

スマートファクトリー実現の鍵となる「担い手」の創出
 ～With/Afterコロナを生き抜くための製造業におけるデジタル化～

産業調査部 佐無田 啓

1. 製造業におけるWith/Afterコロナの投資テーマ

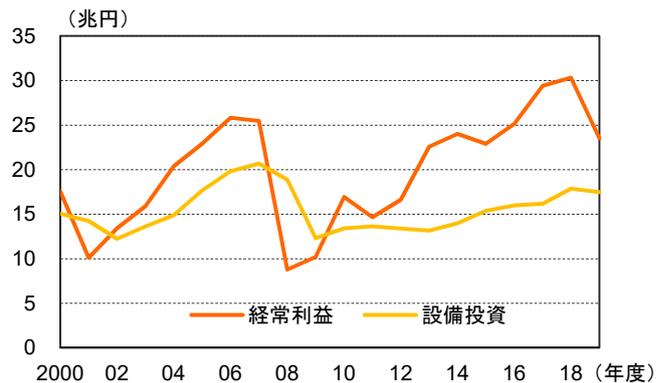
- 新型コロナウイルスの感染拡大によって、製造業は需要の減少やサプライチェーンの混乱などの大きな影響を受けており、経常損益の見通し(5月時点)は、前年度比27.4%減になった(図表1-1)。利益の減少に伴い、手元資金確保のため、今後の設備投資の優先度は低下する可能性が考えられるが、中長期的な競争力維持のためには一定程度の設備投資が必要になる(図表1-2)。
- 多くの企業においてコロナ禍の売上減少により大幅な固定費削減を強いられており、中長期的な競争力強化に資する投資については、一時的に資金が不足する場合が出てくるだろう。しかしながら、今般の事象に耐える事業体制の再構築として、「需要・供給の不安定さ」や「遠隔・非接触を前提する行動変容」などへの対応が喫緊の課題となっている。諸課題に対応しつつ、中長期的な成長を目指す上では、①製造業におけるデジタル化、②研究開発やM&Aなどによる競争力維持・強化、③事業再編・サプライチェーン強化が、今後も推進されるべき投資テーマになると考えられる。なかでも、それらの取り組みの基盤となるデジタル変革(DX)の勢いは一層加速すると予想され、従前の発想からデジタル技術の活用を前提とした考え方に転換することが求められる(図表1-3)。
- 本項では、日本の製造業におけるデジタル化の動向を整理し、デジタル技術の普及を担う事業者の創出・支援について考察する。

図表1-1 経常損益の見通し

2020年度の 経常損益見通し	前年度比(単位:%)	
	前回調査 (2月時点)	今回調査 (5月時点)
全産業	2.6	-25.0
製造業	3.9	-27.4
非製造業	2.2	-24.0

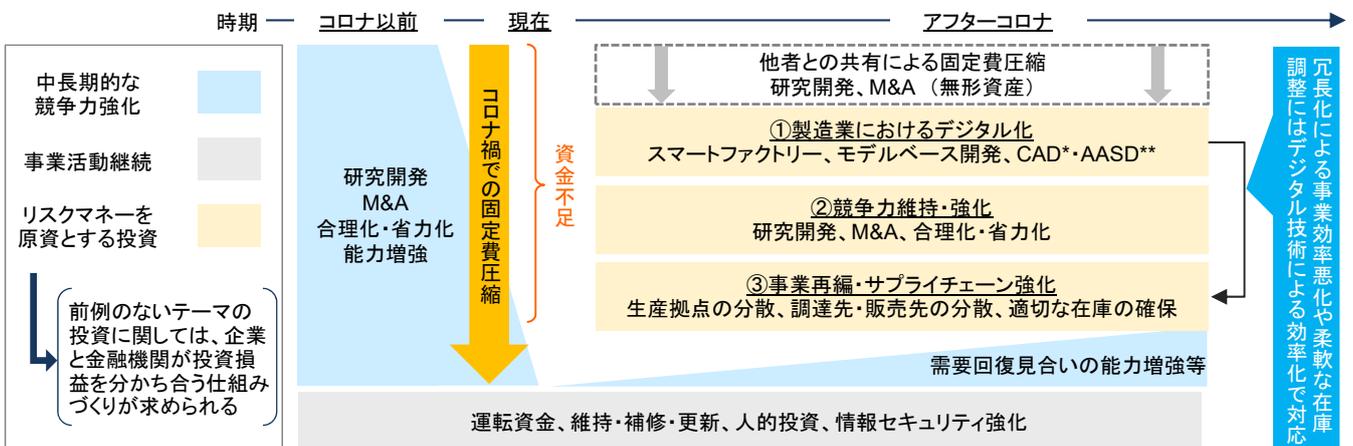
(備考)1.財務省「法人企業景気予測調査」
 2.全規模(金融業、保険業を除く)

図表1-2 製造業における経常利益と設備投資の推移



(備考)1.財務省「法人企業統計調査」
 2.全規模

図表1-3 製造業におけるWith/Afterコロナの投資テーマ



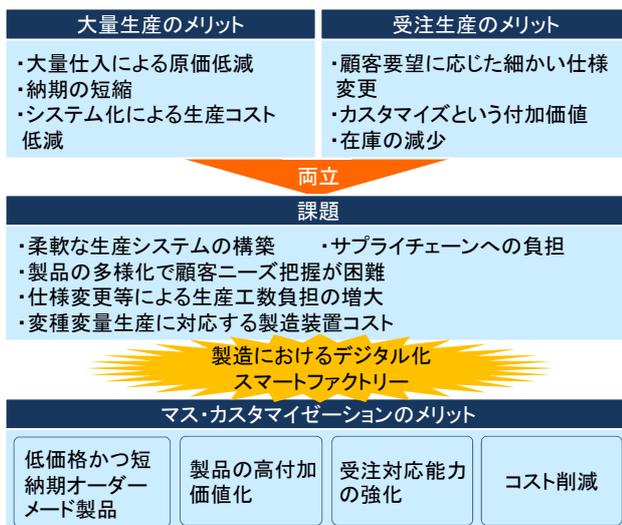
*CAD(Computer Aided Design)コンピュータによる設計支援 **AASD(AI-Augumented System Design)人工知能による設計能力の拡張

