

ポスト・コロナで急成長するIoTインダストリー・エコシステム

創発戦略センター シニアスペシャリスト 木通 秀樹
創発戦略センター シニアマネジャー 王 婷

目 次

1. 瞬く間に市場投入された革新的コロナテック
 - (1) 世界中を駆け回る配送ロボット
 - (2) 検査機能を高めた感染検査ロボット
 - (3) リモート診療を可能にしたXR医療、AI医療
 - (4) あらゆる国で普及したトレーシングシステム
 - (5) 常態化したテレワーク、オンライン授業
 - (6) 感染回避のためのスマートビルディング
 - (7) 自動化が加速する工場
 - (8) 多品種少量生産を実現するAdditive Manufacturing

2. コロナテックを支えた技術構造
 - (1) 発展した技術を構成するコア技術の進化のシナリオ
 - (2) インテリジェントモジュール化が生み出す技術革新

3. IoTの新たな産業構造
 - (1) シリコンバレー型のIT産業とエコシステム
 - (2) コストダウンと迅速な製品供給を実現した産業構造
 - (3) モノづくり基盤と一体化したIT産業

4. ポスト・コロナで進むIoTインダストリー・エコシステム
 - (1) アジャイル化を生み出すIoTインダストリー・エコシステム
 - (2) わが国におけるIoTインダストリー・エコシステム構築に向けた提言

要 約

1. 新型コロナで、私たちの生活、仕事の方法、社会の在り方などが大きく変化した。この間、世界中で、「自動配送ロボット」、「検査ロボット」、「リモート医療」、「トレーシングシステム」、「テレワーク、オンライン授業」、「スマートビルディング」、「工場自動化」、「Additive Manufacturing」、などが相次いで世に出た。ここで注目されるのは、2、3カ月という短い期間で、いわゆるコロナテックが出現したことである。
2. 短期間でコロナテックが急速に市場投入された背景には、複数のコア技術の急速な進化がある。具体的には、①製品や周辺環境のデータを取得するセンサー技術、②データを分析してアクションを決める演算分析技術、③アクションを実装する駆動技術、④基地局と端末、端末間などの通信技術、⑤各種の情報を使いやすい形で授受するHMI技術、である。いずれも、デジタルデータとハードウェアを組み合わせるIoTに欠かせない技術である。
3. 近年、これらの技術が急速な発展を遂げた背景にはコア技術の基盤となる半導体技術の進化があった。これにより、高度で複雑な製品のレベルで実施されてきたモノづくりの革新が、小型マイコンチップの高性能化と低価格化によって、モーターや電池などの部品レベルでも実現できるようになった。こうした革新を担う「インテリジェントモジュール」を用いることで、部品単位での自律的な調整が可能になり、摺り合せが簡素化して短納期化、開発コスト削減、市場ニーズへの対応力向上を実現した。
4. 革新技術の進化とインテリジェントモジュールによるコロナテックの誕生を後押ししたのが、IoTプロダクトを迅速かつ柔軟に開発、生産するためのエコシステムである。その代表例に深圳がある。深圳は、新しい発展モデルを模索し、シリコンバレーに学びプラットフォームとなる研究機関整備、人材誘因政策、金融政策によってインキュベーションのエコシステム構築の施策を取った。また、企画、設計を機能分離し、オープンな部品クラスターを形成した。こうした体制がシリコンバレーのITと深圳の製造業の基盤を連携させることにつながった。
5. IoTインダストリーのエコシステムと従来の大企業を頂点としたバリューチェーンを比較すると、①市場ニーズを捉えて企画する主体の多重性、②製品の設計、仕様の決定構造、③生産機能の管理体制、④サプライチェーンの開放性、⑤影響力の源泉、などの面で大きく異なる。こうしたIoTのエコシステムは、シリコンバレーでITのプラットフォームによってエコシステムを形成したのと同様に、ハードウェアとITによるIoTのプラットフォームを形成する。
6. 今後一層重要となるIoT市場の覇権に日本企業が食い込むために、三つの方策を提言する。一つ目は、日本の市場で多様なニーズを掘り起こすインテリジェントモジュールの新産業クラスターを創出することである。二つ目は、日本市場に合った企画設計企業の育成を進めることである。企画設計企業は、市場ニーズ把握力を中心として、先進技術と汎用技術のインテグレーション力などを獲得する

必要がある。三つ目は、柔軟な組み立てクラスターを形成して、エコシステムから最終的に製品を生み出すための組立・生産を行うことである。

7. IoTと結び付いたメカニクスに新たな市場が生まれる。こうした市場の変化を捉え、差別化された組立・生産、企画設計、高品質の要素技術を活用したインテリジェントモジュールなど、日本が独自の強みを生かした高い競争力を持つ日本版のIoTインダストリー・エコシステムを形成することが求められる。

1. 瞬く間に市場投入された革新的コロナテック

新型コロナで、私たちの生活、仕事の方法、社会の在り方などが大きく変化した。この間、世界中で、無人物流、自動運転タクシー、ネット消費、オンライン検診、移動経路を特定する位置システムなどが相次いで世に出た。アメリカのある技術系ネットを検索すると、コロナ対応の技術が1,000種類に整理されている。ここで注目されるのは、コロナ対応のために2、3カ月という短い期間で、市場ニーズを踏まえてこれだけのバリエーションの製品、いわゆるコロナテックが出現したことである。幾つかのヒット商品を紹介しよう。

