



デバイス・デモクラシー

モノのインターネット (IoT) の未来のために

Executive Report

Electronics Industry

モノのインターネットが発展する中でビジネスを変革する

世界規模の電機メーカーでもある IBM は、ハイテク産業が直面している課題と、継続的な変革の必要性について理解しています。

産業全体にわたって、企業はスマートフォンやタブレットからインターネットに接続された新世代のデバイスへと関心を移しています。こうしたデバイスは、エレクトロニクス産業のみならず、それ以外の多くの産業も変革すると予想されます。IBM の電機電子産業への取組み方は、IBM 及びパートナーによるサービスやハードウェア、ソフトウェア、研究を独自に組み合わせた統合的なソリューションをつくりあげていく形をとっており、この取組みを通じてお客様のイノベーションの実現、差別化された顧客体験の創出、グローバルな業務の最適化を支援するものです。

IoT が直面している危機

インターネットに接続されたインテリジェント・デバイスの数は、既に 10 億台を超え、それらが、現在の「モノのインターネット (IoT)」を形成している。さらに何千億台ものデバイスが急増すると予想されており、我々は、エレクトロニクス産業やそれ以外の多くの産業に広がる変革の出発点にいる。

しかし、スマートで安全かつ効率的な未来という夢は、課金、乱発される広告、プライバシーの侵害といった問題によって脅かされる可能性を秘めている。IoT が世の中の信頼を得て、数十億台から数千億台のデバイスへと問題なく拡大するために、その基礎となる技術戦略やビジネス・モデル、設計原則を再検討する必要があると経営者は考えている。

本書は我々の調査に基づく最初のレポートであり、デジタル世界の民主化 (デバイス・デモクラシー) について説明する。これにより新しいデジタル経済が出現し、新たな価値が創出されると同時に、消費者や企業にはよりよい製品やユーザー・エクスペリエンスが提供されるようになる。

要旨

最初のメインフレームが販売されたとき、数千台のデバイスを超える規模のグローバル市場は想定されていなかった。メインフレームは政府や大企業がかかわる分野で、複雑な管理上および運用上のタスクの実行に利用されていた。技術の進歩は絶え間なく、メインフレームのあとには、まずミニコンピューターが登場し、次いでマイクロコンピューター、パーソナル・コンピューター、そしてごく最近ではスマートフォンやタブレットが登場した。次は、スマート・デバイスである。安くて小型で計算能力が高いデバイスが次々に出現し、それらは短期間で大量に広がってきている。¹

今回取り上げる次の大変革、つまり「モノのインターネット (IoT)」と呼ばれる何十億台もの (数百億とも予測されている) インテリジェントなデバイスからなるネットワークは、ある意味では予測されたものであり、コンピューターの世界における過去の発展と同様である。しかし、別の側面においてはまったく新しいアプローチとなるものである。現在、台所の機器から自動車までの多数のコンピューティング能力を持ったデバイスが普及している。それはこれらが安価で大量に作れるためだが、そのコンピューティング能力は、特定の組み込みシステムのアプリケーションに限定されている。

特殊用途のコンピューティングから汎用コンピューティングへの移行が、IoT を強化・加速するものと考えている。ムーアの法則により、現在は、カスタマイズされた組み込みデバイスを製造するよりも、高性能の汎用コンピューターを搭載したデバイスをより安価かつ容易に製造できるようになっている。近いうちに、ドアノブから電球までのデバイスが、初期のスマートフォンと同程度の計算能力と接続性を備えるようになるであろう。

経営者が IoT に関する戦略的投資を行う上での指針となるように、またつながる未来とさまざまな業界にわたるその影響をより適切に把握するために、我々は「2014 IBM Internet of Things Study」を実施した。我々の調査は、IBM の上級研究者と共同で実施され、3 つの研究要素、つまり、技術戦略、企業と経済に関する洞察、製品およびユーザー・



急速なデバイス主導の流れは、IoTにおける主導権をセンターからエッジへ移行させようとしている



デバイス同士がリアルタイムに連携することで、新たな市場を創出する。



何千億台ものデバイスからなるIoTにおいて、コネクティビティとインテリジェンスは製品やユーザー・エクスペリエンスをより良くするための手段であり、目的ではない。

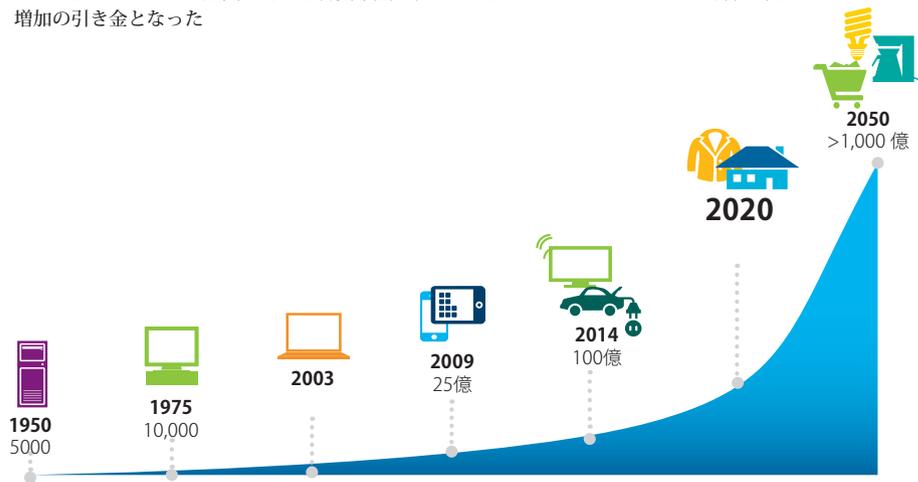
エクスペリエンスの設計から構成されている。本レポートでは、初期段階の調査結果について詳しく説明している。調査結果に関するさらなる分析や発表は、次の段階で引き続き実施する予定である（21 ページの方法論の詳細を参照）。

多数の技術的大変革の融合

安価な汎用コンピューティング技術の出現に伴い、低コストのセンサーやアクチュエーターが利用できるようになった。クラウド・コンピューティングの著しい進歩により、こうしたセンサーによって生成される大量のデータの保存や分析が可能となっている。どこからでも接続可能な能力と、IPv6 によって何十億もの IP アドレスが利用可能になったことにより、接続されるデバイスの数は 2020 年に 250 億台を超えると予測されている。これは、2009 年の 25 億台、現在の 100 億台からの増加となる（図 1 を参照）。²

