



技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight

Vol. **102**

## 次世代のIoT社会に向けた ナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

2021年1月

はじめに .....	2
<b>1</b> 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像 .....	4
1-1 解決すべき社会課題と実現したい将来像 .....	4
1-2 解決・実現のための方法 .....	7
1-3 環境分析とベンチマーキング .....	12
<b>2</b> 章 解決・実現手段の候補 .....	26
2-1 解決・実現に向けた課題 .....	26
2-2 分析等から得られた具体的実現手段の候補 .....	26
2-3 技術開発の方向性 .....	28
<b>3</b> 章 おわりに .....	30

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

## はじめに

近年のIT (Information Technology)、ICT (Information and Communication Technology) 技術の進展により大量のデータを集め活用することが新たなサービスや産業、企業を生み出し始めている。その典型的な例がGAFA (Google、Apple、Facebook、Amazon) に代表される企業の台頭であり、IT 機器から入力されるデータ情報を膨大に収集し解析することで、消費動向把握や流行予測、個人ごとにカスタマイズしたサービスの提供といったビジネスの確率アップやサービス展開など新たなネットビジネスなどの産業を創出してきている。これらのIT が高度に発達した現代社会を、“Society4.0” と称し、さらにその先にはIT だけではなく

モノからのデータをフィジカル空間から収集 (Internet of Things: IoT) し、サイバー空間に巨大なビッグデータ群を形成して高度に解析することでフィジカル空間にその価値を提供するという社会を“Society5.0” と称している (図1)。従来は個別に機能していたモノがサイバー空間を活用することで「システム化」され、さらには、分野の異なる個別のシステム同士が連携協調することにより、自律化・自動化の範囲が広がり、社会の至るところで新たな価値が生み出されていく。これにより、生産・流通・販売、交通、健康・医療、金融、公共サービス等の幅広い産業構造の変革、人々の働き方やライフスタイルの変化、国民にとって豊かで質の高い生活の実現の原動力になることが想定されており、日本では第5期科学技術基本計画の中で、超スマート社会の実現のためのサービスプラットフォームの確立が提案されている<sup>※1</sup>。

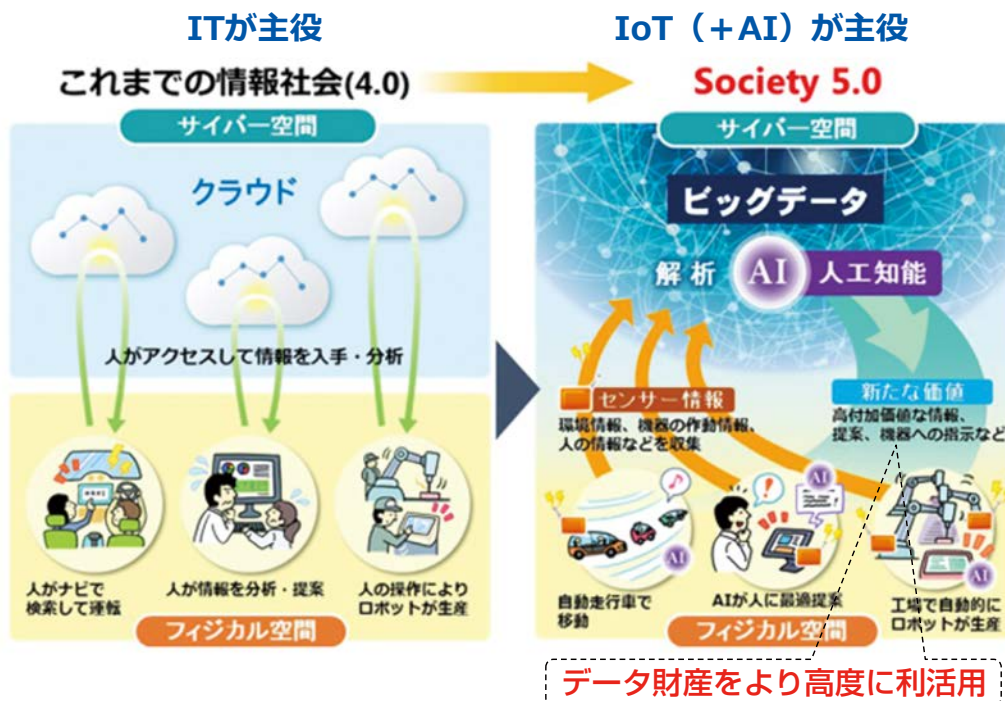


図1 これまでの情報社会 (4.0) と Society5.0の違い

出所：第5期科学技術基本計画 (内閣府、2016) <sup>※1</sup>を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2019)

※1 第5期科学技術基本計画. 内閣府. 2016.  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

これまでの情報社会（4.0）において活用されているクラウドにある情報群は主にITデータであり、メインプレイヤーはGAFに代表される巨大IT企業である。一方、IoTは現在のMEMS（Micro Electro Mechanical System）技術などで高度に小型化／低コスト化されたセンサなどを活用して得られたデータや、気象衛星やGNSS（Global Navigation Satellite System）、カー

ナビ等から得られたデータが既に活用されている。しかし、現状はITデータとIoTデータとはまだ機能的に連動しておらず、IoTデータ同士もまだ十分に連動していない、という状況である（図2）。“Society5.0”に向かうためにはこれらのデータが有機的に連動してAI（Artificial Intelligence）等を活用して解析され、様々なサービスが生み出されていくことが望まれている。

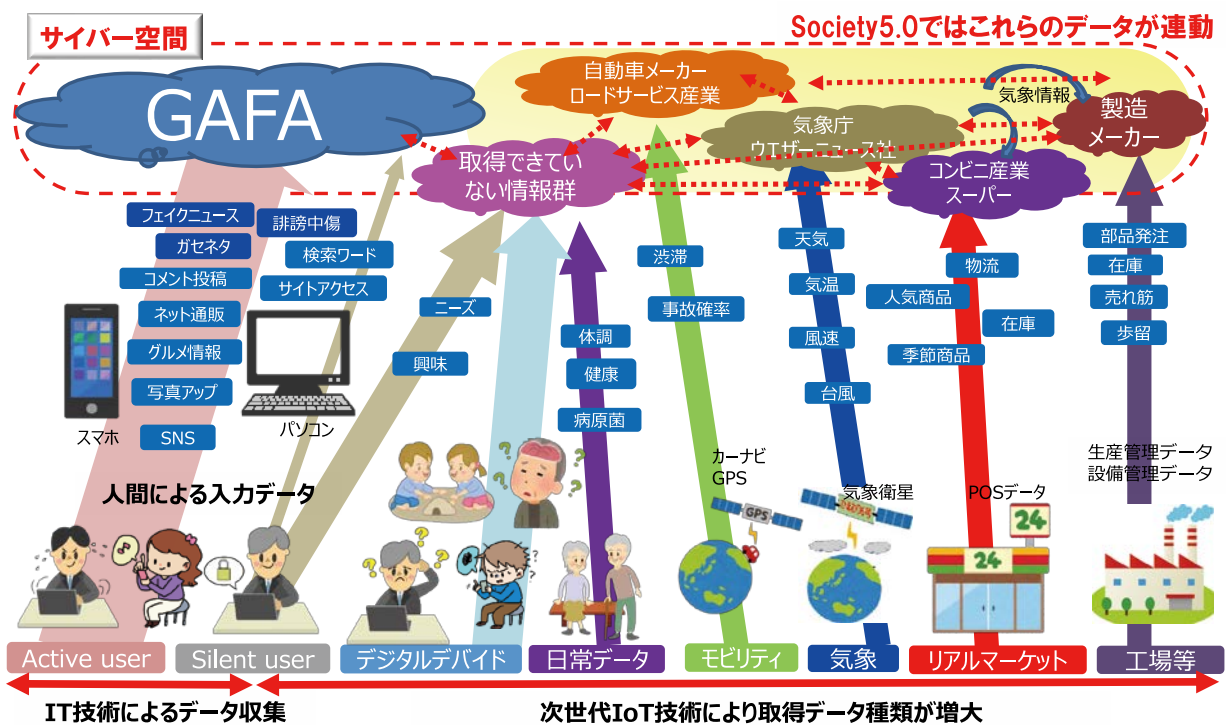


図2 現在におけるフィジカル空間からのデータの流れの例

出所：第5期科学技術基本計画（内閣府、2016）<sup>\*1</sup>を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

## 1章

### 解決すべき社会課題と 実現したい将来像

## 1-1

### 解決すべき社会課題と 実現したい将来像

#### 1-1-1 社会課題と将来像

近年の科学技術、とりわけ情報通信技術の発展は、社会基盤をより高度化させ、人々の豊かさに大きく貢献してきた。1990年代後半頃から爆発的に普及が進んだインターネット、そして2000年代に入って普及したブロードバンドによって、IT、ICTが急速に社会に浸透し、あらゆるモノがインターネットを媒介してつながることで、これまでにない新たなサービスが生み出され始めた。いわゆる「Internet of Things (IoT)」の時代である。これら

の高度IT、IoT社会が進むことにより人々のライフスタイルも大きく変貌し、価値観も多様化してきた。新興国もこれらの技術が導入されることで徐々に豊かになってきている。日本を含めた先進国はより豊かになる一方で、いくつかの課題が挙げられる。

一つ目は、「高齢化」である(図3<sup>※2</sup>)。医療技術などの進展に伴い日本人の寿命が延びてきており、高齢化社会における我が国の在り方が求められている。例えば「人生100年社会」がキーワードの一つとして取り上げられており、豊かな老後の生活を構築することが今後の日本に求められている。長寿化(高齢化)は社会保障給付費の増大につながり、国の財政を圧迫する一要因となっている(図4<sup>※3</sup>)。また、インフルエンザ、ノロさらには新型コロナ等のウイルス拡散なども低減していく必要がある。

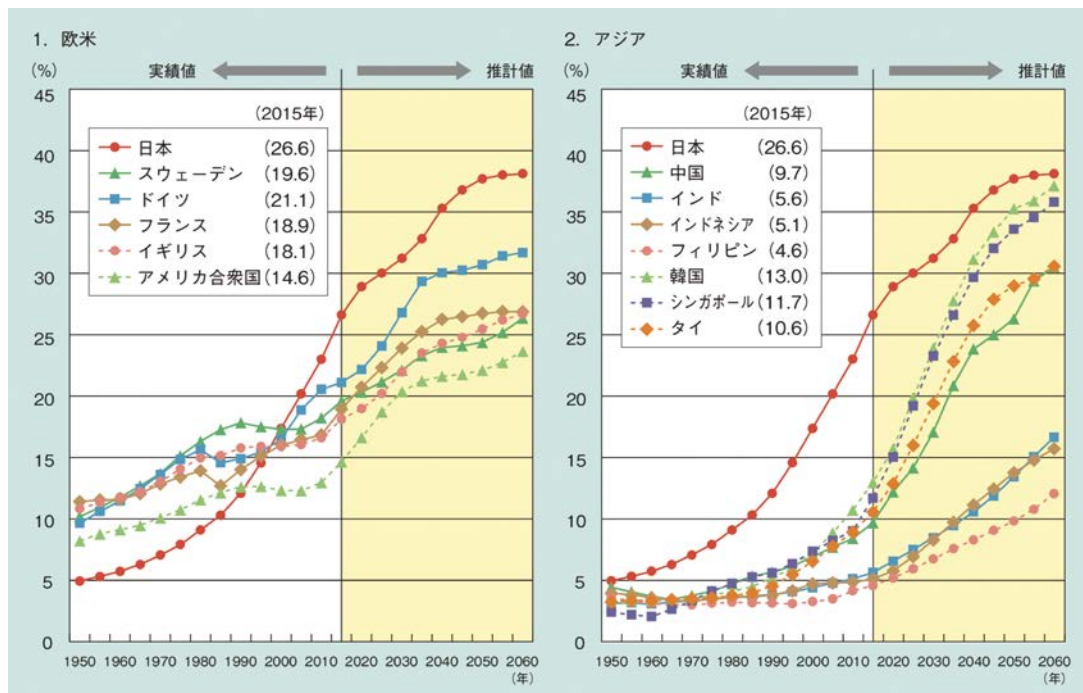


図3 世界の高齢化率推移

出所：令和元年版高齢社会白書<sup>※2</sup>(内閣府、2019)

※2 令和元年版高齢社会白書. 内閣府, 2018.

[https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/zenbun/pdf/1s1s\\_02.pdf](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/zenbun/pdf/1s1s_02.pdf)

※3 2040年を見据えた社会保障の将来見通し. 内閣官房・内閣府・財務省・厚生労働省, 2018.