(1) 世界中を駆け回る配送ロボット

新型コロナが猛威を振るうなか、感染地域で必要な物資を行き渡らせるため、自動運転の配達ロボットが活躍した。病院やホテルなどでの医療物資や薬、食事の配送、ゴミ収集など、様々な用途に対応できる配送ロボットが登場した。配送ロボットに活用されているのは、近接センサーやカメラ、ミリ波レーダーを用い、地図情報や周辺の建物、GPSなどから自己位置推定を行って自律的に走行する自動運転などの技術である。

配送ロボットを改装して、消毒用ロボット、パトロール用ロボットになったケースもある。隔離用のホテルでの食事配送用のロボットには、自律的にエレベーターに乗り降りし、利用者に電話でコミュニケーションするなどの機能が追加された。

(2) 検査機能を高めた感染検査ロボット

新型コロナの影響で、体温測定ニーズが爆発的に増え、赤外線建物に入る人の体温を瞬時に計測、表示する機器が建物の入り口に設置された。自走して体温を検査したり、マスクを正しくつけているかどうかを確認し、データをリアルタイムで遠隔監視装置に送ることができるロボットも開発された。これらの機器には、非接触で体温を計測できる高精度赤外線温度計測技術、マスクを着けていない人を自動的に検知する顔認識技術、5Gによる高速通信技術などが使われている。

中国では、移動している人の体温測定ロボットが開発された。元々自動配送用に開発された小型車に体温検査の機能とマスクの装着状況を確認する機能を付加した製品である。学校の構内、駅前や広場などで、広範囲に移動する人を検温し、5Gネットワークを通じて、データを遠隔監視装置に表示する。

(3) リモート診療を可能にしたXR医療、AI医療

新型コロナ初期、医療現場の負担を減らすため、罹患の有無を迅速かつ正確に診断するニーズが高まった。世界各地で患者のCT画像やX線付画像に基づきリモートで診断できるシステムが開発された。ここでは、クラウドコンピュータビジョンなどのAI技術と、数秒間で定量化診断結果を出す画像解析技術が使われている。

この診断システムを利用すれば、数十秒で診断時間の短縮ができる。正解率も高く、アメリカでは98.02%に達するという。また、このシステムを生かし、複数回の検査画像データを解析すれば、疾患の進行や薬剤の使用状況を効果的に評価することができるため、薬の開発への応用にも挑戦していると

いう。

(4) あらゆる国で普及したトレーシングシステム

新型コロナの感染者数と個人の活動経路を把握するため、各国でトレーシングシステムが導入された。プライバシー保護の観点から、各国のトレーシングシステムの仕様はまちまちである。電話の利用やトレーシングのルートを記録、申告するシステムを使う国が多いが、中国では大手通信会社と大手インターネット会社を中心となり大々的なトレーシングシステムが開発された。6月中旬、連続50数日感染者ゼロの北京で新たに集団感染が発覚した際に感染が1カ月も経たずに抑え込まれたのは、こうしたシステムで感染源と感染者およびその関係者を早期に特定できたことが理由といわれている。

ここでは、衛星（GPS）、基地局、Wi-Fi、AGPSなどの位置特定ツールに加え、短距離高速通信、ビッグデータ解析を生かした個人や荷物等の位置を追跡する技術が使われている。

(5) 常態化したテレワーク、オンライン授業

新型コロナ対策の一環として、世界中の多くの企業や学校がテレワークやオンライン授業を採用している。レノボ日本が2020年3月に日本、アメリカ、イタリア、ドイツ、中国の5カ国の企業を対象に実施した調査によると、46%の企業がリモートワークを奨励し、26%の企業がテレワークを必須としている。また多くの企業においてポスト・コロナでもテレワークを中心とした仕事スタイルが増えると予測している。

ここでは、ライブ動画ストリーミング技術、コンテンツ配信ネットワーク技術など、高速リモートビデオ通話技術が利用されている。

アメリカUC Todayによると、コロナの影響でテレワークとオンライン授業システムの設備を提供する企業の業績が大きく伸びた。Zoom video conferencing platformは最も代表的で、株価が年初の60ドルから500ドルに上昇した。

(6) 感染回避のためのスマートビルディング

新型コロナにより、いかに物に接触せず生活できるか、がキーワードとなった。ここでは、非接触で照明等の操作ができる遠隔操作技術、家電等とのコミュニケーション技術が使われた。

例えば、中国やインドでは緊急事態期間中に可視化AI音声感知エレベーターが導入された。インドで開発されたAI感知パネルを使えば、既存のエレベーターにAI感知パネルを外付けして簡単に非接触利用を実現できる。同様の製品が病院、ショッピングモール、ホテル、オフィスビルなどに広く設置されている。

(7) 自動化が加速する工場

新型コロナにより、労働者が工場に戻ることができず、雇用難と人件費高騰の問題に直面したことで、多くの企業が自動化に取り組んだ。ここで使われているのは、生産ラインの高度自律化技術、工業用ロボット、AIを使って生産状況、設備の稼働状況、稼働品質などを予測するデジタルツインなどである。

アメリカでは、研究機関が2030年までにアメリカの雇用の最大30%が自動化されると予測しており、世界経済フォーラム（WEF）は、自動化に起因する新しい職業が2020年から2022年の間に世界中で610万人の雇用を生み出す可能性がある」と推定している。

(8) 多品種少量生産を実現するAdditive Manufacturing

新型コロナに対応するためには、大量のゴーグルやマスク、体温計、防護服などの医療安全用品が必要になる。大量生産のためのラインを整備する時間がないため、様々な製品を小ロットで製造ができるAdditive Manufacturingが活躍した。ここで利用されているのは、デジタルモデルファイルをベースに、粉末金属やプラスチックなどの接着性材料で様々なものを作る3Dプリンター技術である。また、並行生産の効率化、大量生産のニーズにも対応するため、データモデル共有やクラウドマニュファクチャリングプラットフォームといった技術も利用された。

