

CPPS の技術コンセプトと 2040 年モノづくりビジョン

つながるサイバー工場 CPPS 研究分科会活動報告書

Ver 1.0

2019/5/31

一般社団法人日本機械学会生産システム部門
つながるサイバー工場 CPPS 研究分科会

来歴

Version	日付	対象箇所	内容
1.0	2019/5/31	全て	第1版

著作権について

本報告書は、一般社団法人日本機械学会生産システム部門つながるサイバー工場 CPPS 研究分科会の活動において議論を続けた結果を取りまとめたものであり、本報告書に関する著作物は著作権法の保護対象となる。

本報告書が含む著作物は公開された著作物であり、特許権、特許出願、実用新案権に関して抵触する可能性があることを付記する。

尚、一般社団法人日本機械学会生産システム部門つながるサイバー工場 CPPS 研究分科会は、このような技術的性質をもつ権利出願にかかわる確認について責任をもたない。

■ 序文

今日、我々が立脚する科学技術文明は様々な未知を明らかにしながら、また、様々な問題に対峙して解決しながら、たゆまない進化を続けることを止めずに自ら永遠の未来を探求し続けている。そしてその科学的な未来は、本質的に決定論的な確定性を持たないものである。そこには多様な発現や選択肢が与えられて何らかの選択と決定により定まっていくものであり、そのようにして生命や現代の文明はここまで進化を続けてきた。

今、世界中の多くの技術者、企業、研究者は第四次産業革命による社会変革へのインパクトを鑑みて来るべき新しいモノづくりの姿を見出そうと取り組んではいる。しかし、今日の早い技術の進化において、顕在知としての演繹的な論理思考においては今から5年後か、高々、10年後程度の姿しか想定することしかできない。一方、基礎技術研究はそれ以上の時間余裕（スパン）の中で積み上げられるものであり、まだ見ぬ将来に向けた技術指針を共有することは容易ではない。様々な技術要素が結果的に結びつくことで成果をもたらす予定調和とは、技術者、研究者、それぞれが潜在的に持つ将来像、つまり、デザインとしての暗黙知により同期することで、構築的な未来を紡ぎ出すものである。換言すれば、「未来」とは我々が内在して想像するもの、目指すもの、求めるものから、結果的に創造されるものである。

第四次産業革命、また、情報技術、知識技術の進化がもたらす産業的、社会的な変化点が訪れようとしている今日、不確定要素を含んだ20年後を合理的に示すことは困難というより、そもそも、その考え方は適切ではない。つまり、未来を「予測する」という取り組み姿勢を取るべきではないと考えている。一方、その世界へ至る多様な選択肢を示して、その選択、意思決定に関する「問い」を発することは可能なことであり、また、その未来に対する選択肢とそれぞれの持つ意義を社会に対して示すことこそが、技術者、研究者に求められる姿勢や行動であるとともに、社会的に果たすべき重要な役割であるとする。

すなわち、我々、技術研究に関わる者の大きな活動目的のひとつは、未確定な20年後のモノづくりを予測して確定させることではなく、そこへ向かっての選択肢を示したうえで、技術者、研究者が採るべき技術開発の指針や意義、姿勢を「問うこと」であるとする。

未来は未確定であるが選択可能であり、制御可能である。未来を「望むべき仮説」として置くことで現在を存在なさしめる構造が規定され、それが未来を構築する駆動力となる。未来に向けて路を拓くこと、選択されるべき路を意思決定すること、また、それに向かって推進することは、まさに今を生きる我々に委ねられている。

*

本研究分科会の設置に至った背景は、多くの皆様から今から変わりゆくモノづくりに対して、一体、どのような姿になるのか、また、それらの動きに対してどのように対峙していけばよいのかとの声を頂いたことにある。世界的にモノづくり技術における新しい考え方や流れが生まれつつある中で、これまでの現場の経験値を基盤とする日本型のモノづくりの在り方はIT化や自動化の動きの中でどうなっていくのか、そしてどうやって闘っていけばよいのか等の困惑の声も聞こえてきた。

ここでの変化の潮流は、従来の枠組みから拡張を進めていけば対応できるものではないことは明らかである。改めて言うまでもなく、これまで我々の文明が経験してきた第一次～第三次までの産業革命は「パラダイム・チェンジ」を繰り返し、破壊的で非連続かつ、その主役交代を伴いながら展開してきた。つまり、造り込みや実装技術の徹底だけでは乗り越えて行けるものではない。そのような状況下、来る新たなパラダイムに対して、どのように対峙していけばよいかをモノづくりに関わる技術者と一緒に真摯に考えることこそ、今、必要なことであると考えた。将来に向けての議論を通じて様々な歩むべき路をメンバーの皆様とご一緒に描くとともに、多くの皆様への参考として発信するために本研究分科会を設置することとした。

