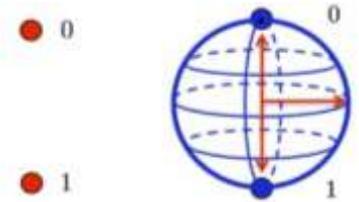


## IoT&AI 「量子コンピュータ」

まえがき

最先端のスパコンが1万年かかる計算を量子コンピュータが200秒で解くことができた Google が発表した。性能はスパコンの15億倍である。2011年に「カナダ D-Wave Systems 社」が商用化して、配送や避難ルートの最適化、新素材・新薬開発、金融ポートフォリオ最適化と投資リスク削減などに利用されている。「短期的に量子コンピュータの応用先として AI で機械学習に取り入れ AI の性能向上や自動運転時代を目前に控えた自動車業界で最も必要とされる技術とされ、量子コンピュータは従来型コンピュータに比べて圧倒的に低コストで運用できエネルギー問題からも注目されている（電力使用量 1/100 の省電力。次世代スパコン「富岳」は1日あたり 3,000 万円の電気代の報告例も）。1年半でコンピュータの性能が2倍になっていく「ムーアの法則」も半導体プロセスの微細化が近く限界になるといわれ、日本でも昨年から産官学で実用化に向けた本格的な世界との開発競争が始まった。

図表1 ビット(bit)と量子ビット(qubit)の違い



### 1 量子コンピュータの仕組み

量子コンピュータは物質を構成する原子や電子など、極微の世界で成り立つ物理法則「量子力学」を応用したものである。従来のコンピュータは「0」と「1」のビットという単位で情報を表して計算するが、0と1の並び方によって膨大な量の計算が必要となる。これに対し、量子コンピュータは0と1のどちらでもある「重ね合わせ」という特殊な状態（『重なり合った状態』：複数の状態を同時に持っている）を利用して計算する。この原理を応用して、従来は難しかった計算が短時間できる。量子コンピュータの基本的な概念は1980年代に登場したが金属を極低温まで冷やす「超電導」と呼ぶ現象などを利用してつくる高度な技術が必要のため実用化が遅れていた。

図表1 量子コンピューター「重ね合わせ」計算



### 2 量子コンピュータの方式

量子コンピュータは量子ゲート方式と量子アニーリング方式の2つがある。両方式とも特徴と課題があり、世界の企業、大学などが具体的な活用法の研究を進めている。商用化ではカナダのベンチャー企業が開発する「量子アニーリング方式」が2011年商用化している。量子ゲート方式は「IBM Q System」が2016年5月からクラウドで無料公開し、現在は14台、80の企業や研究機関、

15万人に以上の研究者が利用している。

D-Wave Systems 社は同社の量子コンピュータに対してリモートアクセスできるサービスを有償で提供している。現在ユーザーが多いのが日本である。D-Wave Systems は 5640 量子ビットの集積度を持つ次世代機（現行製品は

