

# デジタル化が製造業に与える影響

## —プラットフォーム理論による検討—

Impact of Digitalization on Manufacturing: Examination by Platform Theory

機械振興協会経済研究所 アカデミックアドバイザー

東京大学先端科学技術センター 教授

元橋 一之 (Kazuyuki Motohashi)

### 1. はじめに

インターネットを通じて膨大な情報にアクセスすることが可能になっているが、IoT デバイスやセンサーによるモノに関する情報がこれに加わり、データ量は日々増大している。機械学習を中心とした人工知能 (AI) 技術はこのデータを活用するための「頭脳」に相当するものであり、インターネット広告や電子商取引の他、工場や生産現場、自動運転、ホームエレクトロニクス、金融取引や人事システムなど様々な分野で活用が進み、汎用技術としての情報技術の適用範囲の拡大に貢献している。このように人・モノから得られる膨大なデータの蓄積とそれを活用するための技術 (AI) の進展によってイノベーション (IoT アプリケーション) が急速に広がっている (元橋、2020)。

このようにビッグデータを基軸としたイノベーションの可能性が広がる中で、大量のインターネット情報や顧客データをベースにビジネスを拡大するインターネットプラットフォームが台頭してきている。GAF A (Google、Apple、Facebook、Amazon) と呼ばれる米国企業の時価総額は数十兆円レベルに膨れ上がっており、世界の時価総額ランキングのベスト 10 に名を連ねている。規模だけでなく、その成長スピードもすさまじい。

GAF A や BAT (Baidu、Alibaba、Tencent) は膨大や検索エンジン、SNS 上の個人情報や顧客の購買履歴情報をベースとしたインターネット関連ビジネスで成長をしてきたが、IoT センサーやそのアプリケーションの導入が進むことで、ビッグデータによるプラットフォームビジネスは多様な業種に広がってきている。製造業においては、設計や開発といった生産の前段階 (Before Production)、量産化プロセス (Mass Production) 及び製品サービスといった生産の後段階 (After Production) のすべてにおいてビッグデータ活用が進んでいる (元橋、2016)。例えばコマツは同社の建設機械の稼働状況に関するデータをグローバルに収集し、半自動運転機能などの付加価値サービスに活用している。自動車業界はデジタル技術を活用した CASE (Connect、Autonomous、Share、Electric) の波に晒されている。特に自動運転 (Autonomous) の分野では、Google や Baidu といったインターネットプラットフォームの参入も見られ、業界内で閉じていた競争構造の変革が進んでいる。

経済のデジタル化、特に近年では AI・IoT・ビッグデータによる新しい情報技術の進展が進む中でプラットフォームビジネスの台頭が見られるが、その急速な成長は電子商取引やインターネット広告を中心とした B2C ビジネスに支えられている。一方で、コマツが展

開しているスマートコンストラクションは建設業界を対象としたものであり、また自動運転はモビリティに関する技術である。果たして、業界ごとのドメイン知識やノウハウが重要となる B2B ビジネスにおいてインターネットプラットフォーマーの参入は既存プレイヤーを駆逐する破壊的イノベーションになるのであろうか？このようにデジタル化が日本企業の強みとされるモノづくり競争力に対してどのような影響を及ぼすのかは必ずしも明らかになっていない。

本稿ではプラットフォーム理論をベースに、B2B ビジネスにおけるプラットフォームの機能を役割と、デジタル化の更なる進展と既存の製造業の変革の方向性について検討することとする。プラットフォーム理論については、プラットフォームを複数のグループ間の取引を媒介するものとして捉え、そこに生じるネットワーク外部性や市場競争に関する分析を行う経済学的アプローチと技術プラットフォームを製品設計においてモジュラーイノベーションを促進するための技術デザインとして捉える工学的アプローチが存在する (Gawer, 2014)。また、経営学的には工学的アプローチにおけるモジュール間の補完的關係に着目したエコシステムに関する理論的な研究が進んでいる (Jacobides et. al, 2018)。