*

改めて本研究分科会のミッションをまとめると、今日のモノづくり技術を基盤としながらも、それらが多様な関係性の中でインテグレートされ、パラダイム・チェンジを伴いながら進化が進むなかで、先に述べたように選択しうる新たな指針と技術的な方式を示すことである。

尚、ここでの活動の意義とは革新的な技術を打ち出すことや標準化に向けて新たな枠組みを提案することと共に、モノづくり領域の技術研究者が新しいモノづくりの時代に向けた技術コンセプトに関する理解を深めることにある。何故ならば、「革新を進める」こととは単に機能的に現在を代替することではなく、ここまで日本のモノづくりが育んできた「モノづくりの知」を如何に生かせるのか、また、如何にこの「知」を積み上げていくことができるのか、つまり、人類の知の集積を拡張していくことこそが、パラダイム・チェンジを通じて価値化を進める本質であるからである。また、技術や知とともに、モノづくり社会・組織の中でヒトがどのように関わっていくのかという点において、「スキル・マチュリティ」や「ヒトの感情」、「モラル」等の視点も重要と考えている。このような様々な観点から未来へと向かうフレームワークを与えることこそが、大きな社会変革の時代を迎えている人類の進歩を適切な方向へと進めることに繋がるだろう。

一方、このような議論においては演繹的な手法だけでは有効ではない。ここでは帰納的、もとい、アブダクティブ (abductive) なアプローチが求められる。このため、本研究分科会での活動はモノづくりの基盤技術に基づきながらも、観念的な領域での議論を取り入れ

て推進した。

本研究分科会での議論は、今後のモノづくりの姿の探求やそれに関わる技術研究、また、それらを活用して産業革新を推進される皆様へのご参考にしていただければ幸いである。

*

ここで、本研究分科会での議論を進めるに当たって留意した点を付言しておく。

まず、現在、知られていない未知の技術やシンギュラリティ等のような想像することが論理的に不可能な領域を対象とすることは本研究分科会における技術基盤に立脚した検討を妨げることになるために、それらを排除して検討を進めたことを付言する（ただ、後世の時代では、既に 2019 年はシンギュラリティが到達した時代と見なされているのかもしれないが）。

また、このような議論は従来研究での技術領域の範囲を超えたものに展開されていく性格を持つ。しかし、このような活動こそが将来を希求する活動として研究者が担うべき役割のひとつであり、今、多くの皆様と対話すべき時と考えた。そのため、仮説や期待に基づく議論が含まれることについてはご理解を頂きたい。

ここでの議論は本研究分科会での活動に留まらず、このような領域にご興味とご理解のある皆様と共に、多くの拡張的な議論に発展することを期待する。

■ 目次

来歴、著作権について -1-

序文 -3-

*

第1章 本研究分科会活動の背景と目的 1

1. 1 生産システムを取り巻く環境
1. 2 モノづくりビジョンを希求することの重要性と意義
1. 3 本研究分科会設置の趣旨と目的

第2章 CPPS の位置づけと本研究分科会が狙う技術検討領域 5

2. 1 産業革命を通じた生産システムの変化
2. 2 第4次生産革命における生産システムの果たすべき役割と期待
2. 3 検討対象とする CPPS に関する技術領域
2. 4 本研究分科会の狙いと目的

第3章 本研究分科会活動の進め方 13

3. 1 仮説としての「在りたい姿」の設定と活用モデルの探求
3. 2 バックキャストによるセグメント別のアプローチ
3. 3 アプローチ別 WG 活動における仮説設定の考え方
3. 4 アプローチ別活動結果を受けたその後の検討の進め方

第4章 アプローチ別 WG 活動の概要 20

4. 1 アプローチ別 WG の設置
4. 2 「タイプ別モノづくり」の導入
4. 3 タイプ別 WG のミッション

第5章 アプローチ別 WG /スマートマシン 24

5. 1 スマートマシン WG の概要と主題
5. 2 製品、サービスの TYPE 別分類
5. 3 生産システムの進化の方向性
5. 4 TYPE 別 2040年のモノづくり

- 5. 5 スマートマシンの4象限
- 5. 6 製品タイプとスマートマシンの関係性
- 5. 7 スマートマシンのビジョン
- 5. 8 スマートマシンの技術課題
- 5. 9 技術ロードマップ骨子
- 5. 10 スマートマシンWGのまとめ