図表3 量子コンピュータの方式・用途

タイプ/特徴	最大ビット数	主な開発機関	用途	備考
量子ゲート 汎用タイプ (万能選手)	53ビット (IBM)	①「IBM Q System」 ②Google ③Microsoft ④理研('18)	①社会インフラ:交通/物流の最適化(高精度な渋滞予測、自動配送・場内自動搬送、自動運転、勤務シフト表) ②IT: AIの性能向上(機械学習に利用)、速度低下しない通信網 ③製造業:新素材や新薬開発・集積回路設計、たんばく質構造解析、化合物探索、画像診断など ④サービス:金融ポートフォリオ最適化と投資リスク削減・メディアテクノロジー(ターゲット広告の配信効果)	①IBM 2016年5月クラウド公開、5~20量子ビット10台、現在商用量子システム群14台。 ②「IBM Q Network」80企業・大学・研究機関(ハーバード・慶大、三菱UFJ、三菱ケミカル・ホンダ・日立金属など15万人以上)のユーザー登録。
量子アニーリング 特化型 (汎用性は高くないが、特化型・組み合わせ最適化問題)	5640ビット (D-Wave)	①「カナダD-Wave Systems社」が2011年に商用化 ②Google (2013年にD-Wave Systems) ③産総研、NEC、日立、富士通、NTT、D-Wave社 対抗	①社会インフラ:交通/物流の最適化(高精度な渋滞予測、自動配送・場内自動搬送、自動運転、勤務シフト表) ②IT: AIの性能向上(機械学習に利用)、速度低下しない通信網 ③製造業:新素材や新薬開発・集積回路設計、たんばく質構造解析、化合物探索、画像診断など ④サービス:金融ポートフォリオ最適化と投資リスク削減・メディアテクノロジー(ターゲット広告の配信効果)	①D-WAVE日本でも利用可。有償。電力現在のスーパーコンピュータの1/100で稼働 ②NASA、東北大、早大、東工大、豊田通商 ③産総研: D-Waveに次いで世界2位マシン製造成功

(注1)量子イジングモデルのなかで量子アニーリング型が実用化

(注2)最大量子ビット数は2019年11月現在。

2048量子ビット)を今年発売している。IBMは「IBM Q Experience」というサービスを2016年から提供している。また同社は2018年5月、慶應義塾大学と連携し、「IBM Q ネットワークハブ」という研究拠点を開設した。極低温で電気抵抗がゼロになる「超電導物質」を利用している IBM Q System One の設計には、厚さ約1.3センチメートルのガラスを使った全辺約2.7メートルのケースが採用されている。

アニーリングマシンを使って現実世界の問題を解くには、その問題を「イジングモデル」と呼ばれる物理学のモデルに変換しておく必要がある。適切に計算を実行するためには、利用するマシンの構造に合わせて、この変換を行わなければならない。このような複雑な前処理が求められることは、ユーザーがアニーリングマシンを利用する際の大きな障壁となっており研究開発が盛んに行われている。

図表4 IBM Q D-Wave 2000Q (カナダ・D-Wave社)



図表5 量子コンピューターによる高速化

量子ビット数	数値の組み合わせ	量子コンピューターによる高速化
2	0&1	2通りを同時計算
10	000……000 &	2 <sup>10</sup> 通りを同時計算 (約1000通り)
20	100……000 &………&	2 <sup>20</sup> 通りを同時計算 (約100万通り)
50	111……111	2 <sup>50</sup> 通りを同時計算 (約1000兆通り)

### 3 量子コンピューターの計算速度は指数関数的に速くなる

計算速度はn量子ビットの場合「2<sup>n</sup>」の状態を同時に超並列計算でき、指数関数的に高速化する(図表5)。最新のIBM Qの53量子ビットの計算速度は通常のコンピュータの約9000兆倍となる。

### 4 量子コンピューターの利用と効果

交通や物流の最適化問題、AIの機械学習、新薬、素材や金融などその驚異的な計算速度を利用して研究開発・実用化されている(図表3)。電力使用量は圧倒的な低減・省電力が見込まれる。

日本郵便が埼玉県の約30の郵便局輸送ルート(3×10の25乗のルート)をスパコンで1千年かかる最適ルートの計算を量子コンピュータは1秒で算出、実際に配送車を8%減とした。23年度には全国日本郵便のルートを見直し、百億円の経済効果を見込んでいる。南海トラフ地震の津波を対象に車両を10か所の高台への避難誘導ケースでは1000~2000の台数でもほぼリアルタイムに使えることがわかった。工場内の無人配送車の検討を行い1割減にした事例なども報告されている。

