

第3節 技術動向

総合科学技術会議での審議を経て¹、政府は2001年3月に、第2期科学技術基本計画を閣議決定した²。第2期科学技術基本計画では、第1期科学技術基本計画の成果と課題を踏まえ³、限られた予算を使って研究開発投資の効果を一層向上させるべく、我が国が直面する国家的・社会的課題に対応した研究開発分野に必要な資金を重点的に拡充することを基本方針とした。重点化の方針としては、我が国が目指すべき国の姿の実現に向けて必要となる科学技術分野の中から、知的資産の増大、経済的効果、社会的効果について特に寄与の大きいものを評価し、1. 少子高齢化社会における疾病の予防・治療や食糧問題の解決に寄与するライフサイエンス分野、2. 広範な分野に大きな波及効果を及ぼす基盤であり、我が国が優勢であるナノテクノロジー・材料分野、3. 急速に進展し、高度情報通信社会の構築と情報通信産業やハイテク産業の拡大に直結する情報通信分野、4. 人の健康の維持や生活環境の保全に加え、人類の生存基盤の維持に不可欠な環境分野、の4分野に対して、優先的に研究開発資源を配分することとした。

2006年3月に閣議決定された第3期科学技術基本計画においても、研究開発投資の戦略的重点化を更に強力に進めるべく、第2期科学技術基本計画で進めた研究分野の重点化にとどまらず、分野内の重点化も進め、選択と集中による戦略性の強化を図っていった⁴。

1. ライフサイエンス分野

これまでのライフサイエンスの歴史を見てみると、自然界の生物及びその成分を分析して有用なものを利用する生物化学の時代を経て、1970年代後半からはそれらを遺伝子レベルで改変して有用物質を創出する遺伝子工学の時代を迎えた。1990年代後半から2000年代初頭にかけては、生命の仕組みを丸ごと理解して活用するために動植物、微生物の染色体を構成しているDNAの塩基配列を解明しようとするゲノム解析の時代が到来した⁵。ヒトゲノムの全塩基配列については、国際協力で行い、2003年4月に解読完了が宣言された。ヒトゲノム解読を契機に、バイオ産業は21世紀の産業として大いに注目を集め、期待されるようになった。しかしながら、ヒトゲノムの解読だけでは実用化にはつながらず、遺伝子の機能解析、タンパク質の構造・機能解析のためのポストゲノム関連技術の開発と、遺伝子・タンパク質の機能の解明が行われて初めて、医薬・医療・食品・農業・環境への応用が可能になり、産業として成立することになる。このような観点から、我が国ではバイオ産業の国際競争力強化を狙って、内閣総理大臣主宰の「バイオテクノロジー戦略会議」を2002年7月に設置し、同年12月には「バイオテクノロジー戦略

¹ 第1-3回総合科学技術会議 議題／議事要旨 総合科学技術会議ホームページ

² 第2期科学技術基本計画 総合科学技術会議ホームページ

³ 諮問第1号「科学技術に関する総合戦略について」に対する答申（案） 総合科学技術会議第3回議事次第

⁴ 第3期科学技術基本計画 科学技術政策ホームページ

⁵ 平成14年度 特許出願技術動向調査「ライフサイエンス」

大綱」を打ち出し、ポストゲノム研究を中心にバイオ関連分野に必要な政策を強く推進していった¹。2004 年には我が国の主導でイネゲノム精密解読が完了するなど、主要生物のゲノム解読が急速に進む中で、我が国においては、ポストゲノム研究の国際的競争・協力の下で、タンパク質の基本構造の約 3 分の 1 (3000 種) を解析する取組や、遺伝子と遺伝子の関係やタンパク質同士の相互作用を解析する取組、我が国が中心的な役割を果たした国際ハプロタイプ地図作成プロジェクト (ヒトゲノム上の塩基配列の個人差 (DNA 多型) の頻度・相互関連性を解明し、DNA 多型がヒトゲノムのどの領域に存在するかの情報を網羅的にカバーした地図を作成) など、ポストゲノム研究への取組が加速された²。

このようにして遺伝子構造解析を中心としたゲノム時代から、遺伝子機能解析やタンパク質レベルの解析を中心とするポストゲノム時代へのシフトは確固たるものとなっていた。遺伝子発現解析等のトランスクリプトーム解析や 1998 年に発見された RNAi 機構³を利用した遺伝子機能解析、生体内での全代謝物解明を目指すメタボローム解析や細胞機能の解明を目指すセローム解析等の各種網羅的解析、また有機化合物等の低分子化合物を基礎とした生命科学研究であるケミカルバイオロジーといった新たな領域にも大きな動きが見られた。

一方、ゲノム情報の応用では、テーラーメイド医療の実現に向けて、迅速遺伝子検査システムの開発などに動きが見られた。解析技術、機器、試薬といった解析ツールと、膨大なデータを解析するバイオインフォマティクスがこれらの種々の解析を牽引した⁴。創薬分野では、化合物とタンパク質の立体構造情報を用いてドッキングシミュレーションを行うなど、ゲノム創薬の進展とともに、ターゲット探索におけるゲノムからプロテオームまでの各種解析、リード化合物発見及び最適化まで幅広い範囲でバイオインフォマティクスが利用されるようになった⁵。