第6章 アプローチ別 WG/サプライチェーン

47

- 6. 1 サプライチェーンWGの概要
- 6. 2 現在のサプライチェーンのとらえ方
- 6. 3 価値の変化とものづくりの変化
- 6. 4 TYPE別のものづくり予想
- 6. 5 2040年のTYPE別サプライチェーンの姿
- 6. 6 2040年のサプライチェーンCPPSのイメージ
- 6. 7 2040年のサプライチェーンCPPS実現のための技術課題
- 6. 8 注目すべき技術
- 6. 9 技術ロードマップ

第7章 アプローチ別 WG 活動が明らかにする CPPS への期待と要求

74

- 7. 1 ヒューマン・セントリックWGの概要
- 7. 2 ヒューマン・セントリックWGの扱う領域と概念
- 7. 3 2040年へ向けたビジョンとCPPSを運用するエンジニア像/作業員像
- 7. 4 2040年へ向けた重要技術

第8章 アプローチ別 WG 活動が明らかにする CPPS への期待と要求

89

- 8. 1 アプローチ別WG活動の統合化
- 8. 2 更に検討が必要な技術課題/取り扱うべき要素の連携に関する課題
- 8. 3 更に検討が必要な技術課題/フィジカル領域技術の実現に関する技術課題
- 8. 4 更に検討が必要な技術課題/CPPSを構成する基盤としてのデジタルツインに関する課題

第9章 モノづくりの多様性体系化と2040年モノづくりビジョン

96

- 9. 1 タイプ別モノづくり形態から見るモノづくり特性の検討
- 9. 2 多様なモノづくり形態の体系化
- 9. 3 2040年のモノづくりビジョン「シェアド・モノづくり」

第10章 CPPS のシステム概念

104

- 10.1 「シェアド・モノづくり」から CPPS の在りたい姿へ
- 10.2 第四次生産革命時代における実現すべき生産システム「CPPS」の概念
- 10.3 CPPS 個物を結合するインテリジェント・レイヤー
- 10.4 インテリジェント・レイヤーによる
「スコープの拡大と結合ダイナミズムの獲得」
- 10.5 CPPS 管理スコープと CPPS 管理モデル
- 10.6 CPPS 管理スコープに対応する CPPS の振る舞い

第11章 CPPS 適用アプリケーションの検討

122

- 11.1 CPPS 管理スコープと適用アプリケーション
- 11.2 CPPS 管理スコープ 1
「CPPS によるカーシェアリングと CASE エコシステム」
- 11.3 CPPS 管理スコープ 2
「オープン設計情報の活用 CPPS」
- 11.4 CPPS 管理スコープ 2
「モノファンクションマシンを用いた
加工機械構成とタスク割り当ての同時決定」
- 11.5 CPPS 管理スコープ 3
「人材の多様性を考慮した人員配置 CPPS」(下村)
- 11.6 CPPS 管理スコープ 4
「商談情報リアルタイム共有(受注見込み・受注情報など)による、
ロスゼロを目指す最適調達・最適生産 CPPS」
- 11.7 管理スコープ 5
「最速生産を目指した CPPS」

第12章 サイバー領域に関する技術課題

146

- 12.1 個物の識別と標準化、検索
- 12.2 シミュレーション
- 12.3 AI、および周辺技術に関する課題

第13章 サイバー領域とフィジカル領域の連携に関する技術課題

151

- 13.1 サイバーフィジカル連携のための技術課題検討の必要性
- 13.2 ロボット
- 13.3 工作機械
- 13.4 作業者

- 1 3 . 4 エンジニア
- 1 3 . 5 工場間ロジスティックス
- 1 3 . 6 企業間発注行為

結言	163
担当・文責	166
最終報告書執筆メンバー	167
研究分科会参加メンバー	168
研究分科会委員会活動および発表活動	169
編集後記	170

まず、ここで本報告書の構成を説明する。

本研究分科会での議論は将来のものづくりの姿を探究する活動であり、ここまで至るその検討プロセスを踏まえて報告書を構成した。全体の章構成とその流れについては次ページの図を参照いただきたい。

第1章では、基本認識として、生産システムを取り巻く環境を確認し、本活動の重要性と意義を説明した。

第2、3章では、本研究分科会が狙う技術検討領域と、本活動のひとつの特徴であるバックキャストのアプローチの考え方、また、その進め方について説明した。

第4～8章では、バックキャストのアプローチに基づき、ワーキンググループに分かれて領域毎に個別の検討を行なった。そのうえで、第8章でワーキンググループでの検討を取りまとめるとともに、そこで未だ明らかにできなかった領域をとりまとめて、追加的検討をおこなうべき範囲を抽出した。