### あとがき

量子コンピュータは自動運転車や自動配(搬)送車の最適化、AIの機械学習、製薬や素材開発、勤務シフト作成など利用され始めた。利用できるソフトも徐々に増えてきており中小企業での利用はこれから本番となる。クラウド経由で利用できる量子コンピュータソフト開発も活発化しており、これらのソフトの状況を眺めながら自社への導入の可否を検討し人手不足への対応と生産性向上を図りたい。量子コンピュータソフトの開発状況に注目し、併せてAIの活用状況にも注視していきたい。

参考文献 高木剛：暗号と量子コンピュータ，オーム社(2019年8月)。他各社ホームページなど

## <成長戦略> コネクテッド・インダストリー ～トヨタの例 まえがき

自動車産業は100年に1回の大変革を迎えている。クルマの価値は所有から利用（シェアリング）へ移行しようとしている。さらに自動運転や電動化の波は、自動車産業そのものをクルマ産業からモビリティ産業へ変革し、他の産業との強い連携やオープンイノベーションを伴うコネクテッド・インダストリーへの脱皮を促している。我が国の唯一の30兆円企業であるトヨタについて同社を取り巻く環境を見ながら下請け構造の変化からそれらの具体的な動きを俯瞰する。

### 1. クルマ産業からモビリティ産業へ

世界の自動車関連産業の2030年の売上高は8.9兆ドルと予測されている。従来型の新車販売などの割合は現在の75%から6割以下となる。金融・保険も4%低下する。シェアリングエコノミーの進展により世界の新車販売台数の伸びは小さくなり将来的には年間販売台数1.3億台程度で頭打ちになるのではないかと予想されている。自動運転の普及は事故の減少につながり金融・保険の割合は低下する。クルマ産業からモビリティ産業に脱皮し新しいポートフォリオに転換することが求められる。

### 2. モビリティ産業のアーキテクチャ変化～CASEとMaaS

#### 2.1 CASE

IoTやAIの発展、地球環境への対応、交通事故の低減、クルマの所有価値から利用価値への変化などによりこれからのクルマはCASE「つながる・自動運転・シェアリング・電動化」の要素が強く求められる（図表2）。自動車の原動機は地球環境への配慮から脱化石燃料へ、電気自動車などへシフトしようとしている。世界エネルギー機関（IEA）は2030年における電動化率30%を目標とするEV30@30 Scenarioを展開している。

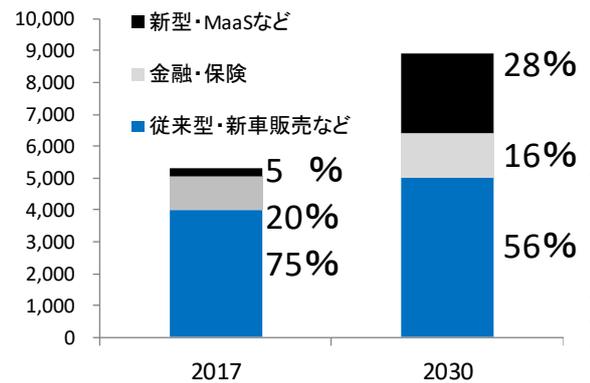
#### 2.2 MaaS（モビリティ・アズ・ア・サービス）

ドア・ツー・ドア（出発地から目的地）のワンストップ・シームレス移動サービスである。観光や飲食を含む移動にかかわるすべての予約・決済まで含む一連のワンストップサービスを提供する（図表3）。

### 3. コネクテッド・インダストリーの動き

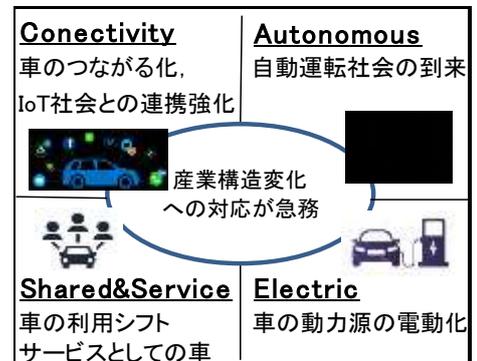
政府はコネクテッド・インダストリーの取組みは自動走行・モビリティ分野を含む重点5分野である。ビジョン（社会的意義）として交通事故の削減、交通渋滞の緩和、環境負荷の低減、分散エネルギーマネジメント、物流を含む移動サービスの拡大を掲げ、関連産業とデータ連携の在り方、AI開発・人材育成の強化、物流等も含むモビリティサービスやEV化の将来像を見据えた取組みを進め