¹ 平成 15 年度 特許出願技術動向調査「ポストゲノム関連技術 ―産業への応用―」

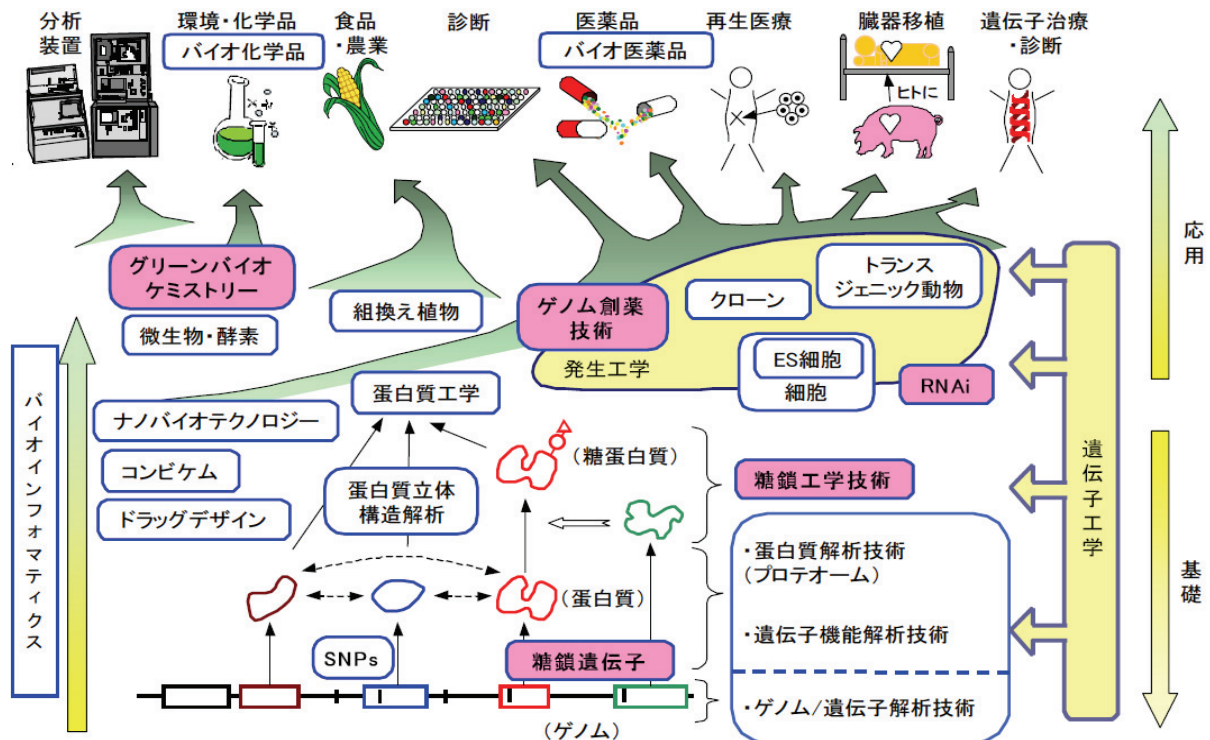
² 科学技術基本計画分野別推進戦略 (ライフサイエンス) 平成 18 年 3 月 28 日

³ 平成 17 年度 特許出願技術動向調査「RNAi (RNA 干渉)」

⁴ 平成 18 年度 特許出願技術動向調査「ポスト・ゲノム関連技術 ―蛋白質レベルでの解析と IT 活用―」

⁵ 平成 16 年度 特許出願技術動向調査「バイオインフォマティクス」

【ライフサイエンス分野の技術俯瞰図】



(資料) 平成 14 年度 特許出願技術動向調査「ライフサイエンス」

また、生物の成り立ち、機能の複雑さがますます明らかになり、1990 年代になって、機能障害や機能不全に陥った生体組織、臓器に対して、細胞を積極的に利用し、その機能の再生を図る再生医療の分野も大きく進展した¹。1997 年 2 月にはクローン羊「ドリー」の誕生が発表され、1998 年にはヒト ES 細胞株の樹立の成功が発表された。これらの研究成果は、移植医療等において有用であることは認められるものの、ヒトの生命の萌芽であるヒト胚の操作につながるという問題やヒトクローンの産生につながるという問題があり²、生命倫理の議論が活発化した。その後、2006 年に、日本の研究グループによって、胚を介することなく、体細胞のリプログラミングにより作成した ES 細胞様幹細胞「iPS 細胞」が発表された。2007 年に入り米国の研究グループが追試に成功するとともに、日本の研究グループがヒト iPS 細胞の作製に成功、さらに iPS 細胞から分化させた細胞が治療効果を有することを示す論文が発表されるなど、世界的に大きな注目を集めた³。我が国では、この研究成果を総力を挙げて育てていくため、iPS 細胞等の研究を戦略的に推進している⁴。

