センサ、化学センサ等を統合的に用いたマルチモーダルセンサネットワークの構築による高付加価値情報の創出。
- 4. ナノ化学制御によるスマート材料**  
輸送・交通におけるCO<sub>2</sub>排出量の大幅削減、摩擦によるエネルギー損失を大幅低減した機械機器、社会インフラ材料の超長寿命化や易修復などを実現する材料・デバイスの創製。

#### ■ 健康で幸せな生活が可能な社会

- ③ 健康・医療・生産システムを支えるバイオ技術**  
健康寿命の延伸等に資する疾患の超早期診断やヘルスマニタリング、身体機能の補助を行う医療デバイス等の実現。細胞や微生物を活用したバイオ技術による食料生産 (人工培養肉ほか)。
- ④ 人と共生するロボット**  
負担の少ない高齢者介護、安全な社会インフラ保守管理などの課題の解決のため、人間が苦手な作業の代行や人間の作業能力を補強・拡張可能な共生ロボットの活用。

- 5. ヘルスケアIoT**  
疾患の存在を示す指標 (バイオマーカー) を検出・モニタリングする技術、環境中に存在するウイルス・細菌などを検知する技術など、ヘルスケアに必要なデータを取得するための技術開発。
- 6. バイオインスパイアード材料・システム**  
生物が有する巧妙な構造や機能、生物が低エネルギーで実現する動作や低環境負荷の物質生産に学んだ材料・デバイス、生産システムを人工的に構築。
- 7. バイオアダプティブ材料**  
生体環境に適合した材料の探索という従来の概念を超え、生体との相互作用を積極的に活用して能動的に制御する機能をもつ材料の設計・創製。
- 8. 脳型AI・スマートロボット**  
常に変化する開かれた環境の中で、人と一緒に連携して作業する自律・共生型のスマートロボットを実現。そのための高度な認識・判断を高エネルギー効率で行う脳型AIチップや小型高出力アクチュエータ、さらにこれらを統合するソフトロボティクスの開発。

#### ■ 低環境負荷で持続可能な社会

- ⑤ 水・大気・資源の循環を可能にするスマート材料**  
世界の人口増による著しい水不足や海洋汚染、CO<sub>2</sub>・大気汚染問題、および世界のハイテク産業を支える希少元素をはじめとする鉱物資源枯渇の危機や偏在性から生ずる価格高騰のリスクを解決するために必要な材料・デバイス。
- ⑥ 省/創/蓄エネのための先端材料・デバイス**  
再生可能エネルギーを持続かつ効率的に導入するために必要な省/蓄エネルギー用材料・デバイス。
- 9. サステナブル元素戦略**  
グローバルな課題解決に資する魅力的な機能を持った材料・デバイスの継続的創出のため、新機能の追求と元素・物質循環に代表されるサステナビリティを重視した材料創製を可能にする強固な材料開発基盤の構築。
- 10. カーボンニュートラル基盤**  
化石燃料利用の削減、再生可能エネルギー利用の増大のための継続的な材料・デバイス群の研究開発。蓄電池、燃料電池、太陽電池、グリーン水素利用技術、熱制御材料など。

#### ■ 上記すべての基盤技術

- 11. 多機能・複雑系の材料設計**  
機能性材料の高度化に多元素化や複合化などの複雑化が避けられないなか、絨毯爆撃的な材料設計から脱却し、進展が著しいシミュレーションやデータ科学、さらにはオペランド計測を駆使した精緻な材料設計、プロセス設計手法の確立。
- 12. 材料合成プロセス設計基盤**  
材料やデバイスを合成・作製するプロセスについて、データ科学を用いて最適プロセスの発見を行うプロセス・インフォマティクスなどの設計基盤の構築。
- 13. 次世代オペランド計測**  
反応プロセス中の物質・材料もしくは実動作下の材料・デバイスを対象に動的計測を実行し、得られた計測結果に対してデータ科学的手法を駆使して高速・高効率なデータ解析を実現。計測とプロセスを一体化したものづくりのための基盤技術を構築。