ここでは、これらの様々な方面からのプラットフォームに関する理路的研究をベースに、①B2C インターネットプラットフォーマーは既存製造業の産業構造の破壊的イノベーターとなりうるのか、及び②製造業のデジタルサービタイゼーション（例えば、自動車産業からモビリティサービスへの転換）に見られる構造変化に対して既存企業はどのような戦略を取るべきか、の2点について述べる。

## 2. プラットフォームとネットワーク効果の類型

経済学的アプローチによるプラットフォームは、図1のように生産者と消費者の取引を仲介する経営資源として定義される (van Alstyne et. al, 2016)。iOS やアンドロイドといったスマートフォン用 OS の事例で説明すると、プラットフォームの所有者は Apple (iOS) や Google (アンドロイド) であり、生産者は OS 上で起動するアプリ業者、消費者はスマートフォンの一般ユーザーとなる。また、自動車産業においては、トヨタ自動車のようなメーカーが部品メーカー（生産者）と自動車を利用する一般ユーザーの間のプラットフォーム機能を担っているということもできる。ただし、生産者とプラットフォーム所有者の関係として、スマートフォン用 OS の事例では生産者（アプリ開発者）が基本的にプラットフォームを通じてサービスを提供できるのに対して (Permissionless Innovation) (Cerf, 2012)、自動車産業の事例においては、生産者（部品メーカー）がその製品設計に関して自動車メーカーの管理下に置かれている点で両者は大きく異なる。従って、プラットフォームモデルとは生産者サイドにある程度の自由度が存在する場合を指し、後者の典型的なサプライチェーンについてはパイプラインモデルと呼ばれることもある (van Alstyne et. Al, 2016)。

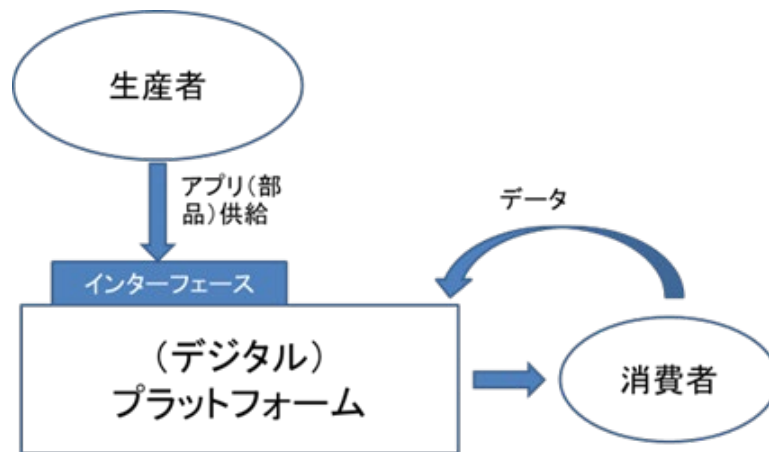


図1：プラットフォームの概念図

出所) van Alstyne et. al (2016) を基に筆者作成。

プラットフォームモデルの急成長性、あるいはスケーラビリティ（システムやネットワークなどの拡張可能性）は生産者や消費者といった構成要素に存在するネットワーク効果による。このネットワーク効果は直接的ネットワーク効果と間接的ネットワーク効果に分類される（Gawer and Cusumano、2013）。

直接的ネットワーク効果とは、主に消費者サイドにおいて、消費者数が増えれば増えるほど、プラットフォームの価値が高まり、それによってより大きな消費者群を引き付けるという効果である。直接効果の代表的事例は Facebook などの SNS サイトや通信サービスなどの見られる古典的なネットワーク効果であるが、ユーザーが多いほど個々のユーザーの便益が上がる。それによって更に多くのユーザーを集めるというポジティブフィードバックが働く。

一方で、間接的ネットワーク効果は、プラットフォームが媒介している生産者サイドと顧客サイドの相互作用によって生じるものである。スマートフォンのプラットフォームにおいては多様なアプリを利用することが可能であるが、消費者サイド（スマートフォンユーザー）から見ると多くのアプリを抱えているプラットフォームがより魅力的である。これが多くのアプリ開発業者を集めて、スマートフォンプラットフォームとしての効能が高まり、更に多くの顧客を集めるというフィードバックループが働いている。