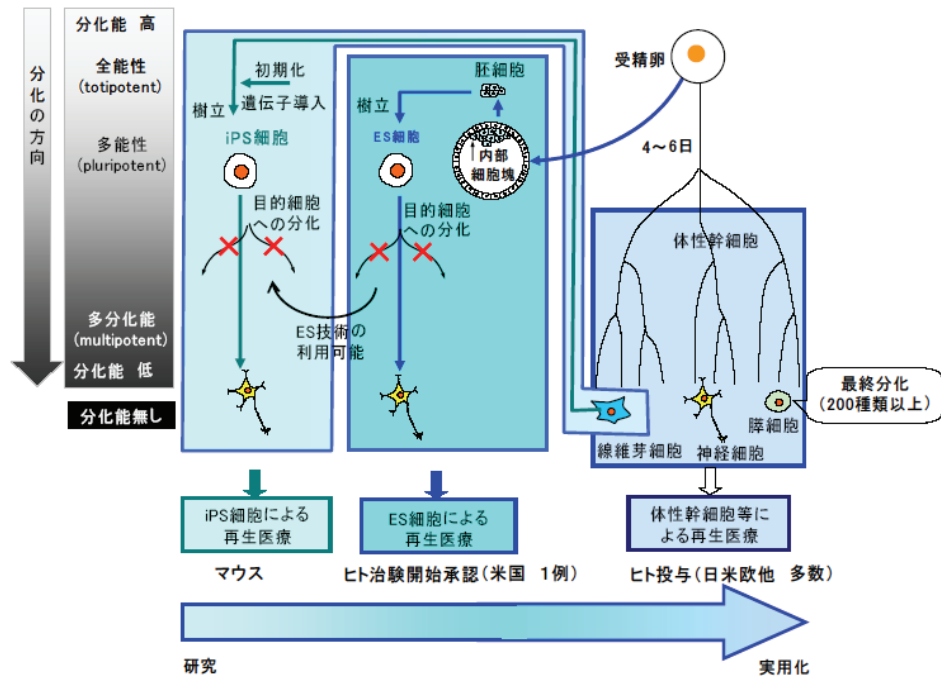
¹ 平成 15 年度 特許出願技術動向調査「再生医療」

² クローン技術による人個体の産生等について 科学技術会議生命倫理委員会

³ 平成 19 年度 特許出願技術動向調査「幹細胞関連技術」

⁴ iPS 細胞等幹細胞研究に関する文部科学省の最新の施策動向（「バイオジャパン 2009」2009 年 10 月 9 日）

【再生医療に利用される細胞種】



(資料) 平成 20 年度 特許出願技術動向調査「再生医療」

さらに、昨今、ライフサイエンス分野においては、例えば、脳科学とITの融合領域である脳情報学（ニューロインフォマティクス）を活用した、失われた人体機能を補完する医療機器開発が活発化することが予想されるなど、萌芽・融合領域の発展が顕著であり、ポストゲノム研究が進展する中で、し烈な国際研究開発競争における優位性を確保するため、これらの領域への取組も重要となってきた。

21世紀は生命科学の世紀といわれており、ライフサイエンスは、人類を悩ます病の克服や食料・環境問題の解決など、人々の生活に直結した「よりよく生きる」、「よりよく食べる」、「よりよく暮らす」の領域での貢献が期待されている。特に、我が国においては、少子高齢化社会、人口減少社会が到来し、食料の安定供給の確保への対応の必要性が高まる中で、ライフサイエンス研究は、国民の健康長寿の実現、鳥インフルエンザやSARS（重症急性呼吸器症候群）など新興・再興感染症への対応、食の安全の確保等の国民の安全の確保を実現するとともに、食料自給率向上や、医薬品産業、農林水産業、食品産業等の産業競争力強化や新産業創出につながる科学技術として期待されている。