図 1

コンピューティングの歴史における各変革点が、コンピューティング・デバイスの爆発的な増加の引き金となった



将来に目を向けると、オープンな Web サービス・アプリケーション・プログラム・インターフェース（API）の増加により、デバイスは複雑な複数ベンダーのネットワークの一部としてスムーズに接続および機能できるようになる。また、3D プリンティングやデジタル・マニファクチャリングにより、メーカーはデバイスを小ロットで製造および導入し、新しい製品やソリューションを迅速に開発できるようになる。

結果として、複雑な統合システムの一部として動作および機能できる、安価な何千億台ものデバイスが普及する。これまでの大変革と同様に、この大変革でもコストがさらに 1 桁低下する。これは、200 米ドルから 600 米ドルまでに及ぶスマートフォンやタブレットに、ドアノブや電球といったコストがわずか 20 米ドルのスマート・デバイスが加わるためである。

グローバル経済にとっての可能性

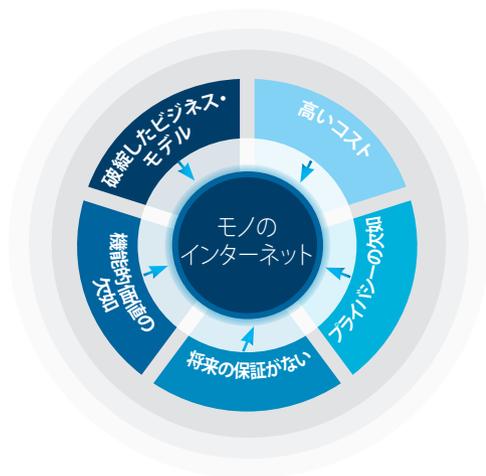
IBM のメインフレーム（かつては System/360、現在は System z）は最近 50 周年を迎えたが、コンピューター産業がグローバル経済に与える影響はごく最近まで、比較的限定的なものと捉えられていた。ノーベル賞を受賞した経済学者である Robert Solow は 1987 年に、PC の販売台数が数百万台に急増したころ、「生産性統計以外のあらゆる領域」でコンピューターの影響を目にすることができるだろう、と述べた。³

1987 年には、あらゆる種類のコンピューターは年間約 1,500 万台から 2,000 万台売れていた。⁴ 経済学者が産業の生産性統計へのコンピューターによる有意な影響を示すことができたのは、2000 年を過ぎてからであった。⁵ この頃には、コンピューターの販売台数は常に年間 3 億台を超えていた。⁶ それ以来、我々は 3～4 億台の PC から約 10 億台のスマートフォンへと移行している。⁷

10 億台のスマートフォンから何千億台ものスマート・デバイスに移行する中で、IoT が持つ可能性が見えてきた。50 年以上も徐々に浸透してきたにもかかわらず、グローバル経済活動の大半は IT との親和性が低いと考えられている産業に集中している。例えば、農業、輸送、流通などは従来、机やオフィスが必要なパーソナル・コンピューターとはあまりなじみがなかった。IoT はそのすべてを変革する。

図 2

現在の数十億台からなるモノのインターネットが数千億台規模に拡大しないのはなぜか



IoT は既に再出発が必要な時期にある

これまでのところ、最初の段階の IoT は非常に価値の高いアプリケーションに重点を置いてきた。これまで、ジェット・エンジンの継続的な監視、自動化されたスマート・メーター、リモートでの健康管理において成功が確認されている。しかし、多くの領域において需要の出足は鈍い。実際、ネットワーク化されている重機は 30% しかなく、インターネット閲覧に利用されているスマート・テレビも 10% にすぎない。⁸ 採用の動きが最も鈍い分野はホーム・オートメーションであろう。この分野では、消費者はまだスマート歯ブラシや冷蔵庫といったデバイスを採用していない。

一方、市場の期待と事業価値評価は非常に高かった。最大で 10 ～ 20 倍の市場に成長するとの予測がされていたが、実際の収入は (特に消費者向け市場において) 比較的小さかった。⁹ これは主として、大部分の IoT ソリューションのコストと複雑さに加え、IoT を単なるコンピューティング・プラットフォームであるかのように扱い、一連の同じビジネス・モデル (サービス、エコシステム、アプリケーション、分析) を適用する企業や起業家に原因がある。経営者が戦略上の大変革を行わなければ、現在の IoT ソリューションを将来の数千億台のモノに対応するように拡大しようとするときに失望することになる (図 2 を参照)。

チャレンジ 1: 高いコスト

収益が期待に満たない場合でも、コストは極端に高くなる。多くの既存の IoT ソリューションは高コストである。これは、中間業者のサービス関連コストに加え、集中型クラウドや大規模なサーバー・ファームに関連する高いインフラストラクチャーや保守のコストのためである。

また、サプライヤーと顧客の期待にも不一致がある。従来、IT 業界のコストと収益は適切に整合性が取れていた。メインフレームは長年存続したが、企業向けサポート契約と共に販売されていた。PC やスマートフォンは従来、このような収益性の高いサポート・

プランと共に販売されてこなかったが、製品のライフサイクルが比較的短いために大きな問題にはならなかった。IoTの場合、企業が数年間にわたるサポートと保守をまかなえるだけの利幅が生じる見込みはない。

定期的なソフトウェア更新を配信する集中型サーバーの保守と同程度に単純な作業でも、何十億台ものスマート・デバイスのサポートと保守にかかるコストは相当の額になる。

チャレンジ 2：プライバシーの欠如

インターネットは本来、信頼に基づいている。スノーデン後の時代において、インターネットでの信頼は終焉を迎えたことが明らかである。信頼できるパートナーと共に集中型システムとしてIoTソリューションを構築するという考え方は、幻想のようなものとなった。現在の大部分のソリューションでは、集中化された権限（政府、メーカー、サービス・プロバイダーを問わず）がユーザーのデータを収集および分析することで、無許可でデバイスにアクセスし制御できる。

IoTを前提とするネットワークにおいて信頼を設計・運営することは、不可能ではないにしても、非常にコストが掛かる。しかし、拡大を続けるIoTの採用を広めるには、ユーザーに自身のプライバシーの管理手段を提供することで、プライバシーと匿名性を設計に組み込む必要がある。

クローズド・ソースのアプローチに基づく現在のセキュリティー・モデル（いわば「隠蔽によるセキュリティー」）は過去のものとなっており、「透明性によるセキュリティー」という新しいアプローチによって置き換える必要がある。このためには、オープン・ソースへの移行が必要となる。そして、オープン・ソース・システムは依然として、脆弱性を持つ可能性があるものの、政府の影響やその他の標的型攻撃からは影響を受けにくい。オープン・ソースにより、ホーム・オートメーション、つながるクルマ、その他の多数の接続されたデバイスから多くの機会が得られる。

