

科学技術で考える医療・ヘルスケアの未来予測

- 1、科学技術から2040年を展望する未来予測
- 2、健康・医療・生命科学分野の未来予測
- 3、大学等が行う産学連携の推進と実施の状況

1、科学技術から2040年を展望する未来予測

7月17日、骨太の方針「経済財政運営と改革の基本方針」や「成長戦略実行計画」等の「政府4計画」が閣議決定され、新聞各紙がその内容を一斉に報道した。新型コロナウイルス対策、豪雨被害等の防災・減災対策を最重要課題とし、歴史的危機に直面しているとして、思いきった社会改革をデジタル化や地方分散などによって実行するとしている。

骨太の方針は中長期的な国の大方針を示すもので、民主党政権時を除く約20年にわたって行われ、今年が17回目となるが、本来の目的である中長期的政策の大方針がわかりにくいと指摘する新聞論調もある。

コロナ禍によって世界は1930年の大恐慌に次ぐ経済危機にあり、今後10年間は続くとの悲観的な見解を述べる識者もいるが、コロナ禍以前であっても日本の将来を憂う声は多く、高齢化や生産人口の減少、逼迫する財政、じわじわと進む経済力の低下、さらには大地震に備えが言われ、2040年を中長期の政策ターゲットとしていたことからすれば、コロナ禍が加わったことで一層、待った無しの真剣な取組みを加速せざるを得なくなった、と考えるのが妥当であろう。

これらの中長期的諸課題に対して、従来から進められてきた政策は「Society5.0」に代表されるデジタル社会の実現であり、科学技術を駆使しての社会変革であり、2020年の骨太の方針でもその方向は変わらず、「デジタルニューディール」として一層と強調されている。

中長期の政策ターゲットになっている2040年をどのように展望するかは興味深いが、6月に出版された文部科学省の「令和2年版科学技術白書」には科学技術の側面からの未来予測が示されている。ここでは、その内容について、医療分野に焦点を当てながら概説してみたい。

(1) 「令和2年版 科学技術白書」

政府は、科学技術基本法に基づいて科学技術政策を総合的かつ計画的に推進するとして5年ごとに科学技術基本計画を策定しており、第5期となる計画期間は平成28年度から令和2年度（2016年～2020年）であり、目指すべき未来社会の姿として、サイバー空間とフィジカル空間の融合により経済・社会的課題を解決し、人々が質の高い生活を送ることのできる人間中心の社会「Society 5.0」（超スマート社会）を提唱し、世界に先駆けて実現していくことを主眼に取り組んだこの白書は、その年次報告にあたるが、内容は第1部と第2部に分かれ、全体では283ページに及んでいる。第1部「科学技術が広げる未来社会への可能性と選択肢」では、4月末までの情報に基づいてではあるが、新型コロナウイルス感染症に対して我が国が講じている研究開発等の施策を紹介した後、国内外の公的機関や民間の調査機関で行われている未来予測の例を示し、参照しながら2040年に向けた未来予測について取り上げている。

第2部は、「科学技術の振興に関して講じた施策」と題して、科学技術政策の展開や新たな価値創出の取組み、経済・社会的課題、イノベーションの創出等について詳しく述べている。特に、イノベーションの創出については、基盤の強化、人材・知・資金の好循環システムの構築、制度の見直しや整備、ベンチャー企業の創出を強化、地域との関係等、幅広く取り上げている。

(2) 科学省 科学技術・学術政策研究所「第11回科学技術予測調査」

この白書では、科学技術・学術政策研究所が行った「第11回科学技術予測調査」を基にして、2040年の未来社会の姿を描いている。

科学技術予測調査は、科学技術及び科学技術と将来社会との関わりを見通して科学技術基本計画の立案等を行うとして1971年から約5年ごとに実施され、未来予測の手法であるシュミレーション法、デルファイ法、シナリオ法、スキャンニング法、ビジョニング法など、複数の手法を組み合わせで行っている。

この「第11回科学技術予測調査」では、①科学技術や社会のトレンド把握（スキャンニング法）、②社会の未来像検討（ビジョニング法）、③科学技術の未来像検討（デルファイ法）、④科学技術の発展による社会の未来像検討（シナリオ法）の4手法を組み合わせ実施がされている。