2. ナノテクノロジー・材料分野

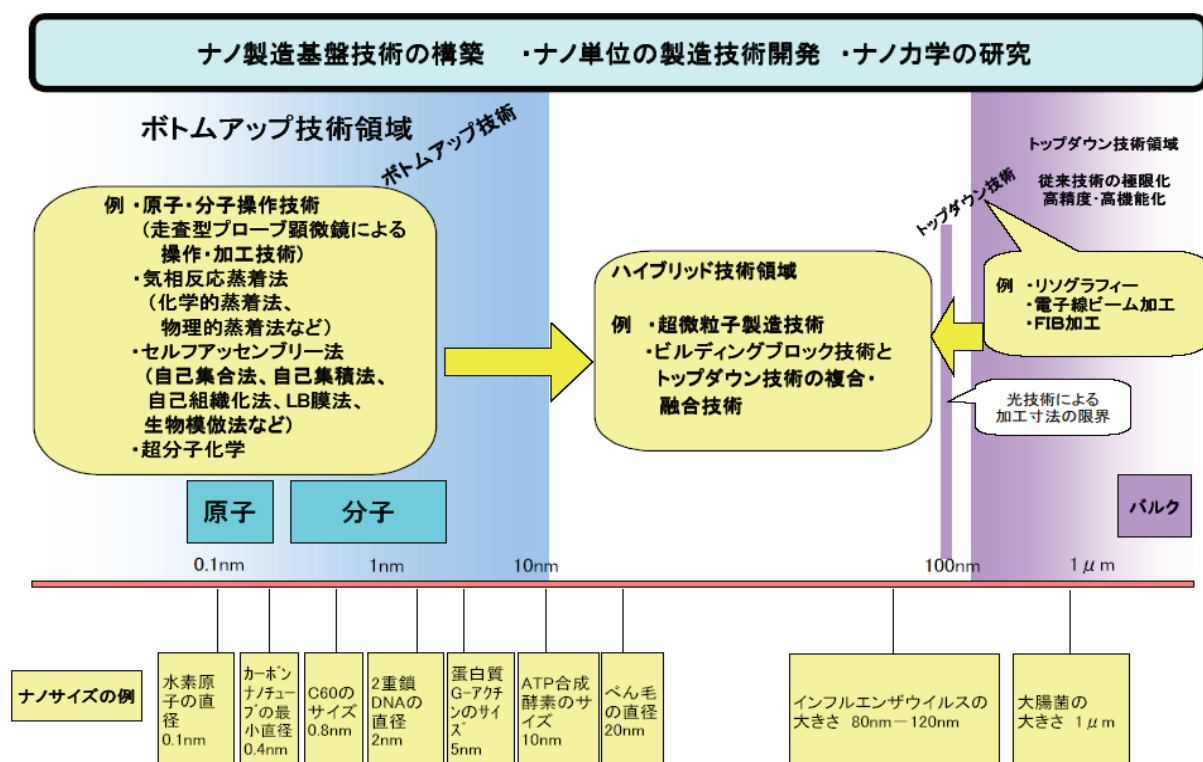
1981年に、トンネル電流を利用した走査型プローブ顕微鏡（走査型トンネル顕微鏡:STM）が発明されるなど¹、顕微鏡の進歩により、原子・分子の作る世界を直接見ることができるようになり、さらに、1989年には原子・分子の加工・操作にも利用可能になったことで、

¹ 平成 18 年度 特許出願技術動向調査「ナノテクノロジーの応用」

ナノテクノロジーの研究が本格的に進歩し始めた¹。

ナノテクノロジーには、材料を削ることでナノ構造を作る従来の微細加工技術に代表されるトップダウン型と、積み木のように原子や分子を組み立てていくボトムアップ型の 2 つのアプローチがあるが、近年、世界の研究開発の潮流は前者から後者へあるいはこれらの融合へと移行しつつある。

【ナノ構造製造基盤技術ートップダウン技術とボトムアップ技術ー】



(資料) 平成 12 年度 特許出願技術動向調査「ナノ構造材料技術」

大きな素材を削ることによって、超微細なナノ構造を創製するトップダウン型アプローチは、シリコン半導体における光リソグラフィーがその典型的な例であり、最小線幅が 100nm 以下に微細化された半導体デバイスが本格的に製造されるようになった。しかしながら、このトップダウン型は早晚技術的な限界に達すると一般的に認識されていた²。このため、従来の光リソグラフィーのようなトップダウン型アプローチによって急激な集積度の向上を実現してきた半導体の集積技術に取って代わる革新的な原理による半導体の作り方として、分子などのナノビルディングブロックを組み立てることで、超微細構造を創製するボトムアップ型アプローチが注目されてきた。ボトムアップ型アプローチとして、分子デバイスや量子効果型デバイスの研究開発が熱心になされており、その素材としては、1984 年に発見されたフラーレン (C60)、日本の研究者によって 1991 年に発見されたカー

¹ 人工臓器 32 巻 3 号 2003 年「ナノテクノロジー」

² 表面技術 Vol. 56, No. 7, 2005

ボンナノチューブ等が注目された¹。ボトムアップ型アプローチによって様々な特徴を持った分子を固体表面上に思いどおりの形に組み上げることで、新しいナノデバイスの実現を目指す研究が進められており、1987年に単一電子トランジスタの作製、1998年にカーボンナノチューブのトランジスタ作製に成功した。また、分子を自由に組み上げることによって、必要な導電性や光電変換性などの特性を付加するとともに、個々の分子では得られない新しい機能が発現できる分子エレクトロニクスや自己複製能、自己修復能等をもつ分子デバイスが研究開発されており、近い将来の実用化が期待されている。

我が国の材料技術は、過去数十年にわたる多くの研究者、研究機関の弛まぬ取組と研究成果の蓄積により、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化にいたるまですべての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国の製造業の国際競争力の源泉となっている。今日において材料技術は、ナノメートル（ 10^{-9}m ）の領域にまで踏み込んだ組織制御・合成技術と、高分解能電子顕微鏡などの高精度分析・計測・解析技術を両輪として、更に進化し続けている。

また我が国のナノテクノロジーは、1980年代に世界に先駆けて技術の斬新性と重要性を認識して研究に着手したこともあって、現時点において世界トップレベルにある。特に、カーボンナノチューブや酸化チタン光触媒などに代表されるナノ材料の研究が全体を牽引していることが我が国のナノテクノロジーの特徴であり、いわば材料技術の強みがナノテクノロジーの強みの源泉となっている。