<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12600000-Seisakutoukatsukan/0000207399.pdf>



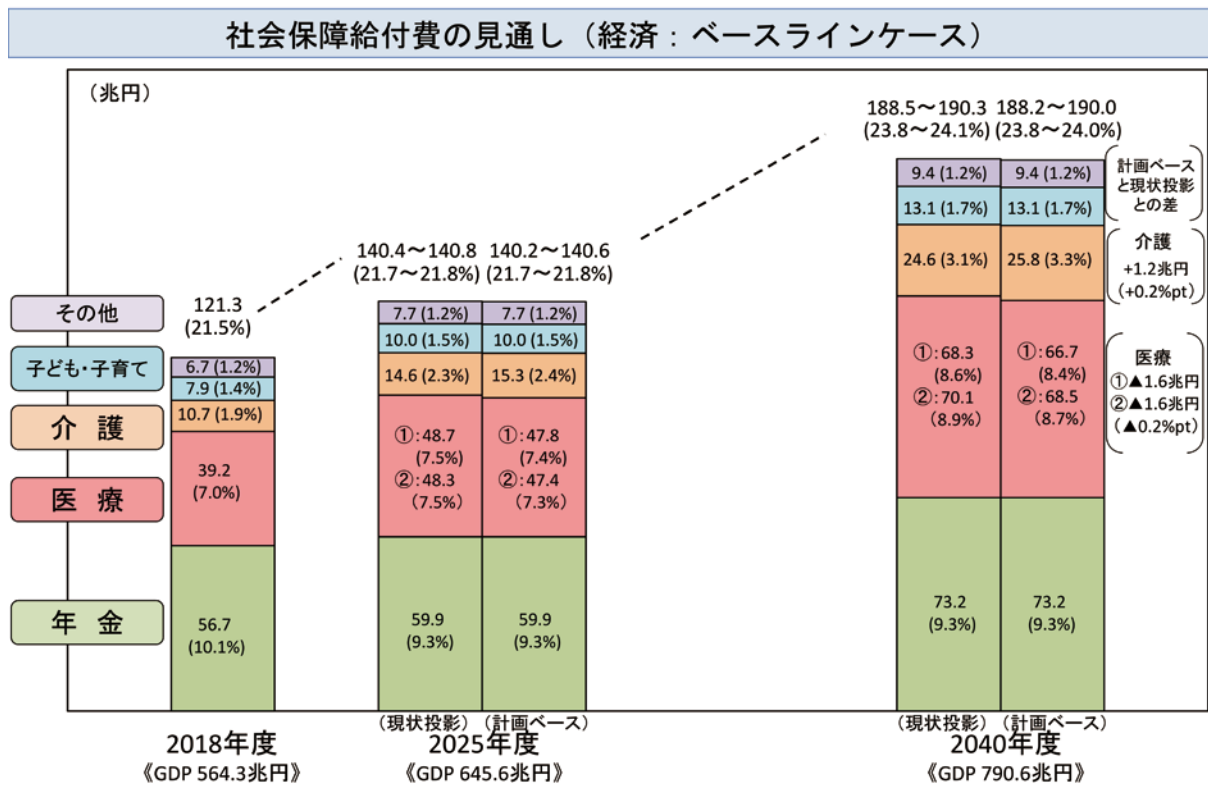


図4 日本の社会保障給付費の内訳と見通し

出所：2040年を見据えた社会保障の将来見通し<sup>\*3</sup>（内閣官房・内閣府・財務省・厚生労働省、2019）

二つ目に、豊かなライフスタイルの追求や女性の社会進出により少子化も同時並行で進んでいることが挙げられる。少子化による労働人口減少は、社会保障費の下支えとなるべき納税者の減少でもあるため、将来の社会保障を支えるべき根幹を揺るがすことになる。さらに、少子化については、社会保障費の問題だけでなく、日本の産業を支える労働者が減ることでもあるので、今後はより一層の省人化を進めた業務改革、製造業の体質改革などが必要になる。

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

三つ目には、環境問題に対する重大な懸念も示されている。世界における科学技術の発展と生活水準向上により、エネルギー消費も増加の一方であり(図5<sup>※4</sup>)、それは同時にCO<sub>2</sub>排出量の増大になり(図6<sup>※5</sup>)、将来的な資源枯渇の問題や地球温暖化に対する大きな懸念が生じつつある。また、化学物質やPM2.5などによる健康被害も低減する必要がある。

これら課題の複合的な影響と、新興国の経済力・技術力の追い上げが進む中、先進国である日本が経済成

長を維持していくためには、既存事業の枠を超えた新たな産業を創出するための手段を講じておく必要がある。

以上に挙げた我が国が直面する社会課題に対し、実現したい将来像として、以下の四つを挙げる。

- 1) 人生100年社会の到来に向けた高齢者も生き生きと参加できる社会
- 2) 少子化社会においても産業維持できる仕組み
- 3) エネルギー効率化、環境負荷低減による持続的社會
- 4) 新たな産業創出による産業競争力のある経済成長

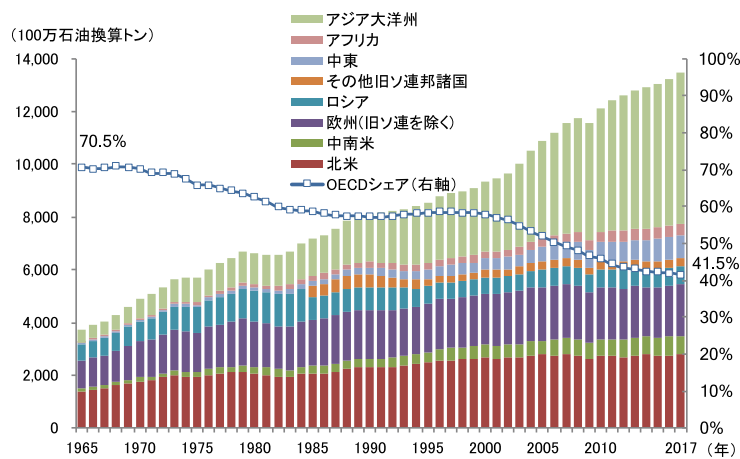


図5 世界のエネルギー消費量の推移

出所：平成30年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2019)<sup>※4</sup>(エネルギー庁、2019)

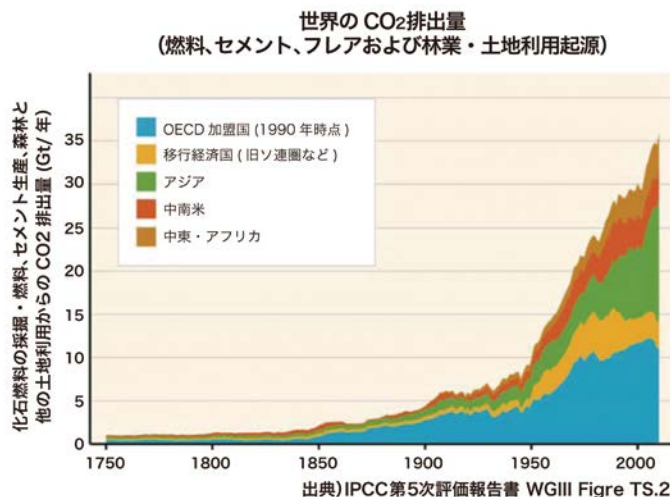


図6 世界のCO<sub>2</sub>排出量

出所：IPCC第5次評価報告書(2014)、全国地球温暖化防止活動推進センターより<sup>※5</sup>

※4 平成30年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2019). エネルギー庁. 2019.  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019html/2-2-1.html>

※5 IPCC第5次評価報告書WG3特設ページ(IPCC, 2014). 全国地球温暖化防止活動推進センター.  
<https://www.jccca.org/ipcc/ar5/wg3.html>

## 1-1-2 将来像を構成する提供価値

上述した四つの将来像が実現されることで、「元気に年を取る」、「社会保障費負担の軽減」、「労働、生産性効率向上」、「新産業、新サービスの創出」等の価値が提供される（図7）。

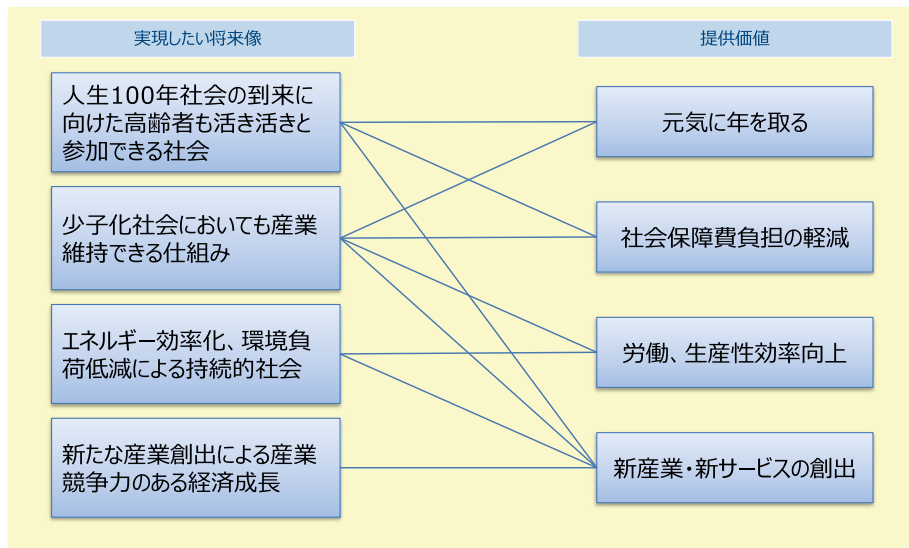


図7 将来像と提供価値

## 1-2 解決・実現のための方法

上述した将来像を実現する方法としては、技術開発による取り組み以外にも、様々な方法が考えられるが、技術を活用した場合の具体的な実現方法の例を図8にまとめた。

大きな考え方としては、①医療技術の高度化や食の改善・運動継続などを技術的に推進することで高齢者や働き盛りの労働者の健康維持、②ロボット技術の高度化による高齢者の生活サポートや人間労働の代替、③人間や設備の情報（データ）などを収集・分析して生活や設備の適切な維持管理を行う（データ利活用）、が挙げられる。

<p><b>実現方法①：</b></p> <p>医療技術の更なる高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 医薬品の開発</li> <li>・ 新たな治療法の確立</li> <li>・ 学習型ロボット制御技術</li> </ul> <p>食の改善、運動継続による健康維持</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高エネルギー食品の開発</li> <li>・ スポーツ関連製品の開発</li> </ul>	<p><b>実現方法②：</b></p> <p>ロボット技術の高度化と活用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アシストスーツによる筋力のサポート</li> <li>・ 自動運転による高齢者の快適な移動</li> <li>・ ロボットによる労働力代替</li> <li>・ ロボットによる生産性向上</li> <li>・ 自動運転による高齢者の快適な移動</li> <li>・ ドローン宅配による買い物難民解消</li> </ul>	<p><b>実現方法③：</b></p> <p>データを収集して有効に利活用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 体調データにより健康維持管理</li> <li>・ 重篤疾病データ取得により未病対策</li> <li>・ データ活用による最適サービス提供</li> <li>・ 車の制御データによる自動運転実現</li> <li>・ 設備等からのデータで無人管理化</li> <li>・ 検査データ自動取得による生産性向上</li> </ul>
---	---	---

図8 将来像実現の為の方法例

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

次に、上述した四つの提供価値に対して、ここで示した実現方法①～③の関係について図9に示した。

いずれの実現方法でも、元気に年を取る、社会保障費負担の軽減、労働・生産性効率向上、新産業・新サービスの創出の四つの提供価値のいずれかに寄与できることが分かる。例えば、実現方法①では医療技術の高度化により高齢でも適切な治療により長寿を実現することができる。また、高機能食品の開発や新たな運動機器の開発により健康をより維持できるようになれば、社会保障費の抑制につながり、新たな食ビジネスやスポーツビジネスの創出も期待できる。実現方法②では、新たなロボット産業が創出されるうえ、ロボットによる労働代替や高齢者のサポートにより、高齢化に対しても効果が期待できる。しかし、介護ロボットなどが医療機器化していくと、保険の適用範囲となり社会保障費の増大につながる可能性がある。

これら二つの実現方法に対し、実現方法③では四つの分野の項目において価値が提供できることがわかる。ヒトの生体情報などを収集することにより、健康維持・増進のための適切な分析ができるようになる上、病気が重篤

化する前の僅かな体の変調情報を取得することができれば、適切な時期に処置することで健康状態が保たれつつ、社会保障費の抑制にもつながる。工場等の設備なども、僅かな変調情報を早期に検知できれば大きな故障や事故につながる前に設備をメンテナンスすることで生産効率を保つことができる。また、工場だけでなくインフラなど従来人手に頼っていた検査工程などもセンサなどで代替できるようになれば、労働代替も促進される。

なお、センサによるモニタリングは従来から行われていることであるが、僅かな変調等は現状のセンサではとらえることができないような信号が多く、またセンサにとって環境が過酷であるためにヒトに頼らざるを得ない場面がまだまだ存在している。さらには、データは情報資産でもあり、近年のIT、IoT社会においては情報がより大きな価値を生み出すようになってきているので、収集したデータはそれらをうまく使いこなす、又はうまく組み合わせることで新たなデータサービスビジネスを生み出す可能性が出てくる。このように、実現方法③（データを収集して有効に活用）では、これら四つの全ての分野において社会課題の解決と社会像が提供可能である。