(備考)日本政策投資銀行作成

2. スマートファクトリーの必要性

- ・スマートファクトリーは、センサーやITシステムなどのデジタル技術を組み合わせて工場内の生産機器のネットワーク化を行い、稼働状況の把握や経営全体の観点を踏まえて自律的な最適稼働を実現することとされている。インダストリー4.0で理想とされている「必要な製品を必要な人が欲しい時に必要な量を提供できる(マス・カスタマイゼーション)」ことを実現する柔軟性を具備した工場である。近年、顧客ニーズの多様化や需要の急増減という形で事業環境は複雑化しており、マス・カスタマイゼーションを実現する手段として、スマートファクトリー化が考えられている(図表2-1)。
- ・企業を取り巻くリスクも、複雑化している。直近ではパンデミックがリスク事象として発現したが、世界では政策の不確実性も近年上昇している(図表2-2)。世界経済フォーラムのレポートによると、パンデミック以外にも経済・市場動向リスク、地政学リスク、災害リスク、サイバー攻撃リスクなど、予測し難い事象は年々多様化しており、リスクに対して柔軟かつ機敏な組織・ビジネスモデルを構築する必要がある。このような状況も、IT部門だけでなく経営全体の観点でデジタル化が求められる一要因となっている。
- ・当行の2019年度設備投資計画調査では、製造業で人手不足が事業展開の制約になると回答した企業が68%(492社中)にのぼり、3年先では一層人手不足が深刻化すると考える企業は74%(483社中)と増加した。経済産業省の調査でも同様の傾向が示されたほか、技能人材の確保が課題とされている(図表2-3)。工場の小さな無数のトラブルは、長時間の稼働停止に繋がるおそれがあるが、熟練技術者の暗黙知で対応している工場が多い。このような場合に、デジタル技術による技能の見える化(形式知化、マニュアル化など)は熟練技術者の不足を補う対策として有効と考えられている。また、デジタル技術を用いた見える化は、円滑な技能継承に資するといわれており、スマートファクトリー化は人手不足対策の一環としても検討されている。

図表2-1 マス・カスタマイゼーションのメリット



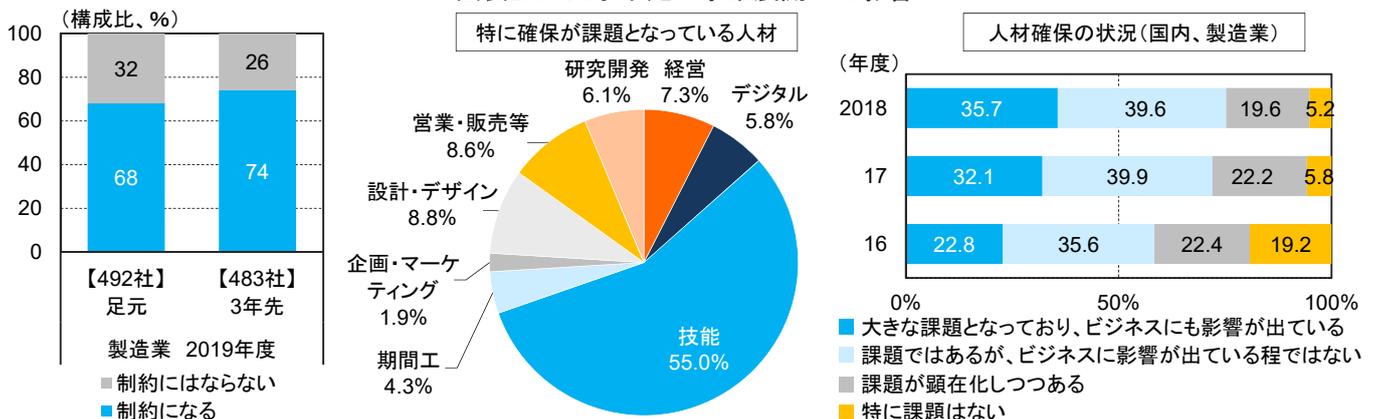
(備考)日本政策投資銀行作成

図表2-2 世界の政策不確実性指数*(2000 - 20年4月)



(備考)PolicyUncertainty.comにより日本政策投資銀行作成

図表2-3 人手不足の事業展開への影響



(備考)日本政策投資銀行「2019年度設備投資計画調査」、経済産業省資料により日本政策投資銀行作成

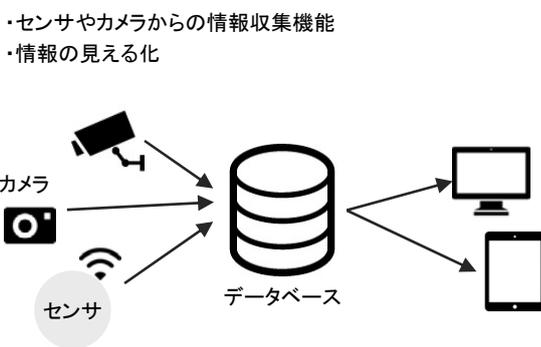
3. スマートファクトリーにおける製造の捉え方

- ・スマートファクトリーにおける製造(スマート製造)とは、サプライチェーン全体を対象範囲としてシミュレーション技術を活用し、生産ニーズに柔軟に対応できる生産体系を指す。生産現場から意思決定者までが神経のように繋がっているようなイメージである。
- ・様々な捉え方があり、目指す理想像、目的とする効果や生産品目によって、そのアプローチや取り組みの規模感が異なる。一般に、センサやカメラなどを用いて情報を見える化し、生産効率化や予防保全を行うことを目的とする狭義のスマート製造で捉えている場合が多い(図表3-1)。
- ・広義のスマート製造は、生産現場を中心として、企画研究や製品・工程設計などのエンジニアリングチェーンとサプライチェーンの情報を統合し※、上位システムであるIT(Information Technology、情報技術)と、生産現場のシステムであるOT(Operational Technology、制御・運用技術)が繋がっている状態のことをいう(図表3-2)。本稿においては、広義のスマート製造を実現する工場をスマートファクトリーとする。
- ・ハノーバーメッセ2019において、Siemens(ドイツ)のブースに展示されていた未来の工場のイメージは、前述したITとOTの動的な連携によりスマート製造が実現された理想像の一つである(図表3-3)。顧客ニーズの変動に追従できる柔軟な生産体制を実現するためには、工場側の努力では不十分であり、経営、設計、サプライヤーを含めたやりとりが不可欠である。また、複数部門間や他社との検討を経て、生産を実行に移すためには、シミュレーション機能を活用して、意思決定を円滑に行う必要があり、その基盤としてのスマートファクトリー化が重要となる。