元橋（2020）ではこれらのネットワーク効果の有無によって、様々なデジタルプラットフォームを3つのタイプに分類した。つまり、スマートフォン用 OS のように直接的プラットフォームと間接的プラットフォームの両者が見られるもの（タイプ1）、例えば ERP（Enterprise Resource Planning）ソフト（例えば SAP）にみられる生産者サイドのエコシステムのように間接的プラットフォームのみが存在し、直接的ネットワークが見られないもの（タイプ2）、生産機器メーカーの IoT アプリケーション（例えばコマツの KOMTRAX）にみられる直接的ネットワークのみが存在するもの（タイプ3）である（図2）。

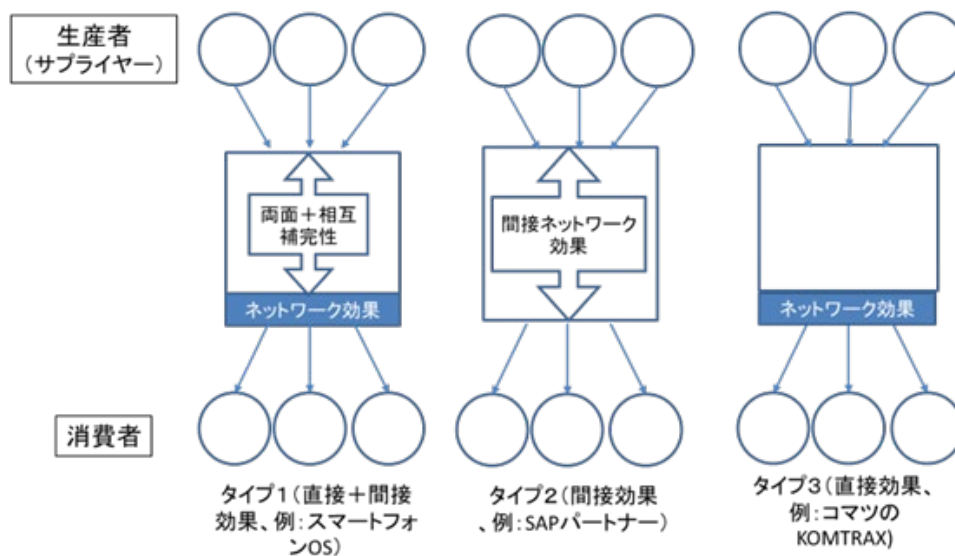


図2：プラットフォームの類型  
出所) 筆者作成。

タイプ1に分類されるスマートフォンについて説明に多言を要しないと思うが、消費者が消費者を生む直接的ネットワークに、より多くの消費者がプラットフォームの価値を高め、より多くの生産者を呼び込み、アプリの多様性によってより多くの消費者の利用が見込まれる間接的ネットワーク効果に加わり、大きな成長性・スケーラビリティが見込まれる。その結果としてGAFABATは急成長してきたのである。

タイプ2の事例としては、SAPによるERP (Enterprise Resource Planning) システム上にアプリケーションを開発するソフトウェア会社を集めたパートナーシッププログラムを挙げることができる (Ceccagnoli et. al, 2002)。ERPは生産、調達、財務・会計、人事といった企業内の様々な業務を統合的に管理することを可能とする基幹ソフトであるが、企業の業態や規模によって多数のオプションが存在する。細かなアプリケーションのすべてをSAPが自前で開発するのではなく、サードパーティが開発したのも同社のシステムとして統合的に提供するものである。この生産者サイドのエコシステムを作り上げるために、SAPはサードパーティに対してSDK (System Development Kit) を提供している。同様のプログラムはMicrosoft (Azureテクノロジーパートナー) やIBM (IBMクラウドパートナー) などにも存在する。これらの生産者プラットフォームにおいては、それぞれの提供者によるプラットフォーム上にエコシステムが形成されることで、そのユーザーにとってのソフトウェア価値が高まり、逆にユーザーベースの拡大はパートナーが参画するインセンティブとして働く、間接的ネットワーク効果が見られる。しかし、ユーザー企業が増えること自体がユーザー価値を高めるといった直接的ネットワーク効果は見られない。

