

戦略研レポート

2018.1.31

2018年に注目すべき 3つの技術

CONTENTS

はじめに.....	2
I. 量子 ICT.....	3
II. オミックス解析.....	7
III. マテリアルズインテグレーション.....	10
2017年注目技術の総括.....	14

2018年に注目すべき 3つの技術

技術トレンド基礎調査センター、技術・イノベーション情報部

はじめに

本稿では、三井物産戦略研究所が2018年に注目すべき技術と位置付ける「量子ICT」「オミックス解析」「マテリアルズインテグレーション」の3つを取り上げる。これら3つの技術に通底していることは、先進的な計算科学技術である「インフォマティクス」がドライビングフォースとして著しく進展していることである。

以下に、これら3つの技術を選んだ理由と背景について概説したい。

量子ICT

最近まで学術世界にとどまっていた「量子コンピュータ」（量子力学原理を応用し、従来型コンピュータの1億倍超の演算速度を持つ次世代の超高速コンピュータ）の本格的な商用化が近付き、企業や研究機関による開発や導入の動きが活発化している。人工知能や自動運転技術の社会実装、革新的な新材料開発などのニーズが高まるなか、半導体技術などの既存ICTでは、さらなる高速化や省エネ性能の改善に限界が見えてきており、産業・社会にイノベーションをもたらす「量子ICT」に世界中の注目度が高まっている。

日本では、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）、NTT、富士通、日立製作所などが独自の量子コンピュータを開発中であり、数社の企業がユーザーとして試験導入済み、あるいは導入計画を発表している。文部科学省は2018年度から量子コンピュータ実用化のための研究開発プロジェクトの立ち上げを決定した。

米大手ITアドバイザー企業のアートナは、先進ICTのハイブ・サイクル（2017年版）において、「量子コンピューティング」を、ポテンシャルが急上昇中の黎明期に位置付けている。ちなみに、世界初の量子コンピュータ製品化に成功したカナダのD-Waveシステムズ社の量子コンピューティングの基礎理論は、東京工業大学の西森教授らが提唱したものである。量子ICTは、次世代セキュリティ基盤となる量子暗号や量子通信のコア技術でもある。2018年は「量子ICT元年」となるのではないかと見られる。

オミックス解析

「オミックス解析（Omics Analysis）」とは、遺伝子のみならず、生体内に存在するタンパク質や代謝物などの分子同士がどのように関わり合い、生命現象を維持するためにどのようなネットワークを構築しているのかを、データを用いて網羅的に調べることをいう。近年、次世代シーケンサーや質量分析計などの計測技術の高度化が進み、これが可能となりつつある。

米国、欧州、日本では、産官学によるオミックス解析関連のプロジェクトが始動しており、先進的な予防・医療技術や革新的新薬の開発に拍車がかかっている。

個別化医療の提供や医薬品開発の場におけるオミックス解析に対するニーズの高まりを受けて、臨床検査会社、医薬品開発支援会社、IT企業の本分野への参入も加速しており、要注目である。

マテリアルズインテグレーション

これまでの材料の実験データなどさまざまなデータベースを、材料科学の理論や経験則、シミュレーション、さらにデータ科学と組み合わせ、コンピュータ上で、新材料の性能や組織の経年変化を高精度で予測する統合型材料開発支援システム「マテリアルズインテグレーション（MI）」の開発が、日本のSIPプロジェクト（産学官の戦略的イノベーション創造プログラム）で意欲的に進められている。高分子材料、セラミックス、金属などの幅広い素材・材料を対象とし、革新的新材料の開発時間の短縮、効率化、コスト削減、材料選択、プロセスの最適化を目的とする。

現時点で、日本は、機能性材料分野における電子材料を中心に世界のトップランナーとなっているが、MIの開発の眼目は、今後もその国際競争力を堅持するため、革新的新材料開発のためのプラットフォームを構築することにある。

2017年に、MIシステムのプロトタイプであるα版が完成し、2018年度に基盤システムVer.1が完成するスケジュールであり、企業の活発な新材料開発を後押しするものとして注目される。

I. 量子 ICT

1. 量子 ICT とは

最近、量子コンピュータや量子暗号などがメディアなどに取り上げられることが多くなっている。引き金となったのは、2010年にカナダのD-Waveシステムズ社が世界初となる商用量子コンピュータを市場に投入し、ロッキード・マーチン、グーグルやNASAが購入したことである。これまで、量子コンピュータが商用化されるのは20年から30年先といわれていただけにIT業界に与えた衝撃は大きく、開発競争が一気に加速することになった。

量子ICTは、我々の日常感覚からは想像もつかない振る舞いをする「量子 (Quantum)」を利用して計算したり、通信したり、計測したりするICTの総称である。「量子」とは、ナノサイズ (nano: 10億分の1メートル) といった原子レベルの微細な物質や微小のエネルギーの単位を

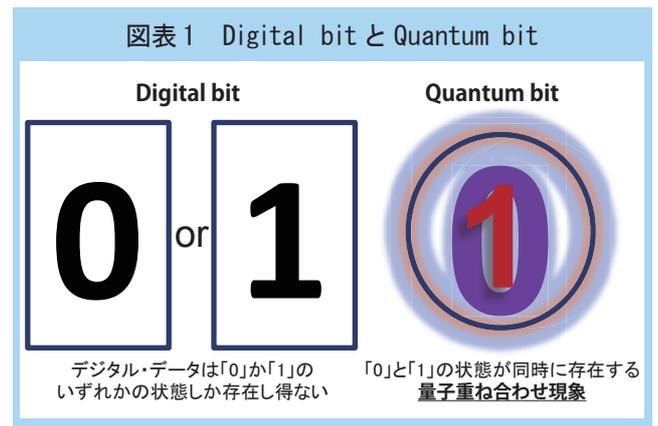
意味し、代表的な量子には、光子や電子、陽子などがある。量子は、「粒子」の性質と「波」の性質の両方を兼ね備えており、日常生活で接している物理法則 (ニュートン力学、電磁気学など) とは、根本的に異なる法則に基づいている。この法則の体系を「量子力学」と呼ぶ。この量子力学研究の最前線では、後述する「量子重ね合わせ (Quantum Superposition)」と呼ばれる現象や、「量子もつれ (Quantum Entanglement)」など、粒子と波の二重性に加え、量子の奇妙な振る舞いの研究と実験、検証の進展により現象の原理が解明されつつある。これら量子の性質をICT分野に適用する最先端の主な研究開発動向を解説し、量子ICTが産業・社会に与える影響について考察する。