※日本政策投資銀行 DBJ Monthly Overview 2019年6月号

『進化するマス・カスタマイゼーション対応技術～インダストリー4.0の具現化と求められる企業間連携～』を参照

図表3-1 狭義のスマート製造



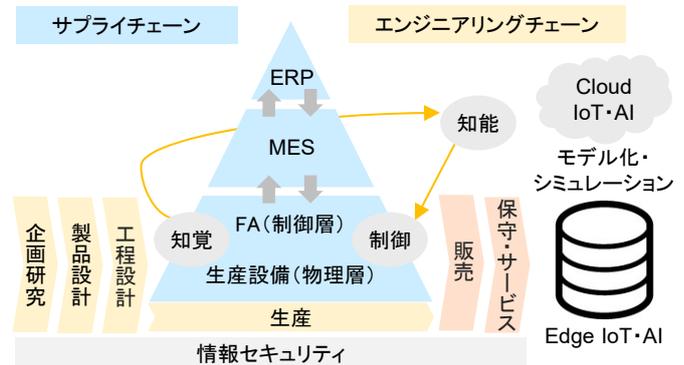
生産効率化
省エネ

予防保全
稼働率向上

データ化
紙消費の削減

(備考)日本政策投資銀行作成

図表3-2 広義のスマート製造



生産現場を中心にエンジニアリングチェーンとサプライチェーンの情報を統合し、市場ニーズに追従できるような柔軟性のある生産状態を実現した工場(マス・カスタマイゼーションの実現)

(備考)日本政策投資銀行作成

図表3-3 スマートファクトリーで実現するIT・OT連携の期待



工場の生産能力に照らして
需要に合ったものを製造できるか？

生産現場のデジタルモデル化により
シミュレーションから確認可能になる

メリット

生産現場(工場長)
・市場動向に応じた
柔軟な現場対応

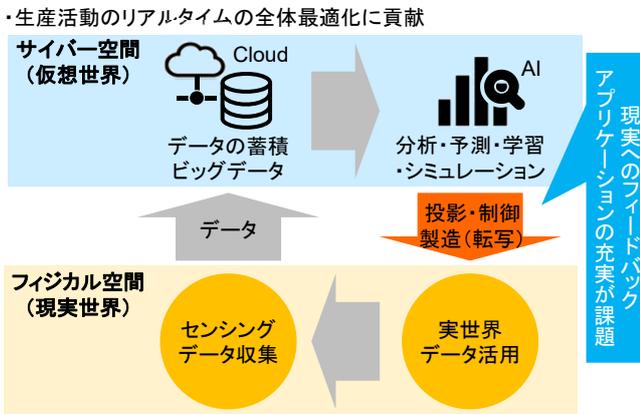
経営層
・正確な情報に
基づく迅速な
経営判断

(備考)ハノーバーメッセ2019にて日本政策投資銀行撮影、右図は日本政策投資銀行作成

4. 製造のデジタルモデル化の必要性

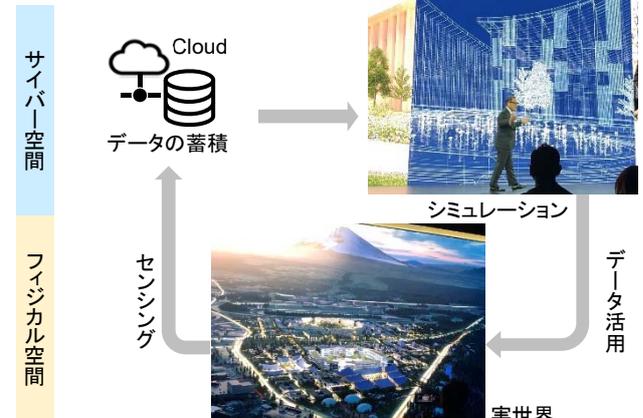
- スマートファクトリーを基盤として成果を生み出す仕組みが、サイバーフィジカルシステム(CPS)という概念である。フィジカル空間(現実世界)から収集したデータや情報を、サイバー空間(仮想世界)でAIなどを活用し、最適化分析やシミュレーションを行い、その結果をフィジカル空間にフィードバックする。この一連のサイクルを自動的に行うことで、工場において様々なニーズに合わせた生産を行うことに貢献する。(図表4-1)。
- 異分野ではあるが、トヨタがCES2020で発表したWoven CityもCPSの事例として挙げられる。サイバーとフィジカルの調和を進めていく上では、現実を検証を行うと費用の制約が大きくなるため、一旦サイバー空間で理想の社会を構築し、様々なシミュレーションをした上で、その結果を現実の社会で再現するというアプローチが有効となる(図表4-2)。
- CPSのような仕組みやシミュレーションによる事前予測機能がない場合、需要やリスクなど外部環境が頻繁に変動する近年の事業環境において、製品が高品質であっても収益の出せない事業構造となる懸念が生じる。新型コロナウイルスの影響では、人・モノの往来が自粛または制限される中、国内外に広がったサプライチェーンの情報収集が滞り、施策の検討や意思決定の障害となったとの声も聞かれる。このような事象に対応するには、狭義のスマート製造ではなく、生産ライン単位、工場単位、グローバルの生産拠点ネットワーク単位、サプライチェーン単位で情報を集め、シミュレーションによる科学的な判断材料を迅速に意思決定者に示すことが求められる。このようなシステム構築に係る投資を検討する動きが、With/Afterコロナの投資テーマとして出てくると予想される(図表4-3)。
- また、生産効率向上という課題に取り組む工場の世界には、生産計画、在庫管理、物流など最適化が適用されるべき問題が無数にある。量子コンピュータの開発など将来的な演算処理能力向上の恩恵に与るためにも、スマートファクトリーが普及するべきであり、このような仕組みを活用できるかの有無は、今後競争力の差として徐々に表れてくることになろう。

図表4-1 サイバーフィジカルシステム(デジタルツイン)