3Dプリント技術を利用すれば、隔離部屋、医療用眼鏡、手持ち検温機なども迅速に製造できる。欧米では、ポスト・コロナで成長するビッグテクノロジーは3Dプリンター技術だろうといわれている。

2. コロナテックを支えた技術構造

(1) 発展した技術を構成するコア技術の進化のシナリオ

わずか2、3カ月の間でコロナテックが市場投入された背景には、複数のコア技術の急速な進化がある（図表1）。具体的には、①製品や周辺環境のデータを取得するセンサー技術、②データを分析してアクションを決める演算分析技術、③アクションを実装する駆動技術、④基地局と端末、端末間などの

（図表1）発展した技術のコア技術の整理

		コア技術				
		①センサー	②演算分析	③駆動	④通信	⑤HMI
発展した技術	(1)自動運転台車技術	近接、画像等のセンサー、ミリ波レーダー等	地図情報との照合、自己位置推定等	低コスト高精度なモーター、電池等	高速無線通信、GPS等	利用者への自動通知等
	(2)非接触感染検査技術	非接触赤外線計測、画像センサー等	顔認証、温度分析、顔解析の現地処理等		高速無線通信等	
	(3)リモート診断技術	画像センサー等	AIを用いたクラウド画像解析、診断等			診断結果、画像分析結果提示等
	(4)人位置追跡技術	衛星受信機（GPS、AGPS）等	多数の人位置、距離推定、ビッグデータ解析等	位置特定携帯端末等	短距離無線通信（Bluetooth）、高速無線通信等	利用者への自動通知等
	(5)テレワーク・授業	画像センサー等	大人数での高速リモートビデオ対話等		高速通信等	XRインターフェース等
	(6)スマートハウス	非接触接点、近接センサー、音声受信等	遠隔操作、家電制御、コミュニケーション等	家電ロボットの低コストモーター、電池等		家、家電とのインターフェース等
	(7)スマートファクトリー	各種設備センサー、スマートモーター	生産計画最適化、デジタルツイン予測管理等	AGV等向け低コストモーター、電池等	工場内の高セキュリティ無線LAN等	サプライチェーンの高度管理等
	(8) Additive Manufacturing	3D計測等	3Dクラウドマニュファクチャリングプラットフォーム等	粉末材料等の加工の高精度低コストモーター等		3Dデザインツール等

（資料）日本総合研究所作成

通信技術、⑤各種の情報を使いやすい形で授受するHMI（Human Machine Interface）技術、である。

いずれも、デジタルデータとハードウェアを組み合わせるIoTに欠かせない技術である。スマートフォンなどの大規模な市場で高性能化、低価格化が進んだものがコロナテックに使われたことが分かる。これらの技術は近年、以下のような形で急速な発展を遂げた。背景にはコア技術の基盤となる技術の進化のトレンドがある。

① センサー技術

画像センサー、レーザー距離計（LiDAR）、姿勢や加速度センサー等が代表的な技術である。画像センサーの発展を牽引するのはCMOSである。スマートフォン向けに小型化、高性能化、低コスト化が進み、2015年になると、半導体の製造技術の進化に伴い、4Kクラスの画像センサーが1,000円程度で買えるようになった。

LiDARは演算チップのSoC（System on a chip）化によって2018年に価格が半減した。同じ年、レーザー光の方向を微妙に動かして反射光の到達時間から正面の障害物等の位置と形状を認識するために使われる半導体の表面に微細加工で作られた鏡を精密に動かすMEMS技術が開発された。この技術を用いればコストは50分の1～100分の1まで下がるといわれる。

最近では天候による輝度の影響を抑制するために、CMOSの可視光とミリ波レーダーを最適に組み合わせる技術も開発されている。

姿勢・加速度センサーは、2010年代初めのMEMSの精度向上、2010年代半ばにはSoCの高度化により、複数のジャイロと6軸加速度、それらを制御するマイコンをワンチップ化してIMU（Inertial Measurement Unit）に集約された。

② 演算分析技術

高速シングルボードコンピュータ、GPUサーバーなどが代表的な技術である。シングルボードコンピュータには、ラズベリーパイ、Jetsonなどがある。ラズベリーパイは、数千円でパソコン並みの性能が得られる名刺サイズの組み込みコンピュータである。2014年に32bit型が発売開始し、2016年には64bit化された。2014年に出荷台数は400万台であったが、2017年以降急増し、2019年には4,000万台に達した。Jetsonも同様のサイズの組み込みコンピュータで、GPUを搭載してAIの学習のような負荷の大きな演算もできる。2014年に発売され、2017年頃には普及が加速した。

サーバーについては、2000年代、分散処理による超並列化でAIによる学習が可能となった後、安価な並列処理が可能なGPUが導入され、クラウドサービスが普及した。2010年代になると技術進化は停滞するが、2015年にIoTプラットフォームとして拡張することで再び性能が向上した。

③ 駆動技術

モーター、電池等が代表的な技術である。2000年代後半から、電動バイクなどの市場が拡大し、DCブラシレスモーターなどのコストが低下した。DCブラシレスモーターは、2016年頃には高機能マイコン組み込み型が普及し、小型化、高性能化が進んだ。1個数十円で入手でき、高度制御を可能とする

32bit汎用マイコンが、DCブラシレスモーターの構造を簡素化し、性能が飛躍的に向上した。

モーターの動力源にはリチウムイオン電池が用いられることが多い。2015年頃に電池のセルバランス、プロテクトなどに使われるマイコンの価格が低下し、バッテリー制御の高度化と電池のコストダウンが進んだ。2017年になると複数のマイコンを統合して大型の電池制御を一体的に実施できるようになりコストがさらに低下した。この結果、小型車両などに用いる大型電池が普及し、ロボット、ドローンなど様々な移動物体の普及が進んだ。