2. 有望な活用分野

ここでは、量子ICTにおいて、最近研究開発や実用のための投資が旺盛な3つの有望活用分野を取り上げる。1つ目は、商用利用が進む量子コンピュータ。2つ目は、スノーデン事件で安全性・信頼性が失墜した通信分野の脆弱性を強化する新たな手段としての量子通信と量子暗号。3つ目は、極めて微細な変化を精密に計測する量子センサーである。これらの社会実装は、ますます高度化する社会や産業において、新たな価値や利便性を生み出し、さらには、多様なイノベーションを生み出す可能性を秘めている。

(1) 量子コンピュータ

量子コンピュータは、前述の「重ね合わせ」という現象を利用して計算処理を行う機械である。既存のデジタル・コンピュータは、「0」か「1」か、いずれかの状態しか持ち得ない「Digital bit」で計算するが、量子コンピュータの場合には、1つの量子が「0」と「1」の両方の状態を同時に持つことができる「Quantum bit」(Qubit: キュービット) という現象単位を利用して計算を行う (図表1)。例えば、Qubitが2つある(2Qubit) 場合には、一度に

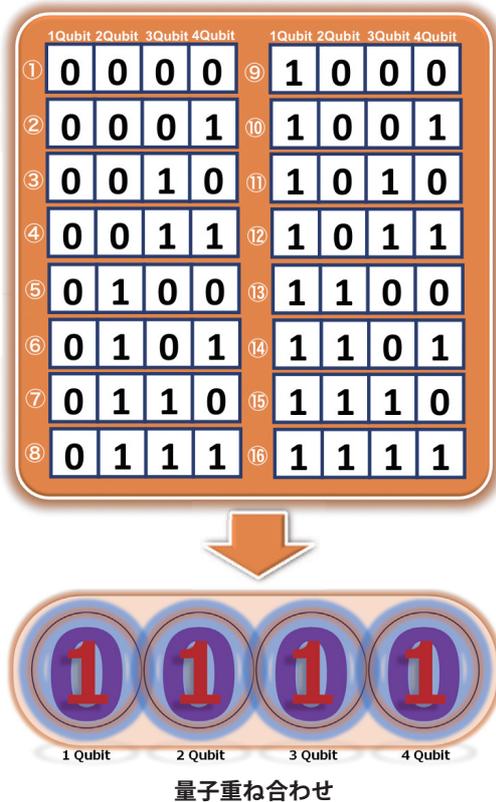


「00」、「01」、「10」、「11」の4つの状態 (2のn乗、即ち $2^2=4$) を表すことができ、3Qubit では8つ状態 ($2^3=8$) を、4Qubit では16の状態 ($2^4=16$) を同時に持つことができる (次ページ図表2)。これは、デジタル・コンピュータでは16回計算処理 (逐次処理) する必要があるところを、量子コンピュータでは1回の処理 (並列処理) で済むことを意味する。文部科学省の報告書¹によれば、1,000個の粒子の厳密な計算 (物性や反応のシミュレーション)

1. 文部科学省「量子科学技術 (光・量子技術) の新たな推進方策」平成29年8月16日。

図表 2 4Qubit の量子重ね合わせの状態

4Qubit は 16 の状態を同時に保持する



を行うと 10,573 年という莫大な時間がかかってしまうことに対し、「量子重ね合わせ」で並列計算すると 100 ミリ秒以下で計算可能であると指摘している。これが既存のデジタル・コンピュータを量子コンピュータが凌駕するといわれるゆえんである。

量子コンピュータは、大きく「量子アニーリング方式」と「量子ゲート方式」に二分される。前述の D-Wave システムズの量子コンピュータは前者であり、現時点での主たる用途は「組み合わせ最適化問題」に限定されている。ただし、組み合わせ最適化問題は世の中に数多く存在し、典型的なものとして、物流における最適配送経路（安く&早く）の計算がある。例えば、1 人のドライバーが 1 日に巡回する拠点が 15 箇所あるとすると、その全ての組み合わせは 1 兆 3,000 億通りに達し、普通のコンピュータでは処理時間が膨大となり計算困難な状態となる

が、D-Wave システムズ社のアニーリング方式の量子コンピュータは、この計算をごく短時間で計算可能といわれている。このほかにも、深層学習の学習スピードを飛躍的に高めるとされ、画像認識、自然言語処理、金融市場の予測、タンパク質等の分子構造解析や創薬開発などにも利用可能である。日本では、デンソー、JSR、リクルートなどがアニーリング方式の量子コンピュータ導入を発表しており、他企業の導入が続くものと考えられる。

現在の開発動向としては、より汎用性が高いと考えられている「量子ゲート方式」の量子コンピュータの開発が先進各国で展開されている。これは、既存のデジタル・コンピュータがトランジスタで構成される論理回路（論理ゲート）で計算処理するところを、量子重ね合わせ状態の Qubit で計算する方式で、その計算回路を「量子回路」（量子ゲート）と呼ぶ。この量子ゲート方式の量子コンピュータの開発は、IBM、マイクロソフト、グーグルなどの大手 IT 企業が投資規模を拡大し、開発速度を上げているが、前述した「量子重ね合わせ」という極めて微妙な状態を保持することが難しく、実用化までには時間を要するといわれている。

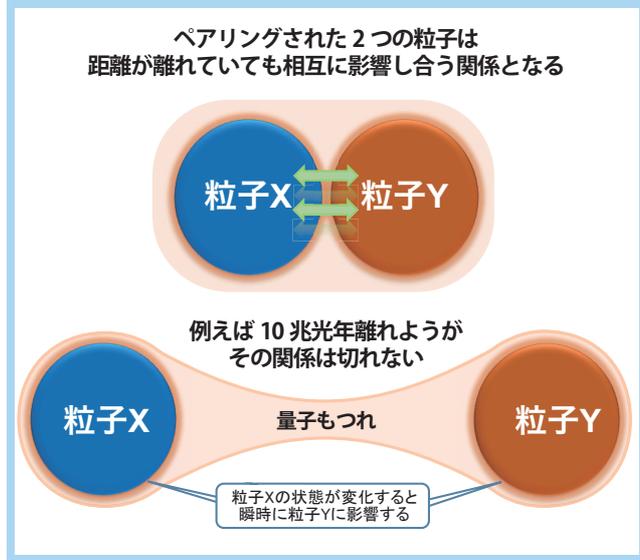
(2) 量子通信／量子暗号

量子通信は、前述の「量子もつれ」という量子力学的な現象を通信に応用したものである。例えば、粒子 X と粒子 Y のそれぞれをペア²にすると、あたかも一卵性双生児のように、距離に関係なく相互に強く結びつき影響し合う性質を有するようになる。仮に粒子 X と粒子 Y が 10 兆光年離れても、粒子 X に刺激を 2 回与えると、粒子 Y も自らの状態を瞬時に 2 回変化させる（図表 3）。これは、光よりも速い粒子は存在しないという相対性理論に反するが、量子力学が支配する極微の世界では、この奇妙な現象が存在し、実際に証明され検証されている。この「量子もつれ」を利用して 2 拠点間で通信を行うのが量子通信である。