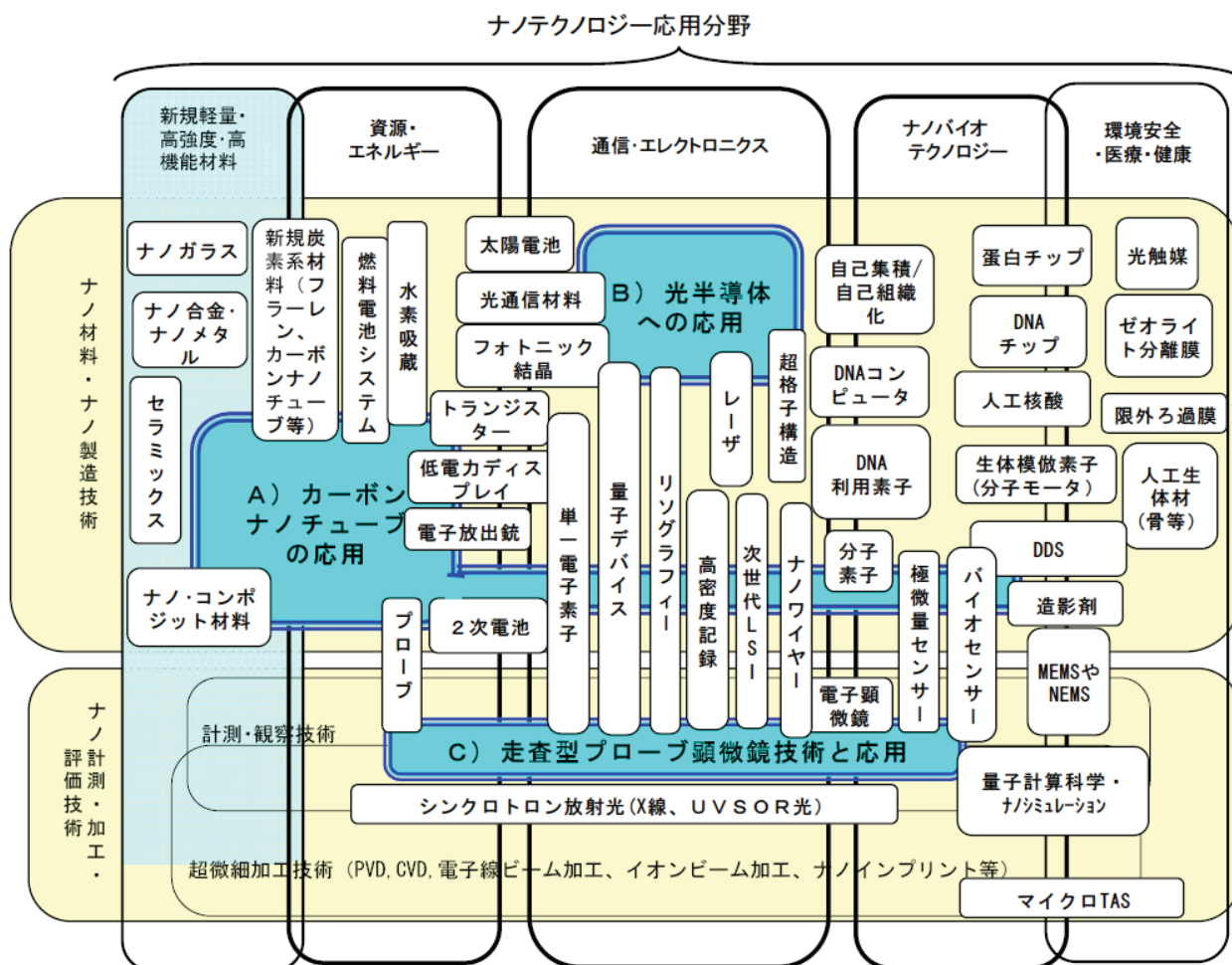
このように我が国の材料技術やナノテクノロジーは、研究開発の成果を製品に仕上げるものづくり技術によって支えられており、ナノテクノロジーと材料技術の融合やものづくり技術との相互関連こそが、我が国の科学技術の強み、あるいは技術の特徴となっている。今後はさらに、情報通信技術、バイオテクノロジーなどの科学に根ざした高度な技術との融合が、新たな科学技術や産業の強みを産み出すと予測される。

ナノテクノロジー・材料分野はライフサイエンス、情報通信、環境、エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティアなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献し、産業の振興や人間の豊かな暮らし、安全・安心で快適な社会などを実現する重要な技術シーズである。また、材料やナノテクノロジーの研究開発がイノベーションを誘発し、結果として人と社会に大きな貢献をもたらしたケースも少なくない。したがって、社会・産業が求める技術課題としての取組とともに、不連続で飛躍的な成果をもたらし得るイノベーション促進型科学技術としての可能性に挑戦していくことも重要である。