図表1 世界自動車関連市場(売上高10億ドル(Y軸))  
5.3兆ドル(2017) → 8.9兆ドル(2030)

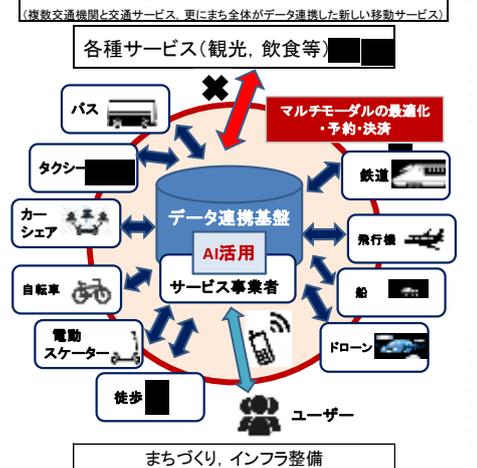


出典: <https://www.strategyand.pwc.com>

図表2 CASEのイメージ図



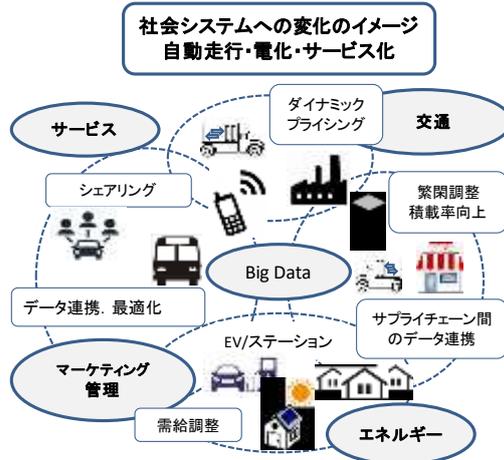
図表3 MaaSイメージ図



ている (図表 4).

CASE, MaaS やコネクテッド・インダストリーの動きは社会の要請であり、企業はこれに向かって変化していかなければならない (図表 5).

図表4 自動車関連コネクテッドインダストリー



図表5 自動車モビリティ産業の事業ポートフォリオ

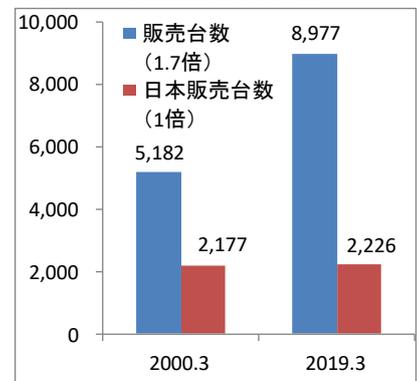
モビリティサービス	MaaS モビリティに関する さまざまな	移動回数/ ユーザー
コネクテッドサービス	フィフススクリーンサービス デジタル・ライフのインターフェース 自動運転サービス	サービス毎の アクティブユー ザー数
金融サービス	車両管理	保険契約 変更率
アフターサービス	保険 金融 部品 保守	部品の正味 利益率
車両	軽車両 商用車	平均売価
製品/サービス	購入 リース 定額制 レンタル シェアリング/ ヘイリング	KPIの例

車両所有モデル(B2C)  
  従来の要素   新しい要素  
 出典: <https://www.strategyandpwc.com> をもとに筆者作成  
 用語 MaaS: Mobility as a Service(マース) KPI: 主要業績評価指標  
 シェアリング: 相乗り ヘイリング: 配車サービス(ウーバーなどの)