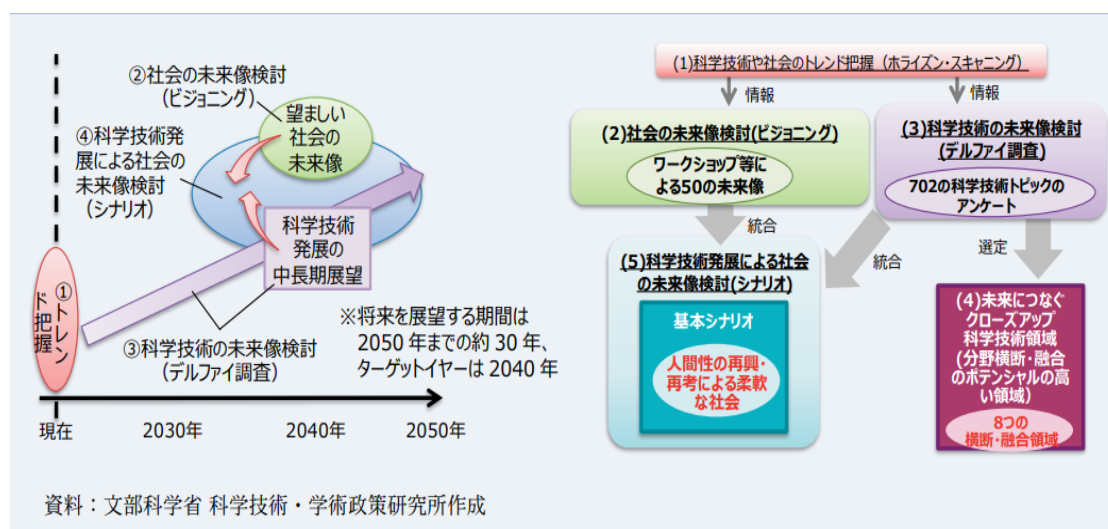


図1 調査の構造と時間軸

このうちの「科学技術の発展による社会の未来像検討（シナリオ法では）」では約20名の専門家及び有識者によるワークショップで「社会の未来像」の検討がなされ、そこから得られた50の社会の未来像と「科学技術の未来像検討」で設定した702の科学技術トピックを基にして、科学技術発展による未来の社会を描く「基本シナリオ」を作成して、そこから2040年の姿として「人間性の再興・再考による柔軟な社会」を提示し、四つの象限（無形・個人、無形・社会、有形・個人、有形・個人）に分けてビジュアル化している。

次ページの図2では、主な科学技術を例示して、それがどのように実現されて未来社会につながるかを時間軸も想定しながら展開している。そして、科学技術トピックの具体例とともに2040年の社会イメージをイラストで紹介したのが次ページ図3になる。