④ 通信技術

Bluetoothが代表的な技術である。通信用マイコンの高性能化によって、2016年にBluetooth 5.0が市場投入され、通信速度、範囲、通信量の性能が飛躍的に上がり、機器間の通信によるメッシュネットワークが可能になった。これにより、周辺のスマートフォンの相対的な位置情報を把握できるようになった。2017年にはiPhone8などにBluetooth 5.0が採用され、2019年末にはスマートフォンの70%程度に普及した。こうしたタイミングにコロナ禍が発生し、接触者の位置情報が計測できるようになった。

⑤ XRインターフェース

AR、VRなどが代表的な技術である。1980年代に製品化されていたが、画像の粗さ等の品質の問題で普及しなかった。2015年にQualcommのSoC Snapdragon820シリーズが登場すると、VRがハイビジョン並みの品質を実現して普及し始め、Oculus GoなどVRゴーグルの市場が拡大した。

以上のように、コロナテックを支える代表的なコア技術は、2010年代中頃に性能を飛躍的に向上させる基盤技術が登場したことで大きな進化を遂げた。こうした技術の同時多発的進化の底流には半導体技術の進化がある。2015年前後に64bitの導入が始まり、高度制御が可能な32bitマイコンの多機能集積化、汎用化、低価格化が加速した。この時期に半導体設計、製造技術の高度化と汎用化、SoC製造装置の普及による大幅なコストダウンが実現し、IoTを構成するほとんどの技術が大きく進化したのである。

(2) インテリジェントモジュール化が生み出す技術革新

コロナ禍で起こったのは半導体技術の進化を基盤とするハードウェアモジュールの革新と言える。従来、ハードウェアモジュールの機能は複雑な機械構造により実現されていた。これに対し、コロナテックの機能は、高性能、低価格化したマイコンチップにより制御されたモーター、電池、LiDARなどと簡素化したハードウェアにより実現されている。「デジタル制御を前提としたモノづくり」が製品の低コスト、高機能化を実現したのである。

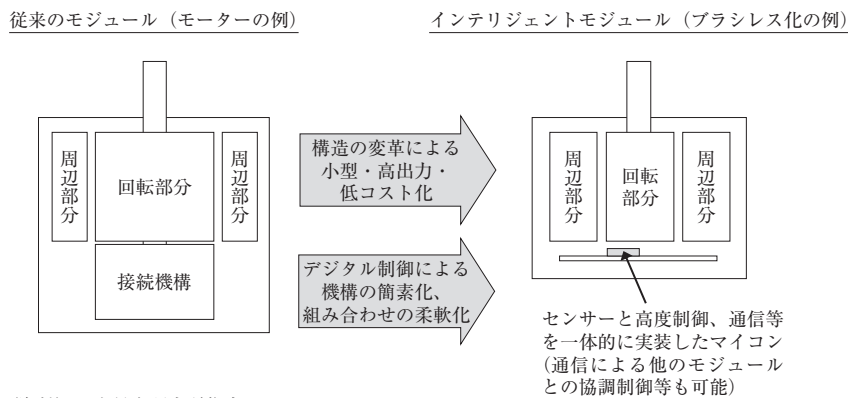
デジタル制御によるモノづくりの思想の起源は古く、1970年代のCCV (Control Configured Vehicle) などの開発にまでさかのぼる。従来の飛行機が大きな翼で安定して飛行することを追求したのに対し、小さく簡易な翼で不安定な構造のCCVは、翼を動かすことで安定性を追求した。このように、構造重視から制御重視に設計思想が移行することで、ハードウェアの製造が簡易になったうえ、ソフトウェアで様々な特性を組み込むことができるようになった。

飛行機のような高度で複雑な製品のレベルで実施されてきたモノづくりの革新が、マイコンチップの小型化、高性能化と低価格化によって、モーターや電池などの部品レベルでも実現できるようになった。こうした革新を支えた部品を、従来のモジュールと区別して、インテリジェントモジュールと呼ぶ。

1990年代にパソコンや家電の生産が水平分業された際に、複数部品を一体化した初期のモジュールが普及した。インテリジェントモジュールは、従来のモジュールにマイコンチップが組み込まれ、ハードウェアが簡素化、低コスト化し、ソフトウェアによる組み合わせにより機能が多様化した高度モジュールと捉えることができる（図表2）。

例えば、ブラシレスDCモーターは、小型化と製造プロセスの簡素化による製造工数と人件費の削減により、大幅なコストダウンを実現した。

（図表2）インテリジェントモジュールの構造とアドバンテージ（モーターの例）



インテリジェントモジュールは製品づくりにおける擦り合わせ工程を大幅削減する。組み合わせが単純になるうえ、デジタル制御によって微調整が可能になるからである。

例えば、ドローンは、複合画像などのセンサー、モーター、電池などのインテリジェントモジュールの集合体である。ドローンのセンサー、電池、モーターは自律的に制御されるが、四つのモーターを協調することもできる。こうなると、取り付け角度やモーターの個々の性能が異なっても、協調制御でずれを吸収して安定的に水平を保つことができる。結果として部品の特性考慮や取り付けの工夫などの工数が大幅に低減し、製品の迅速な市場投入が可能になる。市場投入の周期が短縮すると、トライ&エラーの回数が増加し、技術進化の速度が高まる。また、短納期化が実現し、機種当たりの開発コストが低下すると市場ニーズへの対応力が向上する。これによって、マスマーケティング情報を基に開発されてきた従来型の製品に比べ、個別のユーザーの嗜好にあった様々な製品を早期に市場投入できるようになる。こうして、従来の大量生産型の生産ラインに比べて市場競争力が飛躍的に高まることになる。