## 2.3 ナノテクノロジー・材料分野

ナノテクノロジー・材料分野は、物質科学、量子科学、光科学、生命科学、情報科学、数理科学といった基礎科学をベースに、ナノスケールで生じる現象を取り扱う科学として発展してきたナノサイエンスを土台に置いている。ナノサイエンスの土台の上には、たゆまず進展してきた微細加工技術や、材料プロセスと成形が一体化した積層造形などの製造技術、高分解能顕微鏡などサブオングストロームの分解能におよぶ計測、第一原理電子状態計算による物質構造と機能の予測、シミュレーションやモデリングによる解析技術、データ科学などを柱とした共通基盤科学技術が構築され、そうした基盤技術を利用することで、元素戦略や分子技術、マテリアルズ・インフォマティクス、界面・空隙制御、フォノンエンジニアリングなどの物質と機能を結ぶ設計・制御技術が構築されている。そして、これら物質・機能を組み合わせることで部素材、あるいはデバイスが構築され、それら多様な部素材・デバイスは応用目的に応じて、環境・エネルギー分野、ライフ・ヘルスケア分野、ICT・エレクトロニクス分野、社会インフラ分野の最先端を拓く技術が生み出される。下の俯瞰図には、以上述べた分野の構造が示されている。



図 2.3-1 ナノテクノロジー・材料分野の研究開発俯瞰図 (2021年)

人類の文明は、古くから、その時代に利用できる材料と深く関係しており、材料技術の発展が社会や人々の暮らしのあり方を規定してきたといっても過言ではない。21世紀に入ってから、それまで材料技術が担っていたテクノロジードライバーとしての役割を、ナノテクノロジーがともに担うようになった。ナノテクノロジー

は、材料技術と協調しながら社会や暮らしの変化をより一層加速し、異分野技術の融合、技術のシステム化を通して、現代社会の著しい変化をその根本で支えている。

一方で、ナノテクノロジー・材料科学技術が、社会の中で非常に幅広い領域で使われているという特性のために、それらが人体や環境に対して負の影響を与える可能性への懸念も増えている。世界が工業化し始めた初期から、工業廃棄物による各種公害、食品添加物や医薬品による食害・薬害などの人体や環境に対する安全性の問題は生じていたが、ナノスケールの大きさを持つナノ材料の場合には、事情はさらに複雑である。新規なナノ材料は、従来の材料とは異なる新物性を持つことがあり、従来の化学物質のように組成から大まかなリスクを推定することができないため、サイズ、形状、表面状態など多岐にわたる特性を総合的に考慮する必要がある。こうしたリスクの科学的評価には膨大な時間・資金・設備等リソースを要するため、国家主導や国際協調の枠組みのもと、環境・健康・安全（Environment, Health and Safety：EHS）の科学的側面からと、倫理的・法的・社会的側面（Ethical, Legal and Social Issues：ELSI）からの取り組みがなされている。また、ナノ材料が、広く国際市場で流通するためには、固有の用語、評価試験方法、リスク評価法などの多方面にわたる国際標準化が重要となっている。