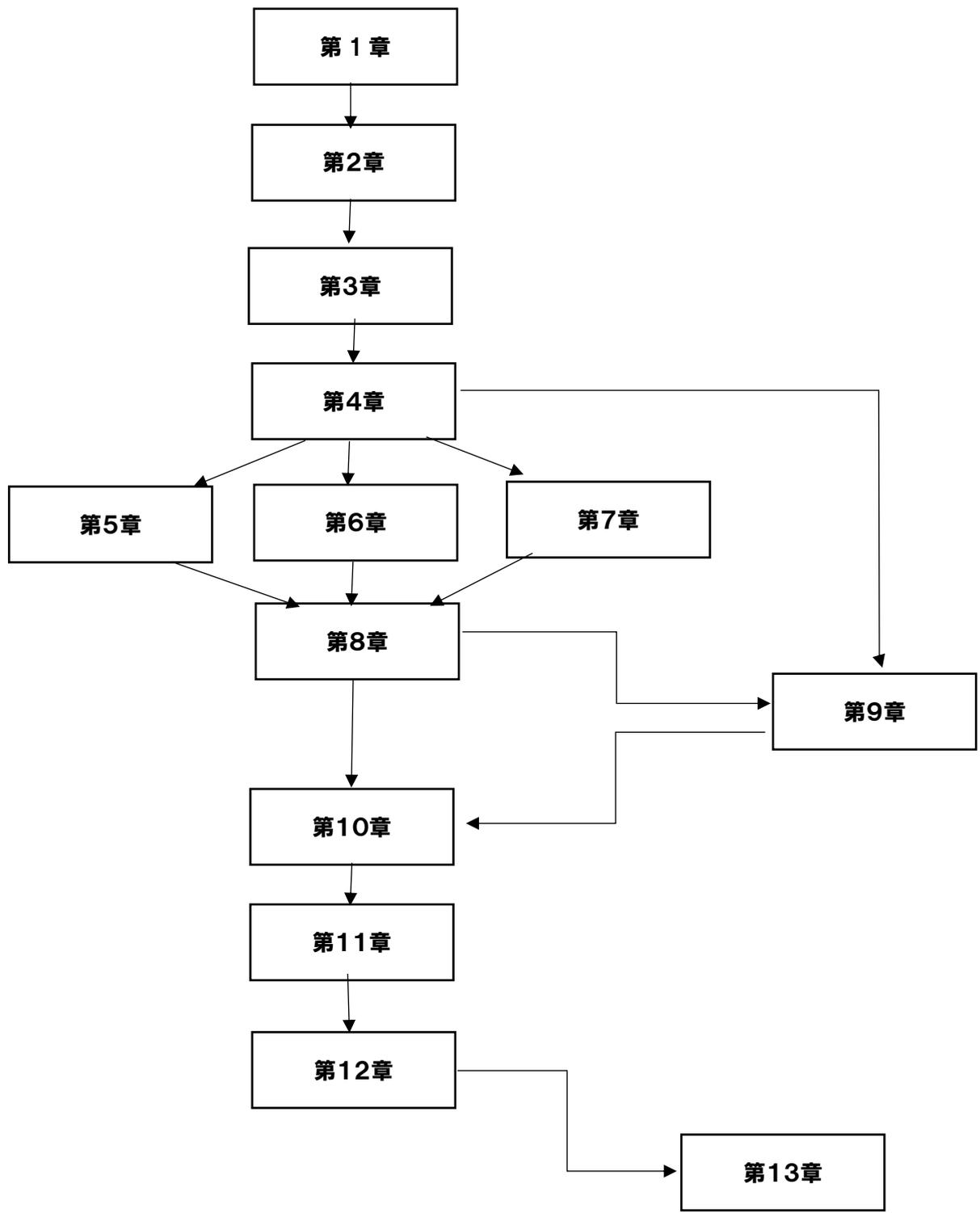
第9章ではそれまでの検討を受けて、2040年における大きなモノづくりビジョンを示した。さらに第10章ではそれらのビジョンを実現するための技術コンセプトを提案した。

第11章以降はその具体化について議論した。第11章ではCPPSにおける適用モデルを抽出したうえで、第12～14章ではCPPSを構成するいくつかの基本領域を定め、それぞれの領域での重要な技術要素について議論した。

CPPSのコンセプトに興味を持つ読者の皆様には第2、3、10、11章をご覧ください。

機械システム系研究者の方には第5章、サプライチェーン系研究者の方には第6章、ヒトと生産システムの関係に興味をお持ちの方には第7章を、特にお読みいただきたい。

更に今後のCPPS開発を推進されたい技術研究者、また、技術研究推進を支援いただく公的機関の方には、第12章以降を参考としていただき、研究開発の指針としていただければ幸いである。