国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）は、超小型衛星 SOCRATES を使い、地上局との量子通信の実証実験に成功している。さらに、NICT は、量子通信の延長線上にある量子暗号の開発も推進している。量子暗号も量子通信同様に「量子もつれ」を利用して秘匿通

2. 量子もつれ状態にある粒子、例えば粒子 X と Y を生成するには、レーザーや反射鏡などを使い、量子の特性である波の性質を利用して X と Y の波を重ね合わせる（干渉）ことでペアリングする。

図表3 量子もつれのイメージ図



信を可能とする技術で、通信途中で盗聴されると「量子もつれ」状態にある粒子が変化することから盗聴の有無を検知することができる。この特性と、原理上解読不可能であることが知られている「ワンタイム・パッド」方式の暗号とを組み合わせることで最強の暗号技術が実現する。ワンタイム・パッドは、一度しか使わない、使い捨ての乱数表を通信者が相互に共有して暗号文を作成して秘匿通信する仕組みだが、乱数表を共有する通信途中で盗聴される可能性があり、「量子もつれ」を観測することでその真正性を確かめることができる。このような量子暗号が実用化されると、極めてセキュリティの高い通信が可能になり、現在は脆弱なIoTデバイスの機能を向上させ、金融取引や医療情報など機微なデータの通信を盗聴されることなく安全な通信が可能となる。日本では、防衛省が量子暗号の実証検証中であり、すでに量子暗号機能を組み込んだスマートデバイスを三菱電機が開発済みである。

(3) 量子センサー

量子コンピュータや量子通信／量子暗号は、「量子重ね合わせ」や「量子もつれ」という状態を維持することで、計算処理や通信を行う技術であるが、これを逆手にとって、外部環境の極微小な変化により容易に状態が壊れる量子の性質を利用し、現在は検知できない、光や電磁場などの極めて微細な、物理的な変化を捉える量子センサーの開発が進められている。この領域で先行しているのがロシアや中国が開発を進めている量子レーダーである。これは米国のB2爆撃機やF22戦闘機など、現在のレーダーでは検知しにくいステルス機の接近を「量子もつれ」状態にある粒子で探知するのが目的である。現在のレーダーは、空間上にある物体から反射して戻ってきた電波を捉えて計算し、位置と速度を算出する。量子レーダーの場合、概念的には、「量子もつれ」状態にある粒子の片方が、ステルス機の特殊な機体形状により仮に反対方向に錯乱されても、もう一方の粒子の状態が変化するので、その粒子を観測することで物体の有無や位置を判別することが可能である。この量子レーダーは、試作段階ながら、従来のレーダーより高い検知能力を有するとされており、実戦投入が実現すれば、ステルス機を保有する米空軍の軍事的優勢を揺るがす可能性がある。

また、量子の敏感な特性を活かして、量子コンパスという、GPSを使わずに正確な位置情報を取得できる技術の開発も進められている。これは地球の地磁気や重力などの変化を観測することで、緯度・経度などの位置情報を割り出す技術で、GPS衛星からの電波を受信しなくとも、量子コンパス単体で、屋内や地下、海中などでも正確な位置情報を算定できる。量子コンパスなどのセンサー開発は、軍事分野で先行しているが、今後は、民生分野にその成果が適用されるようになる。特に注目されているのが、脳科学の分野で、例えば脳神経細胞の興奮により発生する生体磁場の状態を精緻に計測する量子センサーなどが開発されれば、EUや米国が進めている人間の脳機能をコンピュータで模倣する「ブレイン・プロジェクト」の研究が格段に深化し、万能な人工知能（強いAI）の登場が現実味を帯びると考えられている。

3. 今後の展望

1900年代から30年代にかけて、量子という摩訶不思議な物理現象を理論付ける量子力学が誕生し、その後、人類社会に半導体技術（トランジスタやCPU、半導体メモリなど）やレーザー、MRI（核磁気共鳴画像法）などさまざまな技術が生み出され、我々の生活を大きく変貌させた。21世紀に入りグローバルに人とモノがつながり、情報が瞬時に世界を駆けめぐる時代となり、経済・産業・社会は、加速的に多様化し複雑化する世界であって、量子ICTは、非連続的な経済・産業的課題の解決に大きく貢献するものと期待されている。すでに量子アニーリング方式の量子コンピュータの産業利用が始まっている。独フォルクスワーゲンは、D-Waveシステムズと共同で、北京市内を走行するタクシーが渋滞を避けて最適ルート

で営業走行するプロジェクトを立ち上げ、人工知能の専門家の参加も得て成果を挙げている。

一方、量子コンピュータなど量子ICTの登場は、既存の技術基盤を陳腐化させ危殆化させる面もある。現在多用されている暗号のほとんどは、素因数分解の計算困難性³に依存しているが、量子コンピュータは素因数分解を短時間で処理できることから、既存の暗号技術を巧みに組み合わせて、実質的に改ざんが不可能とされているブロックチェーンの安全性すら脅かしかねない。

それでも、量子ICTが社会・産業に破壊的なイノベーションを引き起こす有望基盤技術であることは間違いなく、今後の開発動向には十分な注意を払う必要がある。

3. 大きな二つの素数を掛け合わせた数、例えば232桁の素因数分解をスーパーコンピュータで計算すると約3年かかる。この素因数分解の計算困難性を利用しているのが公開鍵暗号で、量子コンピュータで計算すると容易に解読されることは1994年に数学的証明されている（前述のワンタイム・パッド方式は量子コンピュータでも解読不可能）。

II. オミックス解析

1. オミックス解析とは

2017年発刊の「2017年に注目すべき4つの技術・イノベーション」の1つとして取り上げた「プレジジョン・メディシン」は、遺伝子研究の成果をもとに開発された医薬品の発売や遺伝子診断事業の拡大など、社会実装に向けた取り組みが着実に進んでいる(14ページ参照)。一方、遺伝子の働きを解明するだけでは、複雑な生命現象を説明しきれないことも明らかになりつつあり、プレジジョン・メディシンの新たな課題となっている。