コロナテックは、こうしたIoT化されたインテリジェントモジュールによる製造業の構造転換が進んでいることを示している。

3. IoTの新たな産業構造

革新技術の進化とインテリジェントモジュールによるコロナテックの誕生を後押ししたのが、IoTプロダクトを迅速かつ柔軟に開発、生産するためのエコシステムである。そうした産業構造を顕著な形で見ることができるのが深圳である。

(1) シリコンバレー型のIT産業とエコシステム

2000年以後、深圳は新たな発展を模索して、ハイテク産業とインキュベーションに注力した。市政府はシリコンバレーの成功経験に学びインキュベーションのエコシステム構築のための施策を講じた。

その一つが、深圳市政府と清華大学の半々出資により設立されたインキュベーションプラットフォーム、清華大学深圳高等院である。その後、中国科学院をはじめ、北京大学、香港中文大学など中国の代表的な大学が相次いで誘致された。技術の社会実装を目指し、大学院運営に口を出さないとした市政府の姿勢によって優秀な人材が誘引されたとされる。

さらに、海外から優秀な人材を招くために、研究支援金、生活補助金などの支援策を策定した。代表的なのは、2010年からスタートした「孔雀計画」である。こうして招かれた人材は、海外の技術、資金などを深圳に取り込み、ハイテクとインキュベーションのエコシステム構築を進めた。

金融基盤や財政支援も強化した。投資ファンドを誘致すると共に、政府主導のファンドの設立や投資会社の税制優遇などを行った。1998年、深圳市政府が5億元、民間企業が2億元を出資し深圳創新投資有限公司が設立された。傘下に、商業化基金、中外協力基金などを新たにつくり、アーリーステージからIPO直前まで、ハイテク企業の成長段階に合わせて資金的にサポートできる体制を構築した。その後、シリコンバレーを含め、海外の投資ファンドが多く深圳で立地し、商品開発、技術の社会実装を進めた。

こうした取り組みによりITと元来の製造業が連携し、2010年以後にシリコンバレーとの連携も強まったことで深圳は「ハードウェアのシリコンバレー」といわれるようになった。

(2) コストダウンと迅速な製品供給を実現した産業構造

深圳の産業基盤の特長の一つは安い人件費だったが、2000年以後コストが上昇し危機にさらされた。製造工場が周辺に移転したことで、珠海、深圳、東莞、惠州で製造のサプライチェーンを形成され、深圳は開発、設計、デザインに注力するようになった。

広東省の製造業は細かい分野に特化することで特定の製品のコスト競争力や品質の向上を図ることが特徴である。例えば、公板と呼ばれる電子基板の組み合わせに特化した企業群が生まれ、OPPOにもVIVOにもスマートフォンの部品を供給するしカスタマイズもする、というオープンでモジュラーな産業構造ができた。

2010年にSoCが使われるようになると、高度な公板開発を行う企業と、それを使いこなして迅速に製品開発を行うIDH (Independent Design House) が登場した。IDHは、ICメーカーからモジュール企業の橋渡し役となるだけでなく、ICメーカーのチップをベースにプラットフォームやソリューションを開発し、モジュールの開発と製品の迅速な市場投入のための環境を提供するようになった。

また、多くのOEM企業がIDHから依頼を受けて調達と組み立てを担っている。IDHは、こうした企

業との連携により製品の企画、適切な部品やソフトウェアの選定・調達、安価な製品供給が可能になる。

(3) モノづくり基盤と一体化したIT産業

深圳の「軟件園」（ソフト開発園区）にはソフト開発産業が集積している。華為、テンセント、中興、DJIなど代表的なIT企業の周辺にはこれらの企業と取引する多数のソフト開発企業がある。2019年に売上高が億元以上を実現したIT関連企業は367社に達する。こうした産業群が製造業との取引を通じて、ハードとソフトが組み合わさったIoT製品や組み込み製品を開発している。並行して特定の分野に事業資源を集中してきた企業が、IoTモジュールの開発を加速することになった。

2010年以後、欧米のインキュベーション企業が深圳に拠点を構えオープンソースのソフトウェアとハードウェア開発プラットフォームを導入したことで、地元企業との協働が進んだ。その結果、ここ10年で組み込み式の開発のコストダウンが実現し、品質もよく、低コストのIoT製品が生産されるようになった。

ドローン産業は深圳の産業構造の成果といえる。市の南部には、数多くの創意園やハイテク園区があり新しい製品の開発と製造を担っている。そこではインキュベーターがデザイナー、生産者、融資プラットフォームなどと連携してスタートアップ企業にデザイン、プロトタイピング、資金調達、市場開拓、生産基盤を提供している。

深圳市には社名にドローンを付ける企業が600社ぐらいあり、設計や開発に注力する一方、北側の東莞市のドローン協会には2,000社が加盟し低コストの生産を担っている。こうした機能分担が学習用から農業用、計測用など多分野の用途向けのドローン開発を可能にしている。