////////////////////////////////////

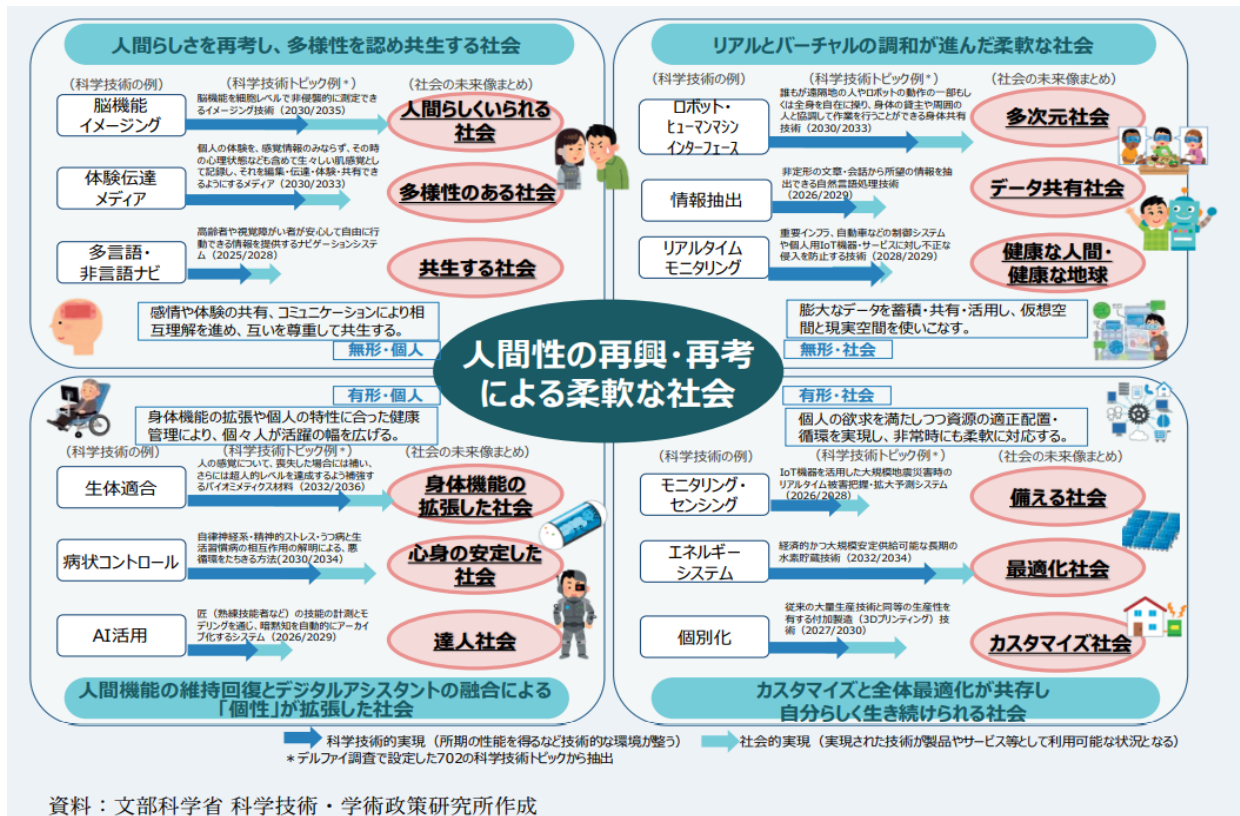


図2 目指す社会の姿



図3 2040年の社会のイメージ

2、健康・医療・生命科学分野の未来予測（デルファイ法）

健康・医療・生命科学分野は、7つに大別された分野のうちのひとつで、ここでは、医薬品（再生・細胞医療製品、遺伝子治療製品を含む）、医療機器開発、老化および非感染性疾患、脳科学（精神・神経疾患、認知・行動科学を含む）、健康危機管理（感染症、救急医療、災害医療を含む）、情報と健康・社会医学、生命科学基盤技術（計測技術、データ標準化等を含む）の7つに細目して、デルファイ法を用いて検討し、科学技術の未来予測としている。

このデルファイ法は、専門家の集団に対して、同一の問いかけを、結果を提示しながら繰り返し行うことで意見の収れんを図るというもので、実際には、前回（2015年）調査で用いた情報を基にして、2050年までを見通して実現が期待される研究開発課題を「科学技術トピックス」として設定し、それらの重要度、国際競争力、実現見通し（実現予測時期）、実現に向けた政策手段についてアンケートを2回繰り返し実施して多数の専門家から収集し、分析を行っている。そのアンケート調査の回答者の状況を表1に示す。

この調査結果によって総合的に重要とされたトピックスの上位10位は表2のようであり、このうちに医療機器は2件が含まれ、12位にも「疾患や加齢で衰えた筋骨格系の簡便で安価な機能補助技術」があり、科学技術トピックスの平均的重要度は医薬品と同じになる0.93で、脳科学の1.03に次いで高い。

また、細目別に見た国際競争力の平均指数でも医療機器開発は医薬品と同じ0.35で最も大きい。次ページからの実現年表（表3）では医療機器開発は2025～2027年で9件、2028～2035年で11件になっている。

表1 アンケート回収状況および内訳

年代	20代	21人	職業	企業その他	187人
	30代	393人		学術機関	1519人
	40代	734人		公的研究機関	181人
	50代	484人	職種	研究開発従事	1618人
	60代	207人		マネジメント	58人
	70代以上	35人		その他	211人
	無回答	13人		合計	1887人