1. 1 生産システムを取り巻く環境

ドイツ発の生産システムの新しいコンセプトである Industrie4.0(1)に注目が集まり、国内においても生産システムへの関心が高くなりつつある。

生産システムは、変動する6つの環境である、「社会環境」、「自然環境」、「ものづくり技術環境」、「基盤技術環境」、「労働環境」、「国際環境」の影響を受けながら、柔軟にそれらの影響に対応する必要があると考えられる（図1参照）。それぞれの環境におけるニーズやシーズは時々刻々と変化しており、変化するニーズやシーズを考慮した生産システムを機敏に開発し、最適化することが、これまでも、そして、今後も重要である。

特に、近年、「ものづくり技術環境」および「基盤技術環境」ではICT（Information and Communication Technology）関連技術の進展が早く、第四次産業革命と呼ばれているIoT（Internet of Things）環境下のスマートファクトリー（つながる工場）を実現するためのシステム化技術、要素技術、標準技術等の開発が活発化しており、生産システム関連技術開発は、従来の企業間の開発競争に加え、国家的な開発競争領域となりつつある。特に、Industrie4.0（ドイツ）、IIC（Industrial Internet Consortium）（米国）など産学官連携技術開発活動が活発化している。

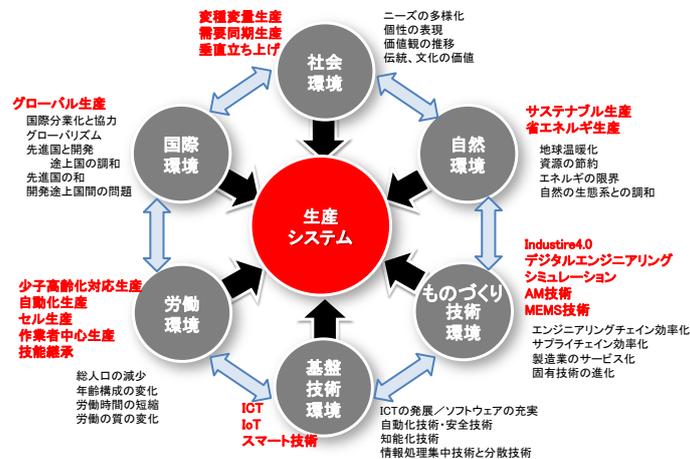


図1-1 生産システムと関係する6つの環境

1. 2 モノづくりビジョンを希求することの重要性と意義

日本機械学会生産システム部門では、このような動きに対応し、学会として対応可能な研究分科会の設置、講演会・講習会の企画などを行っている。研究分科会として、2014年度

に企画した「つながる工場研究分科会」（インターネットを活用した「つながる工場」における生産技術と生産管理のイノベーション研究分科会：主査：西岡靖之（法政大学））では、産学官 100 名以上の参加者により、つながる工場の利点や課題を抽出・明確化を行い、当初の目的を達成し、2016 年 3 月に成功裏に終了した。より発展的な活動を実施するために、一般社団法人 IVI（インダストリアル・バリューチェーン・イニシアティブ）を発足し、活動の場を移し、産学官連携によるつながる工場の実証検証活動を始めている。日本国内の産学官連携の IoT 関連技術開発は、IVI、RRI（ロボット革命イニシアティブ協議会）、IoT 推進コンソーシアムの 3 つに集約されている現在、IVI はその一角を担っている。

1. 3 本研究分科会設置の趣旨と目的

2016 年度生産システム部門では、新たに IoT 環境下でつながった先にある、工場の将来展望を研究テーマとした「つながるサイバー工場研究分科会 CPSS: Cyber Physical Production System」（主査：日比野浩典（東京理科大学））の活動を 2016 年 6 月より開始した。CPSS は、生産システムを対象とした Cyber Physical System であり、現実世界である Physical とコンピュータ上の仮想世界の Cyber とを連携して、ものづくりにおいて新たな価値を創造するものづくりマネジメントのためのシステム技術と捉えている（図 1-2、図 1-3 参照）。Physical 世界の Cyber 世界への転写率が高まると Cyber 世界において、システムの振る舞いの予測精度が進展し、様々な意思決定の精度が高まり、かつ、意思決定の規模・範囲が大きくなる。そのため、エンジニアリングチェーンやサプライチェーンにおける効率化が一層進むと考えられる。しかしながら、CPSS とは何かについて、明確な定義がされておらず、かつ、CPSS の可能性や将来ビジョンについて、技術的な方向性や展開指針が明確に打ち出されていないのが現状である。そこで、本研究分科会では CPSS とは何か、そのコンセプトと位置づけを明確にするとともに、それを支える要素技術を明らかにすることを目的とする。その際、2040 年の生産システムを予測し、CPSS において現状との技術的な差をバックキャストし、将来に向けて必要な要素技術を明確にする。さらに、Industrie4.0、IIC 等を推進する欧米とは異なる日本のものづくりの本質的な強さを意識し、今後の要素技術の展開、また、製造業の展開を視野に入れ、CPSS のリファレンスモデルを提示する。