タイプ3の事例としては、建設機械メーカーであるコマツのKOMTRAXを挙げることができ、このシステムにおいてはセンサーデータを利用した建設機械に付随する各種付加価値サービスが実装されている。具体的には、建設機械を使用する際にP (パワー) モー

ドと E (エコノミー) モードがあり、個々のユーザーの機器使用状況に応じて省エネに誘導するためにこれらのモードをどう使い分ければ良いかなどの提案が表示される(絹川等、2015)。ユーザー数が増えて、利用状況に関するデータが増えれば増えるほど、精度が高い多様な付加価値サービスの提供が可能となる(直接的ネットワーク効果)。しかし、これらのシステムの作りこみは基本的にコマツが完全にコントロールする形態で行っており、生産者サイドにはプラットフォーム機能は見当たらない。従って、消費者(機器ユーザー)サイドのみのプラットフォームモデルといえる。

### 3. 製造業におけるタイプ1プラットフォームの可能性

ここではまず、「B2C インターネットプラットフォーマーは既存製造業の産業構造の破壊的イノベーターとなりうるのか？」について検討したい。この問題は、電子商取引やインターネット広告によって急成長した GAF A などが、自動車産業や建設機械等の製造業においてタイプ1プラットフォーマーとしてのビジネスを構築できるか、と言い換えることができる。ここで注目したいのは、コマツの KOMTRAX をはじめとして、GE や Siemens などが提供する IoT ソリューションビジネス等、製造業者においてタイプ3プラットフォームが構築されてきている点である。従って、タイプ3プラットフォーマーがタイプ1に転換できるかという問題とも捉えることができる。

後者の問題について興味深い事例として GE の Predix を挙げることができる。Predix は GE が強みとしてきたジェットエンジン、風力発電機器などにおけるデータ活用モデル(モデル3)を、その他の産業用機器全体に横展開しようという試みである(経団連 21 世紀研究所、2017)。そのため GE データという製造業におけるデータビジネスに関する部門を立ち上げ、Industrial Internet Consortium (IIC) という標準化活動をリードしてきた。様々な産業用アプリケーションをそろえるタイプ1型のプラットフォームを目指してきたが、最終的にはデータ事業を縮小し、従来型の個別機器ごとの戦略(タイプ3)に後退させる決定をした。

インターネットプラットフォーマーが対象とする B2C ビジネスと産業用 IoT アプリケーションの違いを明確にするために、タイプ3プラットフォームの直接的ネットワーク効果についてより詳細な検討を加える。コマツが開発した機械情報を遠隔で確認するためのシステム KOMTRAX や GE の風力発電機器・ジェットエンジン向けアプリケーションなどにおいてポイントとなるのはユーザーからの IoT データ収集とそれを活用した付加価値サービスの提供である。コマツが提供する付加価値サービスは、建設機械における GPS による盗難防止機能に始まり、各種センサーを付加することによって CBM (Conditional Based Maintenance) や省エネ運転システム等に広がった。つまり、単純にユーザー数が増えることによる直接的ネットワーク効果とは異なり、個々のユーザーから得られるデータ量や質、その種類に加えて、データを加工しユーザー価値を高めるサービスに展開できるデータ活用能力(AI 能力)がネットワーク効果の源泉となっている。