遺伝子の働きを解明する研究をゲノミクス(Genomics)と呼んでいるが、近年、遺伝子研究の成果を起点としてタンパク質の研究であるプロテオミクス(Proteomics)、代謝物⁴の研究であるメタボロミクス(Metabolomics)などに研究対象が広がっている。「オミックス解析(Omics analysis)」とは、遺伝子のみならず、生体内に存在するタンパク質や代謝物などの分子同士がどのように関わり合い、生命現象を維持するためにどのようなネットワークを構築しているのかを、データを用いて網羅的に調べることをいう。

オミックス解析が進展する背景には、①遺伝子解析機器⁵や質量分析計⁶などの計測技術が急速に高度化し

たこと、②クラウド等によるデータ空間の拡大によりデータシェアリングが容易になったこと、③ビッグデータを、スパコンに代表されるハイスループット計算により瞬時に解析し、意味付けできる計算機技術が進展したこと、が挙げられる。

米国、欧州、日本では、オミックス解析を用いた新たな予防法や治療法の開発を推進する国家プロジェクトに注目が集まっている。米国では、心臓、肺、血液、睡眠の病気に関連するオミックス情報を用いて予防および治療法の開発を促進する“TOPMedプログラム(Trans-Omics for Precision Medicine, 2016年-2019年)”、欧州では、EUと欧州製薬団体連合会(EFPIA)が官民共同で心疾患のオミックス情報をクラウド上で共有し、解析を進める“BigData@Heartプロジェクト(2017年-2022年)”、日本では、がん、精神疾患、腎疾患のオミックス解析による医療技術および新薬開発を目的とした“創薬基盤推進研究事業GAPFREE(2017年-2019年)”が始動している。今後、これらのプロジェクトで得られたさまざまな知見が、よりきめ細かな「プレジジョン・メディシン」の実現に寄与すると考えられる。

2. 有望な活用分野

オミックス解析における有望な活用分野として、医薬品開発分野と検査分野が挙げられる。

(1) 医薬品開発分野

製薬企業にとって、医薬品開発をめぐる環境は、その成功率の低下に加え開発費の増大が著しく、ますます厳しくなっている。また、計測技術とITの革新的進歩によって膨大なデータの取り扱いと解析が可能になりつつある状況において、個別化医療のための医薬品開発はより複雑さを増す一方、より個別化への対応が求められている。加えて、グローバル展開が可能な革新的新薬を効率的

に市場へ投入し、市場ニーズに適応することは生き残りをかけた重要課題となっている。

そのような環境下、製薬企業はゲノミクスを基軸にプロテオミクス、メタボロミクスなど複雑で膨大なオミックス情報を統合することによって得られる新しい視点と深い洞察を病気のメカニズム解明や新規ターゲット探索に活用し、候補品の早期有効性予測による効率的な医薬品開発につなげようと試みている。

大手製薬企業の米アムジェンは、アイスランドの遺伝子解析ベンチャーのdeCODE genetics(deCODE)を2012年に買収した(次ページ図表4)。deCODEが保有して

4. 糖類、有機酸、アミノ酸など、代謝(細胞や生体内で起こる化学変化)に関わる物質。

5. 遺伝子の情報を読み込む機器のことで、次世代シーケンサーと呼ばれる高速・安価な機器の開発が進む。

6. Mass Spectrometer。どのような代謝物がどのくらい存在しているかを調べる機器。

図表 4 米国の製薬企業によるオミックス情報の活用と囲い込み

企業名	動向	目的
アムジェン	2012年 deCODE genetics 買収	オミックス情報を活用した新薬、治療法の開発強化および臨床試験の効率化
	2014年 イルミナと共同で次世代シーケンサー (NGS) を利用した本格的遺伝子診断を開始	アムジェンのがん治療薬ベクティビックス (パニツムマブ) のコンパニオン診断検査法開発
リジェネロン・ファーマシューティカルズ	2014年 The Regeneron Genetics Center 開設と同時にガイシンガー・ヘルス・システムと提携	オミックス情報を用いた新薬開発、個別化医療の提供
ロシュ	2015年 ファウンデーション・メディシン ⁷ を買収	ゲノミクスを活用した個別化医療の支援
	2016年 フラットアイロン・ヘルス (16年)、サイアプス (17年) を買収	オミックス情報のデータ解析ソフト開発およびクラウド上でのデータストレージを強化
	2017年	

注：ファウンデーション・メディシンの提携先：ノバルティス、ジョンソン・エンド・ジョンソン、エーザイ、セルジーンなど
出所：三井物産戦略研究所作成

いた 50 万人分の遺伝情報と病気の症状や身体的特徴・状態といった詳細な医療情報が統合されたデータベースを活用することで、病気の原因となる遺伝子を特定し、新薬開発につなげようとしている。現在では、70 万人分のオミックス情報を有し、これらの情報を用いてコレステロール値や心疾患リスクに影響を与える新たなメカニズムを解明し、新薬開発に活用している。

米バイオ製薬企業リジェネロン・ファーマシューティカルズは、2014 年にゲノム研究センター “The Regeneron Genetics Center (RGC)” の開設と同時にペンシルベニア州で医療サービスを提供している医療機構ガイシンガー・ヘルス・システムとの提携を発表。同意が得られた患者からサンプルを取得、解析して得た検査結果と診療情報を統合することで、未知の新薬ターゲットの特定や個別化医療の提供につなげようとしている。ガイシンガー・ヘルス・システムは、すでに 18 万人以上の遺伝情報と医療情報が統合されたオミックス情報データベースを保有しており、病気に関わる数百種類の新規遺伝子やバイオマーカー⁷を特定している。また、2017 年中に英大手製薬企業グラクソ・スミスクラインと共同で UK バイオバンクの登録者 50 万人のゲノム解析を完了させ、今後、5 年以内にさらに 45 万人分のゲノムを解析する予定である。

このように製薬企業がオミックス情報の囲い込みを進めるなか、製薬企業の医薬品開発支援を行う CRO (Contract Research Organization) 業界では、遺伝子解析機器や質量分析計などの最新鋭の検査機器を取りそろえた臨床検査事業を強化している。CRO 最大手の米クイントイルズは、臨床検査会社大手の米クエスト・ダイアグノスティクスとともに遺伝子解析機器等を用いた高度な検査に対応する Q2 ソリューションズを設立するなど、オミックス解析へのニーズの高まりに応じた事業拡大を進めている。