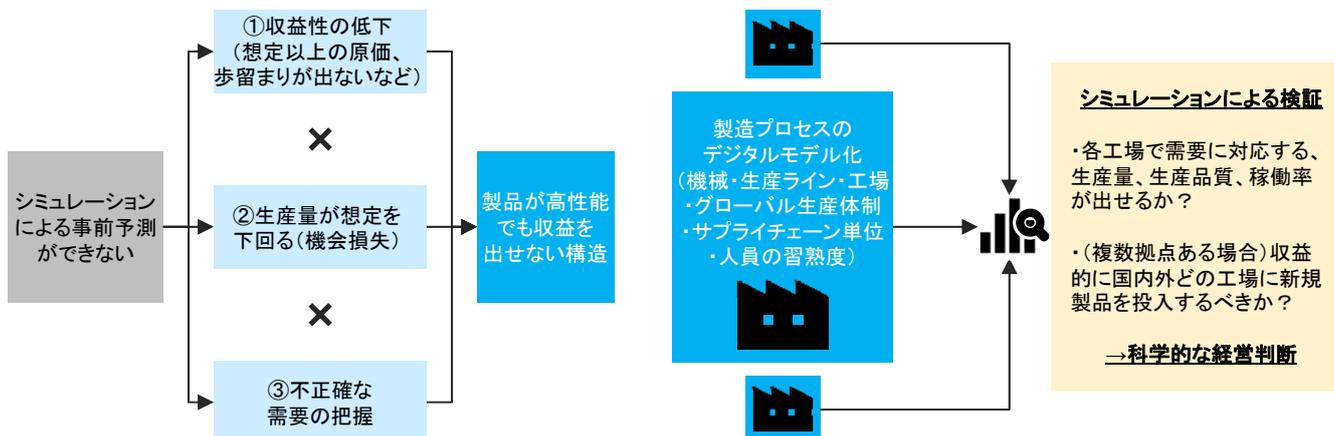
(備考)日本政策投資銀行作成

図表4-2 Woven Cityにおけるサイバーフィジカルシステム



(備考)日本政策投資銀行作成

図表4-3 新工場計画時のシミュレーション機能

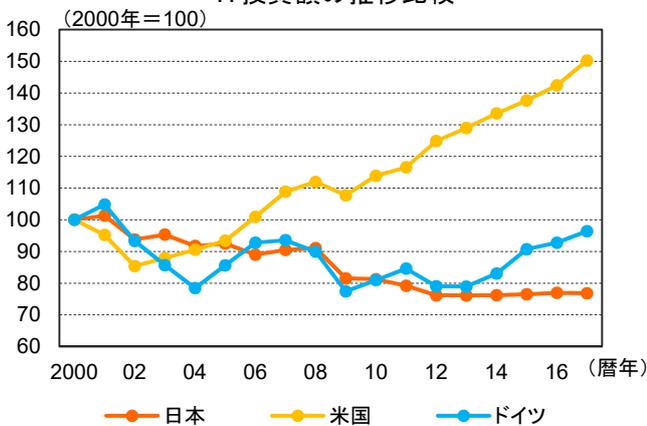


(備考)日本政策投資銀行作成

5. 日本のIT投資の現状

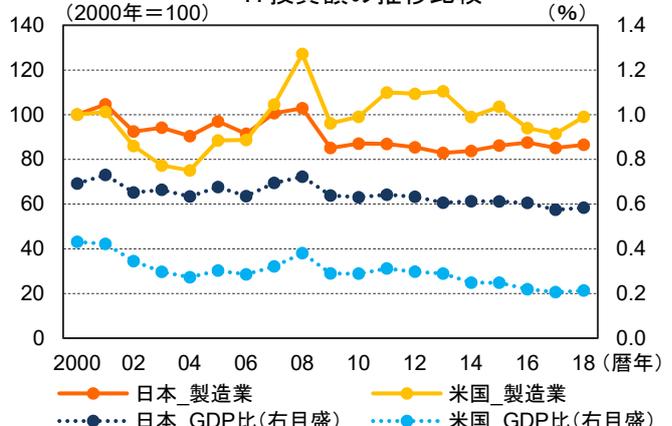
- 2000年から17年までの日本、米国、ドイツのIT投資額を比較すると、日本は01年をピークに漸減傾向にあるのに対し、米国は、09年以降増加傾向にある。ドイツはリーマンショックを契機に生存戦略としてデジタルエンジニアリング事業を強化(100%CAD化、BOMの再構成、モジュライゼーション、設計・生産技術の見直しなど)しており、それと比較しても、日本の投資額の推移は低水準に留まっている(図表5-1)。
- 製造業における日米のIT投資額を比較すると、07年以降の投資額推移は日本の方が低い水準で推移している。一方で、GDP比率については日本の数値が米国を上回っており、量的な面からは大きな差異は確認できない(図表5-2)。
- IT全体のビジネス環境や取り組み内容など日米両国の質的な面を比較した総務省の調査をみると、統計上の集約の差異があるものの、米国は自社開発型が大きな割合を占める一方、日本のユーザー企業はIT企業に対してスクラッチやカスタマイズによる情報システム開発を委託する形態が中心となっている。このような外部委託は、一般の企業において情報システム開発がコア業務として捉えられていなかったことが要因の一つとして指摘されている。当行によるヒアリングでは、多くの日本企業は、ITを外部委託してOTのみを管理しており、IT部門とOT部門の接点が失われているとの意見が聞かれる(図表5-3)。
- 2020年版ものづくり白書でも、DXを推進するにあたっての課題として、製造業のデジタル化やデータ活用が、生産工程についても、マーケティングとの連携についても十分に進んでいないことを指摘している。リスク事象が多様化かつ複雑化した昨今の事業環境を踏まえるに、SoR (Systems of Records) と呼ばれる社内効率化や生産性を重視したIT投資から、顧客との接点からの新ビジネス創出を重視するSoE (Systems of Engagement)、SoRやSoEからリスク対応の洞察を得るSol (Systems of Insight) に重点を移すことが求められる(図表5-4)。

図表5-1 日本・米国・ドイツのIT投資額の推移比較



(備考) 1. OECD statにより日本政策投資銀行作成
2. 実質GDP

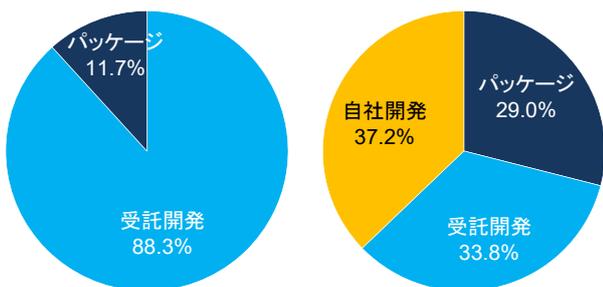
図表5-2 日米における製造業のIT投資額の推移比較



(備考) 1. OECD statにより日本政策投資銀行作成
2. 実質GDP

図表5-3 ソフトウェア投資の内訳

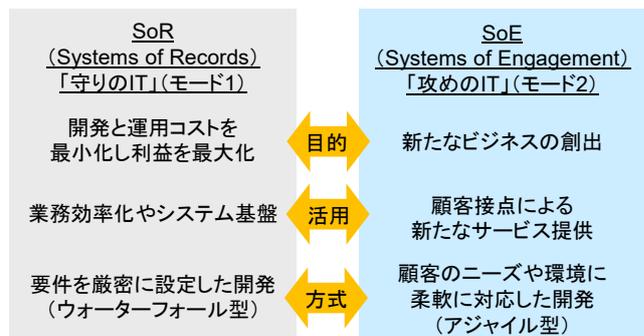
日本のソフトウェア導入内訳 (2017年度) 米国のソフトウェア投資内訳 (2016年)