このデータネットワーク効果とも呼べるデジタルプラットフォームに特徴的なネットワーク効果 (Gregory et. al, 2021) はタイプ1プラットフォームにも見られる。Amazonの電子商取引、グーグルやFacebookの広告ビジネス等は膨大な個人データをそれぞれが有するAI能力を駆使することで実現している。また、プラットフォームにおけるデータの生産者と消費者が同一である点でもIoTプラットフォームと共通である(電子商取引の購買履歴・SNS投稿については個人ユーザー、IoTプラットフォームについては機器ユーザー)。しかし、データがヒトによるものか、モノによるものなのかという点が決定的に異なる。ヒトはそれぞれが意思を持って日々行動し、情報の生産、消費を行っている。従って、ヒトのデータは根源的にGenerativeなものであり、ビジネス価値の面から普遍性が高い。従って、データの適用範囲は広く、またそのGenerativeな特性からデータ所有者が抱え込むのではなく、ある程度公開して新たな活用方法を探索する誘因が働く。従って、データプラットフォーム上にデータを活用するためのエコシステムを構築する動きも起きやすい。結果として、データネットワーク効果が強く働き、更に間接的ネットワーク効果と相まって、大きなスケラビリティ、成長性が実現できるのである。

一方で、IoTアプリケーションにみられるモノのデータは、特定の用途を想定して設計、製造されたモノの特性により、ヒトのデータにみられるGenerativityが制約を受ける。建設機械は建設現場用途、ジェットエンジンは飛行機エンジン用途というように、それぞれの用途が存在するので、ユーザーにおける利用範囲は限定的である。また、モノは意思を持たないので、データ収集においてはモノの設計時に利用目的を想定し、各種センサーの配備をメーカーにおいて行う必要がある。更に、データに基づく付加価値サービスは機器と一体で提供する必要がある。データのビジネス価値の発展性の面でも機器側の制約を受ける。このように、タイプ3のIoTプラットフォームのデータネットワーク効果は相対的に小さく、またサービス供給(生産者サイド)において他社を巻き込んだエコシステムを構築する誘因は小さい。GEのようにPREDIX上に他社の参画を呼び掛けても、機器それぞれの提供分野で閉じた世界で展開することが合理的であり、プラットフォームから得られるメリットを享受しにくい特性がある。更に、タイプ1のB2Cインターネットプラットフォームが産業用アプリケーションへの展開を行うためには、特定機器のノウハウやドメイン知識が必要となる。しかし、製造業におけるノウハウは技術蓄積が必要な分野であり容易ではない。従って、製造業におけるタイプ1プラットフォームの可能性については、その可能性がないとは言い切れないものの、非常に困難であることは確かである。

#### 4. 製造業のサービス化と産業変革の可能性

モノづくりのデジタル化は、顧客に対する製品供給とあわせて、付加的サービスを加えて顧客価値の向上、他社との競合優位を築くことが可能とする(Vandermerwe and Rada, 1988)。この製造業のサービス化(Servitization)は製造業における競争戦略として重要である一方、個々の顧客への過度のカスタム化はコスト上昇を招き、いわゆるサービス化のバ

ラドックスといった状況を引き起こす。デジタル技術を活用したプラットフォーム化、すなわちサービス設計のモジュール化による共通的な資源（プラットフォーム部分）と個別カスタム化要素の切り分け、は付加サービスの提供にあたっての生産性上昇の切り札となる（Crenamore et. al、2017）。前述したコマツやGEの顧客利用データを活用した付加価値サービスは、このデジタル付加価値サービスの典型的な事例といえる。

製造業のサービス化に関するより上位概念のコンセプトとしては、モノ中心モデルからサービスモデルへの転換がある（元橋、2014）。これはマーケティングにおけるサービスドミナントデザインに基づく考え方で、製品の提供でとどまるのではなく、製品によって得られる顧客の便益に着目し、製品・サービスイノベーション戦略の再検討を行うものである（Product Push から Value Proposition への転換）。コマツはスマートコンストラクションとして、建設業における測量、土質調査、建設計画の策定、土木作業といった一連のプロセスを効率化するサービスに乗り出している。コマツの建設機器ユーザーは、機器を用いた土木作業を目的として購入判断を行う。従って、コマツとしては、機器販売にとどまらず、顧客に対する提供価値（Proposed Value）を最大化することを目指してこのサービス設計を行ったものである。