研究分科会は基本的に本領域に知見を持つ産学官の専門家 40 名程度の参加者により、3 年間実施し、技術の視点で調査と探究を行う。個別テーマ毎に専門家による講演、および、全体会議と WG による個別会議によるディスカッションを通じてビジョン策定を積み上げ、最終報告書を作成した。分科会の成果は、部門講演会、講習会などを通して、発信していく予定。なお、2017 年 3 月、および 2018 年 3 月の部門講演会で中間発表を実施した。2019

年3月の部門講演会で最終まとめを実施した。

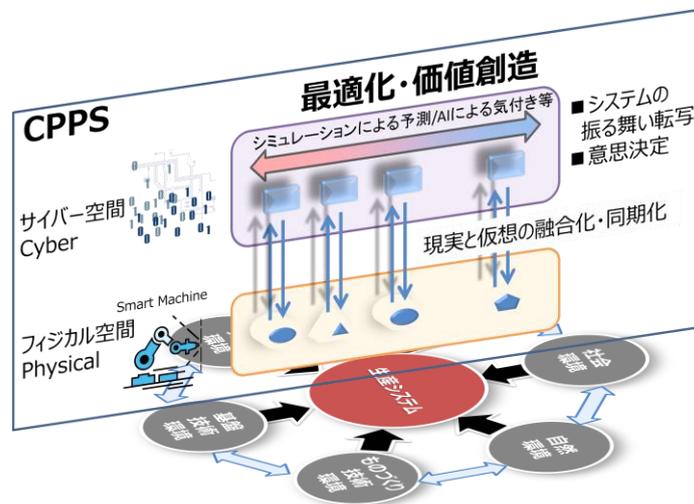


図1-2 CPPSの概要

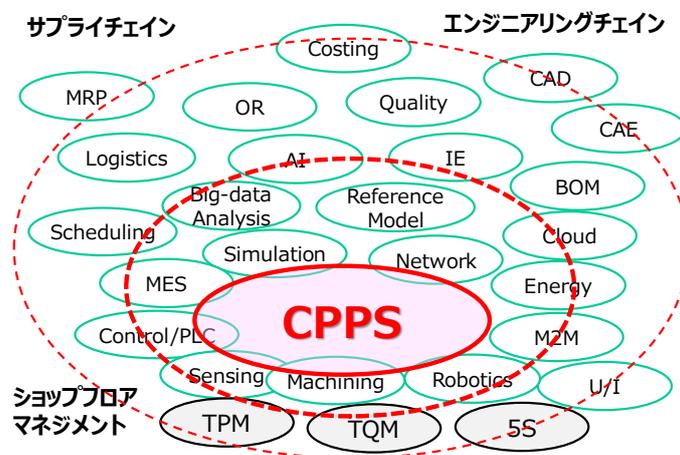
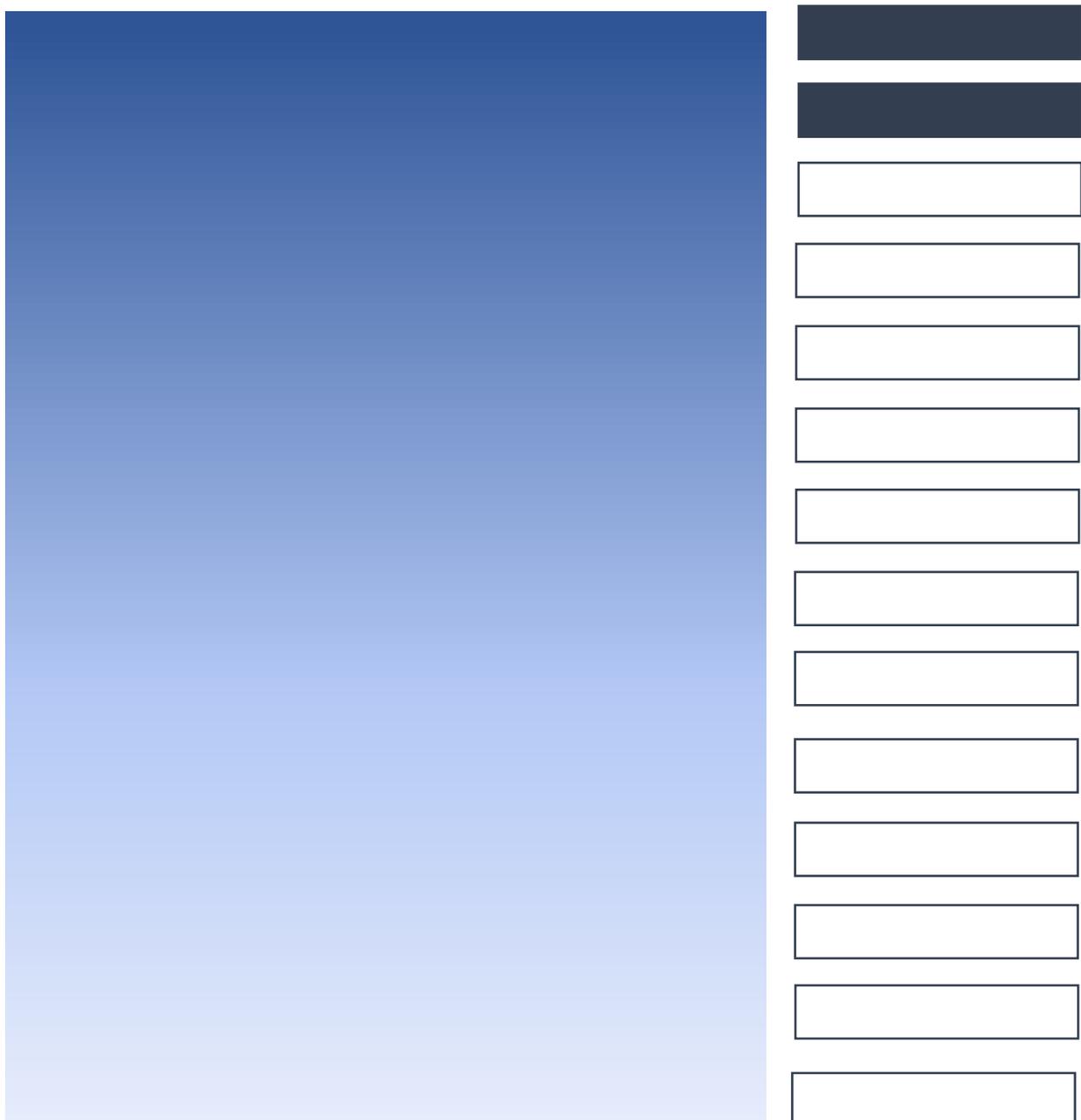


図1-3 CPPSと関係する要素技術

第2章

CPPS の位置づけと

本研究分科会が狙う技術検討領域



2.1 産業革命を通じた生産システムの変化

ここでドイツ政府はインダストリー4.0の目標を2つ、掲げているが、そのうちの1つが「Cyber Physical Production System の開発」である。

ここでは「生産と物流システムに適した CPPS の開発のため、機械工学と設備工学の強みを、自動化技術および情報工学の能力と統合することを中期的な目標とする。