→日本企業の多くは、ITをアウトソースして、OTのみをガバナンスすることで、ITとOTの接点が失われている可能性が考えられる

(備考) 総務省・経済産業省「平成30年情報通信基本調査(2018)」、米国商務省により日本政策投資銀行作成

図表5-4 SoR(モード1)とSoE(モード2)の補完関係



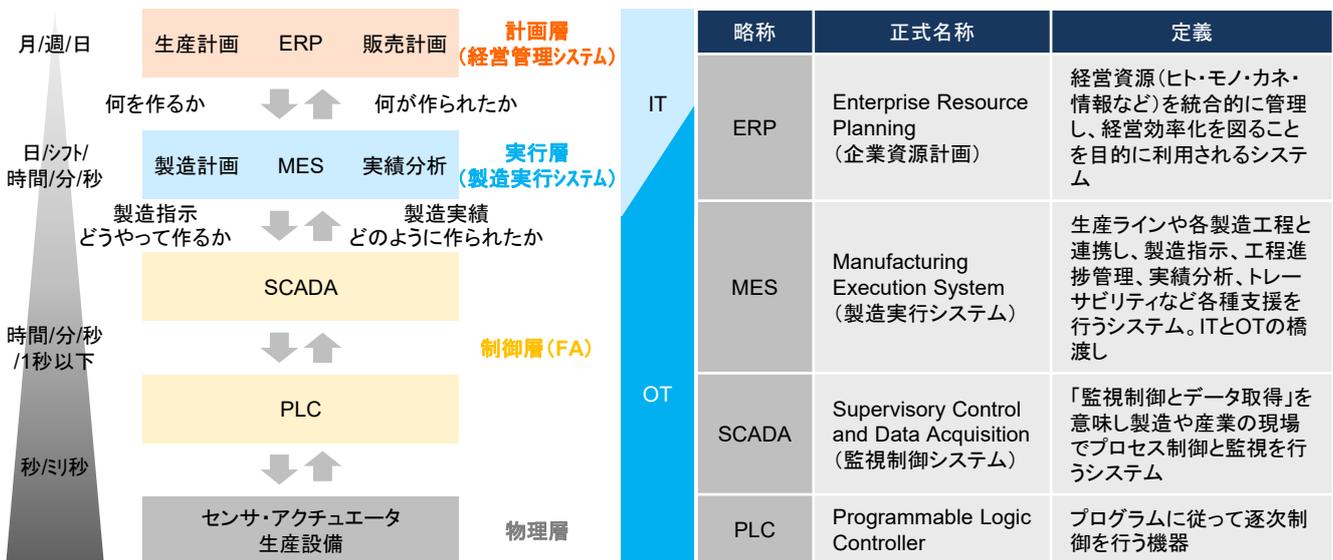
Sol (Systems of Insight): SoRとSoEにより収集したデータを活用する等により、ビジネスのための洞察を得るためのIT

(備考) 総務省「平成の情報化に関する調査研究(2019)」により日本政策投資銀行作成

6. ITとOTの連携を阻害するもの

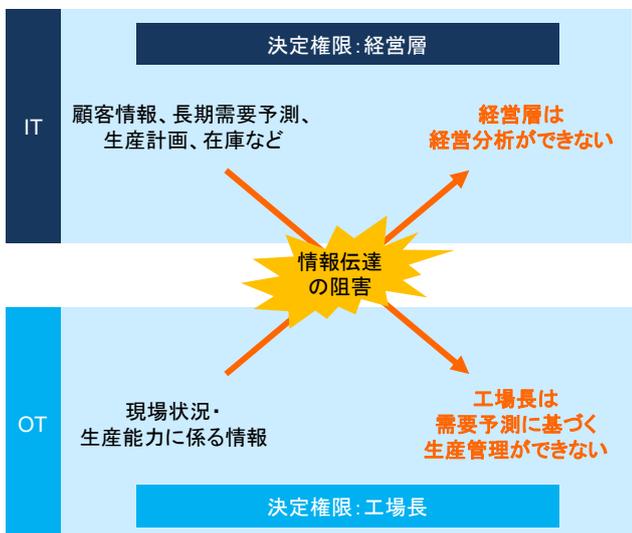
- 生産システムは大きく計画層、実行層、制御層の3階層に分かれ、実行層のMESがITとOTの橋渡し要素となっている(ITとOTの境界はERPとMESの間という見方もある)(図表6-1)。
- ITとOTの連携が進む利点は、経営層は現場状況や生産能力に係る情報を得ることができ、工場側は長期の需要予測を踏まえて生産管理を行えることである。これによって、市場の急変に柔軟に対応可能となり、マスカスタマイゼーションが実現する。しかしながら、ITとOTが実際に繋がっている工場は少なく、相互の情報伝達は阻害されている(図表6-2)。
- ITとOTの連携を阻害する要因として言われているのが「決定権限の壁」である。IT部門とOT部門では、決定権者が異なるため、投資の内容がそれぞれの目的に限定され、投資額が部門の予算に抑制される。結果として各部門の部分最適に陥り、会社の全体最適(利益の極大化)に繋がる投資判断に至らない(図表6-3)。
- このような大規模なシステム投資の判断を行える企業は、システム投資を経営課題として取り扱い、トップの判断を以て実行に移すことが多い。システムの供給側には、顧客が経営課題として取り上げるようなIT・OT両面を踏まえた提案が求められる。