(2) 検査分野

検査分野では、採血で簡単に遺伝子などの分子を調べる「リキッド・バイオプシー」と、メタボロミクスに用いられる「質量分析計」に注目が集まっている。

「リキッド・バイオプシー」とは、わずかな量の血液を注射針で採血し、がん患部から遊離して血液中を循環しているごく微量の遺伝子やがん細胞(血中循環腫瘍細胞)を捉えて検出する技術である。リキッド・バイオプシーは、がん治療薬を選別する個別化医療のみならず、がんの早期診断やがん転移の予測などの分野においても注目が高まっている。2017 年に入り、リキッド・バイオプシーのパイオニア企業である米ガーダント・ヘルスにソフトバンクが出資した。また、自社開発の遺伝子解析機器を用いたリキッド・バイオプシー検査受託サービスを行う米グレイル(米イルミナの子会社)に電通ベンチャーズ 1 号グローバルファンドが出資するなど、社会実装に向けた動きが加速している。

もう一方の「質量分析計」は、温度や光などの環境変化や、食事、運動、病気などに反応して生体内でつくられる代謝物の種類や濃度を一度に網羅的に調べることが可能なため、メタボロミクスでは欠かせない技術である。質量分析計には測定する物質の性質に応じて、ガスクロマトグラフ質量分析計、液体クロマトグラフ質量分析計などが使われており(図表 5)、これら検査機器の高速・高感度化が進んだことで、医薬品開発やがんの早期診断などへの応用が期待されている。

メタボロミクス受託解析企業では、日本のヒューマン・メタボローム・テクノロジーズ (HMT) と米メタボロンが事業拡大を続けている。HMT 社によると、近年、メタボロミクスが予算規模の大きな製薬産業界で活用されるようになり、欧州・アフリカ・中東への展開を見据え、ライフサ

7. ヒトの身体の状態を客観的に測定し評価するための指標。

図表5 メタボロミクスに用いられる質量分析計

ガスクロマトグラフ質量分析計 (GCMS-TQ8040)



写真提供：株式会社島津製作所

液体クロマトグラフ質量分析計 (LCMS-8060)



イェンス関連企業が集積するオランダのライデンに新拠点を設置するなど事業を拡大している。また、質量分析計の開発・製造を行う島津製作所によると、従来はアカデミア向けが主流だったが、ここ10年で、製薬・診断・食

品等に向けた販売が増加している。島津製作所は、富士通グループと組むことで機械学習を用いたメタボロミクスのデータ解析自動化にも力を入れており、拡大するメタボロミクス市場の動向が注目される。

3. 今後の展望

以上のとおり、オミックス解析の進展に伴い生命現象の統合的な理解に向けた技術・環境が整いつつあり、今後これまで解明できなかった病気のメカニズムが明らかになることが期待される。また、スーパーコンピュータに代表されるハイスループット計算技術の進化も寄与し、新たなバイオマーカーの発見や、それらをターゲットとする医薬品開発が急速に進むことも期待できよう。

ビジネスの観点からは、オミックス解析に対するニーズの高まりを受けて、製薬会社、医療機関、研究機関から検体分析を受託する臨床検査会社の役割が増大することが予測される。特に、本稿で取り上げた各種臨床検査会社に加えて、検査事業のみならずオミックス情報を医薬品開発や健康サービスなどに活用する米ヒューマン・ロンジェビティや中国の iCarbonX などの新興企業の動向が注目される。

一方、オミックス解析の本格的な社会実装に向けては課題もある。その一つとして、オミックス解析に伴い生成する膨大なデータを、診療記録や生体モニタリングから得られるデータ等、既存のヘルスケア関連データと統合し、分析するシステムをいかに構築していくかが挙げられる。オミックス解析データに関する知見はまだ十分に蓄積されておらず、その示す意味を明らかにするには、患者の病態や症状のデータを取得していくことが不可欠である。こうした観点では米国企業が先進的な取り組みを行っている。例えば、難病や重度の患者間の情報共有を目的とする SNS を運営する米 PatientsLikeMe は、患者による病状記録とオミックス解析データを統合するプロジェク

ト “DigitalMe” を、前述の iCarbonX の協力の下に開始している。このプロジェクトは、SNS に登録している精神疾患患者に病状変化が現れた際に、iCarbonX の機械学習技術を活用してオミックス解析を実施し、病状変化とオミックス情報との関連性を明らかにすることで病気の詳細なメカニズムの解明や、より効果的な新たな治療技術（より効果的なタイミングでの医薬品による医療介入等）の開発につなげていくことを目的としている。

もう一点は、ビッグデータを利用する際の課題である、企業や研究機関の連携体制の構築となる。これは後述するマテリアルズインテグレーションにおいても同様だ。オミックス解析にはさまざまな要素技術が必要となり、多くの場合、複数の企業や研究機関の共同でプロジェクトが進められる。従って、解析に用いるデータの質の均一性を確保するためにも、企業や研究機関の間でデータ取得方法の標準化および円滑なデータ連携を促進するためのプラットフォームの重要性が高まる。米セブン・ブリッジズ・ジェノミクスは、オミックス解析で得られるビッグデータを、企業や研究機関の間で共有・管理し、共同プロジェクトのワークフローマネジメントを支援するクラウド型プラットフォームを開発し、前述の米 TOPMed プログラム等、各種共同研究プロジェクトに参画している。こうした取り組みはまだ緒に就いたばかりであるが、オミックス情報を含む包括的な医療データの活用基盤の構築に向けた先駆的な取り組みと位置付けられるため、動向が注目される。