この製造業のサービス化は、業界構造変革の引き金になり、既存プレイヤーに対する破壊的イノベーションとして作用する可能性がある。MaaS（Mobility as a Service）台頭による自動車業界や鉄道運輸サービス業界に及ぼす影響がその典型的な事例といえる。そこで、2番目の課題として設定した「製造業のデジタルサービタイゼーション（例えば、自動車産業からモビリティサービスへの転換）に見られる構造変化に対して既存企業はどのような戦略を取るべきか」について検討したい。

まず、当然のこととして、自社がおかれている事業環境、特に自社が提供する顧客価値の観点から新たなサービスの可能性、その際に想定される競争環境についての分析が必要である。デジタル化が加速によって従来型ビジネスの破壊（Disruption）をもたらした事例としては、デジタルプロダクト（新聞広告→インターネット広告、ビデオレンタル→ビデオ・オンラインオンデマンドサービス等）やシェアリングエコノミー（タクシー→Ride Hailing サービス、ホテル→民泊事業、等）に関するものが多い（McAfee and Brynjolfsson、2017）。一方で、産業財にみられるスマートコンストラクションやスマートビルディングは、建設機械メーカーや空調機器メーカーといった既存企業による事業展開のケースが多い。いずれにしても他業界からの破壊的イノベーションは突然起こるものではなく、必ずその予兆があるものである。

現状においてその予兆が見当たらない、あるいは予兆は見られるものの自社にとって大きな脅威となっていない場合は、顧客価値の観点から自らデジタルサービス事業を展開し、異業種も含めた他社に対する競争優位を構築することが重要である。その際に重要となるのはエコシステム戦略である。新しいデジタルサービスは補完的な製品・サービス提供事業者とのウィンウィンの協力（エコシステム）関係を構築し、スピード感を持って競争優

位を構築することが重要である（アドナー、2013）。一方で、自動車産業のようにその予兆が見られる場合においてもエコシステム戦略は重要であるが、将来的なエコシステムの広がりを見込みながら、その中での自社の立ち位置を明確にすることが必要になる。ビジネスエコシステムにおいてはリーダー的な企業（キーストーン）とサブ企業（ニッチ）の役割分担が見られるが（Iansiti and Levine、2004）、市場が明確になっていないイノベーションエコシステムにおいては、このような役割分担が不明確で、様々な企業と多種多様な連携形態がありうる。従って、シナリオ分析を行うことで状況の変化に対して、タイムリーで適切な対応をとる準備をしておくことが肝要である。その際に注意しないといけないのは、ネットワーク効果の存在である。エコシステム競争が行われている初期段階では大きなネットワーク効果は現れない。しかし、一つのエコシステムの様々なプレイヤー、経営資源が集中すると大きなネットワーク効果を持ち、業界構造の激変を招く。そのため必要な措置をタイムリーに打ち出すことができる経営戦略の柔軟性が要求される。

## 5. まとめ

本稿においては、AI/IoT/ビッグデータによる経済のデジタル化の進行が製造業に与える影響について、プラットフォーム理論をベースに検討してきた。GAF A や BAT といった B2C インターネットプラットフォーマーの台頭によって、日本が競争力を有する製造業が危機にさらされているという見方がある。ただし、IoT アプリケーションを中心に進む製造業においてデジタルサービスの展開は、機器と一体的な付加価値サービスの展開や機器利用者の顧客価値向上のための統合サービスの提供として進み、業界におけるドメイン知識が重要である。従って、B2C インターネットプラットフォーマーの脅威はそれほど大きいものになっていない。なお、MaaS や自動運転等の市場として現状では立ち上がっていないサービスが将来的に自動車産業に与える影響は無視できないが、自動車メーカー等の既存企業への影響は、個々の企業の今後のエコシステム戦略にかかっていると見えるであろう。電気自動車の導入が進むことで、製品技術に対する参入障壁は下がるが、既存企業は製品技術において大きな競争優位を有しており、今後のエコシステム戦略の展開において有利な立場に立っていることは間違いない。