図表6-1 生産システムの階層構造



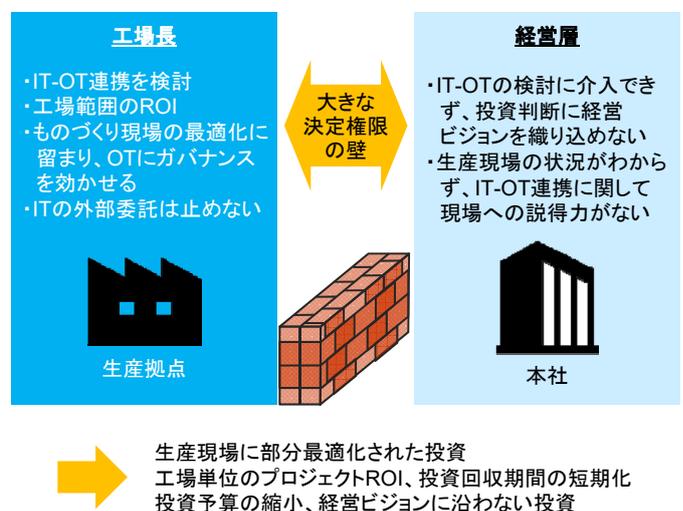
(備考)各種資料により日本政策投資銀行作成

図表6-2 ITとOTが連携しないことによる影響



(備考)日本政策投資銀行作成

図表6-3 決定権限の壁



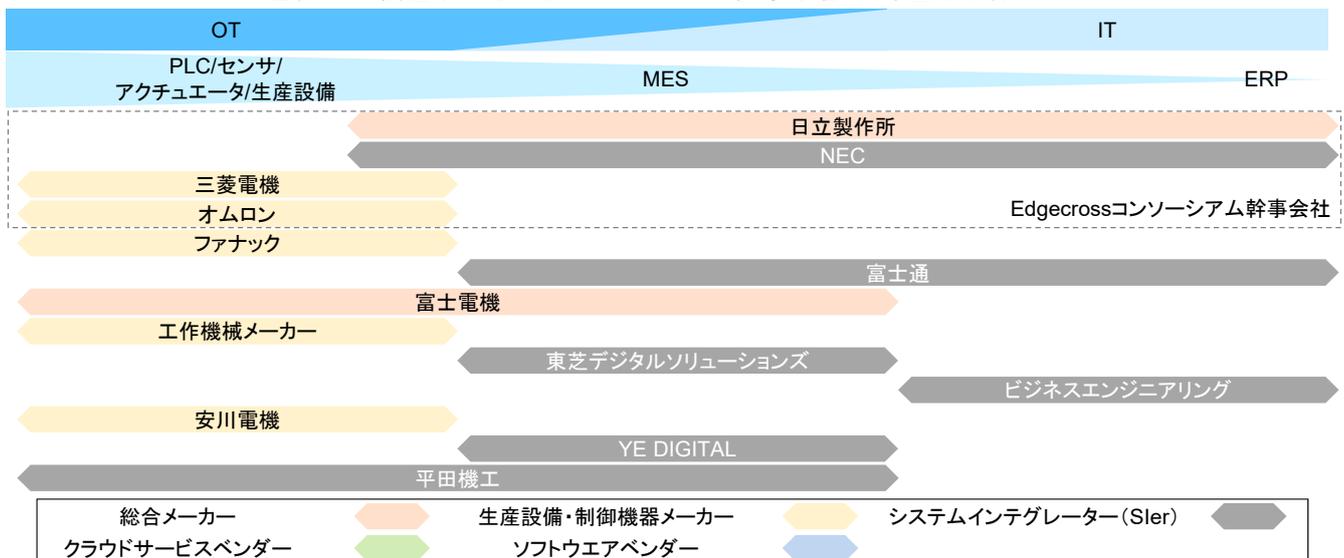
(備考)日本政策投資銀行作成

生産現場に部分最適化された投資
工場単位のプロジェクトROI、投資回収期間の短期化
投資予算の縮小、経営ビジョンに沿わない投資

7. 製造業におけるデジタル化に関連する各社の事業領域

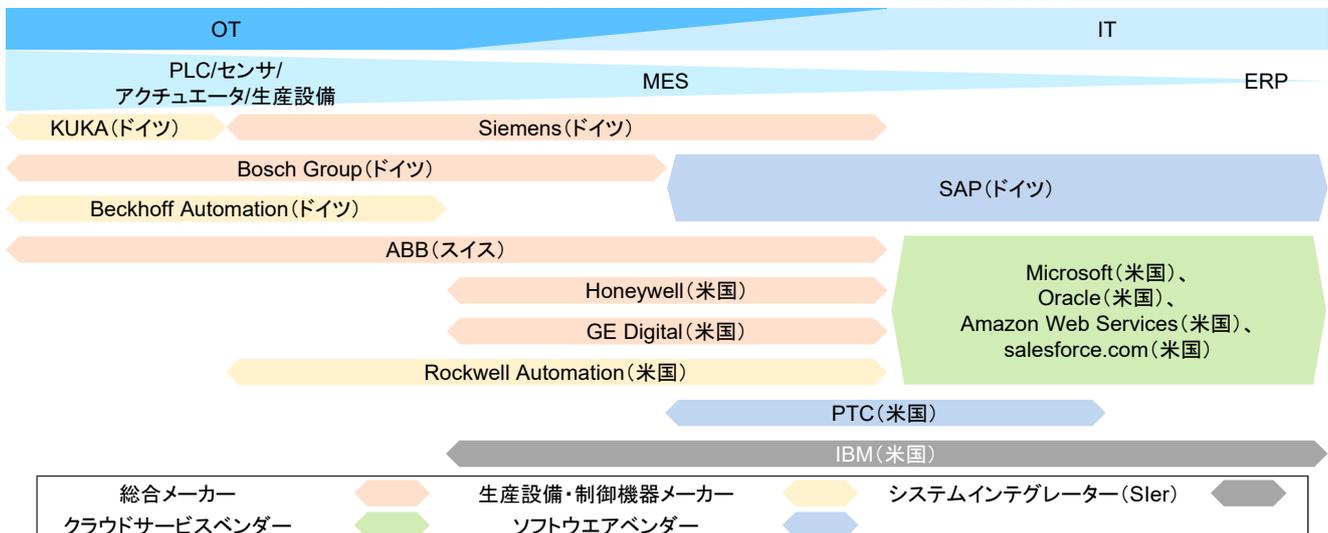
- 日系企業の製品/サービスの展開状況を大まかに整理すると、OTもしくはITの一方に各社の得意分野が分かれている。OTから上位のITシステムまで含めた一貫した提案は、他社との連携なしでは行えない状況にあると考えられる(図表7-1)。大手コンサルティングファームがIT・OT連携の投資の旗振りをしているほか、17年に設立されたEdgexcrossコンソーシアムは総合的な事業展開を行うためのプレイヤー候補として期待されるが、取り組みは一部の先進性のある工場に留まっている。
- 海外企業においては、18年にはRockwell AutomationとPTCが連携を発表するなど、OT・IT企業間の連携が進んでいる(図表7-2)。Siemensは07年時点でPLMやCADソフトウェアのベンダーを買収し、デジタル化に必要な製品ポートフォリオを有するほか、同社のIoTプラットフォームに対する認知度も高い。ABBは工場自動化など産業デジタル化に経営資源を集中しており、不足するリソースを補うための提携や買収を実施している。同社のロボット事業では、製造からライン構築、オペレーション最適化までのソリューションを提供し、他セグメントの知見などを活用してシステムインテグレーション(SI)事業を展開している。
- ITとOTを連携させる通信規格の整備をみると、OPC UA including TSNなどが徐々に進みつつある。これを契機に、従来型の生産設備・システムへの再投資を検討する企業が増加する可能性があり、IT・OT両面踏まえた提案を行えるプレイヤーが増加することが期待される。