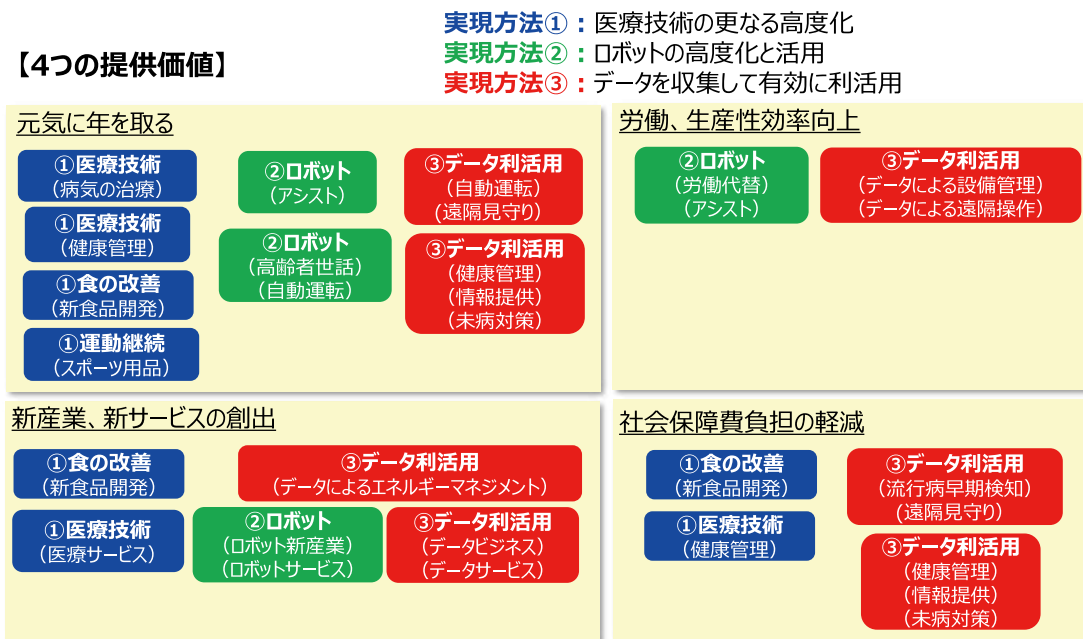


図9 将来像における提供価値と実現方法①～③との関係性



# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

図10においては、実現方法③のデータを利活用して社会課題の現状から実現したい将来像に導くための、それぞれの課題に対して必要とされるデータの例を関連付けて表した。人生100年社会に対応する元気に年を取る、元気に働ける将来像を実現するためには僅かな体の変調信号を早期に検知し、重篤化する前に適切な処置を行う判断ができるような社会環境を構築することが必要である。また高齢者も活発に活動できるような環境を構築するためには自動運転などの高度化、例えば微小ジャイロ信号による車の制御が必要になる。

産業における労働、生産性効率向上に対しては、例えば従来は人が設備の維持管理目的で打音検査や直接目視検査などを行っていた作業を、センサなどを取り付けて収集した情報を解析することで、より効率的な維持管理に変更できるようになる。これらの手法は、現在入手可能なセンサ（ひずみゲージ、超音波探針、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサによる画像データ等）を活用すればすぐに実現できるものもある。一方で、従来のセンサでは取得できないような僅かな変調信号が取得できるようになれば、大きな故

障や事故の発生を未然に防ぐことができるようになり、修復作業に要する労働力を削減することが可能になる。

環境に関しては、例えば発電システムの中の実温度をより正確に把握できれば、部材の実用耐熱温度に近いレベルでの高効率な発電ができるようになり、エネルギー効率が大幅に向上する。

また、インフルエンザや新型コロナ等のウイルスを微量な量で検知できれば、対策を早期に講じることが可能になり、その結果ウイルス拡散を未然に防ぐことができるようになる。

以上のように、従来のセンサ技術では困難であったセンシングデータを取得することが、上記の社会課題を解決する技術につながる事が分かる。さらに、これまで取得困難であった様々な種類の新たなデータ群と従来のデータ群とを活用することで、Society5.0で提唱されているとおり、新たなサービスや新産業を創出できる可能性がある。センシング技術の拡張により各種の社会課題解決の一助を担うと共に、データ利活用による新産業創出による我が国の産業競争力向上の寄与につながるものと考えられる。

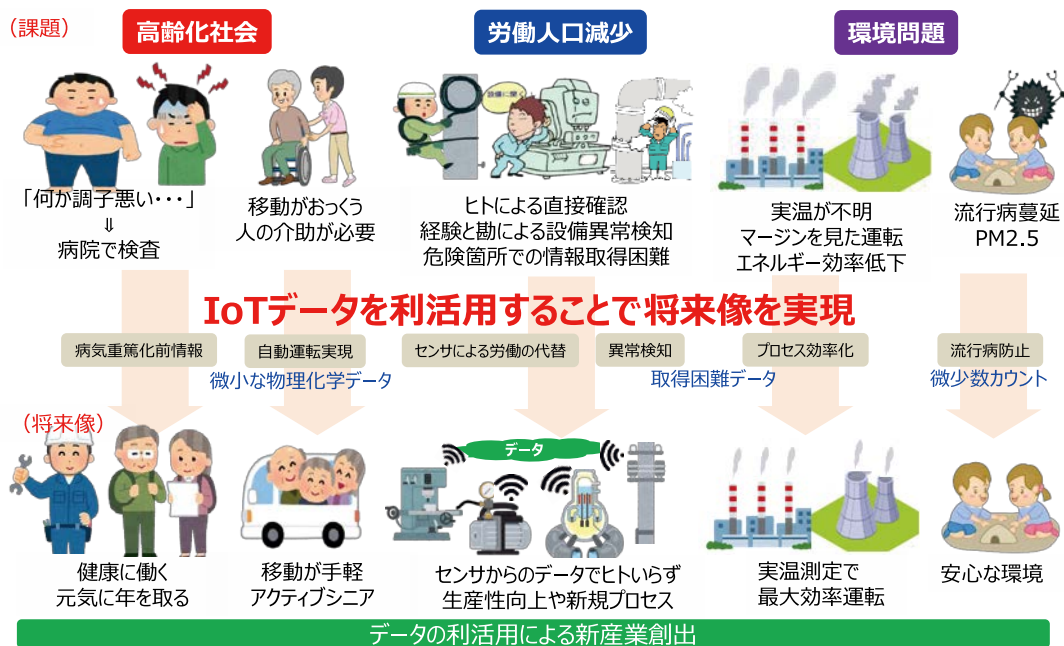


図10 社会課題の現状とデータ利活用による実現したい将来像イメージ

## 1-2-1 将来像実現のための手段

ここで、Society5.0で提唱されているビッグデータの集合体について俯瞰する。図11で示すとおり、ビッグデータ群の中心にはITデータ(PCやスマホ等から入力される検索キーワードやSNSに入力される文字情報など、ヒトが入力するデータ)が大きな位置を占めており、IT企業を中心として膨大な情報が蓄積、利用されている。さらに、その周りにはセンサなどを介して収集されるIoTデータ(モノのデータ)が存在している。このIoTデータの例としては、カーナビのGNSSから取得される運転履歴のデータや機械設備等に設置したセンサから出力される振動などのデータ、スマホのCMOSセンサで撮影されてITサービスで収集される画像データなどが挙げられる。特に近年ではスマホのカメラ機能とSNSサービス、監視カメラの普及などにより画像データの収集量が膨大に増える傾向にあり、それに合わせて、画像認識や判別のための

AI技術なども急激に発展している。

これらのデータ群のさらに外側には、現在の技術では取得できていない(又は取得は可能だが、IoTに資するほどのデータ量が収集できていない)モノのデータ群がある。このデータ群が収集できれば、前述の社会課題を解決すると同時に新たな産業を生み出す可能性が高い。

これらの収集されたビッグデータ群において、1種類のデータ数量が増えるほど(図11中の手段1)、分析・解析精度が大幅に向上しサービス等の質が向上してくる。また、複数種類のデータ群を組み合わせると解析すれば、更に広がった価値観のサービスを提供できる可能性が増えてくる。さらに、データの種類を増やすほど(図11中の手段2)データの組み合わせ数が増え、新サービスや新産業の創出確率が高くなる。したがって、Society5.0の高度化のために如何にして大量のデータを収集していくか、その手段がカギとなる。

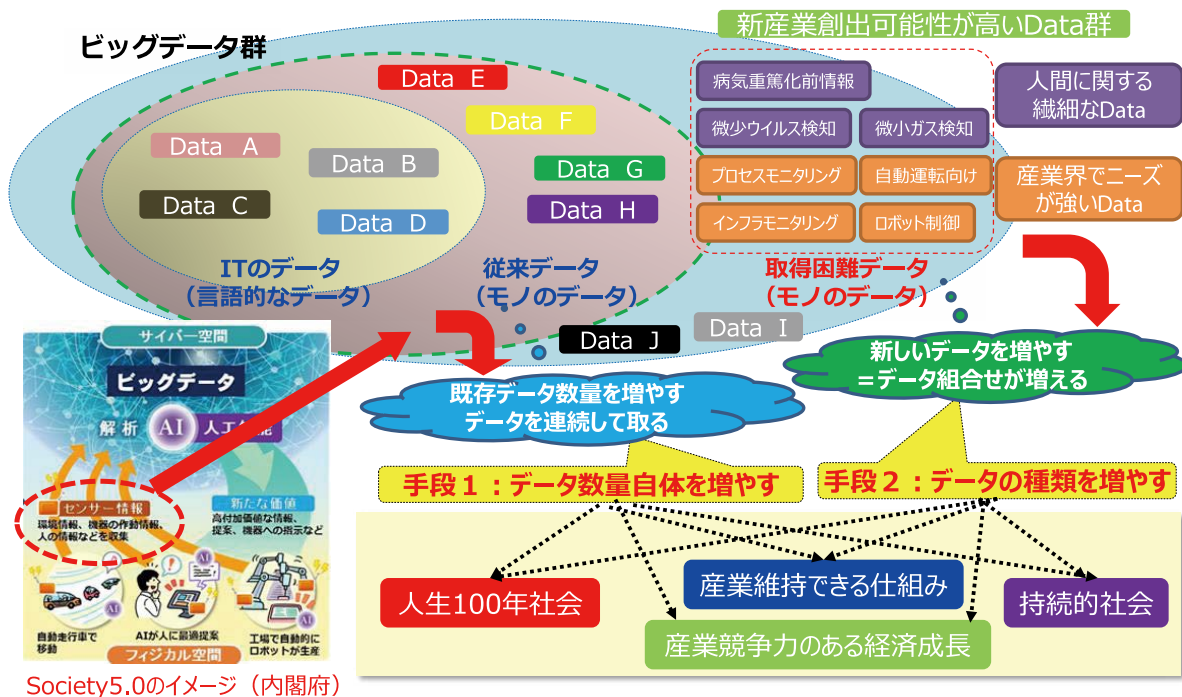


図11 将来像の実現に向けたデータ収集手段の概念図

出所：各種技術情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2019)

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

データを増やす手段としては実データの取得以外にシミュレーション等で補完することが考えられるが、実データについては図12のとおり取得可能及び取得困難なデータ群に大別できる。この分類においては、①取得しているが利用されていないデータ、②取得可能だが取得していないデータ、③取得困難なデータ、が存在し、これらのデータを利活用することで、社会課題の解決と新たな産

業を生み出すことができるものとする。具体的な取得困難の例としては、超微量、過酷環境下、混合・広レンジ、難アクセス性などが挙げられ、それぞれ超高感度、環境耐性、高選択性・ロバスト性（外乱に対して頑強であること）、非接触・非破壊・リアルタイム等がセンサに求められる技術となる。

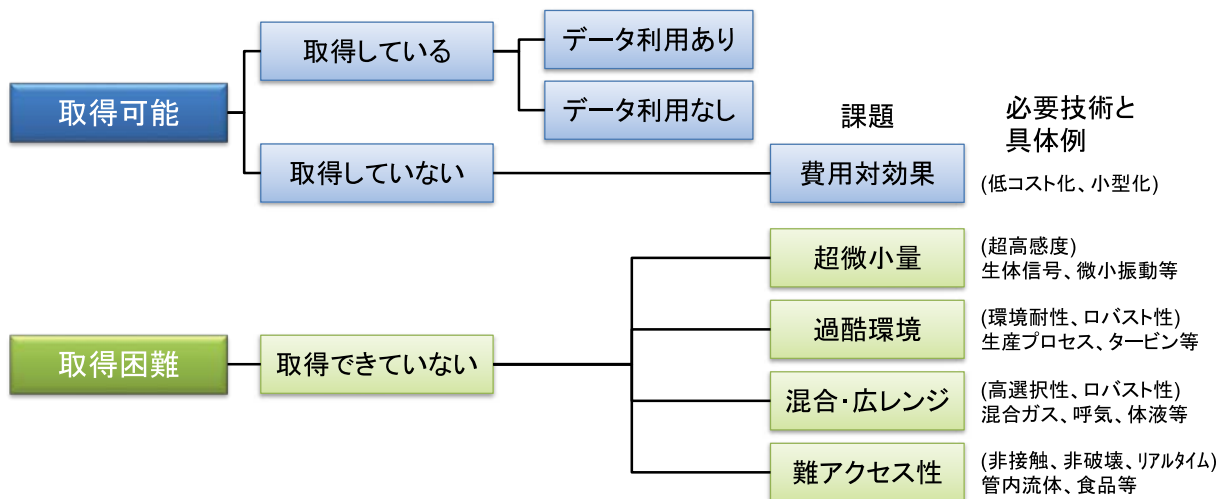


図12 大量データ収集に向けた取得可能及び取得困難データの課題

出所：各種技術情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2019）

## 1-3 環境分析とベンチマーキング

IoTを活用した新たな産業やサービスを創出するために、現在のセンサ技術を活用した企業活動や国のプロジェクトが既に進みつつある。例えば、富士通株式会社では活動の初期では企業における製造業務の効率化のためにIoTを活用し、次に製品のサービスへ対象を広げつつ、データ活用基盤をオープン化し、最終的に新たなビジネスや製品を生み出すという段階的なステップを想定している<sup>※6</sup>。その際に重要になるのがデータの取り扱いであり、データ流通の促進、共通財産化等を図るためにいくつかのデータビジネスに関する団体、プラットフォームが準備されつつある。また、これらのIoTシステムに使われるセンサの多くはMEMS技術の進展により実現されている。MEMSは小型であり、微小な機械的信号を検出することができるため、圧力センサや加速度センサなどの用途が多い。一方、化学センサのいくつかは実用化されているものの、検出原理の点で高感度化や再現性、長期信頼性などに課題が多く、今後の研究開発が期待されている分野である。