我が国では、第2期科学技術基本計画において、ナノテクノロジー・材料分野を重点分野の一つに位置付け、資源を重点配分することによって研究開発を積極的に推進してきた。この成果として、以下に挙げるような、新しい技術が創出されてきており、第3期科学技術基本計画期間中においても、重点的な取組によって更なる躍進が期待されている。

¹ 文部科学省 ナノテクノロジーネットワークセンター nanonet ホームページ

【ナノテクノロジーの応用に関する技術俯瞰図】



(資料) 平成 18 年度 特許出願技術動向調査「ナノテクノロジーの応用－カーボンナノチューブ、光半導体、走査型プローブ顕微鏡－」

3. 情報通信分野

我が国では、1993 年にインターネット接続の商用サービスが開始され、これに続いて 1995 年にグラフィカルユーザーインターフェース (GUI) を採用し、インターネットアクセス機能を有する Web ブラウザを標準装備する OS が発売されたことで、パソコン及びインターネットユーザーが爆発的に増加した¹。インターネットアクセス方式は、1990 年代には、アナログ回線、ISDN 回線等のいわゆるナローバンドによるダイヤルアップ接続が中心であったが、2000 年代に入ってデジタル伝送方式の加入者線 (xDSL)、更に光伝送技術の進歩により光ファイバ伝送 (FTTH) 等のいわゆるブロードバンドの常時接続²が普及し始めた。インターネットのブロードバンド化とともに、インターネットを利用した取引は著しく拡大し、国境を越えた電子商取引が法人のみならず、個人レベルでも日常的に行われ、電子マネーや電子決済の利用も急速に増加するなど、電子商取引の形態はますます多様化、

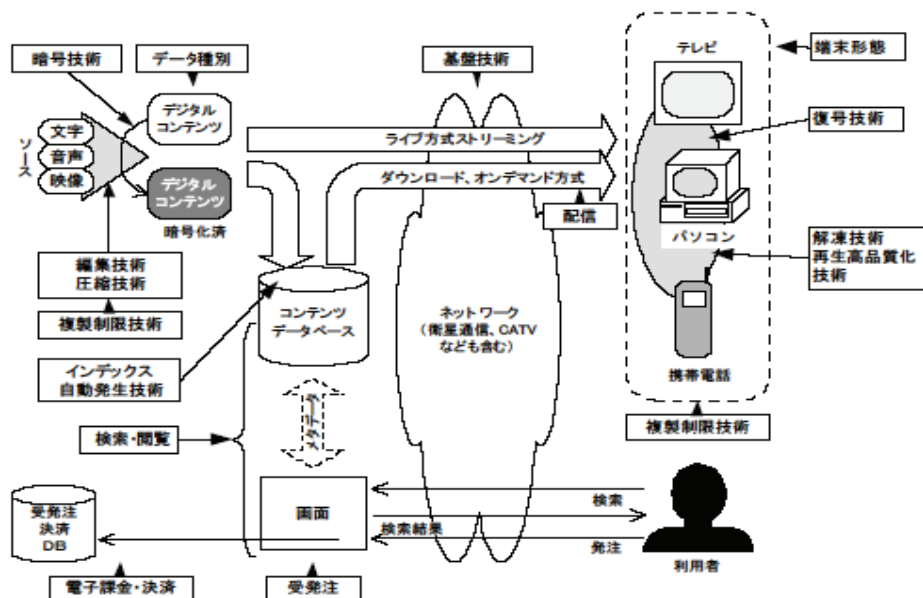
¹ 平成 20 年度 特許出願技術動向調査「インターネット社会における検索技術」

² 平成 14 年度 特許出願技術動向調査「ブロードバンドを支える変復調技術」

ボーダレス化していった¹。我が国は高度情報通信ネットワーク社会の実現、そして世界の IT 最先端国になることを目標に、2001 年より超高速ネットワークインフラ整備と競争政策、電子商取引ルールの整備、電子政府の実現等を柱とする e-Japan 戦略を推進した²。この結果、世界有数のブロードバンド大国に躍進し、ブロードバンド基盤は国民生活に欠かせない社会インフラとして定着した。また、情報セキュリティへの対応が暮らしの安全確保のために必要として捉えられるようになり、「高度情報通信ネットワーク社会形成基本法（IT 基本法）」にいう「高度情報通信ネットワークを安心して利用可能」な環境の実現が求められることとなった。

技術的な観点で見ると、ナローバンド中心の通信環境からブロードバンド中心の通信環境に移行したことにより、デジタルコンテンツも電子メール等のテキストファイルから静止画像や動画像を含むものへと変化し、デジタルコンテンツ配信・流通技術が、JPEG や MPEG のようなコンテンツの圧縮技術を中心に発展していった³。また、インターネットの普及に伴い生じた、大量の情報の中から必要な情報を見つけ出す情報検索技術の開発も本格的に行われ、1997 年には検索機能における中心的な技術とされる特許が出願されている。さらに、オープンなインターネット上で秘密にしたい情報を伝達するために暗号技術の利用が飛躍的に拡大した。例えば、電子商取引、電子政府、デジタルコンテンツ配信等において、暗号技術は欠かせない基盤技術となっている。1970 年代に考案された公開鍵暗号方式が応用され、データの秘匿だけでなく、デジタル署名、電子公証、電子マネー、電子投票、著作権保護などの多くの機能が電子的手段で実現可能となり、実用化された⁴。