4. ポスト・コロナで進むIoTインダストリー・エコシステム

(1) アジャイル化を生み出すIoTインダストリー・エコシステム

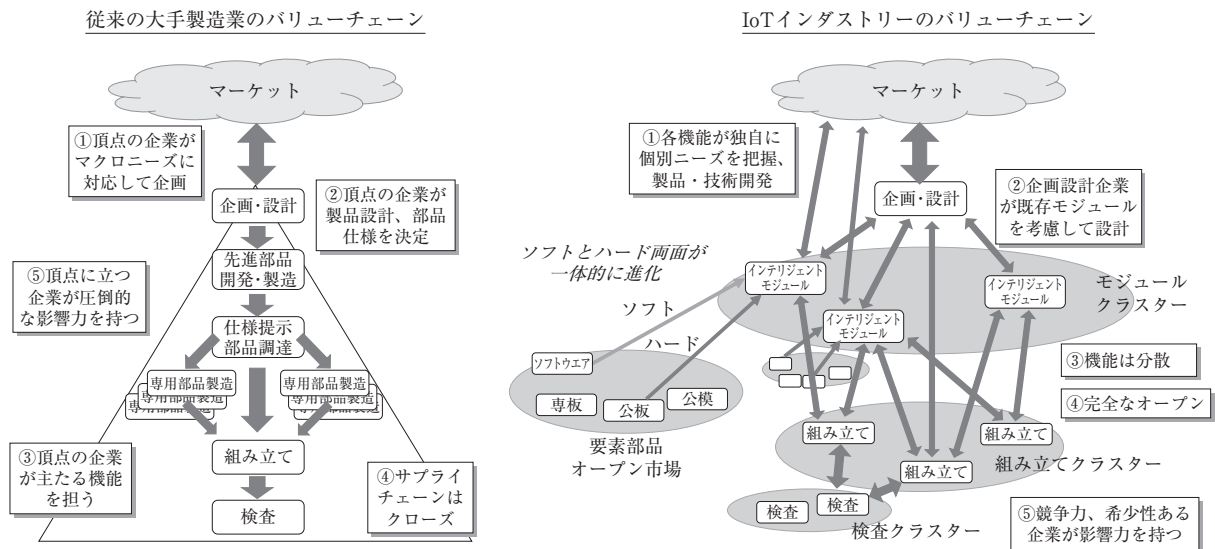
ここまで述べたコロナテックの背景にある技術革新のトレンドと深圳におけるIoT関連企業の活動形態から、コロナテックに代表されるIoT製品を迅速、低コスト、かつ豊富なバリエーションで展開するためには、IoT製品の開発、生産にかかわる多数の機能を担う企業が各々強みをいかし、独自の判断に基づき、柔軟に連携する、IoTインダストリー・エコシステムともいえる産業形態が必要であることを想定することができる。

こうしたIoTインダストリー・エコシステムと従来の大企業を頂点としたバリューチェーンを比較すると以下のような違いが見て取れる（図表3）。

従来の大手製造業のバリューチェーンの構造は下記のような傾向がある。

- ①市場ニーズは、垂直統合されたピラミッドの頂点に立つ大企業の企画部門によって捉えられ、製品の企画に反映される。少品種大量の製品を生産する際に、企画と生産の機能を分離し各工程の効率性と信頼性を高めるために構築されたものと考えられている。一方で、大企業が企画から資材や部品の調達の機能をカバーすることで下流にある企業の企画力は低下した。また、ピラミッドの大規模化に伴って、先進技術の開発を含む新製品の開発費が大きくなり、それを負担できる大企業への開発（力）の依存度が高まった。

(図表3) 従来の大企業とIoTインダストリーのバリューチェーン比較



(資料) 日本総合研究所作成

- ②製品の主たる設計・仕様は、頂点に立つ大企業が決定する。大企業が自身で調査した市場ニーズに対応した企画に基づき、これまた自身で捉えた先進技術を中心に製品の差別化を図り、設計と仕様に反映する。下流の企業は頂点の企業が要請する設計や仕様に依拠してピラミッドのなかでの役割に応じた専用性の高い部品の開発、生産を行う。大企業が計画的で確実な調達を行うためには、専用部品を特定の部品企業に外注する統制された取引関係が求められたためである。
- ③ピラミッドの頂点に立つ大企業は企画、設計、調達、組み立て、検査までを担う。垂直統合の元来の基本型は自社生産であり、製品の高度化やコストダウンの必要性に応じて専門技術の開発、調達、生産の効率性を高めるために専用部品等が外部調達され、ピラミッドが構成されるようになった。その結果、関連企業が生産する製品の性能と信頼性に責任を持つため、ピラミッドの頂点に立つ大企業はサプライチェーンの生産方法や環境まで管理するようになった。
- ④サプライチェーンは一定の開放性はあるものの原型はクローズといえる。差別性を先進技術や専用部品に求めてきたため設計、仕様の開示が限定されてきた。その分、下流企業は納入先が限定され市場の変化に対して弱くなる。近年のように市場のニーズが多様化すると対応力の低さが問題となり、災害等ではサプライチェーンの寸断などの影響を受けやすいことも分かってきた。
- ⑤ピラミッドのなかでは頂点に立つ大企業が圧倒的な影響力を持つ。下流の企業は、大企業の要請する仕様、コスト、品質に従って生産を行う。近年では、複数の大企業に部品を提供する企業が増え、世界的には独自の規格化に基づく部品の開発も進んでいるが、日本では依然として頂点の大企業の影響力が大きい。

こうした大企業を頂点とするバリューチェーンに対して、IoTインダストリー・エコシステムでは、産業構造内のあらゆるレベルで市場ニーズに合わせて製品を開発、生産する。その結果、エコシステム

のなかの企業の資源をいかにうまく使うかがすべての企業にとって競争力の源泉となり、個々の企業の開発意欲を促すといったポジティブフィードバックが働くことになる。IoTインダストリー・エコシステムの特徴を以下に示す。