また、データを用いたソリューションビジネスの一例とし

て、米国GE (General Electric Company) 社が提供している航空機の効率的な運転管理のソリューションビジネスが挙げられる。エンジン部分に各種の物理センサを搭載し、運転時の振動や圧力、歪、温度などのデータを取得しながら動的な状態を解析し、効率的な運転のための情報を提供したり、燃費効率を最大化するための設備運用設定の情報を提供したり、また、将来起こりそうな故障モードを僅かな異常振動データ等から推測し、適切なメンテナンスを行える運用管理情報を提供したりすることで、ユーザーの利益が最大化できるようなソリューションビジネスを推進している<sup>※7</sup>。これらのビジネスは、センサから取得できるデータを活用することで実現できるビジネスであり、このようなビジネスは単なるコンサルティングによる利益だけでなく、エネルギー管理の効率化によるCO<sub>2</sub>排出量削減への効果も期待できる。

このように、現在進みつつあるIoTビジネスは、主に容易に入手が可能な物理センサを活用することを基盤とするものであり、現時点でほかにも様々な種類のセンサが存在することから、今後もSociety5.0の実現に向かって様々なセンサのデータを組み合わせたサービスビジネスが台頭してくるものと思われる。

※6 須賀高明. センサーからIoTプラットフォームまで 富士通のIoTにおける取り組みの全貌. KnowledgeIntegration in Action. 2017 Summer, PART3-5, 株式会社インプレス. 2017. [https://www.fujitsu.com/jp/documents/services/knowledge-integration/knowledge\\_integration\\_2017summer.pdf](https://www.fujitsu.com/jp/documents/services/knowledge-integration/knowledge_integration_2017summer.pdf)

※7 ジェームズ・ワイトマイヤ. GEアビエーションのデジタル・ソリューション. GE Aviation. U.S.A, 2016. [https://www.ge.com/jp/sites/www.ge.com/jp/files/A-4\\_James-Witemyre\\_JP\\_FINAL.pdf](https://www.ge.com/jp/sites/www.ge.com/jp/files/A-4_James-Witemyre_JP_FINAL.pdf)



# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

## 1-3-1 IoT センシング技術分野の政策動向

各国におけるセンサに関連した研究開発の投資動向と、既存センサを活用した民間企業におけるIoTサービスへの取り組みの一例を図13に示す。

米国では具体的なセンサを明示して開発する国のプロジェクトは少ないようであるが、大きな捉え方として、センサの研究開発に最も必要な技術の一つはナノテクノロジーであるとされていることを反映して、NNI (National Nanotechnology Initiative) が「センサのためのナノテク」という課題でおよそ60億円/年相当(詳細な金額は明示されていないため、5課題の総額を均等割りした金額)の研究開発投資が行われているようである<sup>※8</sup>。

欧州ではHorizon2020の中で具体的なセンサ開発のテーマが複数取り上げられている。これらは企業が実用

化することを想定した補助事業であり、主なセンサ開発のプロジェクト総額は約40億円/年である。さらに各国で独自の研究開発プロジェクトも動いている。目立つところでは英国、ドイツ、フランスで、それぞれ数億円程度の投資が行われている<sup>※9</sup>。

中国では国が莫大な研究開発投資を行っているが、センサ開発につながるようなプロジェクトは見当たらなかった。IoTに関する研究開発投資は、スマートシティの安全保障やサイバーセキュリティなどへの投資が多い模様である。

韓国は、K-ICT戦略の中で「IoTセンサ発展計画の策定」と言う項目が掲げられているものの具体的な開発テーマは不明である。IoTセキュリティセンター創設と併せて、約2億円(2015年)となっており、具体的センサ開発の事例は少ないのではないと思われる<sup>※10</sup>。





○政府の取組 (センサ関係)	○代表的な企業の取組 (センサ活用システム)
 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>NSI (ナノテクノロジー指定構想: NNI内プログラム) の5課題</b>に約3億ドル/年、5課題中の一つ「センサのためのナノテク」(単純割算で約60億円/年)に投資</li> <li>✓ <b>SmartCity Initiativeの空気汚染センサ開発</b>に5億円/年</li> </ul>	<p>&lt;大手企業 (主に米国) &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>GE社 (航空機エンジン製造)</b> 航空エンジンモニタリングサービス スマート工場 (工場内に1万以上のセンサ設置)</li> <li><b>Progressive社 (保険大手)</b> ドライバーモニタリングによる保険料最適化</li> <li><b>Google社</b> スマートハウス用IoTデバイス</li> <li><b>Apple社</b> ウェアラブルデバイス健康管理アプリ</li> <li><b>Ralph Lauren (大手アパレル)</b> バイオセンサ付シャツ (生体データ管理)</li> <li><b>ATT&amp;T, IBM</b> 音響センサによる水道管モニタリング</li> <li><b>Joy Global社 (採掘用重機製造)</b> 7,000のセンサ/ネットワーク化による自立採掘システム</li> <li><b>John Deere社 (農業機械大手)</b> 農地の環境モニタリング</li> <li><b>UPS社 (物流大手)</b> 配送車にセンサ搭載、配送ルート最適化</li> </ul>
 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Horizon2020/センサ関連プロジェクト (各々/約3年)</b> EU-SENSE: €340万, MOLOKO(Plasmon): €550万 TAG sensor: €140万, IoSense (Flexible): €1460万 FINESSE (生体光ファイバセンシング): €390万 Sulflogger (H2Sガスセンサ): €150万 ⇒総額40億円 (その他PULSe, I3DS, ULISSES, PROTEUS, REDFINCH等) ⇒全部合わせるとHorizonで約20億円/年くらいか?</li> <li>✓ <b>Innovate UK</b>, センサ×IoT関連の研究に総額約£210万(3億円/19テーマ)</li> <li>✓ <b>ドイツIndustrie4.0</b>のProsense (AIシステムとインテリジェントセンサに基づいた生産管理の実現)に総額€308万(4.3億円)</li> <li>✓ <b>フランスANR</b>, センサ×IoT関連の研究に総額約€450万(6.3億円/8テーマ)</li> </ul>	
 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ IoTとスマートシティの安全保障キーテクノロジー研究</li> <li>✓ 請負機関: 中国科学技術大学、期間: 4年</li> <li>✓ 政府予算: 2180万元(3.4億円) サイバーセキュリティ中心で、センサに関するプロジェクトは見当たらず</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ K-ICT戦略・IoTセンサ発展計画の策定</li> <li>・IoTセキュリティセンター創設</li> <li>20億ウォン(2億円) @2015年</li> </ul>

図13 センサ研究開発投資に関する米・欧・中・韓の政府動向と企業の動き

出所: 海外の政策動向資料情報<sup>※8 9 10 11</sup>を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2019)

※8 National Nanotechnology Initiative Strategic Plan. National Science and Technology Council Committee on Technology. U.S.A, 2016.

[https://www.nano.gov/sites/default/files/pub\\_resource/2016-nni-strategic-plan.pdf](https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/2016-nni-strategic-plan.pdf)

※9 HORIZON 2020. European Commission. 2014.

[https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/281113\\_Horizon%202020%20standard%20presentation.pdf](https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/281113_Horizon%202020%20standard%20presentation.pdf)

※10 K-ICT戦略. 韓国未来創造科学部 (※現科学技術情報通信部). 2015.



# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

図14に、世界（特に欧米）のセンサ開発における取り組み動向を示す。

注目すべきは米国の動向である。2016年の世界経済フォーラム（ダボス会議）において取りあげられたIoNT（Internet of Nano-Things）を2010年に初めて提唱したジョージア工科大学の研究グループをはじめ、近年ではカリフォルニア工科大学バークレー校においても「Neural Dust若しくはSmart Dust」という超小型デバイスに関する研究を本格化させている<sup>※11</sup>。「Neural Dust若しくはSmart Dust」に近いコンセプトとしては日

本でも提唱されている「Trillion Sensors」があり、1兆個を超えるセンサを世界中にばらまいてありとあらゆるIoTデータを取得していくというものである。その実現の為にセンサの低コスト化と小型化、並びにデータやり取りのための通信技術と自立電源との集積化（全体を小型化）が重要な研究課題となる。特にIoNTの構想では、極めて小型化されたセンサを体内に埋め込むことによって、生体情報をより正確に把握していこうという「人間IoT」のような考え方に取り組み、そのために必要な「小型化」が研究の中心になっていると思われる。

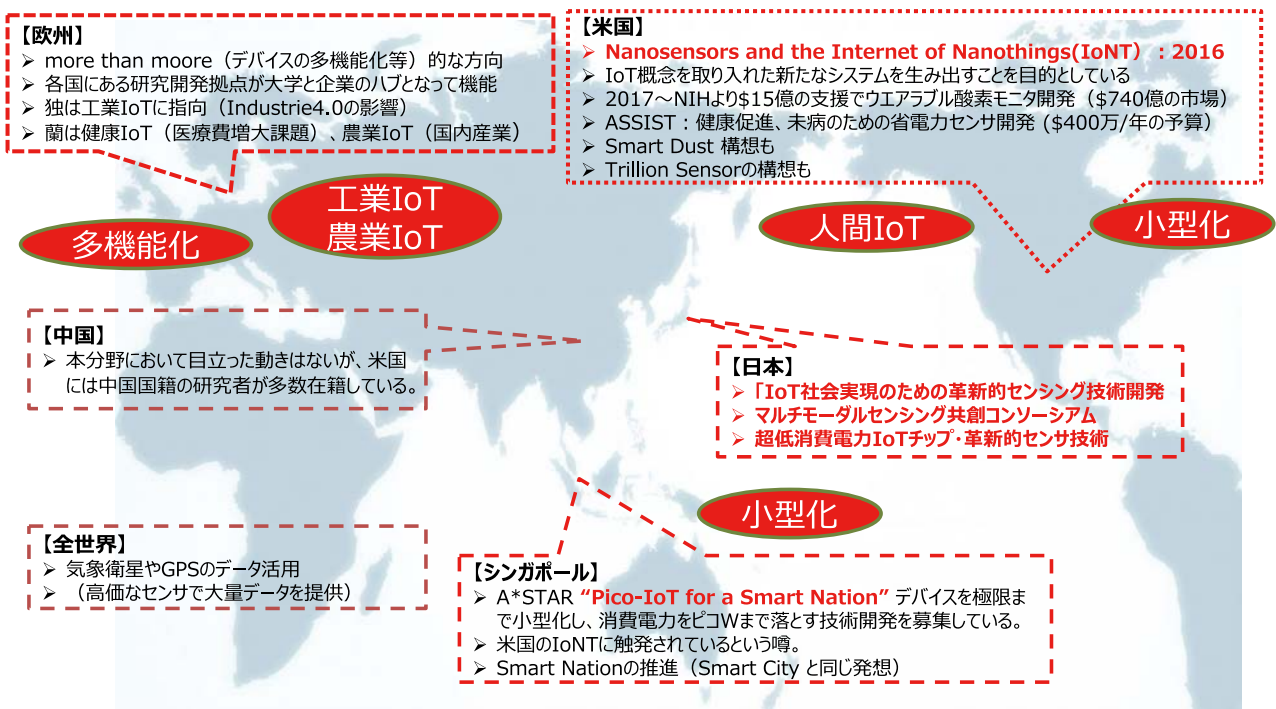


図14 各国のセンサ開発動向

出所：各種公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2019）

※11 Moore, Elizabeth A. "Berkeley scientists have 'smart dust' on the brain". CNET. 2013. <https://www.cnet.com/news/berkeley-scientists-have-smart-dust-on-the-brain/>

欧州における研究の基本的な考え方は“More than Moore”に近く、センサの多機能化を目指した研究が多い。例えば、一つのセンサプロブに複数の異なるセンサチップを搭載することで同時に様々なデータを取得するような研究が学会（Eurosensor等）で発表されている。また、センシング対象としては農業IoT（例えば農業大国であるオランダ）や工業IoT（例えばドイツはIndustrie4.0<sup>※12</sup>提唱の元、IoTを製造現場革命の一つとして取れている模様）への志向が強いようである。

アジア地域では、上述の米国の政策に呼応する形で、シンガポールのA\*STAR（The Agency for Science, Technology and Research）が、「Pico-IoT for Smart Nation<sup>※13</sup>」と称して、センサの小型化によって消費電力を極限まで小さくする研究開発を推進するプログラムを開始している。

〈参考：Pico-IoTの概要〉

- ・ Current IoT sensors are limited by both their size and power.
- ・ Pico-IoT are sensing, computing, and communication devices and systems that consume very low power ( $10^{-12}$  -  $10^{-9}$  W) and occupy minimal volume. While small size is also of importance, it should be understood

that batch-manufactured sensing systems based on sub-mm<sup>3</sup> dimensions will be a desired or required attribute for IoT sensors of the future.