ナノテクノロジーを世界で最初に国家イニシアティブ（National Nanotechnology Initiative：NNI）として立ち上げ、世界中の研究開発戦略に大きな影響を与えた米国の公的投資は2001年以降の累計で300億ドル以上の規模に上る。トランプ政権以降、NNIの予算は減少に転じているが、2021年1月には、NNIをさらに次の10年間へ向けてどのように展開するかを議論する「ステークホルダー・ワークショップ」をNNCO（National Nanotechnology Coordination Office）が開催するなど、バイデン政権下での動きが注目される。NNI予算の96%は、NIH、NSF、DOE、DOD、NISTの5省庁・機関で占められている。一例をあげるとNSFの2020年予算の合計には、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対応した研究開発のためのCARES法（Coronavirus Aid, Relief, and Economic Security Act）にもとづく資金提供1,430万ドルが含まれており、ワクチン、センサ、マスク、フィルタ、抗菌性コーティング等が対象となっている。欧州はフレームワークプログラム「Horizon 2020」（2014年～2020年、74.8Bユーロ/7年）の枠組みの中で、ナノテクノロジー・材料分野の強化を図ってきた。Horizon 2020の3つの優先領域、①Excellent science（24.4Bユーロ）、②Industrial leadership（17.0Bユーロ）、③Societal challenges（29.7Bユーロ）のうち、①の中で、10年間で総額1.0BユーロのFuture & Emerging Technologies（FET）テーマとして、「Graphene Flagship」、「Human Brain Project」、「Quantum Flagship」の3つのプロジェクトが推進されてきた。2021年からは新たなプログラム「Horizon Europe」（2021年～2027年、95.5Bユーロ/7年）が開始される。その詳細は今後明らかになっていくが、これまでのHorizon 2020と同様に、ナノテクノロジー・材料に関する科学技術投資も強化されると考えられる。2020年7月の時点では、Horizon Europeは3つの柱、（1）第一の柱（Excellent science）：24.9Bユーロ、第二の柱（Global Challenges and European Industrial Competitiveness）：53.8Bユーロ、（3）第三の柱（Innovative Europe）：13.4Bユーロが割り当てられている。アジア地域においては、産業界・学術界のいずれにおいても、中国の台頭が著しい。2016年に「科学技術イノベーション第13次五カ年計画（2016～2020年）」では、中国政府が科学技術と経済、科学技術とイノベーションを直結させ、研究・開発から産業化までのイノベーション創出の全過程を視野に入れていることが示されている。13次五カ年計画で目標とされたほとんどの指標は、当初予定通りか前倒しで実現されていることから、中国の科学技術力の進展が著しいことがわかる。さらに、2020年10月末に開催された中国共産党第19期中央委員会第5回全体会議において、科学技術を含む中国全体の2035年までの中長期計画および第14次五カ年計画の大枠が発表された。イノベーション主導の開発を中核に据え、科学技術を通じて国を強化することが強調されており、人工知能、量子情報、集積回路、ライフ・ヘルス、脳科学、生物育種、航空宇宙、深海などの先端分野がプロジェクトの対象としてあげられている。2015年に発表された国家戦略「中国製造2025」では、ナノテクノロジー・材料分野のほとんどの部分をカバーする10の重点分野の国内外の市場シェア獲得と部材の自国生産をめざした施策が推進されている。

その結果、半導体、人工知能(AI)、量子技術などの最先端技術や先端材料の研究開発において、特に米中間の競争が激化している。さらに、2019年末に中国で最初に確認された新型コロナウイルス感染症の世界的な大流行と、それによる世界の経済・産業の混乱はこの傾向に拍車をかけている。このことはわが国における研究開発計画にも影響を及ぼす可能性を秘めている。また、台湾・韓国・シンガポールをはじめとしたアジア諸国においても、ナノテクノロジー・材料の研究開発拠点を築き、世界の研究開発人材や資金を吸引しようとしている。

日本は材料・素材分野で基礎・応用ともに高いポテンシャルを有している。これは、長年、物質・材料研究を積極的に進めてきたことに起因しており、磁石、リチウムイオン電池、青色LED、光触媒、炭素繊維などのように、日本で発明、産業化された事例も多い。また、1980年から90年代に日本の電機産業が世界を席巻した背景には、それらの機器に使われた安価で高品質な部品・素材を供給する国内の大企業から中小企業までの部素材産業や製造装置産業企業群の存在があった。それらの企業群が提供する機能性材料・部品・装置の多くは、電機産業の多くが昔の勢いを失った現在でも世界的に大きなシェアを持ち続けている。個々の部素材においてわが国が占める市場の規模はそれほど大きくないが、部素材産業全体を面で見ただけの場合にはわが国は大きな市場を有し、競争力を維持しているといえる。しかし、一方で、リチウムイオン電池の電極材料、液晶製造用フォトレジストやカラーフィルムなどの一部の液晶ディスプレイ材料、パワートランジスタといった、売り上げ規模や今後の市場成長が見込めるために新規参入/投資インセンティブの高い分野では、諸外国の急迫によってシェアの低下傾向が見取れることには注意が必要である。これまでの材料開発では、1つの新材料を生み出すために10年以上の開発期間がかかることもまれではなかったが、このようなグローバル競争の下ではこれまで以上に材料開発のスピードを上げることが課題である。