Ⅲ. マテリアルズインテグレーション

1. マテリアルズインテグレーションとは

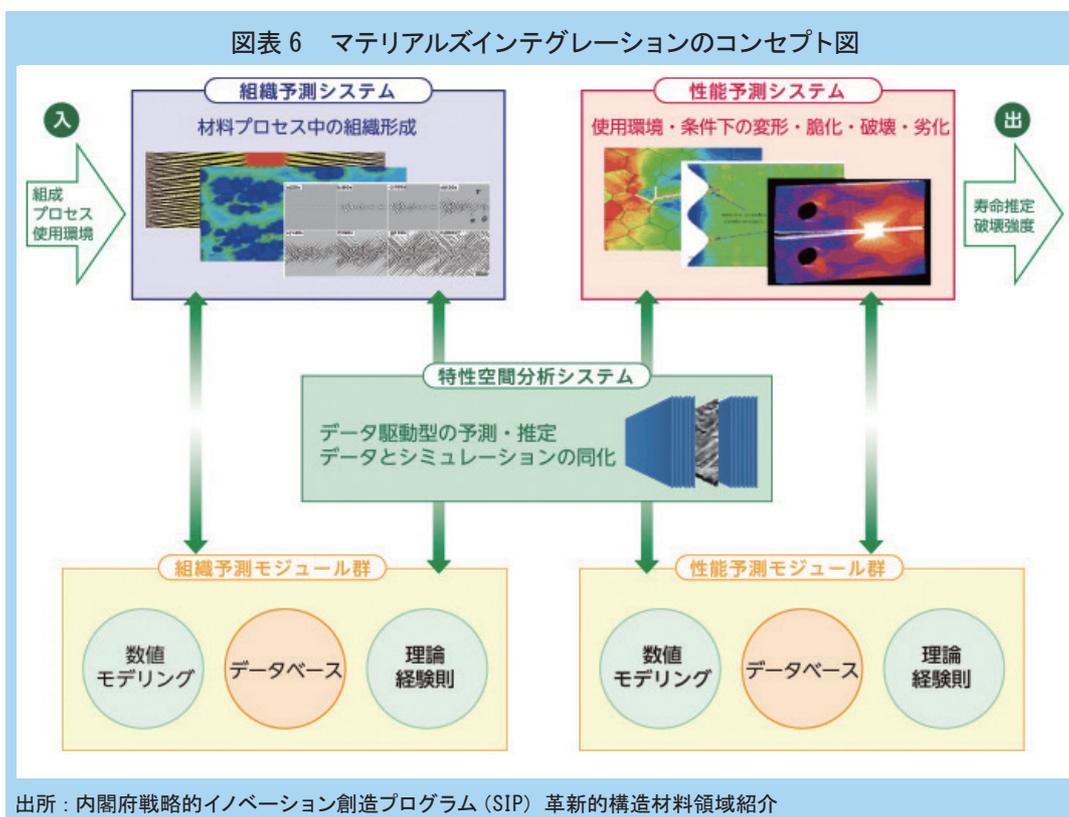
マテリアルズインテグレーション（MI：Materials Integration）とは、これまでの材料科学の成果や経験知を活用するとともに、理論、実験、解析、シミュレーション、データによる数理統計解析などの科学技術を統合して、新材料の性能のみならず材料構造の経年変化等も高精度で予測する統合型材料開発支援システムと定義される（図表 6）。

計算技術を用いた革新的な材料設計ともいわれているマテリアルズ・インフォマティクスが、よりシミュレーション（データに基づく新規・最適物質探索）に重点を置いた手法であるのに対して、MI は材料の性能だけでなく、部材としての経年変化の予測を加速試験データなどの知見を用いて加味するという点において、実使用を強く意識した先進の材料開発システムであるといえる。例えば、極めて高い機能を発揮するが 1 年でその機能が半減してしまう材料 A と、材料 A ほどは機能は優れていないものの、

5 年間ほとんど機能が劣化しない材料 B があつた場合、用途によっては材料 B を選定するものも少なくない。つまり、MI では、実使用において最適な材料・部材を見出すために実使用の環境データやそれに基づく材料劣化モデルなど多面的なデータが求められることになる。しかしながら、そのデータの多くは企業が競争力や差別化の源泉として保有し、論文などでは公開してこなかったノウハウに類するものであるため、MI の進展には民間企業が保有する秘匿データをいかに活用できるようにするかが重要な要因になると考えられている。

前述のマテリアルズ・インフォマティクスの開発においても、これまでに欧米に加え、中国でも大規模な国家予算を投入して研究開発が進められているが、その進展には民間企業に蓄積された知見が多大な貢献を果たしてきた。

一方、欧米の化学企業では事業内容の棚卸しを進め



た結果、それらの知見が失われるケースが出てきている。基礎原料や中間原料、汎用樹脂や合成繊維など多くの用途に利用することで長年の知見蓄積がある独 BASF、米デュポン、独エポニックインダストリーズ、独バイエルなどの大手総合化学企業は、収益性の低い材料部門の事業売却を進めている。また、仏アルケマやベルギーのソルベイは、会社売り上げの9割程度の事業の売り上げシェアが世界トップ3以内を占めるまでの急激な事業再編を進めている。その結果、MIを進展させる上で重要となる多面的な知見やデータに加え、研究開発者の流出によって個人に蓄積された知見・ノウハウが失われつつある。さらに、欧米化学企業による事業売却の受け皿は、中国

企業となる傾向が強いが、研究開発者の移籍を伴わない事業売却では、その知見が移転されないことに加え、中国化学企業は歴史の浅い企業も多く、化学産業におけるデータ蓄積が十分ではない状況にある。

これまで、日本の化学企業は厳しい事業環境にさらされてきたが、事業を手放さずに辛抱したことがデータや知見の維持につながっている。あらゆるシーンを想定した材料開発を目指すMIでは、日本は国が備えるデータベースに加え、企業に蓄積したデータによりアドバンテージを備えており、国を挙げたプロジェクトによって積極的な取り組みが進められている。

2. 有望な活用分野

MIの利用は、金属材料、高分子材料、セラミックス材料、複合材料などのあらゆる種類の材料や部材の実使用環境下でのパフォーマンスが対象となり、材料あるいは部材の研究開発時間の短縮に寄与する。加えて、物質、材料、構造、組織、パフォーマンスにおける関連性を明確にすることで、所望のパフォーマンスを起点として材料、部材にさかのぼる形で最適化を見いだす「逆問題」を解決するものとしても期待されている。逆問題への挑戦は、構造、組織の形成に寄与する製造プロセスの見える化を伴うものであり、これまでブラックボックスとされてきた製造プロセスを各種センサーなどの活用によって数値化することで、さらなる効率化や新たな製造プロセスの構築といった副次的な効果も期待される。

(1) 金属・無機材料

個別の材料分野では、短期的な成果という視点においては、金属・無機材料での活用が期待される。

金属・無機材料ではマイクロ（原子、分子レベル）の世界で起こる効果や機能が、マクロ（材料、部材レベル）の世界においても同様の現象として想定されるため、これまでも比較的成果を出しやすい領域と考えられてきた。実際、金属・無機材料分野での成果報告が多く、2017年も大手伸銅メーカー4社と3大学による超高強度銅合金開発に向けたMIへの取り組みや、日立製作所と東北大学による鉄、コバルトなどからなる高強度・耐腐食合金の開発と最適な加工条件探査へのMI活用などが報告された（図表7）。国立研究開発法人物質・材料研究機