- ①市場ニーズは、サプライチェーン内の各企業が独自に把握し、製品・技術開発に反映する。企画設計企業は市場への対応力が競争力の源泉となるため、一般の大企業より早く、きめ細かな市場のニーズを把握して製品企画を行うことに注力する。モジュールの開発企業は、同種のモジュールを扱うクラスター内での競争に勝ち残るために、市場ニーズ、企画設計企業のニーズを考慮した互換性と差別性を有するモジュールの開発に注力する。
- ②製品の設計・仕様は、企画・設計を行う企業が市場にあるコア部品やモジュールを前提として策定する。企画設計企業は、短納期で低価格、高性能な製品を開発するため、汎用化されたモジュールを積極的に活用する。インテリジェントモジュールによってロボット等にモジュールを容易に組み合わせられるようになったことで、過去の家電のように互換性のための調整部品などを製作しなくても品質の高い製品が開発できるようになった。こうして低コスト、高品質の製品を小ロット生産ができるようになった。
- ③製品をつくるための機能は、エコシステムのなかで企画設計、モジュール、加工、組み立て、検査などに分散している。企業は特定の機能に特化することで開発投資を集中することができる。また、ニーズに合わせて柔軟に連携体制を変えるため、連携に関するノウハウやインフラが確保できれば、個々の製品やサービスについて必要にして十分な機能連携が行える可能性がある。
- ④サプライチェーンは完全なオープン構造である。モジュール企業、金型開発から加工を行う企業などは、仕様をオープン化することで開発のスピードを上げている。ソフトウェアの世界で作られたプラットフォーム、ライブラリに似た構造がハードウェアにも及んだ構造と考えることができる。これを積極的に活用してハードウェア、ソフトウェアのアプリケーションを作れば迅速に製品・サービスを市場投入できる。
- ⑤エコシステムのなかでは、機能の種類にかかわらず競争力、希少性のある企業が影響力を持つ。市場のニーズをつかむ能力が高ければ企画設計企業が強い影響力を持ち、競争力のある先進モジュールを有していればモジュール企業が強い影響力を持つ。大きな資本力と技術開発体制を有する大企業だけでなく、市場ニーズを捉え差別化された技術開発を行うことができれば、小さい企業でも有利なポジションを獲得することができる。こうした多面的な競争市場が形成されれば、一定の品質を有した先進的な製品を低価格、小ロット、短納期で供給できる産業構造を作り上げることも可能となる。

シリコンバレーでは、90年代からプラットフォームに汎用性のあるアプリケーションを組み合わせることで簡便に付加価値を向上させるというエコシステムの思想があった。2000年代に入ると技術革新によりクラウドサービス等が本格的に実用化したことで、こうしたエコシステムが一斉に開花し、アメリカのITのアドバンテージが確立した。

深圳では元々ハードウェアの世界に開放性の高い市場構造があった。そこに、IT、数年前からはインテリジェントモジュールが加わり、短期間にIoT製品を生み出す市場ができた。

一方、日本の現状を見ると、多くの大手企業でエコシステムを前提とした製品・システムづくりが進んでいるように見えない。これから日本のIoT関連産業が国際競争力を確保するには、個々の部品やソフトウェアの開発を飛び越えてIoTインダストリー・エコシステムをいかに構築するかという発想が必要になっている。

(2) わが国におけるIoTインダストリー・エコシステム構築に向けた提言

2016年以降のインテリジェントモジュールの進化と産業構造の革新は、新型コロナによって加速し、上述したIoTインダストリー・エコシステムは一層競争力を増していくと予想される。今後産業の中核を成すIoT市場の覇権に日本企業が食い込むためのポイントを以下に示す。

① インテリジェントモジュールクラスターの形成

日本企業の強みは個別のニーズに対応したきめ細かな機能実装にある。インテリジェントモジュールは日本企業が得意としてきた機能を搭載することができる。高機能マイコンを搭載した家電と同じような機能だからである。日本企業はインテリジェントモジュールによって得意としてきた繊細なハードウェアの強みを奪われる可能性がある。一方、見方を変えると、インテリジェントモジュールを作るにはモジュールを正確に動かすためのノウハウが必要だから、日本企業はインテリジェントモジュールを開発するためのソフトを持っていることになる。日本企業は自らの置かれたこうしたポジションを認識して製品開発戦略にインテリジェントモジュールを位置付ける必要がある。その際に重要なのはインテリジェントモジュールというモノに固執するのではなく、それを形成するノウハウに注目することである。

2010年代中盤まで、インテリジェントモジュールは大企業が多大な開発費を投入して内製化してきたが、今ではマイコンのコスト低下や開発ツールの普及で中小のモジュールメーカーが開発できるようになってきた。IoTインダストリー・エコシステムが形成される所以である。こうした技術的背景を捉え、市場のニーズに対応してエコシステムのなかのインテリジェントモジュールを用いた製品を開発することが日本企業に求められるポジションといえる。

一方、日本には優れたデバイスメーカーが存在する。デバイスメーカーには、IoTの技術を積極的に取り込み、製品をつくるメーカーに訴求力の強いインテリジェントモジュールを作ることが求められるようになる。こうして製品を作るメーカーとデバイスメーカーが各々の立場でインテリジェントモジュールに歩み寄ることができれば日本の強みを生かしたエコシステムが形成される。

その際、製品をつくる大企業にとって自社製品のインテリジェント化を進めるのと並行して自社内で開発したIoTの実装技術をデバイスメーカーにオープンにすることで、インテリジェントモジュールの低価格化と多様化を後押しする戦略が有効になる。大企業から委託先企業への技術提供はこれまでに日本で連綿と繰り返されてきた手法であるが、インテリジェントモジュールを核としたエコシステムを作るためにも有効な手段となり得る。ただし、大企業にとって全国に分散する中小のデバイス／モジュールメーカーに技術を移転する負担は大きい。