ナノテクノロジーの重要性が認識され始めた2000年前後には、現在世界の情報産業で支配的な地位にあるGAFA(Google、Apple、Facebook、Amazon)はいずれも、上場企業として存在しないか、数ある情報機器メーカーの1つに過ぎなかった。これらの情報処理産業の巨人達を育てたゆりかごは、その時点を挟む前後それぞれ20年の間、ムーア則に従い指数関数的に半導体の微細化が進み、それにより高性能化を実現し続けた電子機器である。これらを支えてきたのはナノテクノロジー・材料技術の進化といえよう。この先の20年、同じようなスピードで技術が進化を続けていくためには、情報通信技術のソフトウェアと並んで、ハードウェアの発展が必要であることは論をまたないであろう。これまで半導体の進化を支えてきた微細加工が限界に近づいていることは周知であり、ポストムーア時代を担う新技術体系に対する要求は高まりつつある。脳に学ぶことで、柔軟で低エネルギーの情報処理を実現しようとするニューロモルフィックコンピューティングや、量子力学原理を用いてある種の問題を高速に解く量子コンピューティングなどの革新的技術をはじめとした、新たな情報処理技術の研究開発を続けていくことが必要となっている。

以上の背景を踏まえて、「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野(2021年)」(以下、分野別版報告書)第1章では、この分野における日本の課題とグランドチャレンジについて、CRDSにおける関連ワークショップや動向調査にもとづき俯瞰的にまとめている。また、先に示した俯瞰図から、31の主要な研究開発領域を抽出し、今、社会が要求する重要な6つのニーズの特定、およびそれらのニーズを解決するために戦略的に取り組むべき「13のグランドチャレンジ」について記述している。領域抽出に当たっては、「その技術が急激な進展を示し始めている(エマージング性)」、「その技術が社会や経済に与える影響が大きい(社会・経済インパクト)」、「技術的に重要で継続的に注視し続ける必要がある(継続性)」の3つの視点を重視した。これらの視点に立つことで、新たに出現する重要な領域の見落としや、技術的にも産業的にも重要性を失った領域の技術調査を避けることができる。また、この分野の挑戦課題であるグランドチャレンジの設定には、「社会の変化がもたらす新たな科学技術への要請」、「科学技術の新たな潮流出現に伴う戦略的投資の必要性」、「日本の産業競争力と国家安全保障の根幹となる技術の確保」を考慮した。これらの考え方は互いに相補的であるため、明確なターゲットを持った戦略的研究開発と、知的好奇心に駆動される新しい学

術領域を開拓する基礎研究の両方を、挑戦課題にとりあげることができる。また、第2章においては、抽出した31の主要研究開発領域について、各々10ページ程度を割り、当該領域の意義、歴史的背景から現在の先端技術動向、今後の科学技術的課題、国際比較（日米欧中韓）の結果についてそれぞれ概略をまとめている。分野別版報告書は、検討過程において総勢170名を超える産学官の専門家の協力によって、情報・意見を収集し、ワークショップ等での議論を重ねたうえで、CRDSの視点から見解をまとめたものである。

表 2.3-1 研究開発状況の国際比較 (ナノテクノロジー・材料分野)