バーチャルに計画される生産プロセスと現実の生産工程の組み合わせ、モジュール化された CPS と対応するコンポーネント開発を長期的に行う。(2014 CDRS 「ドイツ政府の第4次産業革命」より)」として、Cyber Physical Production System の考え方を導入して、その重要性を説いている。

前章では CPPS の実現を通じて獲得したい付加価値について考えたが、ここで改めて「生産システム」という視点で歴史的な生産システムが獲得してきた価値モデルを振り返りながら、CPPS を活用する時代において、モノづくりの価値を生み出す生産システムの本質とは何かを考えてみる。特にここでは第四次産業革命というモノづくりの在り方の議論を通じて定義された言説の視点で位置付けてみる。

■第一次 動力の導入による絶対駆動力の強化

18世紀から19世紀に渡って起きた変化で、蒸気機関が産業に導入されて、農耕・地方社会の工業化、都市化が進んだ。

■第二次 分業システムによるスケラビリティの獲得

1870年から第1次世界大戦までの間に起きた、大量生産を実現する方式への革命。生産工場に分業システムが導入されることで、従来の個別作業形態から生産能力を拡大することができるようになった。スケール・メリットの獲得。

■第三次 自動化、IT、造り込みによる要素システムの高度化、部分最適

確定的な対象要素や一定の対象範囲に対する自動化、相対制御（連携対象）を通じた生産システムの高度化（自動化や造り込み、制御の電子化）。しかし 局所（部分）であり、または固定的な連携対象、部分最適。