そこで求められるのは、地方自治体や大学、研究機関などと連携して技術を移転するための産学官連携である。そこで、組織間を跨いだ人材の交流が起これば新たな生産文化が生まれることも期待される。

政府に求められるのは産学官連携やインテリジェントモジュールの産業クラスターを形成する活動の後押しだろう。

② 徹底したニーズサイド指向の企画設計機能づくり

IoTインダストリー・エコシステムの形成に欠かせない二つ目のピースは、上述したモデルのなかで中心的な役割を果たす企画設計機能である。

上述したエコシステムのなかの企画設計企業は、市場ニーズ把握力と先進技術・汎用技術に対する感度の高さを強みとして、製品開発に向けてエコシステムのなかの要素をハイスピードでインテグレーションする。日本の市場でこうした機能を形成するのは容易ではない。大企業を頂点としたピラミッドのなかでデバイスメーカーは十分な市場ニーズの把握力を養成できなかったし、商社や小売企業などの流通系の企業には製品開発や技術の専門知識が不足している。

大企業には企画設計機能の素養はあるが、スピード感とエコシステムのなかでの意思決定力を発揮できる中核人材が十分に育っていない。こうした課題を解決するには事業、技術面での素養を持つ大企業の企画設計部門を分離して新たな企画設計企業をつくるしかない。そこに商社やコンサルティング会社などのマーケティングや企画に強みのある企業が相乗りすれば企画設計企業を創り出せる可能性はある。中国においてもチップを取り扱う商社などからスピナウトした企画設計会社があるといわれる。

独立した企画設計企業は、初期は大企業と連携してきたモジュールメーカーのインテリジェントモジュールを活用し素早い製品化を実現することで、大企業にはできない超多品種少量生産のコロナテック的なIoT製品を迅速に市場投入する。事業が軌道に乗ったら製品ノウハウを供与することによりモジュールメーカーの成長を促し、その成果を自らの製品の進化につなげる。

コロナテックで見られたロボットのような先端製品は多品種少量生産のカテゴリーで生まれているが、生産規模、期待収益の規模が合わないため、先端製品の市場への参入機会を逃している大企業がある。こうした機会を捉えるためにも大企業は社内の機能を切り出して独立させ柔軟でスピード感のある動きを創り出すしかない。政府に求められているのは、そうした社内資源の切り出しを後押しするような税制面などでの環境づくりである。企画設計企業が求める先進的な人材を生み出すための人材育成拠点を設ける、あるいは研究機関や大学院の高度人材が企画設計企業にかかわりやすい人材交流の仕組みなども中長期的には有効になるだろう。

③ 柔軟な組み立てクラスターの形成

エコシステムから最終的に製品を生み出すためには、企画設計企業の作ったコンセプト、仕様を受け止め、インテリジェントモジュールを取り込み、最終的に製品として組立・生産する機能が必要である。IoT市場のニーズを踏まえ、多品種の生産を短い製品サイクルで供給するためには、柔軟性の高い生産体制が求められる。そのためには、基本的に大規模大量生産のための形成された大企業のピラミッドの下ではなく、独立した組立・生産機能を持つ中小、中堅企業群の存在が必要である。日本の製造業の競争力は大企業に依存している面があるが、日本の産業を下支えしているのは優秀な中小企業群である。こうした中小、中堅の組立・生産企業がインテリジェントモジュールや企画設計企業と連携して、柔軟

でスピーディーに生産ができるようになれば、日本は競争力のあるインダストリー・エコシステムを形成することができる。

日本の中小・中堅企業には大企業にも劣らない製品の品質や信頼性を有しているところが少なくない。こうした中小、中堅企業が組み込まれるようになれば、日本は中国を始めとする諸外国に対しても競争力のあるIoTインダストリー・エコシステムを形成することができる。市場ニーズに即する柔軟性と製品の信頼性を両立できる可能性があるからである。そうなれば、海外のIoTインダストリー・エコシステムからも引き合いを得られるようになるだろう。

そうしたエコシステム形成の一つの基盤となるのが、日本の諸地域に存在する産学官連携の活動と考える。大企業を頂点とするピラミッドの影響で自立的なネットワーク力が不足しがちな中小、中堅企業に、マーケティングやマッチングの機会を提供できるからである。こうしたIoTインダストリー・エコシステム基盤のうえで中小、中堅企業が活動できるようになれば、日本の産業の新たな成長の可能性が生まれる。また、それは企画設計機能が過度に東京に集中した日本の産業構造が地方各地に成長の芽を分散する構造へと変わる転機にもなる。

インテリジェントモジュールがメカニクスに頼っていた製品の構造を簡素化することは避けられない流れである。一方で、あらゆるところにセンサーが組み込まれIoTが社会のいたるところに実装されるようになれば、IoTと結び付いたメカニクスに新たな市場が生まれることも間違いない。こうした市場の変化を捉えるのに欠かせないのがIoTインダストリー・エコシステムといえる。ただし、基本構造は同じだが、その強みや力点は国によって異なる。中国が深圳でエコシステムを形成しつつあるのは、元来の機能分業という中国の産業構造がIoTインダストリー・エコシステムにうまくつながったからである。

日本が独自の強みを生かすには、本稿で示したように品質や信頼性に強みを持つ組立・生産クラスターを軸に、機能的には国際レベルにある企画設計機能をいかに切り出すかにかかっている。そこに精密部品や制御技術で世界のトップレベルの要素技術の産業群がインテリジェントモジュールを生産すれば世界的にも高い競争力を持つIoTインダストリー・エコシステムを形成することができる。そうした可能性に向け多層的な産学官の連携が進むことを期待する。

(2020. 12. 21)