#### 4. トヨタの販売高・売上高

2019年3月期の販売台数は898万台で2000年から1.7倍の伸びである。同期間の国内の販売台数は横ばいで国内販売台数のシェアは全体の42%から25%に低下している。2019年3月期の売上高は30兆円で2000年の2.4倍である。台数の伸びは1.7倍であるので高価格帯の車種が伸びていることがわかる。当期純利益率は3%から8%に伸びている。

図表6 トヨタ販売台数(千台)

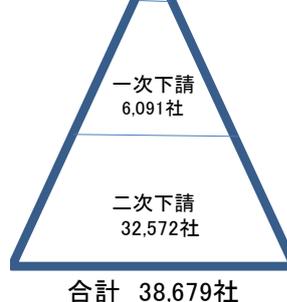


#### 5. トヨタ自動車の下請構造の変化

##### 5.1 生産体制・一次下請・二次下請

帝国データバンク(「トヨタ自動車グループ」下請企業調査(2019年))によると、トヨタの生産体制は関連会社16社、一次下請6,091社、二次下請32,572社、合計38,679社である。一次下請と二次下請の比率は1:5である。2014年調査と2019年の下請社数は一次下請1.23倍、二次下請1.34倍で二次下請の伸びが大きい。

図表8 トヨタ自動車の生産体制  
関連会社16社



##### 5.2 業種別

###### (1) 一次下請の業種別社数

1位は受託開発ソフトウェアの267社である。伸び率は1位労働者派遣業1.7倍、2位他事業サービス1.6倍、3位受託開発ソフトウェア1.4倍である。

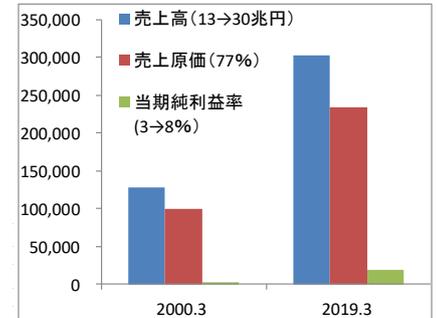
###### (2) 二次下請

受託開発ソフトウェアは1,340社で1位、伸び率も1.8倍で最高である。

###### (3) 委託先売上高

委託先の売上高は1億円未満17%(2014年は14%)、1~10億円55%、

図表7 トヨタ売上高・利益(億円)



図表9 トヨタ一次・二次下請社数



10億円未満が72%を占めている。愛知以外の下請も多く（東京・神奈川・埼玉で28%）全国中小企業者の参入機会が多いと考えられる。

## 6.まとめ

一次下請業種別は「受託開発ソフトウェア」が社数トップ。2014年の調査開始以降で初めて「自動車部分品・付属品製造」を上回る。

最近のトヨタアニュアルレポートによると100年に一度の大変革の時代を生き抜くために“Mobility for All”をコンセプトに車・路/社会・街/人につながるコネクティッド社会を自らプラットフォームとなり、異業種連携を加速しながら進めている。