図表7 マテリアルズインテグレーション関連の注目動向（2017年）

発表月	大学、企業、団体等	報告内容概要
4月	日本伸銅協会（古河電気工業、神戸製鋼所、日本ガイシ、JX金属、豊橋技術科学大学、金沢大学、東北大学）	大手伸銅メーカー4社や3大学などと共同で新技術を活用した超高強度銅合金の開発に取り組むとともに、計算材料科学で組成や加工プロセスを最適設計するマテリアルズ・インフォマティクス技術開発も行う。
6月	NIMS、三菱ケミカル、住友化学、旭化成、三井化学	化学業界におけるオープンイノベーションを推進するため、NIMSを中核としたオープンプラットフォーム（MOP：Materials Open Platform）の運用に関する覚書に調印。
7月	BASF	スーパーコンピュータを導入し、シミュレーションを用いた機能ポリマーの配合法発見等への活用を発表。
10月	横浜ゴム	ゴム材料の開発技術を確立。革新的なゴム材料設計の発想を得るために研究を進めてきたシミュレーション技術と実際のゴムを使った設計・加工、分析・計測の研究結果から得たデータを統合し、AIの機械学習機能による情報・知識探査を導入したものを発表。
10月	日立製作所、東北大学	鉄とコバルトやニッケル、チタン、クロム、モリブデンから、強度が高く腐食しにくい合金を開発、実験データなどを解析して最適な加工条件を求めた。
10月	日立製作所	鉄鋼など素材メーカーを対象に、材料開発の効率化を支援する新サービスを始めると発表した。膨大な材料データを詳細に高速分析できるシステム環境を提供したり、顧客企業から預かった材料データをAIで分析し目標とする材料に必要な条件を割り出す。
10月	富士通研究所	電池材料などの探索に活用。求めた材料の結晶構造を合成するのに、少ない実験データを補うため、専門部署でコンピュータシミュレーション（模擬実験）に取り組む。

出所：各種報道資料、各社発表資料に基づき三井物産戦略研究所作成

構（NIMS）が拠点となる国家プロジェクト「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ（“Materials research by Information Integration” Initiative：MI²I）」においても無機材料に関する成果だけで2017年内に10件を超える報告がなされている。成果報告における金属・無機材料で得られる効果は、高強度、高耐熱、高断熱、高放熱、高耐食といった機能を目的とするものが多く、これらの機能が求められる代表的な用途としては自動車、航空機などの輸送機器での金属構造材料が挙げられる。CO₂排出規制や電動化などの動きを受けて輸送機器には軽量化が求められる一方で、軽量化によって材料が薄肉化することで断熱性低下や騒音拡大などの新たな課題が生じている。また、自動運転技術などの進展によりセンサーや通信機器などが増加するため、熱を効率良く逃がすことができる材料需要なども高じている。輸送機器の材料開発においては、その厳しい利用環境下における経年変化を高精度に予測することが必須の項目となることから、MIの活用が次世代モビリティを支える材料開発に大きく寄与するものと考えられる。

2014年に立ち上がった、新日鉄住金、JFEスチール、神戸製鋼所などが参加する「鉄鋼インフォマティクス研究会」では、自動車や鉄道などの輸送機器へのMI利用を意図し、金属材料情報（機能、劣化モデル）の共有データベース構築のほか、金属中に存在する水素による金属脆化など、さまざまなモデル検証が進められており、今後の成果が期待されている。

(2) 高分子材料

潜在的な需要という視点では、高分子材料での活用が挙げられる。高分子材料は、一般的には分子量が1万以上の化合物と定義され、名称が同じ材料であっても分子量や分子構造、製造プロセスの違いによって発揮される機能や効果が異なる。そのため、より正確にMIを適用するためにはそれらの違いを全てデータベース化する必要がある。さらに、金属・無機材料と異なり、ミクロの世界における効果や機能がマクロの世界において一致するものとは限らないことから、高分子材料に対してMIを適用することは困難であると考えられてきた。しかしながら、高分子分野は日系企業にとって強みがある領域であるためMIへの期待は高く、2017年に顕著な動きが見られたのも、高分子を中心とした化学業界におけるものであった。

2017年6月には、MI²Iの中心的メンバーであるNIMS

と三菱ケミカル、住友化学、旭化成、三井化学が、化学業界におけるオープンイノベーションを推進するため、オープンプラットフォーム（MOP：Materials Open Platform）の運用に関する覚書に調印した。この水平連携によって、高分子材料のさらなる高性能化を目指し、高分子材料の構造、物性、変性などに関するデータ集積、特にMIを活用した情報解析手法の適用と評価について協働が行われる。

高分子材料へのMI適用における具体的な成果としては、2017年10月に、横浜ゴムがMIを活用して、車両タイヤに適用されるゴム材料の開発技術を確認したとの報告がなされた。同社は、革新的なゴム材料設計の発想を得るために研究を進めてきたシミュレーション技術と実際のゴムを使った設計・加工、分析・計測の研究結果から得たデータを統合し、AIの機械学習機能による情報・知識探査を導入することで開発に成功したとされる。車両タイヤは、シンプルな製品に見えるが、さまざまな利用環境を想定して性質の異なる多様なゴム材料を調整しつつ組み合わせられて具現化されるノウハウの塊である。ブリヂストンやミシュランをはじめとする10社に満たない企業によって市場が占有されているのも、その極めて高い技術力による参入障壁の高さによるものである。

上記の成果報告は、極めて秘匿性の高い価値ある情報をMIに利用しようとする企業が台頭してきたという点、また、適用が困難であるとされてきた高分子材料においても、膨大かつ多面的なデータを保有していれば成果を挙げられるという点において注目すべき報告であったといえる。高分子材料への利用が拡大することで、有機EL向けの有機発光材料や、次世代モビリティ向けの高強度樹脂材料や異種材料を接合する接着剤、高速通信化で伝送エネルギーロスが拡大する電子基板に向けた低損失材料など、多くの次世代技術を支える材料への適用が期待されるほか、スマートフォンなど製品ライフサイクルが短いコンシューマー製品に対応できる材料開発スピードの向上が期待される。