表2 健康・医療・生命科学分野の科学技術トピックスの重要度（上位10位）

	科学技術トピック	重要度	科学技術的 実現時期	社会的 実現時期	細目
39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法	1.56	2028	2030	老化及び非感染性疾患
58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法	1.55	2032	2035	脳科学
21	病変部位の迅速識別能力の向上と早期発見が可能となる、非侵襲診断機器(画像など)のコンパクト化とAI導入	1.46	2026	2028	医療機器開発 ★
33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング	1.46	2027	2029	老化及び非感染性疾患
27	遠隔で、認知症などの治療や介護が可能になる超分散ホスピタルシステム(自宅、クリニック、拠点病院との地域ネットワーク)	1.36	2028	2030	医療機器開発 ★
53	記憶・学習、認知・情動等の脳機能および意識、社会性、創造性等の高次精神機能における神経基盤の全容解明	1.27	2037	2041	脳科学
67	薬剤耐性感染症の発生・まん延を制御するシステム(科学(医薬品等)・社会技術(感染対策の新規アプローチ等))	1.27	2029	2032	健康危機管理
34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測	1.24	2029	2030	老化及び非感染性疾患
55	うつ病・双極性障害の細胞レベルの脳病態分類に基づく、即効性で再発のない新規治療法	1.18	2036	2039	脳科学
9	細胞移植や遺伝子治療による、中枢神経回路網の機能不全(パーキンソン病、筋萎縮性側索硬化症(ALS)、脊髄損傷等)に対する治療法	1.18	2029	2032	医薬品

● 健康・医療・生命科学分野の科学技術的実現年表 ★印は医療機器関連を示す (表3)

年	科学技術トピックス
2025年	- 日常生活（購買・飲食等）から集積されるライフスタイルビッグデータ（匿名加工情報）活用による健康政策 ★医療・介護施設及び在宅における安全を保障する行動識別センサーを活用したモニタリングシステム
2026年	★病変部位の迅速識別能力の向上と早期発見が可能となる、非侵襲診断機器（画像など）のコンパクト化とAI導入 - 疾患や加齢により衰えた筋骨格系の簡便で安価な機能補助技術 - プレシジョン医療の実現や医療の - 質向上に資する、ICチップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム ★医療機器・システムの誤操作や患者状態に合わない設定などに起因する医療過誤の解消に向けた、知的アラート・意思 ★決定支援の人工知能を搭載した医療情報システム
2027年	- 細胞内標的に作用するペプチド・抗体医薬の新規技術 8 造血幹細胞移植のドナー不足を解決する造血系幹細胞の大量培養技術 ★ノートPCレベルで、体内の脳動脈瘤など疾患シミュレーション、インプラント機器による治療効果、有効性の予測、術前シミュレーションが可能になるような統合的医療ソフトウェア ★手術室やベッドサイドの全てのケーブルが消失可能となる、次世代半導体によるモニター機器のミニチュア化と無線化 ★血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング - ゲノム医療に対する保健医療政策の立案に向けた医療経済学的評価法 ★電子カルテシステム、検査・処方等医療データや様々なウェブデータを活用した網羅的感染症サーベイランスシステムによる感染症流行予測・警報発出システム - ゲノム・診療情報、およびウェアラブルセンサーやスマートデバイスにより得られる生体・行動情報を継続的に収集した健康医療データベース（大規模コホート研究の推進に資する） ★生活環境のセンシングやライフログセンシングによる、脳血管障害・心筋梗塞・致死的不整脈などの血管イベントの検知に基づいた救急医療情報システム - ライフコース・ヘルスケアのための大規模コホート - 研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム
2028年	- 慢性疾患の病態のシステムの把握（遺伝子ネットワーク把握）に基づく薬物療法 - 生体中での機能を再現可能な多能性幹細胞由来の人工臓器やオルガノイドを使った、薬効・安全性評価技術 - 目的とする組織・器官への送達と細胞内ドラッグデリバリーシステム（DDS）技術を実現させる核酸医薬品 - 固形がんを標的とする遺伝子改変T細胞を用いた、細胞性免疫を制御することによる免疫療法 - 医薬品開発の成功確率を現在比で2倍にする、化合物生成・最適化（有効性・安全性・動態予測を含む）のための人工知能・シミュレーション技術 ★患者への負担や医療費を軽減できる簡便なウェアラブル透析装置 - 遠隔で、認知症などの治療や介護が可能になる超分散ホスピタルシステム（自宅、クリニック、拠点病院との地域ネットワーク） ★がん末期での腸瘻や介護現場において利用可能な、人手が不要の排泄補助機器 ★非侵襲性ポータブル血管イメージングによる定量的血管障害の診断 - 老化に伴う運動機能低下の予防・治療法 - iPS細胞等の幹細胞から樹立された細胞等を活用した、動物モデルに代替する、感染症治療薬を開発するための効果・副作用試験法 - 病原体データベースを用いた未知の病原体の分離・同定技術 ※病原体データベース：ヒトおよびヒト以外の動物等の病原体の網羅的な遺伝子・タンパク情報データベース - ゲノムに加え、オミックスデータ（エピゲノム・プロテオーム・メタボローム）を数時間以内に1万円以下で体液サンプルからモニタリングする検査技術 - 生命科学・社会学を融合した包括的な要因分析に基づく、健康格差を是正する方法 - 気候変動に起因する感染症、熱中症など健康課題に資する情報システム - 新生児期からのゲノム情報の活用のためのELSI（倫理的・法的・社会的課題）の解決策 - 細胞の位置情報を保持した上での1細胞オミックス解析技術 ★多くの一般的な実験室で利用可能なラボラトリーオートメーション・実験ロボット