- ・ 以下五つのターゲットを設定し、研究開発事業を展開している。

- 1) Ultra-Lower Power Event-Driven Sensors
- 2) Energy Extraction from Ambient Sources
- 3) Low-Power Signal Processing
- 4) Low-Power Communication linkages
- 5) Systems Integration, Extreme Miniaturization, Advanced Heterogeneous Integration

なお、日本におけるセンサ関連の取り組み例をいくつか挙げると、科学技術振興機構（JST）の産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（OPERA）においては「マルチモーダルセンシング共創コンソーシアム」が2018年度から推進されている<sup>※14</sup>。さらには、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の「フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」におけるサブテーマの「超低消費電力IoTチップ・革新的センサ技術」などが挙げられる<sup>※15</sup>。NEDOにおいては、本Foresightに記載している調査結果をベースとして2019年度から「IoT社会実現のための革新的センシング技術開発」を推進している<sup>※16</sup>。

※12 [https://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/News/2014-01-14-Industrie\\_4.0-Smart\\_Manufacturing\\_for\\_the\\_Future\\_German\\_Trade\\_Invest.pdf](https://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/News/2014-01-14-Industrie_4.0-Smart_Manufacturing_for_the_Future_German_Trade_Invest.pdf)

※13 当時のA\*STARウェブサイト情報より<https://www.a-star.edu.sg/>

※14 <https://opera.tut.ac.jp/>

※15 [https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/2\\_physical.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/2_physical.pdf)

※16 [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100151.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100151.html)

### 1-3-2 IoT センシング技術分野の市場動向

図15は、世界のセンサ市場規模の年推移予測の結果である。2022年までのデータは富士キメラ総研の公表値<sup>※17</sup>であり、それ以降はNEDO技術戦略研究センターにてロジスティック曲線により推定した。また、IoT用センサについては、ZION Market research社の2022年までの予測値<sup>※18</sup>を元に算出した。その結果、センサ市場については2022年で約7.7兆円、2030年で約12兆円の市場が見込まれることが分かった。特にIoT用センサは2016年時点ではセンサ全体の約1割程度であるが

2022年で4割近くに上昇しており、その後の伸びはIoT市場に牽引されてセンサの市場が大きく伸びていくものと推測される。

一方、IoT/CPS (Cyber Physical System) の市場全体に目を向けると、システム(ハードウェア)からソフトウェアの販売ビジネス、データを活用したサービス、ソリューションビジネス等へ市場がより大きく広がり、2030年には約400兆円の巨大な市場(2017年の約2倍)が形成されると見込まれており<sup>※19</sup>、今後の産業競争力向上のためにはサービスまで見据えた技術開発戦略を考えることが必要であろう。

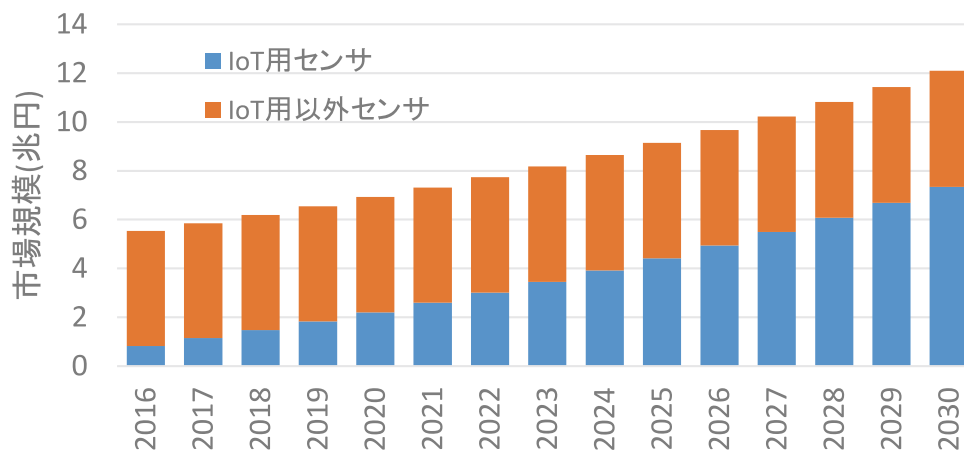


図15 世界のセンサ市場規模年推移予測

出所：各種情報<sup>※17</sup><sup>※18</sup>を基にNEDO技術戦略研究センターにて作成(2019)

※17 2019センサーデバイス/ビッグデータ・IoT市場調査総覧. 富士キメラ総研. 2019.

※18 寺尾 淳. 嗅覚IoTセンサーで何が実現する? "センサー王国"日本の「最後のフロンティア」. ビジネス+IT. 2019-03-04.  
<https://www.sbbt.jp/article/cont1/36109>

※19 朴尚洙. 「2017年はIoT元年」、2030年の世界市場規模は404兆円に倍増へ. MONOist. 2017-12-20.  
<https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1712/20/news041.html>

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

次に、IoT分野において、「IoT全体（ハード～サービスまで全体を含む）」「IoTハード（IoTセンサ搭載システム）」「IoTサービス」に分類した場合の日本の現状のシェアを図16<sup>※20 21</sup>に示す。IoT全体では日本は世界の9%のシェアを有しており、ハードは10%、サービスは8%となっており、ハード分野においてやや高めのシェアを有している。

一方で、ハードの中の「センサ（非IoTセンサも含む）」に注目すると、日本のシェアは37%と極めて大きい（図17<sup>※17 22</sup>）。IoTシステムの開発には「設計技術力」の要素が大きいのに対しセンサの開発には「設計技術力」に加えて「材料技術や高度なプロセス技術」が重要な要素になるため、日本が強いのではないかと考えられる。

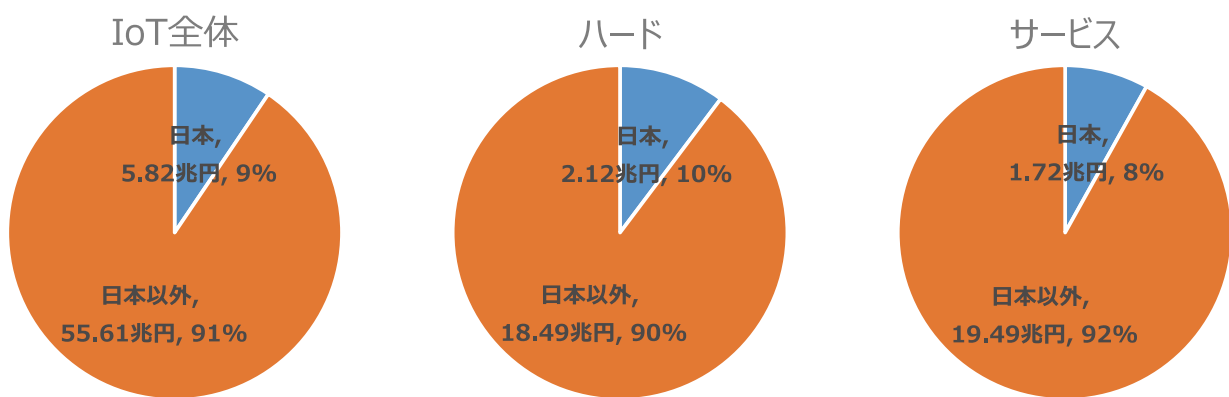


図16 IoT(全体、ハード、サービス)市場における日本のシェア(2017年)

出所：各種情報<sup>※20 21</sup>を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2019)

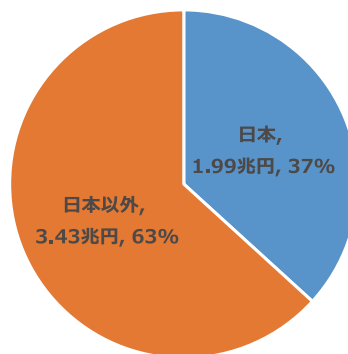


図17 センサの日本シェア(2017年)

出所：各種資料<sup>※17 22</sup>を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2019)

※20 Worldwide Internet of Things Spending Guide. IDC. 2019.

※21 IDC Japan、国内IoT市場のテクノロジー別予測を発表。日本経済新聞。2018-09-12。  
[https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP490267\\_S8A910C1000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP490267_S8A910C1000000/)

※22 センサ・グローバル状況調査センサ世界出荷実績(2016・2017年)の発表。JEITA。2018。  
<https://www.jeita.or.jp/japanese/stat/sensor/pdf/181211.pdf>

表1は日本の代表的なセンサメーカーと製造販売しているセンサの例である。大手電子部品メーカーは表に記載されたセンサだけでなく、様々なセンサを手がけている場合が多い。例えば、MEMS技術を有しているメーカーは加速度センサだけでなく、圧力センサ、傾斜センサ、音響センサ（マイク）、ジャイロセンサなども手掛けているなどの例がある。他方で、中小のメーカーは得意な技術分野を活かした1種類のセンサを大量生産、あるいはニッチなセンサを小規模ではあるが極めて高いシェアで生産している場合も多く、本表に示した以外にも多くのメーカーが存在している。

表1 日本の代表的なセンサメーカーと製造販売しているセンサの例

日本メーカー	センサの例
ソニー	CMOSイメージャ等
TDK	磁気、MEMSセンサ等
オムロン	加速度センサ、圧力センサ等
村田製作所	焦電、MEMSセンサ等
アルプスアルパイン	湿度、MEMSセンサ等
日本電産	圧力センサ等
チノー	温度センサ等
旭化成エレクトロニクス	磁気 (Hall) センサ等
ローム	オペアンプ (低ノイズ) 等

出所：各種情報よりNEDO技術戦略研究センター作成（2019）



## 1-3-3 センシング技術の動向

技術動向を調べる目安として、特許出願及び論文発表の動向（特に国別）について調査を行った。センサ、センシングに関わる技術範囲は極めて広いため、今回は将来的な研究開発の方向になり得る図10中の「取得困難」なIoTデータを取得するセンシングに限定して調査を行った。具体的には、取得困難なセンシングデータの信頼性を担保するために必須な基盤技術と考えられる「高S/N比」「低ノイズ化」及び、「取得困難」の例として、超微小量、過酷環境、広レンジ、混合系を取り上げた。

### (1) 特許分析

図18、図19はそれぞれ、「高S/N比」「低ノイズ化」に関する特許について2010～2015年の国別シェア及び出願件数上位機関の分析結果である。

「高S/N比」については、日本のシェアが36%と非常に高く、出願件数上位機関にも、日本企業が9社ランクインしている。「低ノイズ化」については中国企業が約半数のシェアを有しているが日本も米国とほぼ同じ17%のシェアを有しており、出願件数上位機関には6社がランクインしている。これらのことから、センサ分野においては、日本企業が強みを持っているといえる。

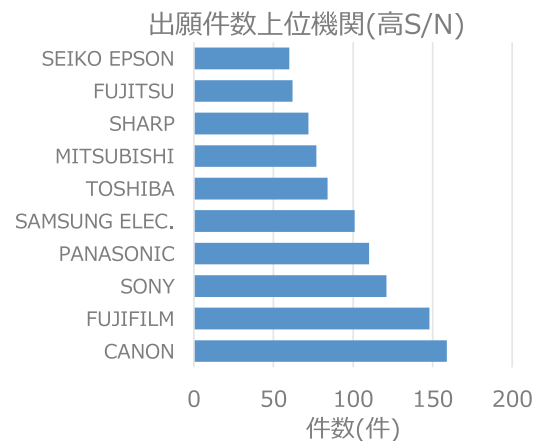
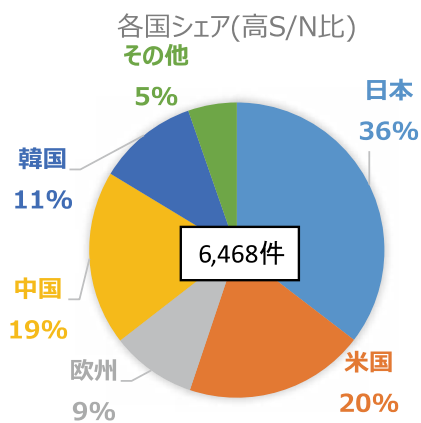


図18 「高S/N比」特許各国シェアと件数上位機関TOP10

出所：Derwent InnovationTMの検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

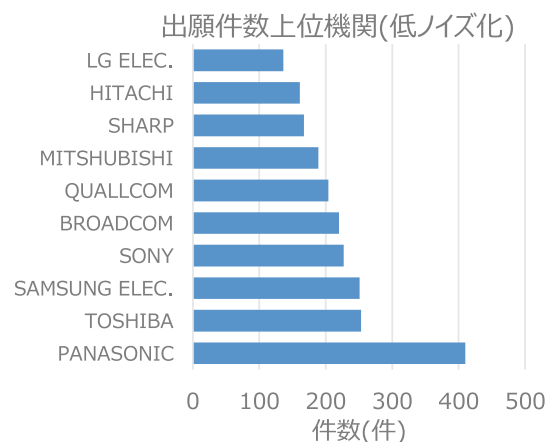
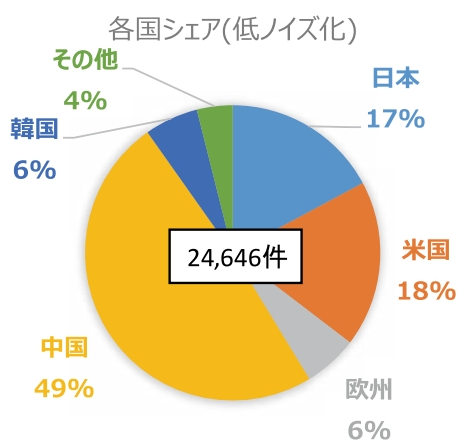