日本企業において懸念材料があるとするならば、これまで自前主義のモノ中心モデルで成功してきた戦略的な慣性によって、デジタル化による業界構造の変革に追いついていけないリスクであろう。大企業中心の自前主義モデルが特徴的であった日本のイノベーションシステムの改革は進んでいる。しかし、欧米をはじめ、韓国や中国といった周辺諸国において、デジタル経済の台頭とともに進行するプラットフォームやエコシステムモデルの対応した柔軟な企業戦略が浸透する中でそのスピードは遅い。デジタル経済の進行で、グローバル競争環境が変化スピードが速まる中で、日本企業においても柔軟かつ適切な対応が求められている。



## 参考文献

---

- Ceccagnoli, M, Forman, C., Huang, P. and D. J. Wu (2012): Cocreation of Value in Platform Ecosystem: The Case of Enterprise Software, *MIS Quarterly*, 36(1); 263-290.
- Cerf, V. (2012): Keep the Internet Open, *New York Times*, May 24, 2012.
- Crenamor, J. Ronnberg Sjodin, D. and Parida, V. (2017): Adopting a platform approach in servitization : Leveraging the value of digitalization, *International Journal of Production Economics* 192(2017); 54-65.
- Gawer, A. (2014): Bridging differing perspectives on technological platforms: Toward an integrative framework, *Research Policy*, 43(2014); 1239-1249.
- Gawer, A. and M. Cusumano (2013): Industry Platforms and Ecosystem Innovation, *Journal of Production Innovation Management*, 31(3); 417-433.
- Gregory, R. W., Henfridsson, O., Kaganer, E. and Kyriakou, H, (2021): The role of artificial intelligence and data network effects for creating user value, *Academy of Management Review*, 46(3); 534-551.
- Jacobides, M., Cennamo, C. and A. Gawer (2018): Towards a theory of ecosystem, *Strategic Management Journal*, 39; 2255-2276.
- Iansiti, M. and R. Levine (2004): *The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability*, Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Katz, M. and C. Shapiro (1985): Network Externalities, Competition and Compatibility, *American Economic Journal*, 75(3); 424-440.
- Kwon S., and K. Motohashi (2017): How institutional arrangements in the National Innovation System affect industrial competitiveness: A study of Japan and the U.S. with multiagent simulation, *Technological Forecasting and Social Change*, 115; 221-235.
- McAfee, A. and E. Brynjolfsson (2017): *Harnessing our Digital Future: Machine, Platform and Crowd*, W. W. Norton & Company, New York.
- van Alstyne, M., Parker, G. G. Choudary, S. P. (2016): Pipelines, Platforms and the New Rules of Strategy, *Harvard Business Review*, April 2016.
- Vandermerwe, S. and J. Rada (1989): Servitization of business: adding value by adding services, *European Management Journal*, 6(4); 314-324.
- Vendrell-Herrero, F., Bustinza O., Parry, G. and N. Georgantzis (2017): Servitization, digitalization and supply chain interdependency, *International Marketing Management*, 60(2011); 69-81.
- アドナー・ロナルド (2013) : 『ワイド・レンズ : イノベーションを成功に導くエコシステ

- ム戦略』、清水勝彦監訳、東洋経済新報社、2013年2月。
- 絹川真哉・田中辰雄・西尾好司・元橋一之（2015）：ビッグデータを用いたイノベーションのトレンドと事例研究、RIETI Policy Discussion Paper Series 15-P-015、独立行政法人経済産業研究所、2015年10月。
- 経団連 21世紀政策研究所（2017）：『イノベーションエコシステムの研究：オープンイノベーションからいかに収益をあげるか』、21世紀政策研究書報告書、2017年2月。
- 元橋一之（2020）：デジタルプラットフォームの進展と産業競争力への影響、RIETI-Policy Discussion Paper Series 20-P-029、独立行政法人経済産業研究所、2020年11月。
- 元橋一之（2016）：日本の製造業におけるビッグデータ活用とイノベーションに関する実態、RIETI-Policy Discussion Paper Series 16-P-012、独立行政法人経済産業研究所、2016年10月。
- 元橋一之（2014）：『日はまた高く 産業競争力の再生』、日本経済新聞出版社、2014年2月。