チャレンジ 3：将来の保証がない

多くの企業はスマートな接続されたデバイスの市場に速やかに参入しているが、撤退が非常に困難である点にまだ気づいていない。消費者はスマートフォンや PC を 18 カ月～36 カ月ごとに買い替えるが、ドア・ロックや LED 電球などのインフラの基本要素については、交換なしで長年、場合によっては数十年持つことを期待する。

例えば、標準的な自動車は 10 年間走行でき、米国の標準的な住宅は築 39 年である。また、道路輸送、鉄道輸送、航空輸送システムの期待されるライフサイクルは 50 年を超える。¹⁰ ドアロックにセキュリティ上の不具合がある場合、倉庫会社にとって、そしてメーカーの評判にとって命取りである。IoT の世界では、廃止されており提供されていない製品におけるソフトウェアの更新や修正のコストは、企業の財政状態を数十年間圧迫する。

チャレンジ 4：機能的価値の欠如

現在の多くの IoT ソリューションには、有意義な価値の創出が欠けている。多くの接続されたデバイスによる提案の価値は、接続されているという点であるが、単に接続を実現するだけではデバイスはスマートにも優れたものにもならない。接続性とインテリジェンス化は製品やユーザー・エクスペリエンスを向上させるための手段であり、目的ではない。

メーカーが重要視する売切りモデルからサービス・モデルへの移行（随時モニタリングを通じた保守サービスの高度化など）は、メーカー側から見た希望的観測であり、利用者側から見た場合、そういった変化は、更なる高コスト化・複雑化を招くだけである。スマートな接続されたトースターは、トーストが美味しく焼けなければ価値はない。これまでのわずかな成功例はいずれも、提供価値が非常にわかりやすくシンプルなものばかりである。それらの事例では中核となる機能やユーザー・エクスペリエンスを強化しており、課金やアプリケーションを求めたりはしていない。

チャレンジ5：破綻したビジネス・モデル

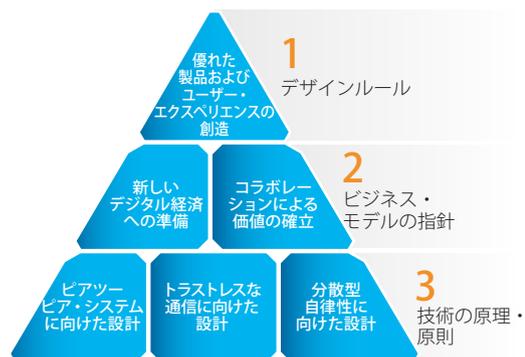
IoTに関する既存のビジネスモデルは、ユーザー・データの販売やターゲット広告の実施を前提としていることが多いが、このような収入をあてにしすぎるのは危険である。情報サービス市場は限界費用がゼロであるため（広告先の拡張もユーザー・データの追加調達もコストがかからない）、少しでも競争が発生すると市場価格がゼロへと下降し、実際に収入機会を得るのはアグリゲーターやインテグレーターのみとなることが多い。更に、一般消費者は自身のデータ活用を許可するかもしれないが、相手が法人の場合は容易に許可しない恐れがある点も、データ活用における障壁となりうる。

もう1つの問題は、アプリケーションからの収益に関する楽観的すぎる予測である。トースターやドア・ロックのような製品は、デジタルの時代より前はアプリケーションやサービス契約なしで機能していた。PCやスマートフォンとは異なり、こうした製品はそれほどインタラクティブではないため、このような収益の期待が非現実的なものとなる。

最後に、多くのスマート・デバイス・メーカーは、エコシステムによる機会に関してありそうにない期待を抱いている。スマート・テレビがトースターとやり取りすることは興味深い話題になるものの、このようなソリューションはすぐに煩雑になり、IoTエコシステム全体の管理や収益化に成功した者はいない。

したがって、テクノロジーがIoTを前進させる一方で、魅力があり持続的に利益の上がるビジネス・モデルの欠如が、同時にそれを妨げている。将来のビジネス・モデルがハードウェアやソフトウェアのプラットフォームに関する現在のビジネス手法に追随しないとしたら、どのようなモデルになるのだろうか。

図3. デジタルにおける成功のピラミッド：強力な技術基盤を確立し、新しいビジネス・モデルを指針として優れたユーザー・エクスペリエンスを設計する



IoT の未来へ向けて

接続されるデバイスが数十億から数千億に増え、政府や企業がデバイスやデータの主権争いを繰り広げる中で、我々はモノのインターネット（IoT）を守っていく必要がある。そのためには、ビジネス・リーダーやテクノロジー・リーダーが根本から自社の戦略を見直し、自主性やプライバシーを守りつつ、徹底的なコスト削減の可能なソリューションを打ち立てるべきである。こうしたソリューションの指針となるビジネス・モデルでは、非常に効率的なデジタル経済を受け入れ、コラボレーションによる価値を確立しながら、優れた製品やユーザー・エクスペリエンスを創造する必要がある（図3を参照）。

デジタル世界の民主化～中央集権型管理モデルからの脱却、いかにして、理想的な分散型IoT管理モデルを実現するか～

現代のコンピューティングの基礎となるのは、ごく普通のトランザクション処理である。電話から電力量の計測、航空券の予約まで、それぞれが処理対象のトランザクションとなる。旅客が予約、航空券代金の支払い、航空機への搭乗、マイレージ・サービスの獲得を行うにあたり、そのすべての段階で、トランザクションの処理や記録、保存が行われる。

そして、トランザクション処理の対象は「旧来の」業務のみではない。メッセージやツイートのようなデジタルのやり取りもすべてトランザクションである。Webを基盤とする今日の世界では、トランザクションの規模や量の爆発的な拡大・増加が起きている。例えば、ニューヨーク証券取引所では1日に500万件の取引が処理されている。¹¹一方、毎日処理されるソーシャル・メディア関連のトランザクションは50億を超える。¹²今や、IoTに伴い、処理すべきトランザクションの規模や量がさらに急激に拡大・増加している。

実際のところ、トランザクション処理は、分散コンピューティングがなければ現在の水準まで拡大しなかったはずである。分散コンピューティングはピアツーピア・システムと同様に、これまでかなりの間継続してきた。しかし、ピアツーピア・コンピューティングがムーアの法則に従って、近年、大幅に進歩しており、何百万カ所にも分散したほぼ常にアイドル状態でトランザクション処理が可能な何十億台ものデバイスにおける計算能力や、数テラバイトのストレージ、帯域幅を活用することが、間もなく可能になるだろう。

ピアツーピア・コンピューティングの採用によって何千億ものIoTトランザクションを処理すれば、大規模な集中型データ・センターの設置や管理に関連するコストを大幅に削減することができる。今こそ、データ・センター集中管理型から脱却し、真の分散型クラウドを前提とするオープンIoTアクセス・ネットワークへと移行するべき時である。(図4を参照)。