図表7-1 製造業におけるデジタル化の主要事業者(日系企業、順不同)



(備考)日本政策投資銀行作成

図表7-2 製造業におけるデジタル化の主要事業者(海外企業、順不同)

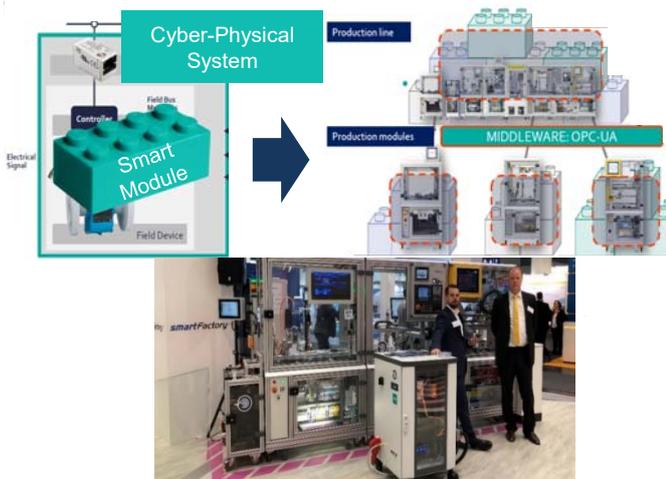


(備考)日本政策投資銀行作成

8. デジタル化の進展に伴う競争軸の変化

- 工場自動化に係る提案は、マス・カスタマイゼーションへの対応、生産拠点の海外シフトや国内の工場新設の減少による生産技術者の不足、自動車や電機以外の分野における新たな自動化ニーズ、システムインテグレーター(Sier)の不足などを受けて、エンジニアリングチェーンへの負担低減が求められており、生産設備単体ではなく、生産ラインの役割ごとに複数の機器を組み合わせたモジュールの提案が増えつつある。工程ごとにモジュール化した生産設備は、レゴブロックを組み立てるように短時間で生産ラインを組み替えることが可能で、需要変動に臨機応変に対応できる(図表8-1)。
- 日立製作所は、それぞれの作業を担うロボットシステムをひとかたまりにした「セル」という単位を提案している。同社の展示会においては、ばら積みピッキング、高速商品仕分け、無人搬送車による製品搬送の3システムを組み合わせたモジュールが展示されており、高精度なシミュレーションが可能で、現場でのシステム構築でも手戻りがほぼなくなることが紹介されていた。他社でもモジュール化して提案する動きがみられる(図表8-2)。
- 製品設計における技術者の負担軽減としては、AIを活用したシステムデザイン(AASD)が新たな技術分野として議論されている(図表8-3)。製品の複雑化や多品種化・短サイクル化により、設計開発工程の工数が増加しているが、AIの急速な発展により知的な作業が可能になりつつある。過去事例や法規制の検索など間接的な作業が補助され、技術者は設計における本質的な作業に集中できるようになることが期待される。
- しかしながら、いずれの競争軸の変化もOT分野の取り組みに留まる。広義のスマート製造を実現するためには、OT側の部分最適からIT分野も含めたシステム構築を担う工場エンジニアリングの振興が求められる(図表8-4)。

図表8-1 生産設備のモジュール化



(備考) SmartFactory KL資料、ハノーバーメッセ 2019にて日本政策投資銀行撮影

図表8-2 生産設備のモジュール化の事例

企業名	名称	内容
日立製作所	セル	複数のロボットシステムに協調動作設計を行い、「セル」という単位を定めるもの。高精度なシミュレーションが可能になり、システム構築の手戻りを低減する
不二越	NS-Platform (第1段はバリ取りセル)	システムインテグレーションの実績に基づくロボットシステムのプラットフォーム化。立ち上げを迅速化し、システムの汎用性を確保することで、ロボットシステム導入の障壁を下げる
DMG森精機	MATRIS	工作機械の周辺機器とロボットをモジュール化して、機械本体につなぐシステムを構築。従来は難しかった生産変更に伴う改造に柔軟に対応
オムロン	レイアウトフリー生産ライン (実証実験段階)	5Gと自動搬送ロボットを活用し、設備間のネットワークを無線化して、生産品目に合わせて生産ラインの変更にに対して機械や設備が動くもの