2029年

- ・ 低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬
- ・ タンパク質高次構造解析に基づき、タンパク質間相互作用（Protein-Protein Interaction：PPI）を阻害する化合物を設計する技術
- ・ 細胞移植や遺伝子治療による、中枢神経回路網の機能不全（パーキンソン病、筋萎縮性側索硬化症（ALS）、（脊髄損傷等）に対する治療法
- ・ 次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広くに実現する遺伝子治療法
- ・ 眼、脳等（到達困難な組織）への薬剤輸送を可能とする技術
- ・ 食べるワクチン等、経口投与を可能とする次世代ワクチン技術
- ★次世代手術ロボットとAIによる、外科医の熟練によらない標準化された手技
- ・ ナノテクノロジーによる生体人工物界面制御の精密化に基づく、高機能インプラント機器やドラッグデリバリーシステム（DDS）技術を可能とする高度な生体適合性材料
- ・ がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測
- ・ 疼痛、疲労の定量的診断法と新規治療法 49 薬理遺伝学的検査による薬剤投与の最適化
- ・ 非感染性疾患（NCD）に対する、運動の効用の科学的裏付けによる新規治療法
- ★特定の感染症への感染の有無や感染者の他者への感染性、未感染者の感受性を迅速に検知・判定する、汚染区域や航空機内等でも使用可能な超軽量センサー
- ・ 薬剤耐性感染症の発生・まん延を制御するシステム（科学（医薬品等）・社会技術（感染対策の新規アプローチ等））
- ・ 植物により病原体に対して迅速かつ安価に中和抗体を大量生産する技術
- ・ マスギャザリング災害における、人工知能による重傷者搬送調整システム
- ・ 分子薬理知識や生体分子相互作用および患者ゲノムに関する情報に基づく、医薬品の個人別副作用リスクの知的推論アルゴリズムを実装した情報システム
- ・ Developmental Origins of Health and Disease（DOHaD）の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療
- ・ 予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術 ※動的ネットワークバイオマーカー：個々の単一のバイオマーカーとしての性能は高くなくても、それらのネットワークとしては極めて高機能な、複雑系数理モデル学に基づく新しい概念のバイオマーカー
- ・ ヒトが接することのできる全生物のゲノム情報の取得（植物・単細胞真核生物・原核生物も含む）・データベース化
- ・ タンパク質の一次配列情報およびそのタンパク質に作用する物質の立体構造情報から、活性状態のタンパク質の動的立体構造を推定する技術
- ・ ゲノムの非コード領域の 50%以上の領域の機能解明

2030年

- ・ （核酸以外の）薬や遺伝子を標的細胞内部の特定部位に運ぶナノキャリアシステム
- ・ 生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術
- ・ 膵β細胞を再生・増加させる技術に基づく、糖尿病を治癒させる薬剤
- ・ 自律神経系・精神的ストレス・うつ病と生活習慣病の相互作用の解明による、悪循環をたちきる方法
- ・ 非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法
- ・ メタゲノム解析・制御による生体恒常性の維持 46 退行性骨粗しょう症の骨折リスクのメカニズム解明による集学的予防法
- ・ 生体のエネルギー収支を非侵襲的に定量化する技術に基づく、生活習慣病の治療法
- ・ 新興感染症が及ぼすヒトへの影響（世界的流行を引き起こす可能性、病原性）について、環境・病原体・宿主等因子を総合的に勘案し定量的に予測・評価するシステム
- ★脳機能を細胞レベルで非侵襲的に測定できるイメージング技術
- ★循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム

2031年

- ・ 免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品
- ・ 細胞医療・遺伝子治療などによる、聴覚や視覚の機能を再生させる医療技術
- ・ 動物の胚とヒト幹細胞由来細胞のキメラ胚（動物性集合胚）から作出されるヒト移植用臓器
- ・ がん細胞を包み込んだり、がん細胞特異的に吸収したりする材料（ポリマーなど）により、がん細胞を物理的に孤立させて死滅させる治療法
- ・ ライブイメージングと生化学的解析等の融合による、オルガナを標的とした非感染性疾患の新規診断法
- ・ 代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法

文部科学省は大学等が行う産学連携の進展状況について調査をして「大学における産学連携等の実施状況について」の名称で内容を毎年更新して6月に公表している。

●研究資金等受入額：

●民間企業からの研究資金等受入額：

7

●民間企業との共同研究：

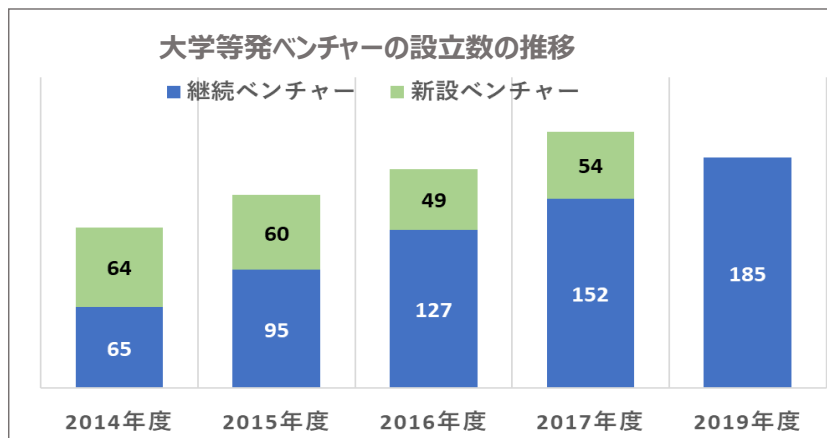
民間企業との共同研究において、「研究費受入額」は約684億円と、前年度と比べて約76億円増加（12.5%増）した。また「研究実施件数」は27,389件と、前年度と比べて1,938件増加（7.6%増）した。受入額・実施件数ともに近年増加傾向にある。1件当たりの受入額は2,498千円だが、1件当たり1,000万円以上の共同研究に係る受入額は約331億円と、前年度と比べて約43億円増加（15%増）し、共同研究全体の半数近くを占めている（約48.4%）。

●知的財産：

特許権等の知的財産権による収入額は約59億円と、前年度と比べて約17億円増加（38.6%増）した。このうち、特許権における収入は約44億円と知的財産権等収入額全体の約74.2%を占め、全体の伸びを牽引している。

（2）大学発ベンチャーの状況

この資料が示す大学発ベンチャーは、設立数の合計が3097社で、現存するベンチャーは2473社である。なお、大学等発ベンチャーとは、大学等の教職員・学生等を発明者とする特許を基に起業した場合、あるいは関係する教職員等が設立者となった場合等を指す、としている。



（図4）大学等発ベンチャーの設立数の推移

※2014年度から2017年度までの設立数は、前年度調査時点から新たに設立が把握された企業（上記グラフ緑色部分）が含まれるため、前年度公表値とは値が異なる。なお、設立から5年程度経過しないと設立状況を把握することができない事例が多いことから、過去5年に遡って 設立状況を把握した。

■ 主に参照した資料：

- ・ 令和2年第11回経済財政諮問会議：骨太の方針等
<https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/minutes/2020/0717/agenda.html>
- ・ 文部科学省 令和2年版科学技術白書 本文（PDF版）
https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202001/detail/1427221.html
- ・ 科学技術・学術調査研究所 第11回科学技術予測調査
<https://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-foresight-and-science-and-technology-trends>
- ・ 平成30年度 大学等における産学連携等実施状況について
https://www.mext.go.jp/content/20200109_mxt_sanchi01_000003783_02_01.pdf