IoTの世界における分散化を成功させるためには、ピアツーピア化を加速させるだけでなく、トラストレスを実現する必要がある。トラストレスとは、信用が要らず、中央に単一障害点が存在しない状態である。

図4. 安全性や拡張性、効率を確保するには、数十億台のデバイスの管理から数千億台のデバイスの管理へと徐々に移行するようにIoTネットワークを再構築する必要がある



「未来は既にここにある。それが皆に知れ渡っておらず、十分に広まっていないだけだ。」

William Gibson (作家)¹³

メッセージング、ファイルの保存および転送のサポート、役割と対応する権限の管理を行う集中型サーバーが存在しない場合、どのような分散型 IoT ソリューションも以下の基本的な 3 種類のトランザクションに対応する必要がある。

- トラストレスなピアツーピア・メッセージング
- セキュアな分散型データ共有
- 堅牢かつ拡張性の高いデバイス間の連携

ピアツーピアのメッセージング・プロトコルは新しいものではないが、新しいトラストレスなピアツーピア・メッセージング・システムにより、IoT に参加するデバイス間での高度に暗号化され、設計によりプライバシーが担保された通信を可能にする、「軽量な」仕組みが確実に提供される。¹⁴ 我々の見通しでは、近い将来、こうしたトラストレスなピアツーピア・プロトコルが TCP/IP よりも IoT に適したトランスポート・プロトコルへと発展する。さらに、セキュアな分散型ファイル共有プロトコルが、クラウドベースのファイルの保存や転送に代わって利用され、ソフトウェアやファームウェアのセキュアな更新や、ピア・デバイス間での直接的なファイル共有を実現する可能性がある。

しかし最大のチャレンジは、単なる分散型 IoT の構築ではなく、いかに、プライバシーが保護され、セキュアでトラストレスなトランザクションという長所を残したまま拡張できるかにある。言い換えれば、IoT の場合は参加者が何十億人もおり、そのすべてが信頼できるわけではなく（中には悪意のある者さえおり）、何らかの検証と合意が必要となる。そして、これに対しては『ブロック・チェーン』が、非常に明快な解決策を提供する可能性がある。

ブロックチェーンが IoT に適する理由

ブロックチェーンは、権限の集中化という我々の考え方を根底から変えた、画期的なテクノロジーである。ブロックチェーンとは、ビットコインなどの分散型金融システムの中心となっており、他の多数の分散型システムの中心ともなりつつある、汎用のデジタル台帳である。

ブロックチェーンには、すべての参加者によって行われたすべてのトランザクションが記録されている。トランザクションを検証し、ブロックチェーンの情報を保護するために、暗号化が利用される。多数の参加者が各トランザクションを検証し、冗長性の高い検証機能を実現しており、必要な計算処理の見返りを受ける。分散型の合意によってトランザクションを承認することで、ブロックチェーンでは信頼が不要となっている。

ブロックチェーンは、長期的な保管機能としては規制上および実用上のリスクがあり得るが（ビットコインの場合のように）、トランザクション処理の手段としては非常に革新的だと考えられる。¹⁵

分散型 IoT に関する我々のビジョンにおいて、ブロックチェーンは IoT の世界において相互に連携するデバイス間のトランザクションを管理・調整する枠組みとして非常に有用である。IoT につながるモノ各々が、それぞれの役割を理解し、連携することで、『真に自立的な、分散型 IoT』環境が実現され、ひいてはデジタル世界の民主化、すなわち中央集権型管理モデルを脱却し、理想的な分散型 IoT 管理モデルが現実のものとなるのである。（図 5 を参照）。

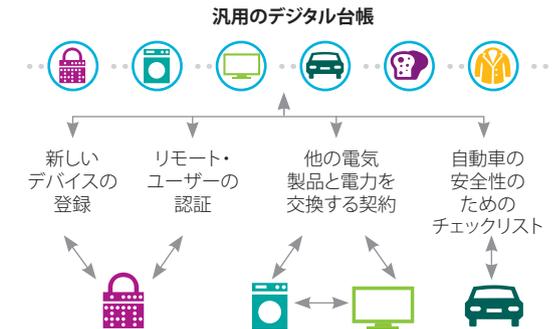
ユーザーの役割

この参加者が何千億にもなるこの流通において、ユーザーはセキュアな識別および認証によってデバイスに結び付けられる。ユーザーは、その他のデバイスに関与する際の規則を動的に作成し、維持する。こうした規則は、ユーザーが定義した近接性（物理的、社会的、時間的）に基づいてデバイス間の関係やデバイスの権限を定義するための、強力な仕組みを実現する。

例えば、デバイスがピア・ダウンロード可能なソフトウェア更新の安全性について合意したり、不正を行う参加者を禁止したりする場合のように、51% の合意によって規則を定義することもできる。このように定義済みの一連の規則に基づくデジタル・チェックリストを、ユーザーが作成し実行することで、自律的に機能するデバイスが機能し続けるようにできる。

図 5

ブロックチェーンはデバイス間の各種 IoT トランザクションを容易にするための汎用のデジタル台帳として機能する



デバイスの役割

一方、デバイスは、ピア・デバイスとの合意、支払い、交換といったデジタル契約を自律的に実行できるようになる。そのために、自身のソフトウェア更新の検索、ピアの信頼性の検証、リソースやサービスに対する支払いやそれらの交換を行う。これにより、デバイスは自己保守/セルフサービス型デバイスとして機能できる。

他のデバイスと自律的に取引する能力は、まったく新しいビジネス・モデルの可能性を開く。つまり、ネットワーク上の各デバイスは自己完結型の事業体として、自身の能力や資源（処理能力・容量、インターネット接続（帯域）、電力など）を非常に低いランザクション・コストにて他デバイスと取り引きできるのである。何十億台ものデバイスの使用されていない能力を活用する新しいビジネスの創造に加え、ブロックチェーンはこうしたデバイスに関連するサービスや消耗品を扱う新しい市場も促進する。

メーカーの役割

デバイス・メーカーやサービス・プロバイダーにとっても、ブロックチェーンを利用したIoTには魅力がある。メーカーやプロバイダーは、保守の所有権や責任を自己保守型デバイスからなるコミュニティーに委譲することができる。これにより、IoTが将来にわたって利用できるようになり、またデバイスの寿命が続く間とその廃止後長きにわたってインフラストラクチャー関連コストが大幅に節約される。

このモデルでは、ユーザーが自身のプライバシーを管理し、集中化された権限によって管理されるのではなくデバイスが主となる。クラウドの役割も、管理者からピア・サービス・プロバイダーの役割へと変化する。この新しくフラットなデモクラシーでは、ネットワークにおける権力は中央から末端へと移行する。そして、デバイスとクラウドは対等な構成要素となる。