(備考) 日本政策投資銀行作成

図表8-3 AASDについて

CAD(Coputer Aided Design) 計算機による設計の支援



指示された図を正確に描くことはできる



AASD(AI-Augmented System Design) AIによる設計能力の拡張



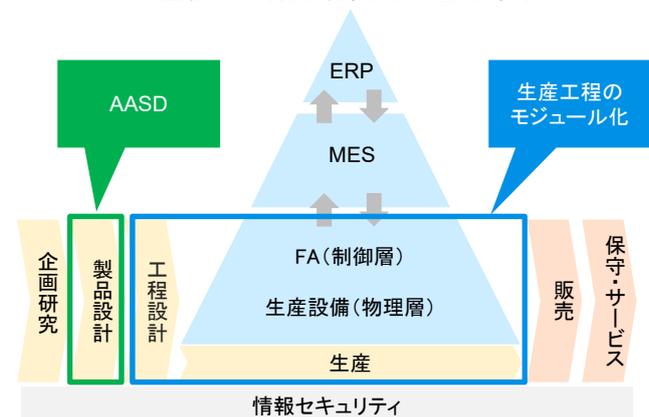
設計内容を理解してチェックしてくれる

この厚さだと質量が過大です

ピストンリング内径が規格に適合しません

(備考) NEDO TSC Foresight「AIを活用したシステムデザイン(AASD) 技術分野」

図表8-4 競争軸変化の適用部分

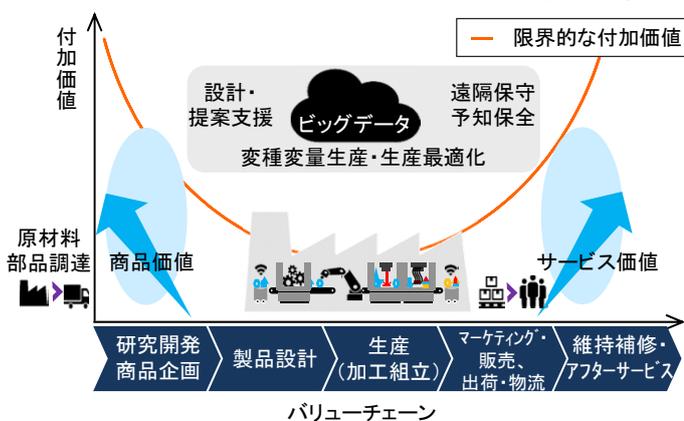


(備考) 日本政策投資銀行作成

9. 国内製造業のデジタル化を支援する担い手とは？

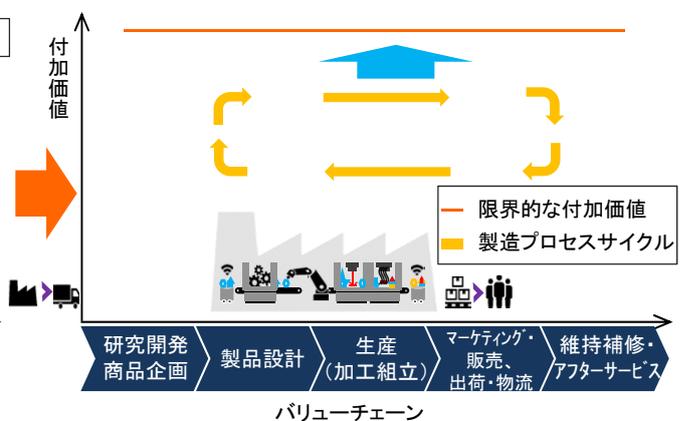
- これまで述べてきたように、IT・OTの連携を進めようにも、顧客側は「決定権限の壁」が障壁となっている場合が多い。バリューチェーンの全体に事業価値が広がる観点では、上流の設計や下流の製品/サービスの体験価値から収益化するプロセスに注力しがちとなり、工場における投資判断は現場の最適化に留まり、製造事業全体の利益を極大化させる分野への投資が疎かになることが懸念される。製造業におけるデジタル化は、スマイルカーブ論のような設計・サービスか、生産現場かの二元論ではなく、それぞれのノウハウを事業全体にフィードバックする仕組みによって、事業プロセス全体の付加価値向上を図るものである(図表9-1、図表9-2)。
- 顧客側からの取り組みが困難である場合、製造業におけるデジタル化の供給側からIT・OTの両面を踏まえた提案が望まれる。供給側はIT・OT双方に知見を有する企業が望ましいが、ITもしくはOTのいずれか一方に得意分野を有することが多いことから、相互の知見が補完される連携が必要となる(図表9-3)。
- 例えば、IT・OT連携に対応できるSlerと、Slerの顧客基盤および事業規模を補完する生産設備・制御機器メーカーがアライアンスを組むことで、顧客企業の製造システム全体を対象とした大規模な投資案件を提案する体制を構築する可能性があると考えられる。顧客側の都合を踏まえると、自社製品による囲い込み戦略をとらず中立性があることが望ましく、エンジニアリング企業のIT子会社と機器メーカーの協業などが候補として検討に値する。
- ITの領域も含めた生産システム全体を専門に請け負う事業者が増加し、その提案を経営課題として捉える顧客側の企業が増えれば、国内製造業のDXの基盤となるデジタル化・スマートファクトリー化が促進される。当行をはじめとする金融機関は、製造業の支援として、コロナ禍における資金支援だけでなく、その後を見据えて、アライアンス支援などによって新たな工場エンジニアリング事業者の創出を促すことが求められるだろう。

図表9-1 バリューチェーン上下流への事業領域の拡大



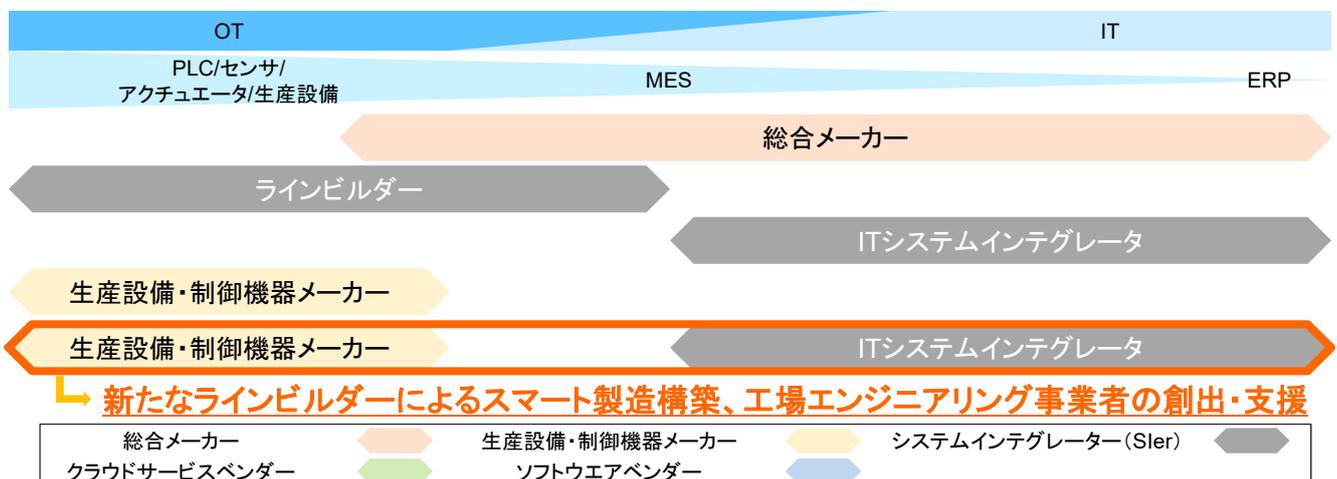
(備考)日本政策投資銀行作成

図表9-2 製造サイクル全体での付加価値向上



(備考)日本政策投資銀行作成

図表9-3 工場エンジニアリング事業者創出のための連携仮説



(備考)日本政策投資銀行作成

©Development Bank of Japan Inc.2020

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引等を勧誘するものではありません。
本資料は当行が信頼に足ると判断した情報に基づいて作成されていますが、当行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しましては、ご自身のご判断でなされますようお願い致します。本資料は著作物であり、著作権法に基づき保護されています。本資料の全文または一部を転載・複製する際は、著作権者の許諾が必要ですので、当行までご連絡下さい。著作権法の定めに従い引用・転載・複製する際には、必ず、『出所：日本政策投資銀行』と明記して下さい。

お問い合わせ先 株式会社日本政策投資銀行 産業調査部

Tel: 03-3244-1840

e-mail(産業調査部): report@dbj.jp