【デジタルコンテンツ配信・流通のプロセス概略と技術の関係】



(資料) 平成 13 年度 特許出願技術動向調査「デジタルコンテンツ配信・流通に関する技術」

¹ 国税庁ホームページ（国税庁の国際化への取組）

² IT 戦略本部 第 1 回議事録 e-Japan 戦略

³ 平成 13 年度 特許出願技術動向調査「デジタルコンテンツ配信・流通に関する技術」

⁴ 平成 14 年度 特許出願技術動向調査「暗号技術」

情報通信分野の進展を支える情報通信機器に関する技術の発展も目覚ましいものがあった。1990 年代後半から急速に普及したデジタル携帯電話端末を例に、これを構成する技術要素を挙げると、音声通話を実現するための通信技術に始まり、電子メール及びインターネットを実現するための IP 技術、テキスト、画像又は動画を表示する画像処理技術、それらを映し出すディスプレイに応用される液晶技術、有機 EL 技術、デジタルカメラ機能を実現するカメラモジュールの光学技術、長時間稼働を実現するリチウムイオン電池などのバッテリー技術、非接触 IC 技術など多様である¹。また、情報通信を支えるコンピュータの記録媒体については、垂直磁気記録方式のハードディスク装置が出現し、情報記録装置の高記録密度化が進展すると同時に同一容量のハードディスク装置の小型化が可能になり、携帯電子機器の小型化が進んだ。

現在、我が国は、「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」使えるユビキタスなネットワーク社会を実現し、これによって世界最高のインフラ・潜在的な活用能力・技術環境を有する最先端 IT 国家であり続けることを目標として、IT 新改革戦略に基づいて、高度情報通信ネットワーク社会の形成に関する施策を迅速かつ重点的に推進している。

4. 環境分野

人間の活動が拡大の一途をたどった 20 世紀の後半になり、人間活動の影響が地球あるいは地域の環境容量を上回るような状態になることで深刻な環境問題が生じた。20 世紀における科学技術は、人類に対して圧倒的な便益の拡大をもたらしたものの、環境汚染物質の排出や人間の活動範囲の拡大で、地球と地域の環境に対して負の影響も及ぼしてきた²。それに伴い、①地球温暖化、②オゾン層の破壊、③酸性雨、④熱帯林の減少、⑤砂漠化、⑥発展途上国の公害問題、⑦野生生物種の減少、⑧海洋汚染、⑨有害廃棄物の越境移動、が主たる地球環境問題として取り上げられるようになった³。

1970 年代の石油危機以降、世界的にもエネルギー利用の効率化、省エネルギー化が進められてきたが、世界のエネルギー消費は一貫して増加しておりエネルギーの安定確保は世界各国の大きな課題となっていた⁴。1997 年に開催された気候変動枠組条約第 3 回締約国会議（COP3、京都会議）では、先進国及び市場経済移行国の温室効果ガス排出の削減目標を定めた京都議定書が採択され、産業、民生、運輸のすべての部門で省エネルギー対策が急がれた⁵。

地球温暖化ガスの排出量削減に向けて、従来の化石燃料によるエネルギー利用から環境にやさしい自然エネルギーの利用が進められ、その中でも、今後も増大するエネルギー消費に対する供給源として無尽蔵、無公害かつ地球のエネルギーバランスを崩さない究極の