このようなデバイス主導のデモクラシーは明らかに、IoTエコシステムの全参加者にとって非常に魅力的である。そして最大の価値は、拡張性と効率に優れたIoTの確立のみならず、新しい市場の創造と新しいビジネス・モデルの形成というマクロレベルの効果にあるだろう。

物理的な世界の流動化

IoTが登場する前は、単にインターネットが存在した。ヒトのインターネット（後にこう呼ばれるようになるかもしれない）は既に、経済に多大な影響を与えている。その最大の功績は、デジタル・コンテンツ市場の創出と変革にある。事実、音楽やニュースや地図情報を基点とするコンテンツ他において、多大な影響を与えた。

IoTはそれと同様の変革を可能にし、物理的な世界をデジタルの世界と同程度に、個人向けにカスタマイズされた流動的で効率的なものにする。デジタルの破壊的变化に関する過去のケース・スタディーに基づき、我々は新たな破壊的变化における5つの魅力ある方向性を認識している。これらの方向性により、IoTは興味を引く技術から魅力あるビジネス戦略へと変化する（図6を参照）。

物理的資産の仮想資産化と有効活用

インターネットはデジタル・コンテンツ市場の変革にあたり、商取引における3つの主要な要素（検索、利用、支払い）を可能にした。検索は広い範囲にわたって即座に行えるようになった。音楽から百科事典の記事に至るまで、利用と支払いも同様に、完全にオンラインで即座に行うことができる。こうした変革の一部は、デジタル・コンテンツ独自の経済的側面によって生じた。複製には追加のコストがまったくかからないため、競争の激しいデジタル市場における市場清算価格はゼロに達した。

IoTにより、現在の仮想的な商品と同程度に、物理的資産を容易にデジタル化/販売/提供できるようになる。アナログの時代に取り残されていた物理的資産は、BluetoothビーコンからWi-Fi接続のドア・ロックまでのあらゆる技術を利用し、デジタル・サービスへと変化する。デバイス主導の経済では、会議室やホテルの客室、自動車、倉庫の区画自身が余力、利用率、利用可能性をリアルタイムで報告できる。このように空き容量の商用利用を容易にすることで、IoTはこれまでは考えられなかったような市場の細分化を可能にする。これまで単に複雑すぎて監視や管理ができなかった資産が、新しいデジタル経済ではビジネス・チャンスとなる。

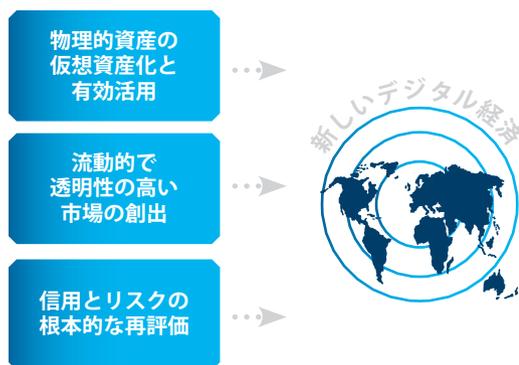
図6

破壊的变化の5つの方向性：IoTによって物理的資産の影響力が増す方法

破壊的变化の方向性	物理的な世界の流動化
物理的資産の仮想資産化	利用可能な物理的資産の検索、利用、支払いを即座に行う
流動性と透明性の高い市場の創出	物理的な商品やサービスに関する供給と需要をリアルタイムで結び付ける
信用とリスクの根本的な再評価	ITによって信用のリスク管理と評価を行い、事実上の債権回収とモラル・ハザードの低減を実現する
業務効率の向上	管理が不要のシステムやサービスの利用を可能にし、トランザクションやマーケティングのコストを削減する
ITによるバリューチェーンの統合	ビジネス・パートナーによるリアルタイムでの最適化、クラウドソーシング、協業を実現する

図 7

物理的な資産やサービスを仮想空間にあるかのように扱うことで、IoT は新しいデジタル経済を創出する



流動的で透明性の高い市場の創出

物理的な資産やサービスの供給と需要をリアルタイムで特定し結び付けることで、IoT は新しい市場を創造する。こうした複雑なリアルタイムのデジタル市場は、モバイル・デバイスやソーシャル・ネットワークによって確立される基盤に基づいており、この変革の対象範囲を急速に拡大する。これらは新しいピアツーピアの経済モデルを実現し、シェアリング・エコノミー（共有型経済）を促進する。¹⁶ 分散型 IoT の世界で、モノ同士がリアルタイムにお互いの状況を把握し合い、お互いの共通認識に基づき相互に取引することでより生産性の高いデジタル市場が実現するのである。

連綿と遷移するサービス利用の必要性和、それを埋め合わせ得る物理資産の利用余力の対応関係が、それらを補完する供給と需要を結び付ける強力なデジタル・ツール環境と出会うとどうなるのか。これを示す過去の事例として、航空業界における Sabre の役割ほどの好例は存在しない。Uber や Airbnb は今日の Sabre にあたり、IoT がなければ不可能な、自動車、住宅、オフィス・スペース、都市での収納場所、駐車場、電気製品といった物理的資産を扱う流動的な市場の創出を先導している。

信用とリスクの根本的な再評価

もう 1 つの大きな変革は、個人に合わせてカスタマイズされたリスク特性および信用情報が創出されることにある。現在の信用供与とリスク管理は、新聞やテレビの時代の広告と同程度にビジネスとして洗練されていない。成熟した欧米市場における信用調査機関や税金記録が消費者信用の利用可能性における大変革の引き金となったが、その対象は（大まかに言えば）世界人口のごく一部のみとなっている。米国のような成熟した市場における無担保の信用供与限度は多くの場合、信用力が高い場合のコストの 8 倍～10 倍であり、顧客間で変化がほとんどない。これは、こうした市場ですらリスクの評価に対する理解がどれほど不足しているかを示す証拠である。

携帯電話やIoTによって実現する機能化とデジタル化により、リスクと信用の評価における大変革が確実に起きる。デバイスの機能化と、モバイル・マネー、GPS ログ、ソーシャル・ネットワークを組み合わせることで、企業は真のリスクをはるかに正確に把握すると同時に、モラル・ハザードを低減し債権回収のコストを削減することが可能になる。

妥当な相場での消費者信用の拡大は、消費者の経済的な成功や、最新の電気製品をはじめとする便利な設備の家庭への普及に多大な影響を与えた。物理的資産の解放、新しい市場の創出、信用とリスクのより正確な評価が相まって、IoTが登場する前は想像もつかなかった新たなデジタル経済への道が開かれる（図7を参照）。