図19 「低ノイズ化」特許各国シェアと件数上位機関TOP10

出所：Derwent InnovationTMの検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

図20※23は、特許庁の機動的マイクロ調査「取得困難センシングに係るセンサ技術」より抜粋した取得困難センシングに関わる各国の出願動向調査結果である。「取得困難」の具体的な例として超微小量、過酷環境、広レンジ、混合系に関わるものが調査の対象となっている。本調査結果では、中国による出願が顕著に増えていることが分

かる。また、2013年以降、米国、欧州の出願が減少傾向にあるのに対して日本の出願は比較的件数を維持しており、困難なセンシング対象に対して新たな技術が継続的に開発され市場投入され続けていることが伺える。なお、2017年のデータについては未公開特許が残されているため参考値とする。

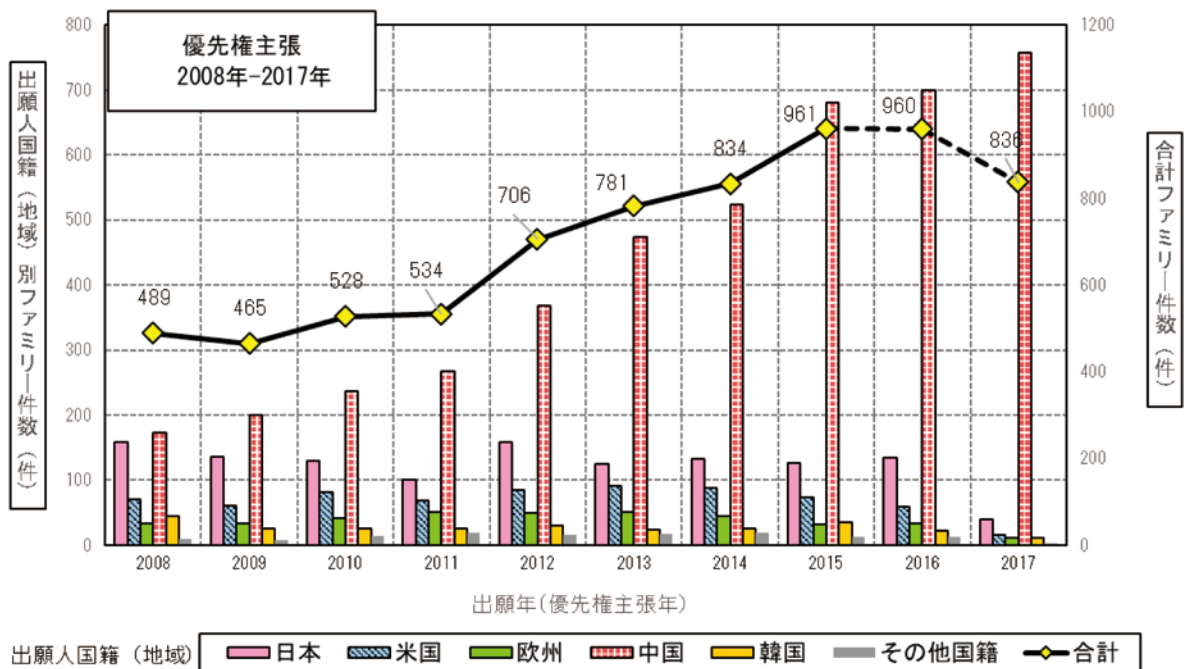


図20 「取得困難」センシングの各国出願動向

出所：機動的マイクロ調査「取得困難センシングに係るセンサ技術」(特許庁、2020)

※23 ニーズ即応型技術動向調査 取得困難センシングに係るセンサ技術 (令和元年度機動的マイクロ調査) . 特許庁 . 2020.

## (2) 論文分析

図21、図22はそれぞれ、「高S/N比」「低ノイズ化」に関する論文の国別シェア及び論文件数年推移の結果である。いずれの技術分野においても米・中の論文シェアが大きい。中国は2007年頃から急激に発表件数が伸び始め、それぞれ2012年及び2015年に米国を抜いて

1位になっている。米国も少しずつではあるが増加傾向を示している。一方で、日本はいずれの分野でも論文シェアは10%以下であり、センサの市場シェア、特許出願シェアは高いにもかかわらず論文件数が少ない傾向にあり、企業を中心に市場に近いところでの技術開発が行われているものと考えられる。

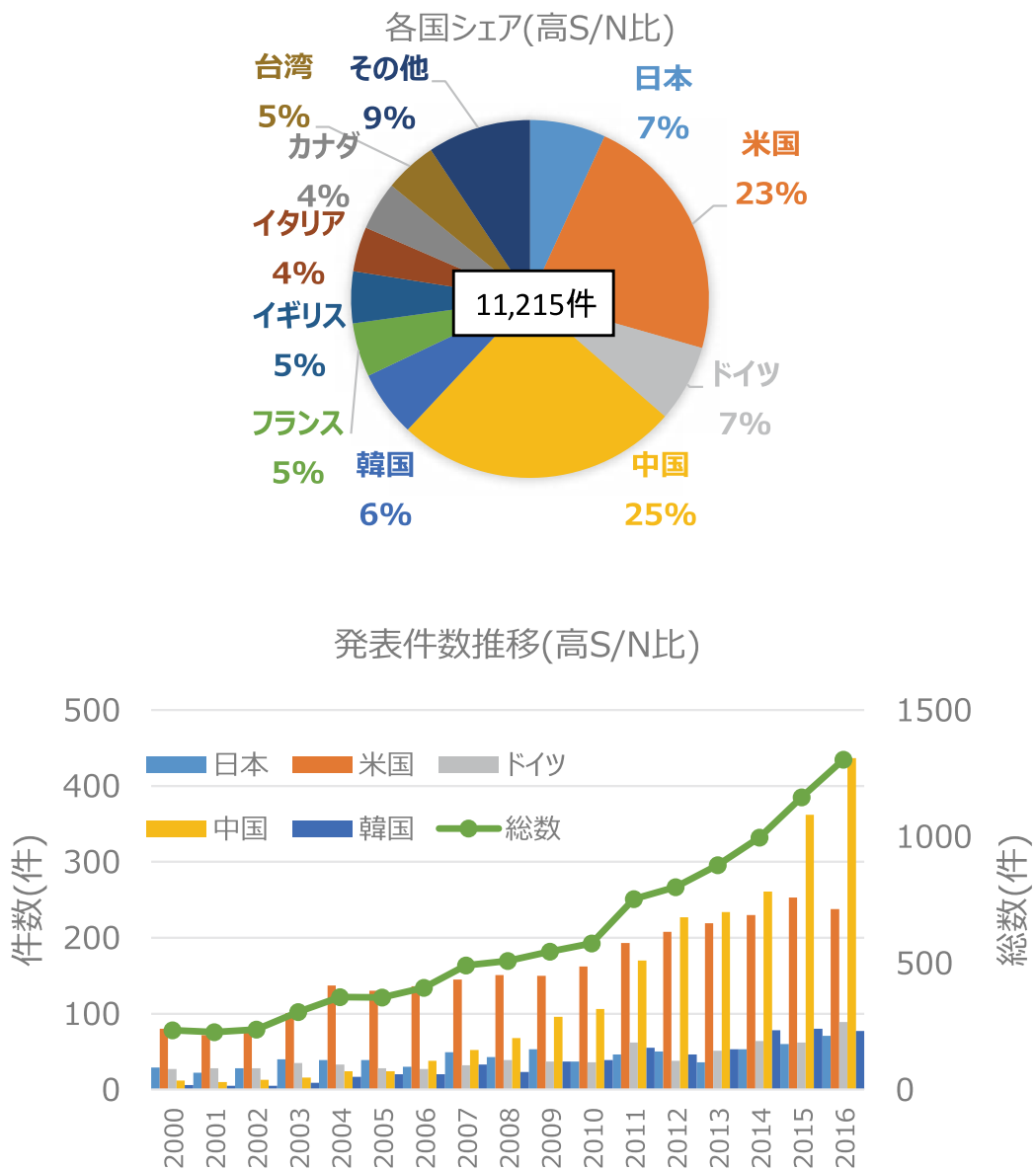


図21 「高S/N比」論文各国シェアと件数年推移

出所：Web of science™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

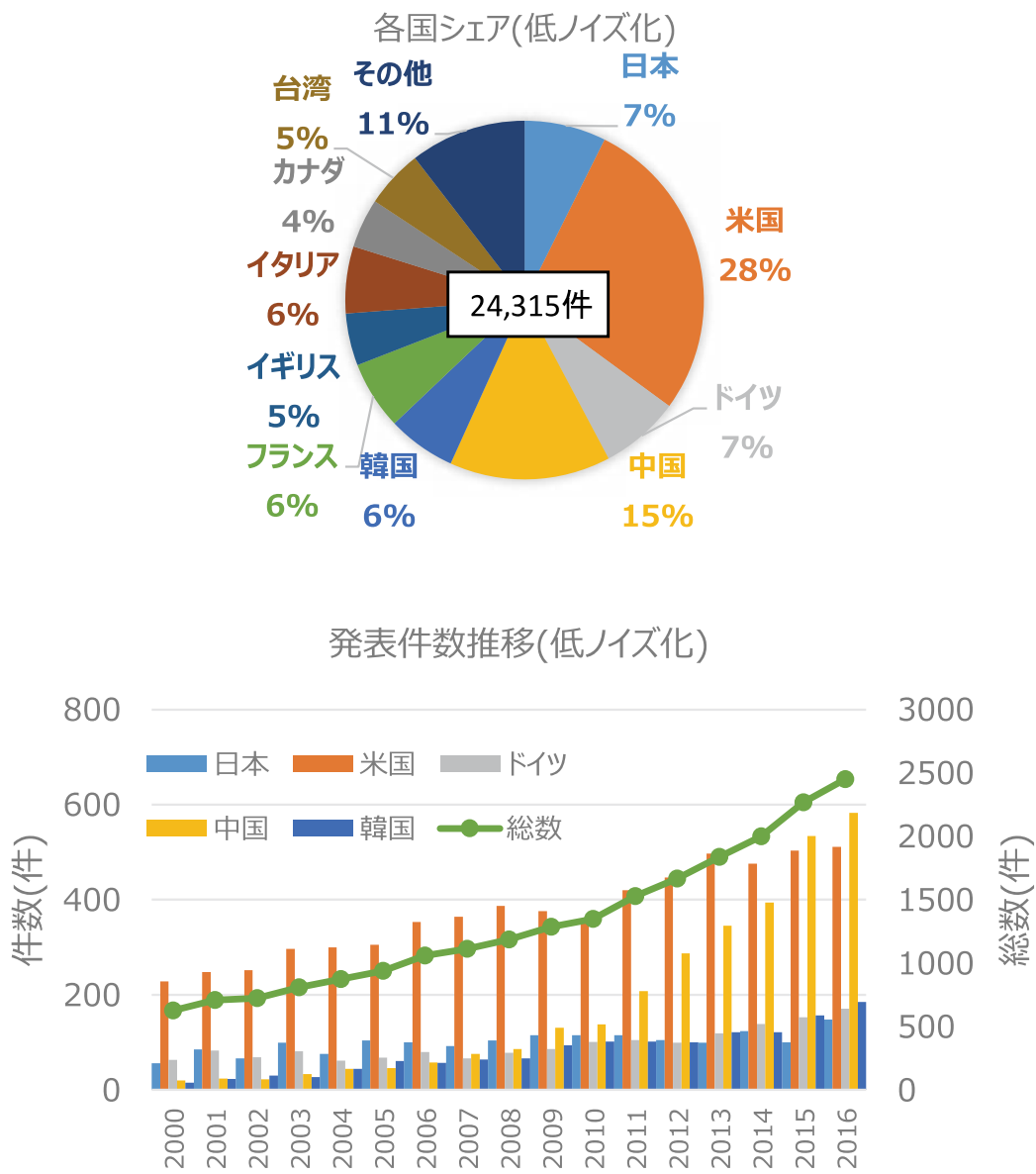


図22 「低ノイズ化」論文各国シェアと件数年推移

出所：Web of science™の検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

### (3) 標準化動向

#### ① 主な世界の標準化の取り組み動向

センシングの技術は多種多様なため、センサなどを含むハード面での標準化の大きな動きは少ないが、センサを搭載したIoTシステムやアプリケーション、サービスのそれぞれ

のレイヤーをつなげるための標準化の動きは世界において活発である。

表2<sup>※24</sup>で示すように、P2P 接続可能な家電やモバイルデバイス間の通信プロトコルに関する規格等の標準化を狙い、多数の団体が乱立している。

表2 世界のIoT関連の標準化動向

分野	名称	提案者/メンバー	概要
標準化団体 Plathome	one M2M	IBM, AT&T, Cisco 等 200社～	世界の主要7標準化団体の共同プロジェクト。オープン規格。多様なIoT/M2M (Machine to Machine) アプリケーションをサポートする共通のサービスレイヤの標準化。
業界団体 (スマートホーム) ⇒デファクト狙い	Thread Group	Google (Nest Labs) 等800社～	ホームオートメーション向けIPv6ベースのメッシュ・ネットワーク・プロトコル (通信規格)
	HomeKit	Apple, IBM等	iOSデバイスから家電機器をコントロール。(IBMはビッグデータ解析を行う。)
	Open Interconnect Consortium (OIC)	Intel等100社～ (+ UPnP メンバー一部)	多様なOS間でIoT/M2Mデバイスの相互互換、セキュリティのオープンソースプロトコル。オフィス、車、ヘルスケア等へも拡大。UPnPを吸収合併 (2015/11)
	AllSeen Alliance	Qualcomm, Panasonic等185社～	家電機器相互接続のためのオープンソースIoTフレームワーク「AllJoyn」。OCF (オープンソースIoTivity) と合併 (2016/11)。デファクト化狙い。
業界団体 (産業分野)	Industrial Internet Consortium (IIC)	GE, AT&T, Sisco, Intel等140社～	産業分野におけるIndustrial Internetの普及。オープン技術を用いた共通アーキテクチャ。