	国・地域	日本		米国		欧州		中国		韓国		
	フェーズ	基礎	応用	基礎	応用	基礎	応用	基礎	応用	基礎	応用	
環境・エネルギー応用	次世代太陽電池材料	◎→	◎↗	○↗	○↗	◎→	◎→	○↗	◎↗	○→	○→	
	蓄電デバイス	◎→	○↘	◎→	◎→	◎↗	○↗	○↗	◎↗	○↗	◎↗	
	パワー半導体材料・デバイス	◎→	◎↗	◎→	◎↗	◎→	◎↗	○↗	○↗	△↘	△↘	
	エネルギーキャリア	◎→	◎↗	◎→	○→	○→	◎↗	○↗	○→	○→	○→	
	分離技術	膜分離技術	○→	○→	◎→	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	○→	△→
		気体液体分離	◎↗	○↗	◎↗	○→	◎↗	△→	◎↗	△↗	◎↗	△→
		CO <sub>2</sub> 分離	○→	○↗	◎↗	○↗	◎↗	◎↗	◎↗	○↗	◎↗	△→
金属分離		○↘	○→	○→	◎↗	○→	◎↗	◎↗	◎↗	○→	△→	
ヘルスケア・ライフ・アプリケーション	バイオ材料	○→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	○↗	○↗	○→	○→	
	ナノ医療システム	◎→	○→	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	○↗	○↗	
	バイオ計測・診断デバイス	○→	○→	◎↗	◎↗	○→	○↗	◎↗	○↗	○→	○↘	
	バイオイメージング	◎→	◎→	◎↗	◎↗	◎→	◎→	◎↗	○↗	○→	△→	
ICT・エレクトロニクス応用	新機能ナノエレクトロニクスデバイス	○→	○→	◎→	◎→	◎→	○→	○↗	○→	○→	○→	
	集積フォトニクス	○→	○→	◎→	◎→	◎→	◎↗	○↗	○→	△→	△→	
	スピントロニクス	◎→	○↘	◎↗	○↗	◎→	△→	◎↗	△↗	○↗	○↗	
	MEMS・センシングデバイス	○→	○↘	◎→	◎→	◎→	◎→	○↗	○↗	△↘	△↘	
	ロボット基盤技術	○↗	○→	◎↗	◎↗	○→	○→	○↗	○↗	○↗	○→	
	量子情報・通信	○→	○→	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	○↗	○↗	×→	△→	
	量子計測・センシング	○↗	○↗	◎↗	○↗	◎↗	◎↗	△↗	△→	△→	△→	
社会インフラ応用	構造材料(金属)	◎→	○→	◎→	◎→	○→	◎↗	○↗	○↗	○→	○→	
	構造材料(複合材料)	○→	◎↗	○→	◎↗	○→	◎↗	○→	◎↗	△↗	○→	
物質と機能の設計・制御	分子技術	◎↗	◎→	◎↘	◎↗	◎→	○→	○↗	○↗	△→	○→	
	元素戦略・希少元素代替技術	◎↗	◎↗	○↗	○↗	○↗	○↗	○→	○↗	△→	×→	
	マテリアルズ・インフォマティクス	○↗	○↗	◎↗	○↗	○↗	○↗	○↗	○↗	○↗	○↗	
	フォノンエンジニアリング	◎↗	○↗	◎↘	◎→	◎→	○↗	◎↗	○↗	○→	○↗	
	トポロジカル材料	◎→	○↗	◎→	◎↗	○→	○↗	◎↗	○↗	○→	△→	
	低次元材料	○↗	○↘	◎↗	◎→	◎→	◎↗	○→	◎↗	○→	◎↗	
	複雑系材料の設計・プロセス	○↗	○→	◎→	○→	◎↗	○↗	○↗	○↗	△↗	△→	
	ナノ力学制御技術	◎↗	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	○↗	○↗	○↗	○→	○→	
共通基盤科学技術	微細加工プロセス	○↘	◎→	◎→	◎→	○→	◎↗	△→	○↗	△→	◎→	
	積層造形・レーザ加工	○↗	○↗	○→	○→	○↗	◎↗	◎↗	◎↗	△↗	○↗	
	ナノ・オペランド計測技術	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	○→	◎↗	○↗	△↗	△→	△→	
	物質・材料シミュレーション	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	○↗	○↗	△→	△→	
	フェーズ	取組	水準	取組	水準	取組	水準	取組	水準	取組	水準	
共通支援策	ナノ・マイクロマテリアルの ELSI/EHS、国際標準	△↘	×→	○→	○→	◎↗	◎→	○↗	○↗	○→	○→	

[注] 研究開発領域毎の状況を相対比較した結果(記号は現状を、矢印はトレンドを表す。詳細は俯瞰報告書に記載)を並べたものであり、ある国・地域について研究開発領域間の状況を比較・集計したものではない。