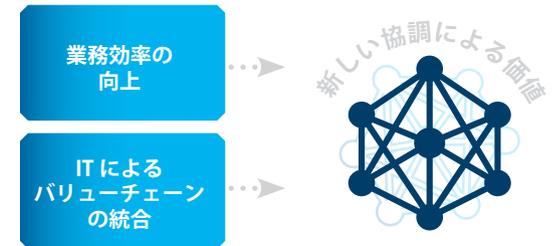
最後になるが、情報技術が全体にまだ大きな影響を与えていない産業領域がある。こうした領域では、資産の解放、新市場の創出、リスク評価の改善を実現できる可能性があるのみならず、効率を高め、まったく新しい解決策や価値を生み出すことができる可能性が最も高い（図8を参照）。当然ながら、まったく新しい種類の価値を予想することは困難であるが、出発点としては、現在に至るまでデジタル化の影響をほとんど受けていない業界が適切である。

業務効率の向上

今日、ITの利用度が最も低い産業領域は農業である。この領域では、ITが全設備投資に占める割合は1%にすぎず、IoTの潜在的な影響が非常に大きい。農業は資本集約かつ技術集約的ではあるものの、まだ情報集約的ではない。高度な収穫技術や、遺伝子組み換え種子、農薬の組み合わせ、世界規模の貯蔵と流通は、これらにITを応用しない場合でも、現代の農業がどれほど複雑になっているかを表している。

図8

トランザクションおよびマーケティングのコストを削減し、イノベーションに向けたパートナーシップを実現することで、IoTは新しいコラボレーションによる価値を創出する



農作業のあらゆる手順の計測およびデジタル化を行えば、農業経営者、バイオテクノロジー企業、農機具メーカー、出資者の間での密接な協力によって大きな利益を得ることができる。農業の生産性を高めるために採用できる、そして採用されるであろう一連のIoTテクノロジーには、広い敷地を低コストで監視するための無人飛行機、土壌の状態や気象条件に基づく種まきと収穫の最適化のための計測装置、詳細な監視のための農業用センサーなどがある。

ITによるバリューチェーンの統合

IoTの最も有益な利用方法の1つは、バリューチェーンを統合する能力を通じた利用である。デジタル技術によるバリューチェーンの統合は、これまでのところ、産業のネットワーク化テクノロジーを推進する最大の要因の1つである。

航空会社はデータをリアルタイムで得られるため、航空機の着陸のかなり前に、不具合を修正するための保守の予定やスペアパーツの手配を行うことができる。その結果、航空機については収入が得られる飛行時間が増し、保守や修理を待機する地上での時間が減る。このような価値の高いサービスは現在、非常に限定された、閉じたエコシステムに存在する。IoTにより、消費者や企業はまさにこのような、複数の企業やシステムにわたる価値を生み出す統合を、従来の統合と比較してごくわずかなコストで実施できるようになる。クラウドソーシングなどのオープンなコラボレーション・プラットフォームは、共同での成長やイノベーションの創出をさらに促進する。

事実上の垂直統合の実現に関しては、産業界で大きな成功を収めた事例が依然として比較的少数しか存在しない。実際のところ、インダストリアル・インターネットに関するコンソーシアムは、標準を定めるための非常に長いプロセスをまさに開始しているところである。企業が標準について議論を交わす間にも、消費者は速いペースで前進している。既に、複数のサービスや製品にわたるシステム間およびシステムとデバイス間の統合の「処方箋」が何千も存在し、大企業でも徐々に採用されつつあるが、この動きを先導する消費者や中小企業では採用のペースがさらに速い。

結局のところ、IoTによって、物理的な世界が仮想的な世界とまったく同程度に検索、利用、関与しやすくなると予想される。我々はこの新しい変革を、物理的な世界の流動化と表現している。大規模な金融市場が証券や通貨、現金の流動性を生み出すのと同様に、IoTは産業全体を流動化することで、これまで誰もが想像し得なかったような生産性や収益性を実現できる。

「よいデザインは、よいビジネスになる。」

Thomas Watson, Jr. (元 IBM 会長兼 CEO)

デザインの考え方：機能の向上

IoT は物理的な世界を流動化するにあたり、我々の周りにあるほぼすべてのものにコネクティビティやインテリジェンスを組み込むことで、多くの製品やユーザー・エクスペリエンスを変革する。ただし、こうしたデバイスの大部分のユーザーにとって、ネットワーク化やリモートでの利用は副次的な機能にすぎない。消費者にとって最も関心があるのは、主要な機能的価値とユーザー・エクスペリエンスである。

将来のスマート・デバイスは、コネクティビティとインテリジェンスの適用によってデバイスの中核となるバリュー・プロポジションを強化することで、価値を創出する必要がある。例えば、鍋が吹きこぼれたときに温度を自動的に下げるスマート・レンジ。キツネ色の状態と焦げた状態の違いを認識できるスマート・トースター。製品が故障する前に保守を依頼したり、必要となる正確な量の洗剤を混ぜ合わせたり、最適な温度の水を使用したりすることができるスマート洗濯機。消費者がこのようなソリューションを採用するのは、料理しやすくなったり、失敗が減ったり、衣服が綺麗になったり、安全性が向上したり、健康が増進したりするためであり、複雑なネットワークやエコシステムに組み込まれているためではない。

ユーザー目線のテクノロジー：デバイスは何をしてくれるのか

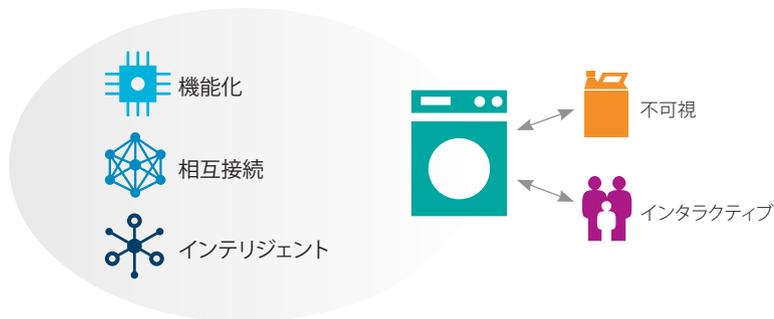
さらに、ユーザーが主導権を握るデバイスの新しい流通において、ネットワーク上のデバイスはメーカーや政府、サービス・プロバイダーといった第三者ではなく、ユーザーの利益が最大になるように機能できる必要がある。分散型の自律的な IoT を構築することはこの方向に向けた一歩となるものの、設計もユーザーにとっての接続されたデバイスの価値に重点を置くように発展する必要がある。ユーザーを最優先し、ユーザー・エクスペリエンスや価値を設計することは、IoT の採用にとって不可欠となる。