3. 今後の展望

これまで、国の研究機関が主導してきたインフォマティクスを活用する材料開発は、企業側での活用例が増加してきたことで、新たなステージに至ったものと考えられる。今後、国側に期待されるのはシステム開発となろう。優秀な頭脳（スパコン）とデータがあっても、適正な指示系統なくして最適な解は得られない。日本の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）においては、すでに MI システムのプロトタイプである α 版が完成し、同プログラム参加企業である JFE スチール、神戸製鋼所、UACJ、IHI での利用を介して機能の改善を進めている。2018 年度に

基盤システム Ver.1 が完成するスケジュールであり、企業の活発な動きを後押しできるか要注目である。

輸送機器におけるマルチマテリアル化など、特定材料の特性のみならず、複数の材料を組み合わせて機能が発揮される部材では、材料の経時変化などを予測することは特に困難となる。実利用を意識した MI は、日本に強みがある材料の用途側（出口側）での利用を意図して取り組みを進めることで、日本の材料技術の国際競争力を向上させる強力なツールとなるであろう。

2017年注目技術の総括

2017年1月に発刊した戦略研レポート「2017年に注目すべき4つの技術・イノベーション」で取り上げた、プレジジョン・メディシン、デジタルツイン、フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス、New Space（次世代宇宙ビジネス）について、この1年間（2017年）の動向を簡単に総括してみたい。

プレジジョン・メディシン

2017年は、プレジジョン・メディシンで有望視される医薬品として取り上げたがん治療法“キメラ抗原受容体T細胞療法（CAR-T細胞療法）”の世界初の製品キムリア（スイス・ノバルティス社）が米国で市場投入された（2017年8月）。CAR-T細胞療法で前駆B細胞性急性リンパ芽球性白血病を克服した初の小児治験患者として「生きた証拠」といわれた12歳の米国人少女Emily Whiteheadは、2017年の科学界での出来事において重要な役割を果たした10人のうちの1人として英科学誌Natureに選ばれた。また、同じく有望視されている“免疫チェックポイント抗体”のがん治療薬であるバベンチオ（米ファイザー社、独メルクセローノ社）も米欧日で市場投入された（同年秋）。一方、検査分野の技術として注目したリキッド・バイオプシーは、がん治療薬を選別する個別化医療のみならず、がんの早期診断やがん転移の予測などでも注目が高まった。リキッド・バイオプシーのパイオニアである米ガーダント・ヘルス社にソフトバンクが出資し（同年5月）、リキッド・バイオプシー検査受託サービスを行う米グレイル社に電通ベンチャーズ1号グローバルファンドが出資する（同年6月）など、社会実装に向けた動きが加速している。国内においても、がん分野におけるプレジジョン・メディシンを推進する中核拠点病院の整備や医療情報の共有に向けた病院ネットワークの拡大など具体的な動きが数多く出てきている。

デジタルツイン

この1年間で、特にイノベティブな技術進展はないが、3DプリンターやVR（仮想現実）/AR（拡張現実）技術との融合が進み、製造業での活用が拡大している。その一例として、2017年3月、独SAP社のデジタルツインによる新規サービスが発表された。同サービスは、独アディダス社のサイバー空間にあるシューズを自分用にカスタマイズするというもので、個人の好みの形状や色などに合わせて、サイバー空間のデジタルツイン上でデザインし、仮想的に加工することが可能になっている。産業用機器の重工業分野に加えて、一般消費財の製造サービスにもデジタルツインの活用拡大が予想される。米調査会社MarketsandMarketsの2017年8月発表レポートによれば、デジタルツインの

世界市場（主にソフトウェア）は年平均成長率（CAGR）37.87%で成長し、2023年には156億6,000万ドルに達すると予測している。今後、製造業における企画、設計、製造、販売、サービス、廃棄までの全てのプロセスをつないで、バリューチェーン全体の状況などをリアルタイムで把握する仕組みが社会実装されると考えられる。

フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス

2017年は、フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス（FHE）を活用する有望分野として挙げた、AR機器、RFID（ICタグ）での産業利用の道筋が示された。AR機器では、ゲームなどのエンターテインメント機器での利用拡大とともに、スマートグラスのカメラ機能を活用した空間図面作成や、一定のノウハウが必要な機械の制御やメンテナンスでの作業手順教示など、製造業を中心に作業効率や精度の向上を図る目的での利活用が進展した。RFIDでは、既存の畜産管理やアパレル製品管理に加え、2017年4月にコンビニエンスストア国内大手5社が「コンビニ電子タグ1000億枚宣言」（経産省策定）に合意し、ローソンが先んじて実証を開始するなど、産業利用における新たなボリュームゾーンが形成されつつある。また、半導体製造装置・材料業界の世界最大の国際工業会であるSEMIは、FHEの商用普及を継続的に啓蒙している。

New Space（次世代宇宙ビジネス）

2017年は、ロケット（衛星）打ち上げサービスでの動きが目立った。米SpaceX社は、史上初の、使用済みロケットを再利用した打ち上げに成功した。同社は、民間企業を顧客とした使用済みロケットによる衛星の打ち上げを2017年3月、6月、10月に行い、同12月には米航空宇宙局（NASA）から受注した、国際宇宙ステーションへの物資補給船の輸送を実施した。同社は、使用済みロケットの整備コストを新造の半分程度としており、さらなる再利用と低コスト化が想定される。一方、インドが商業打ち上げで存在感を示した。2017年2月に、インド宇宙機関（ISRO）が開発した使い捨て国産ロケット「PSLV」が一度に過去最多数の104機の衛星（約700kgのインドの観測衛星1機と超小型衛星103機）の打ち上げに成功した。国内に目を転じると、2017年12月に三菱重工業と宇宙航空研究開発機構（JAXA）が、国産ロケット「H2A」を使い、2機の衛星を、異なる高度の軌道に打ち上げることに成功している。ベンチャー企業では、インターステラテクノロジズ社が小型ロケット「MOMO」の試験打ち上げを実施した。打ち上げは目標高度に達しなかったものの、飛行データの収集等、後継機開発につながる大きな成果を得ている。宇宙空間利用の上流である打ち上げサービスの低コスト化・多様化の進展を予感させる1年であった。

戦略研レポート

2018年1月31日号

(株) 三井物産戦略研究所

〒100-8631 東京都千代田区丸の内一丁目1番3号

URL: <http://www.mitsui.com/mgssi/ja>

連絡先 TEL: 03-3285-6290 FAX: 03-3285-7658

- 当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。当レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。
- 当レポートに関するお問い合わせは左記連絡先へお願いします。