出所：各種資料<sup>※24</sup>を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

※24 例えば、八山浩司. 米国におけるIoT (モノのインターネット) に関する取り組みの現状. ニューヨークだより, 情報処理推進機構. 2015-08. 等  
<https://www.ipa.go.jp/files/000047543.pdf>



## ②日本の主な動向

日本はIoT全体を網羅する官主導のコンソーシアムに約2,000社の企業が参画している。一方、インターフェース、セキュリティ、センサプラットフォーム等の個別技術ごとに企業が中心となったコンソーシアムが複数存在する。特に官主導のコンソーシアムでは米独と連携している(表3)。

表3 日本のIoT関連の標準化の動向

分野	名称	提案者	概要
日米ドイツでのIoT標準化	IoT推進コンソーシアム	総務省、経産省、企業2,000社～	官主導で米独の推進団体に加わる形で相互運用し、通信規格などの国際標準化に参画。IIC等2団体と提携。
アプリ開発のインターフェース	デバイスWebAPIコンソーシアム	NTTドコモ、ソフトバンク等27社	複数のウェアラブル機器やIoT機器を一元的に操作するアプリ開発を容易にするインターフェース技術「GotAPI」の普及活動や機能検討。国際的標準化団体に対する提案活動。
IoTデバイス製造時でのセキュリティ標準	IoTセキュリティガイドライン	(社団)セキュアIoTプラットフォーム協議会	ICチップ内のセキュリティ秘匿領域に電子証明書を格納し、標準技術である公開鍵認証基盤を用いて、IoT機器を全世界で識別し、高度な暗号化によるプライバシーとデータ通信の保護を実現する、IoTシステムのセキュリティ標準の策定、整備活動。ISO、IEC(いずれも国際標準機構)に提案。
センサプラットフォーム	M2.COM	ADVANTEC、ARM、日本TI等	IoT機器のリモート管理やモニタリングを可能にする無線接続機能と演算処理機能を備えた小型モジュールなど。オープン規格

出所：各種資料<sup>\*24</sup>を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

### 1-3-4 ベンチマーキングまとめ

上記の環境分析を基に、日・米・欧・中ごとのセンサ及びIoTサービスにおける競争力、強みと弱み、政策支援等に関して以下にまとめる。

米国は、特許や論文のシェアの高さ、政策的な投資規模の面から、センサ技術、IoTシステム技術が強いといえる。特にITサービスにおける優位性を活かして、IoTもうまく取り込んでビッグデータ群の市場を更に拡大していきこうという流れにあると思われる。例えば、ネット通販事業においては、今後は物流IoTとの相乗効果によるサービス拡大や宅配の効率化など、応用範囲は極めて広いといえる。

欧州は、ニッチなセンサは公的研究機関（ドイツ：fraunforfer、オランダ：MESA+等）が中小のセンサ企業の開発を支援している構図である。特にIoTサービスとして産業IoTへの志向が強く感じとられ、多機能化や高性能化を目指した小～中規模生産のセンサ開発を志向している様である。逆に言えば、目的が明確なセンサ開

発なので、欧州内の企業をユーザーとして見据えた研究開発を推進しているものと考えられる。

中国はセンサに対する政策的支援やプレーヤーは少ないようであるが、国内だけで巨大な市場（人口の多さ）が形成されるので、センサを自前で開発しなくともスマートフォン等に搭載したセンサから大量のデータを入手できる環境にあり、データビジネスにおける脅威になり得る。

日本はセンサの技術において特許、市場シェア並びに多数のプレーヤーが存在することから、高い競争力を有しているといえる。特にセンサの技術は設計力だけでなく材料技術やプロセス技術も要素技術としての大きな位置を占めているので、日本がその強みを活かして今後もリードしていくべき技術分野であろう。一方で、IoTシステムの作り込みは相対的に弱く、センサデバイスの開発だけで終わってしまうと、IoTシステム化、サービスビジネスの巨大な市場を欧米に取られてしまう懸念がある。従って、センサ技術の強みをどのようにしてシステム化、サービス化につなげていくかを考えながら技術開発を進めていく必要がある。

## 2章 解決・実現手段の候補

### 2-1 解決・実現に向けた課題

1章で述べたように、IoTデータを利活用し、社会課題を解決するためには、既存の取得可能データの量を増やすだけでなく、従来、取得困難であったデータを取得可能とすることによりデータの種類を増やすことが重要である。

いくつかの具体例について説明すると、例えば、自動運転車を普及させるためには、GNSSシステムが必須であるが、現在のGNSSシステムに組み込まれているジャイロセンサは、依然として精度が不足していると言われている。ジャイロセンサのスペックはdeg/hという単位で表現され、現在普及しているジャイロセンサの精度はおおよそ10deg/h（1時間あたり10°の回転を検出可能）程度であるが、この精度では車体の緩やかなカーブを検出することができず、トンネル内やビルの間等でGNSS電波が途切れた際のシステムサポートが出来ない。そのほかにも、ヘルスケア分野においては、もしpptオーダーやnmol/L程度のバイオマーカーの検出が出来れば、尿や血液等からガンや心疾患の予兆

を検知することが可能となる。

また、微小量以外の観点においても、高温プロセスにおいて、実温度が計測できないことにより、裕度を残した運転をすることによるエネルギーロスや設備劣化が生じている。ほかにも、食品乾燥工程等での水分計測や管内気液混合流体の状態ができないことによるエネルギーロスや異常時の対応遅れなども生じている。

このように各システムの技術課題をみていくと、超微小量、過酷環境、混合・広レンジ、難アクセス性に代表されるような理由によって現状の技術では取得困難なデータを取得し利活用することが社会課題の解決に必要であるといえる。

### 2-2 分析等から得られた具体的実現手段の候補

IoTデータを利活用し、各種の社会課題解決を実現するためには、IoTデータの数量自体を増加させていくことがデータ分析、予測等の精度向上につながり、またデータをうまく利活用した産業が創出される可能性が高くなる。

ベンチマークで得られた体系整理を基に、IoTデータ数量を増やす手段の候補を、表4に提示する。

表4 IoTデータ数量を増やす手段の候補

IoTデータ数を増加させる手段	取組内容	技術
手段1：既存データ数量自体を増やす	Trillion Sensorにより既存データ量を増やす	既存
	シミュレーション／AI等を活用し取得困難データを補完する	
手段2：データの種類を増やす	高価な測定器で取得困難データをたくさん取得する（利用頻度を上げてコストを下げる）	新規
	新たな低コストセンシング技術により取得困難データを取得する	

図11で示したとおり、データ数量を増やすための手段としては、既存のデータ群をより一層増やす(手段1)とこれまでに取得されていなかったデータ群の中から新たにデータを取得して種類を増やす(手段2)に大きく分けられる。既存データ群をさらに増やす手段としては、取得したい、あるいは取得できるデータが存在するところにセンサを配置していく、つまり大量のセンサをばら撒いて様々な場所からのデータを取得していく「Trillion Sensor」の手法が挙げられる。これは米国だけでなく、日本でもその構想が提唱されており、ばら撒いたセンサからどのようにしてデータを取り出すか(通信)、センサを動作させるための電源をどう確保するか(自立電源)なども実現の為の課題として捉えられている。

もう一つの手段として、取得困難なデータ群を取得し、データの種類を増やすという手法がある。これは、図11におけるビッグデータの最外周にあるデータ群の領域であり、現時点の技術ではIoT用途に資するほどの大量のデータが取得できていない、あるいは取得する手段自体がまだ確立できていないので、現在のIoT社会ではまだデータとして存在していない。これらの領域のデータ群はニーズが高いが取得することができていなかったデータ群である。例えば、社会課題の項目の中では、人生100年社会を実現するためのヒトの僅かな体調変化情報や、労働環境における職人が経験と勘、微妙な音の変化や触覚で判断しているような僅かな設備変動状況などは、IoTで取得できるようになれば将来像に一段と近づけることが可能になる。このような現在取得が難しいデータを取得していくための手段としては複数考えられる。

一つ目として、「シミュレーションやAIを活用し、取得困難データを補完する」手段である。これらによって得られるデータは厳密には実データではないが、IoTデータの一種類として他の既存IoTデータと組み合わせれば様々なサービス、ビジネスが展開できる。現時点でも、気象予測データなどはスパコンによるシミュレーションデータではあるが、様々なサービスに利用されている。気象予測以外にも展開する事で、データの種類を増やすことができる。

二つ目として、「高価な測定器で取得困難データをたくさん取得する」手段であり、例えば、ヒトの生体情報を高額な医療機器(MRI、脳波計、血液検査装置等)で取得は出来ているものの、取得にかかるコストが極めて高い点からIoTデータとして大量取得することが難しい。それでも、例えばそのデータ利用頻度が高くなれば、(データ取得コスト/データ利用頻度)でみると低コスト化が可能になり得る。その他、気象衛星に搭載されるようなセンサも同様である。センサ自体が高額な機器であることに加え、衛星打ち上げコストも含めると極めて高コストではあるが、データは日々送信され、かつ広範囲にデータが利用されるので、結果としてデータ数量が大量でかつデータコストが安くなる。

三つ目として、「新たな低コストなセンシング技術により取得困難データを取得する」手段がある。これは、大量生産が可能なセンサデバイスのレベルで従来取得が困難であった領域のデータをセンシングするということであり、極めて挑戦的な手法である。

## 2-3 技術開発の方向性

図23には微量センシングの観点において、検出対象となる物理量・化学量の大きさとコストの関係を示した。また、図24には、取得困難さについて現状と目標値について定量的、定性的な視点でそれぞれまとめた。図23で課題とされている物理・化学量は現行のIoTセンサで検出でき

るmV、100 deg/h、ppmといった信号領域と比較すると1/1000未満の強度の信号領域であるが、この領域は測定するための時間がかかる、あるいはコストが高いため、現時点は社会実装が限定的になっている。つまり、この領域はセンサシステムとしてはまだ手つかずの市場（ブルーオーシャン）になっているため、挑戦的ではあるが市場開拓していく余地がある。