我々の周りで接続されインテリジェントになるデバイスが増加するにつれて、我々の知る多くの物理的な製品はデジタル・エクスペリエンスへと変化する。多くの機械と人の間のやり取りは、機械間のやり取りに取って代われ、また新しい機械と人の間のやり取りが登場する。大多数の機械間通信が不可視になる一方で、機械と人の間の双方向の通信は非常に活発になる（図9を参照）。

このプロセスが進展するにつれて、従来の設計における考え方も発展する。シンプルで透明性の高いデジタル・インターフェースが、既存の物理的なやり取りをスムーズに置き換える必要がある。そして、スマート・デバイスへの依存度が高まるにつれて、こうしたデバイスを障害が発生しない設計にすることが不可欠となる。対象が消費者か企業かを問わず、最も成功するIoTソリューションは、バリュー・プロポジションに説得力があり、極めてシンプルで高い信頼性を備えている必要がある。

図9

大部分のデバイス通信はユーザーにとって透過的となり、ユーザーによるやり取りは簡単かつ容易になる



IoT に対する準備の確認

全産業における企業が、今後 10 年間にわたって IoT によって生じる変革の規模を把握し、その影響に備える必要がある。その目標に向けてエグゼクティブが講じることができる具体的な施策を明確化するには、以下の質問が役立つ。

- IoT に対応する上で、自社ではどの程度のインフラストラクチャーおよび保守関連のコストが予想されるか。
- 現時点の IoT ソリューションのセキュリティはどの程度か。消費者か企業かを問わず、ユーザーのプライバシーは保護されるか。
- 自社のビジネス・モデルは IoT の存続期間を乗り切ることができるか。ビジネス・モデルは、データの販売、分析、ソフトウェア更新、アプリケーションから予想される継続的な収益に基づいているか。
- IoT の登場を受けて形成される新しいデジタル経済において、自社はどのような役割を果たすことができるか。
- 自社には、効率の向上とバリューチェーン全体での協業によって共同でのイノベーションや成長を創出するための機会として、どのようなものが存在するか。
- 自社のスマートな製品やソリューションは、中核となるバリュー・プロポジションを根本から強化すると同時に、シンプルさと信頼性を兼ね備えるように設計されているか。

方法論：2014 IBM Internet of Things Study

我々の調査は、3つの研究要素から構成されていた。これは、IoTにおける拡張性、セキュリティ、効率という複数の課題を扱うためである。IBMの上級研究者と協力し、つながる未来を形づくるテクノロジー、ビジネス・モデル、デザイン・コンセプトについて一から考え直した。

- 技術戦略：我々は低コストで、設計によりプライバシーが担保されたIoTを実現する革新的なリファレンス・アーキテクチャーを開発し、実現可能性を実証するための概念のプロトタイプを作成した。次の段階では、次世代プラットフォームの開発と、機能する製品のプロトタイプを作成するための外部との提携に重点が置かれる。
- ビジネスと経済に関する洞察：我々の研究には、デジタル化による過去の産業の破壊的变化を把握し、IoTによって生じる破壊的变化の主要な方向性を特定するための、事例研究によるアプローチが含まれていた。調査における次の段階では、経済研究所と協働し、これらの破壊的要因が各産業に及ぼす影響を定量化するモデルを作成する。
- 製品およびユーザー・エクスペリエンスの設計：我々は熟練したユーザー・エクスペリエンスの設計者や工業デザイナーと協力し、物理的な製品の有意義なデジタル・エクスペリエンスへの変革を概念化した。次の段階では、こうした原則に関連するアイデアのクラウドソーシングを行い、IoTによる優れた機能的価値を実証する一連のプロトタイプを作成する。

これらの3つの方向性による研究をまとめることで、我々はつながる未来の明確なビジョンと、エグゼクティブがIoTに関する戦略的な決定や投資を行う上での指針となり得る所見を提示している。

変化する世の中に対応するためのパートナー

IBM はお客様と協力して、業界知識と洞察力、先進的な研究およびテクノロジーを組み合わせることで、急速に変化する今日の環境において、お客様が卓越した優位性を発揮することを支援します。

IBM Institute for Business Value

IBM グローバル・ビジネス・サービスの IBM Institute for Business Value は企業経営者の方々に、各業界の重要課題に関して、事実に基づく戦略的な洞察をご提供しています。

詳細情報

IBM Institute for Business Value が今回実施した調査の詳細については、iibv@us.ibm.com までお問い合わせください。Twitter で @BMIBV をフォローください。その他の調査の一覧または毎月発行のニュースレターの購読については、ibm.com/iibv をご覧ください。

IBM Institute for Business Value のエグゼクティブ・レポートをスマートフォンやタブレットから入手することができます。iOS または Android 対応の無料の IBM IBV アプリをアプリ・ストアからダウンロードしてください。

勝者と敗者：デジタルでの成功の秘策

マクロ経済のレベルにおいて、業界によって影響がさまざまに異なるものの、我々は皆、IoT の未来における勝者である。全体としての成長が予想される一方で、収益のプールは保護されず、利益の配分も均一とはならない。しかし、IoT の経済における勝者は、いくつかの共通の特徴を持つであろう。そして、敗者も同様である。

勝者の特徴：

- データに対する直接的な管理を減らす代わりに、低コスト、プライバシー、長期の持続可能性を達成する分散型のピアツーピア・システムを実現する
- 信用とリスクの基準が見直された、物理的な資産やサービスに基づく、効率の高いリアルタイムのデジタル市場に備える
- 大規模なエコシステムや複雑なネットワーク・ソリューションを構築しようとするのではなく、有意義なユーザー・エクスペリエンスを考慮して設計する

敗者の特徴：

- 高コストのインフラストラクチャーへの投資と対応を継続し、また数十年に及ぶ財政負担につながりかねないセキュリティやプライバシーに留意しない
- その価値についての基準がない場合でも、エコシステムやデータの管理に取り組む
- エコシステムを構築しようとするが、創出される価値を見失い、多くの場合、採用の動きを鈍らせソリューションの利用を制限する

著者について

Veena Pureswaran は IBM Institute for Business Value において Global Electronics Industry Leader を務めている。エレクトロニクス産業において 10 年以上のキャリアがあり、製品開発、戦略、マネジメントにおいてリーダーポジションを務めた経験を持つ。

連絡先：vpures@us.ibm.com

Paul Brody は Vice President および IBM Mobile and Internet of Things の North America Leader を務めていた。また、IBM Industry Academy の創設メンバーである。エレクトロニクス産業において 15 年以上のキャリアがあり、サプライチェーン、オペレーション、事業戦略におけるコンサルティングを数多く手がけた経験を持つ。