¹ 平成 15 年度 特許出願技術動向調査「携帯電話端末とその応用」

² 科学技術基本計画分野別推進戦略（環境分野）

³ 平成 12 年度 特許出願技術動向調査「環境計測・分析技術」

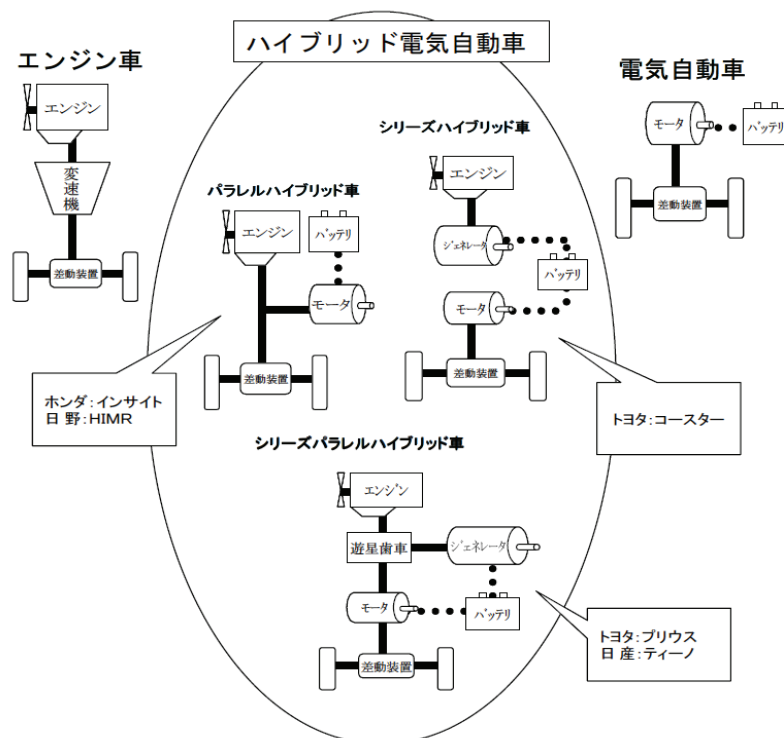
⁴ 平成 12 年度 特許出願技術動向調査「燃料電池」

⁵ 外務省ホームページ（地球環境）

エネルギー源である太陽エネルギーを利用するものとして、太陽電池が世界各国において広く利用され始めた。我が国の太陽エネルギーの利用技術の開発は、1974 年に開始された「サンシャイン計画」に始まり、1993 年からは「ニューサンシャイン計画」で積極的に推進され、商業生産の開始に至った。そして、近年の政府の太陽光発電導入支援施策により、太陽電池の生産は急激な伸びを示した¹。また、燃料から化学エネルギーを電力として直接取り出す燃料電池は、将来の水素燃料、新燃料インフラを背景に、高効率で二酸化炭素排出量削減に貢献する環境調和型電源として注目されている。さらに、環境低負荷エネルギーとして、物質の持つ化学的なエネルギーを利用する技術、例えば、廃棄物エネルギー技術、バイオマスエネルギー技術等も注目され始めた²。

また、自家用乗用車の走行量の増加・大型化に伴う二酸化炭素排出量の増加を抑制するために開発が進んだ電気推進車両としては、電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車が、近年の原油価格高騰の影響や温室効果ガス排出削減への対応策として市場で大きな注目を浴びた³。ハイブリッド自動車や燃料電池自動車は、電気推進車両の中で著しく技術の発展を遂げており、1997 年にハイブリッド自動車の量産車が発売されて以降、複数の自動車メーカーから発売され、急速な普及を遂げている。2008 年以降では、電気自動車についても複数の自動車メーカーが量産化の計画を発表している。

【ハイブリッド電気自動車の形式】



(資料) 平成 12 年度 特許出願技術動向調査「自動車と環境」

¹ 平成 17 年度 特許出願技術動向調査「色素増感型太陽電池」

² 平成 14 年度 特許出願技術動向調査「環境低負荷エネルギー技術」

³ 平成 20 年度 特許出願技術動向調査「電気推進車両技術」

地球温暖化とオゾン層の破壊に関しては、1970年代にオゾン層を破壊することが指摘されたフロンガスの問題があった。当時フロンガスは、加熱冷却機器における冷媒として多くの製品で採用されていたが、1987年のモントリオール議定書以降に使用削減へと向かった。その後、代替フロンが登場したが、代替フロンも1997年の京都議定書においては、地球温暖化に影響を与える物質として指定され、使用が制限されつつあった。そこで、1990年代後半から二酸化炭素、アンモニア、炭化水素等の自然冷媒が注目され、2002年前後にイソブタンを冷媒として利用した冷蔵庫や二酸化炭素を冷媒として利用した家庭用給湯器、カーエアコン等が製品化され、既存製品との置き換えが進んだ¹。

近年、世界各国が共通の問題であるという認識のもとで、環境問題の解決に向けての歩みが進められており、2003年7月のG8サミット（フランス エビアン）において、持続可能な開発のための科学技術の役割を確認した。そこでは、いかにすれば最も良く持続可能な開発のために科学技術を使うことができるかについて、3つの分野に焦点を当てた「持続可能な開発のための科学技術G8行動計画」が採択された。行動計画は、全球地球観測についての国際協力の強化、エネルギー技術の研究・開発及び普及の加速化、そして農業及び生物多様性の持続可能な利用の促進からなる。続く、2004年6月のG8サミット（米国 シーアイランド）では、先の行動計画実施状況が確認されるとともに、「3Rイニシアティブ」の開始が提案された。3Rとは、天然資源の消費が抑制され、環境への負荷が低減される循環型社会の構築に向けて、資源の有効利用を通じて環境と経済の両立を図る取組であり、廃棄物の発生抑制（Reduce）、資源や製品の再使用（Reuse）、再生利用（Recycle）を指したものである。3Rを実現すべく、ライフサイクルアセスメント、物質フロー分析技術、環境配慮設計技術、再生材利用土木資材、レアメタルリサイクル技術、食品リサイクル技術、包装容器リサイクル技術、古紙リサイクル技術、家電リサイクル技術、自動車リサイクル技術、建設リサイクル技術、廃棄物発電、廃棄物処理（焼却処理、汚泥処理・資源化）技術の研究開発がそれぞれ進展している²。

¹ 平成14年度 特許出願技術動向調査「自然冷媒を用いた加熱冷却」

² 国立環境研究所 環境研究技術ポータルサイト（ごみ、リサイクル）