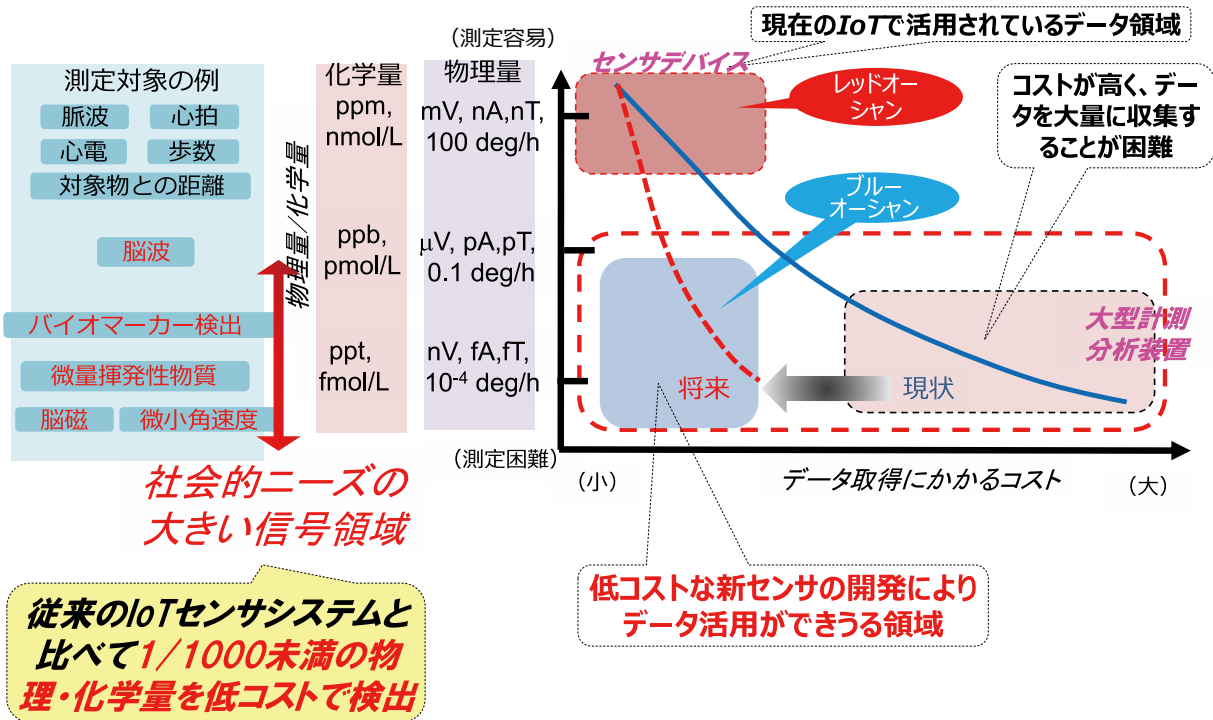


図23 検出対象となる物理・化学量の大きさとコストの関係のイメージ



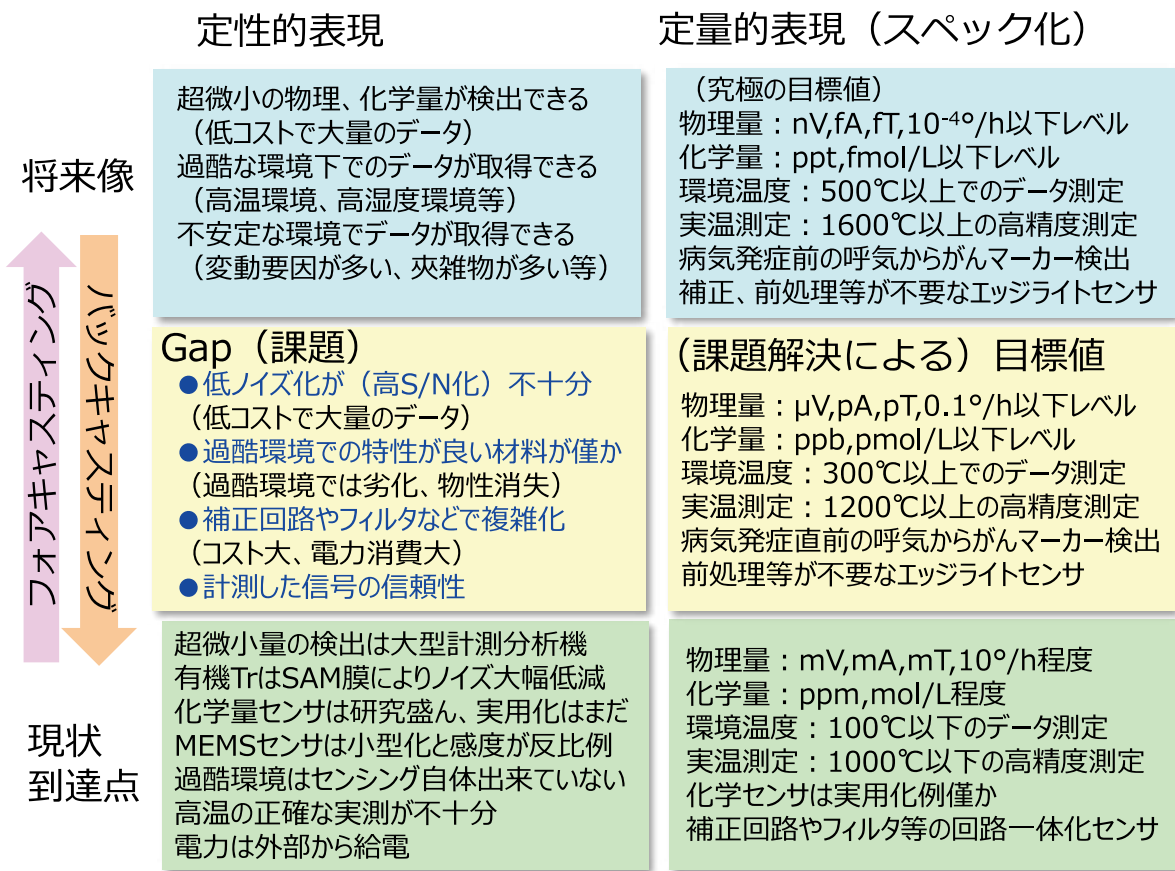


図24 取得困難データ群の現状から将来像実現の為の目標値の例

出所：ベンチマーキング分析の検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2019)

米国のIoT(特にIoNT)研究開発動向を見ると(図14)、ヘルスケアに関連するヒトからのデータ収集が今後大きなビジネス展開に広がる可能性を伺わせる。特に生体から発する超微小信号は健康長寿に向けた人生100年社会を構築するうえで重要なデータとなり得る。また、高齢者がアクティブに活動できる社会を構築するには、移動体の高度な制御による自動運転により自分で運転する必要なく外出の機会が増やせるような環境を作ることが必要であり、そのためには航空機の巡航制御並のジャイロセンシング(超微小角速度)を低コストセンサで自動車に搭載できるような開発が必要である。

低コストな新センサを開発することにより、これまで取得困難であったデータを取得することで1章で挙げた以下の将来像の実現に貢献できるものと考える。

- 1) 人生100年社会の到来に向けた高齢者も生き活きと参加できる社会
- 2) 少子化社会においても産業維持できる仕組み
- 3) エネルギー効率化、環境負荷低減による持続的社会
- 4) 新たな産業創出による産業競争力のある経済成長

### 3章 おわりに

これらの技術開発を進めることにより、図25のような市場拡大が期待できる。逆に、今技術開発を行わなければ、センシング以外の技術による市場拡大効果しか見込めず、人生100年社会の将来像を実現することも困難になる。

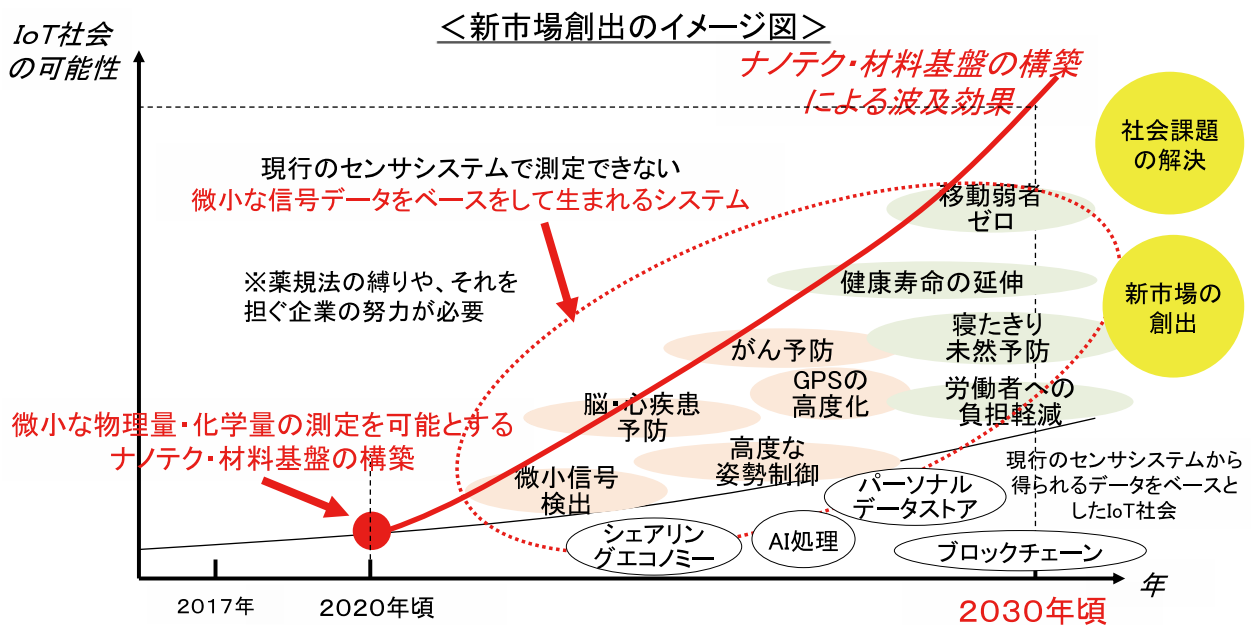


図25 超微量取得技術開発による市場創出効果

出所：第5期科学技術基本計画に基づきNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

このようなセンシング技術開発の中核になるのは、図26で示すようなナノテク・材料基盤技術である。これらの基盤技術は、センシングにまつわる技術分野のMEMS、スピントロニクス、プラズモニクス、有機半導体材料、カーボン等の新材料、ナノワイヤ技術などを下支えする。した

がって、ナノテク・材料基盤技術を高度に活用し、様々な種類のセンシング技術を実現していくことで、新たなIoTシステムとそれを活用したデータサービスを創出していくことが望まれる。

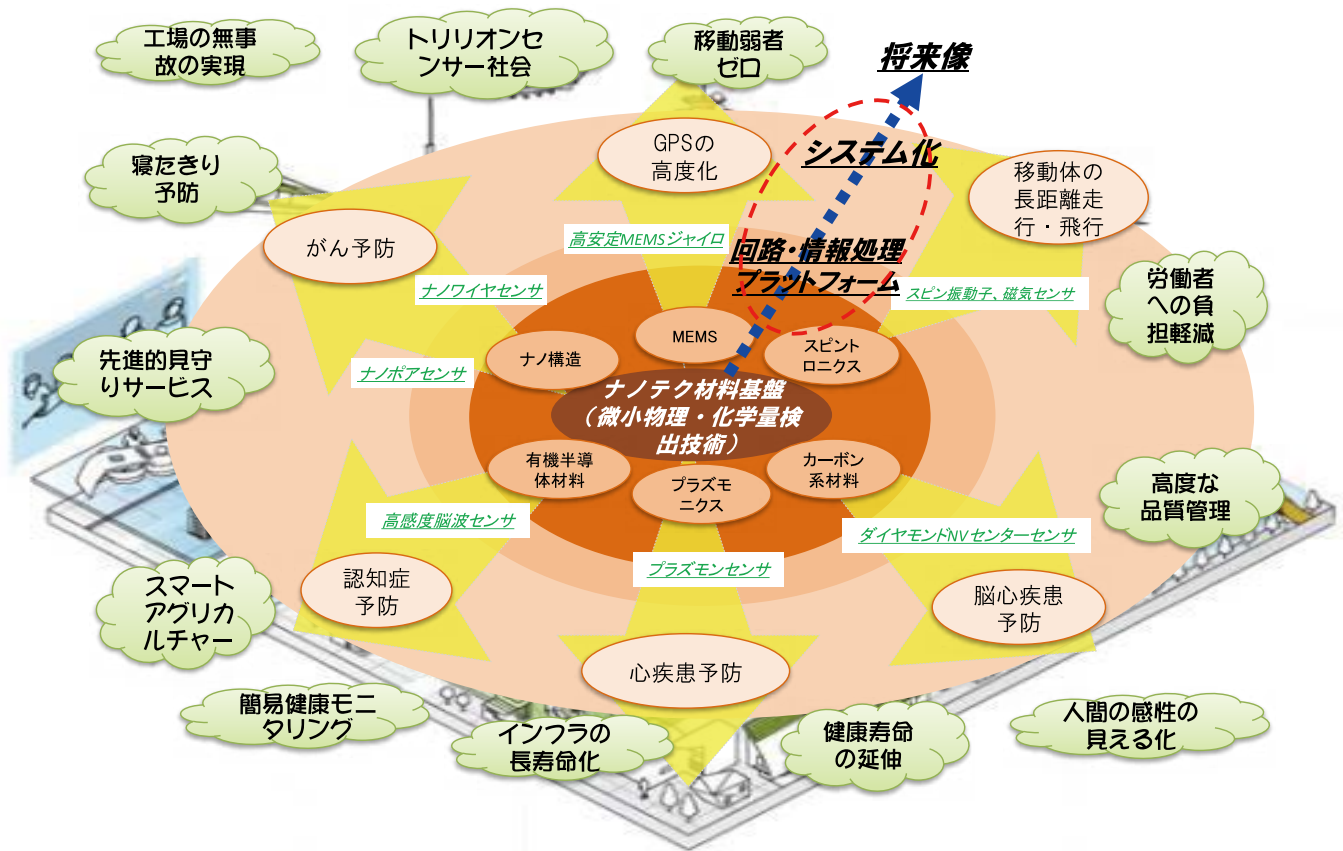


図26 ナノテク・材料基盤技術から超微量センシングIoTシステムへの波及

# 次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

さらに、図27のように、「超微小量」だけでなく、微小ではないが周囲の環境要因や測定対象物の状態により信号を得ることができないようなデータにも社会的なニーズが高いものが多数存在する。例を挙げると、測定環境が過酷なためセンサとして機能する材料がないような状況で取得したいデータ（「過酷環境」）、あるいは測定対象がセンシングに対して過酷な状態、例えば、呼気や体液のように混合系からなっていたり、匂いのように非常に広レンジなデータ（「混合・広レンジ」）、さらには管内流体のように測定対象物への接触が困難なデータ（「難アクセス性」）等である（図12）。

上述したような従来技術では取得困難なデータを低コストで大量に取得できるような技術開発を推進することで、更に多くの新IoTシステムとそれらを複数組み合わせ活用したデータサービスを創出し、今後のIoT社会をさらに発展させることに貢献出来得る。このような考えのもと、NEDOにおいては、健康寿命の延伸、移動弱者の解消、インフラ管理の高度化、スマート保安の実現など、様々な社会課題の解決と新たな価値創造を実現するために「IoT社会実現のための革新的センシング技術開発」事業を推進している。



図27 取得困難センシングによるIoT社会の将来像

技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight Vol.102

次世代のIoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略策定に向けて

2021年1月4日発行

TSC Foresight Vol.102 ナノテクノロジー・材料分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術戦略研究センター (TSC)

■ センター長 岸本 喜久雄

■ センター次長 西村 秀隆

■ ナノテクノロジー・材料ユニット

・ユニット長 藤本 辰雄

・研究員 井関 隆之 (2019年9月まで)

松下 智子

小野 雄平

・フェロー 川合 知二 大阪大学産業科学研究所 招へい教授、  
東京都市大学特別教授

北岡 康夫 大阪大学共創機構イノベーション戦略部門/  
大学院工学研究科附属フューチャーイノベーションセンター  
機構長補佐・部門長/教授

井上 貴仁 国立研究開発法人産業総合研究所  
材料・化学領域研究戦略部イノベーションコーディネータ

三島 良直 国立研究開発法人日本医療研究開発機構理事長

● 本書に関する問い合わせ先  
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

● 本書は以下URLよりダウンロードできます。  
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。  
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。  
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。