協力者

John Cohn, IBM Fellow, IBM Corporate Strategy

Peter Finn, Client Architect, IBM Sales and Distribution

Sumabala Nair, Strategy and Analytics Architect, IBM Global Business Services

Sanjay Panikkar, Global SME for Electronics, IBM Global Business Services

Gurvinder Ahluwalia, CTO Cloud Computing, IBM Global Technical Services

Camillo Sassano, Senior Industrial Designer, IBM Software Group

Kevin Schultz, User Experience and Human Factors Designer IBM Software Group

Paula Besterman, Industrial Designer, IBM Software Group

謝辞

本調査のため様々な議論やディスカッションに参加して洞察を提供してくれた下記の皆様のご協力に感謝申し上げます。

Goldman Sachs Global Investment Research (London), Oxford Economics (New York), Samsung Electronics Media Solution Center (Seoul), Jeremie Miller, Vitalik Buterin and Stephan Tual

また、下記の IBM メンバーによる貢献にも感謝いたします。

Nikhil Baxi, Kristin Biron, Richard Brown, Kieran Cannistra, YunJung Chang, Kevin Chiu, Dave Conway-Jones, Angela Finley, Phil Gilbert, Marc Haesen, Aslam Hirani, Spencer Huddleston, Sajina Kandy, David Kravitz, Eric Lesser, Jeb Linton, Joni McDonald, Nader Nabil, Hariprasada Palleti, Naveen Rao and Andy Stanford-Clark

日本語翻訳監修

村澤 賢一 パートナー

日本アイ・ビー・エム株式会社

グローバル・ビジネス・サービス事業

サービス事業統括、IoT サービス

細 和久 理事

日本アイ・ビー・エム株式会社

成長戦略 IoT 事業開発室

北山 浩透 エグゼクティブ・アーキテクト

日本アイ・ビー・エム株式会社

テクニカル・リーダーシップ部門

藤江 義啓

日本アイ・ビー・エム株式会社

東京研究所

ビジネス開発

鮫嶋 茂仁 シニア・マネージング・コンサルタント

日本アイ・ビー・エム株式会社

グローバル・ビジネス・サービス事業

サービス事業統括、IoT サービス

本書は英語版「Device Democracy」の日本語訳として提供されるものです。

脚注および参考文献

- 1 Reimer, Jeremy. Total Share: Personal Computer Market Share 1975-2010. December 7, 2012. <http://jeremyreimer.com/m-item.lsp?i=137>.
- 2 Gartner press release. "Gartner Says the Internet of Things Installed Base Will Grow to 26 Billion Units By 2020." December 12, 2013. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2636073>.
- 3 Triplett, Jack E. "The Solow productivity paradox: what do computers do to productivity?" Brookings Institution. April 1999. The Canadian Journal of Economics. <http://www.jstor.org/discover/10.2307/136425?uid=3739776&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&uid=3739256&sid=21104098246301>.
- 4 Reimer, Jeremy. Total Share: Personal Computer Market Share 1975-2010. December 7, 2012. <http://jeremyreimer.com/m-item.lsp?i=137>.
- 5 Jorgenson, Dale W., Harvard University; Mun Ho, Resources for the Future; and Jon Samuels, Johns Hopkins University. "INFORMATION TECHNOLOGY AND U.S. PRODUCTIVITY GROWTH: Evidence from a Prototype Industry Production Account." November 19, 2010. http://scholar.harvard.edu/files/jorgenson/files/02_jorgenson_ho_samuels19nov20101_2.pdf
- 6 Reimer, Jeremy. Total Share: Personal Computer Market Share 1975-2010. December 7, 2012. <http://jeremyreimer.com/m-item.lsp?i=137>.
- 7 上記文献を参照
- 8 Institute for Business Value 分析.

- 9 Winkler, Rolfe. "What Google gains from Nest Labs: Data Automation at Heart of \$3.2 Billion Deal." Wall Street Journal. January 14, 2014. <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052702303819704579321043556056678>.
- 10 Institute for Business Value 分析.
- 11 NYSE Transactions, Statistics and Data Library. <https://www.nyse.com/data/transactions-statistics-data-library>.
- 12 The count: Social media counts. Personalizemedia. <http://www.personalizemedia.com/the-count/>.
- 13 Gibson, William. "Fresh Air." NPR. August 31, 1993. http://www.notable-quotes.com/g/gibson_william.html
- 14 Maymoukov, Petar and David Mazières. "Kademlia: A Peer-to-peer Information System Based on the XOR Metric." New York University. <http://pdos.csail.mit.edu/~petar/papers/maymoukov-kademlia-lncs.pdf>.
- 15 "A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform." GitHub: ethereum/wiki. <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/%5BEnglish%5D-White-Paper>.
- 16 "Peer to peer rental: The rise of the sharing economy." The Economist. March 9, 2013. <http://www.economist.com/news/leaders/21573104-internet-everything-hire-rise-sharing-economy>.
- 17 Gartner perspective: IT Spending 2010. <http://www.financialexecutives.org/eweb/upload/FEI/Gartner.pdf>.
- 18 Searls, Doc. "Why we need first person technologies on the Net." March 19, 2014. <http://blogs.law.harvard.edu/vrm/2014/03/19/why-we-need-first-person-technologies-on-the-net/>.

© Copyright IBM Corporation 2015

Route 100, Somers, NY 10589

Produced in the United States of America, July 2015

IBM, IBM ロゴ, ibm.com は、世界の多くの国々で登録された International Business Machines Corp. の米国およびその他の国における商標です。他の製品名およびサービス名等はそれぞれ IBM または各社の商標である場合があります。現時点での IBM の商標リストについては、<http://www.ibm.com/legal/us/en/copytrade.shtml> をご覧ください。

当資料の内容は発行日現在のもので、IBM によって随時変更される可能性があります。掲載されている製品・サービスは IBM がビジネスを行っているすべての国・地域でご提供可能なわけではありません。

当資料に掲載されている情報は特定物として現存するままの状態を提供され、第三者の権利の不侵害の保証、商品性の保証、特定目的適合性の保証および法律上の瑕疵担保責任を含むすべての明示もしくは黙示の保証責任なしで提供されています。IBM 製品は、IBM 所定の契約書の条項に基づき保証されます。

当資料は一般的な助言のみを目的としています。当資料は詳細な調査または専門的判断の行使の代替とされることを意図したものではありません。当資料に依拠したことにより組織または個人が被ったいかなる損失についても、IBM は一切の責任を負わないものとします。

当資料に使用されているデータは第三者の情報源から入手したものである場合があり、IBM はかかるデータについて独自に検証、確認または監査を行いません。IBM はかかるデータを利用した結果を「現状のまま」提供し、明示的にも黙示的にも表明保証を行いません。



Please Recycle