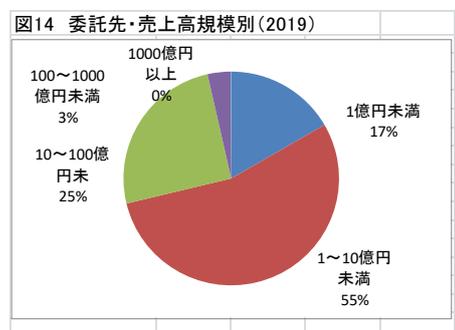
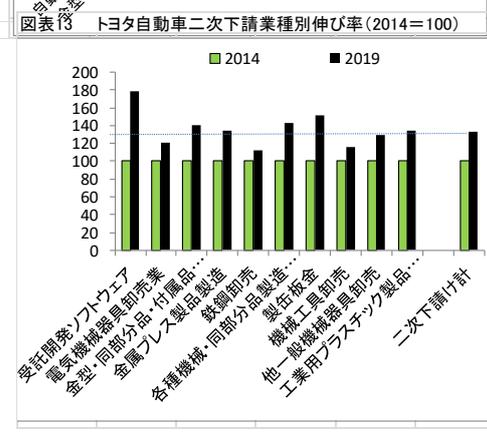
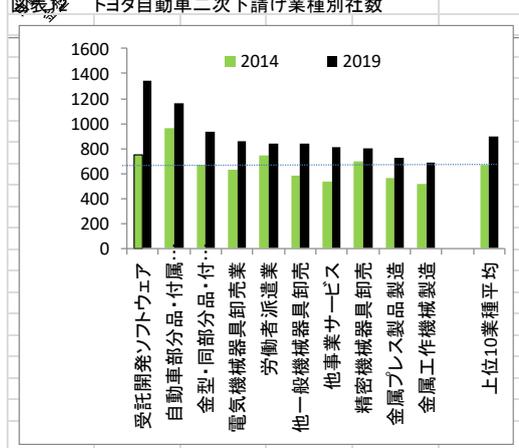
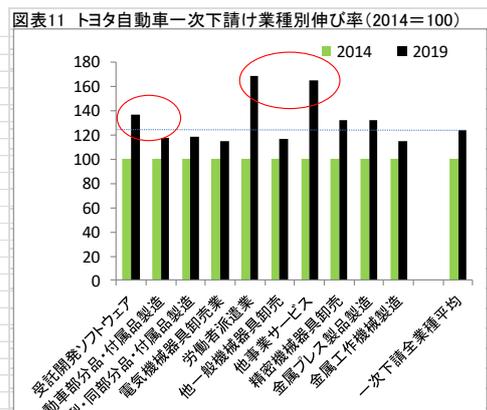
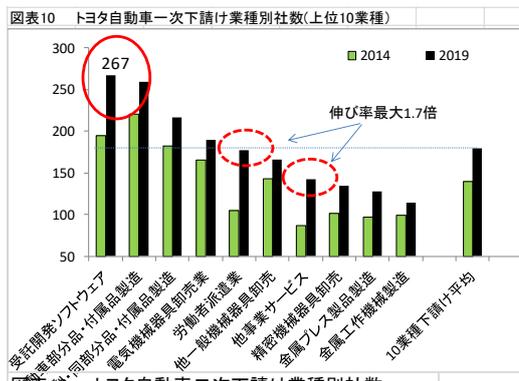
SDGs（持続的成長）への対応は2050年新車CO2ゼロに向けて電動車普及や交通死傷者低減に向けチャレンジをしている。2030年の電動車550万台生産が具体的な目標である。人を鍛え、クルマを鍛え“「コネクティッド」「自動運転」「電動化」で広がる”、自由、安心、心ときめくスマートモビリティ社会目指している。これらのトヨタの動きは下請の業種の最近の変化からも読み取れる。

あとがき

自動車産業をとりまくCASEやMaaSの動きは激しい。トヨタはこれらを危機から機会として捉え展開している。クルマの世界では電気自動車や燃料電池車（MIRAI）などが勝負である。モビリティ産業のリーダーとしてGAFと互角に戦い、コネクティッド社会を自らプラットフォームとなり、さらにロボット、2029年に予定している燃料電池搭載有人圧ローバ（写真）による月面探査などを含めてさらに発展を期待したい（図表15）。

わが社がトヨタの下請として参加することも可能性大である。

<文責 西 満幸>



**図15 Mobility for All** クルマ・ロボット

- ・ オフィス・ライドシェア・カーシェア・物販・宿泊・食堂・移動病院
- ・ 遠隔操作ロボット・テレイグジスタンス・介護

おはよう！カーテン開けるね！水とって！