ここでは対象とするスコープが確定的に限られるために、これらの高度化を通じた生産システムレベルアップは一定のレベルを超えて、コストやデリバリの観点でビジネスシステムとしての限界が見えてきている。限定された「モノを造る」という生産システム（工場や工程）の概念における内向きの最適化。

■第四次 スコープの拡大と結合ダイナミズムの獲得、フレキシビリティと全体最適

生産システムとしてより、大きな価値を生み出すためには、第三次産業革命での高度化として対象としたスコープを拡大することが必要であり、同時に確定的、静的な対象ではなく、状況に応じて連携（同期）する対象を変化させるための、スコープ内の個物を動的に結合させる方式が必要となる。

ここで、スコープを拡大する次元（軸概念）としては、距離、組織等の空間軸、過去や未来に遡る時間軸、異種（ヘテロジニアス）の個物種類の軸、等が考えられる。

スコープを拡大し、結合の自由度とダイナミズムを通じて、スコープを広げて対象を広げるとともに状況に応じて個々の要素を動的に結合させる。原材料から市場（顧客）までを含めた大きな概念の生産システムそのものがフレキシブルに変化させることを通じて、生産システムが従来にない市場価値を生み出す。広い生産システム（素材から市場まで）の概念における工場を起点とする外向きの最適化。コネクション・メリット（結合の価値）の追及。

参考；■第五次 認知力の強化、ナレッジの集合知化

第四次産業革命における生産システムにおけるコネクション・メリットから拡大し、一般化、抽象化されたメタ知識が共有されることによるナレッジの存在が価値を生み出す。

仮説を造る力、すなわち、認知力が強化されることによる推進力がもたらすイノベーション。コグニティブ・マニュファクチャリング。

2.2 第4次生産革命における生産システムの果たすべき役割と期待

次に、第四次産業革命における目的を「スコープの拡大と結合ダイナミズムの獲得」としたとき、どのような生産システムが必要であるか、どのような生産システムの方式で実現できるかを考える。

まず、「スコープを拡大する、結合のダイナミズムを獲得する」という目的に対して、従来の方式、つまり、制御システムや電子的なネットワークを活用しながらも、対象となる機械設備や事象を選択、確定したうえで接続していく方式では、決して柔軟性が高いとは言えない。なぜならば、生産工場において異種の設備や事象を結合させるためには、それぞれを対象として結合させる有限の個別の仕組みを結合対象毎に開発（定義）する必要があり、従来の方式では接続関係をフレキシブルかつ、動的に変化させることはできないからである。接続ネットワークを抽象化して結合対象を一般化する取り組みも進められているが、あくまで接続先間を特定したうえで相互接続の一般性を実現しようとするものである。狙うべきは、「部分最適から全体最適へ」とともに、「結合の柔軟性を与えることにより動的な結合関係を動的に生成し、必要に応じた対象領域を構成して最適化を行う」方式である。

一方、結合対象は機械設備等の重要機器に留まらず、より広範な範囲に渡って対象とすることが必要な時代となってきた。治工具、部品、搬送装置等の生産財や作業員編成や製品設計情報や工程設計情報、工場設計情報や標準類、それらに対して実装された状態、また、生産におけるモノの流れや各生産工程における作動状態、品質等の生産に関わる状態、さらには、マーケットにおける市場の要求、動き、受発注から原始部品の調達に関わるサプライチェーンのネットワーク等に渡る、広い範囲の結合対象である。

このような結合範囲を広げなければならない背景の一つは、第三次産業革命を通じて獲得してきた自動化等の従来方式は結合対象がある一定の範囲に限定されるために、今からのモノづくりが必要とするより、広い範囲での結合に対応できなくなったからである。例えば、ロボット群が連携しながら自動化生産を行う場合は、その自動化ラインの固定的な範囲に限られる。また、後工程引き取りカンバンによるプル生産方式は限られたバッファ間の固定的な範囲に限られる。さらには、生産現場のカイゼン活動は、そのカイゼンチームが対象とする固定的な範囲に限られる。

これらの活動は十分に効果を奏し、モノづくりのレベルアップを実現してきたが、しかしながらその限られた範囲のなかでのレベルアップはもはや、限界が見えてきている。今からのものづくりは、従来の枠を広げ、より広い範囲で相互結合をおこなうことにより、従来の自動化やカイゼン活動の限界を打ち破り、より高いレベルのモノづくりへと進化していく必要がある。計画系のフロントローディングや後工程からの上流へのフィードバック、市場ニーズの柔軟な取り込み等の活動範囲を積極的に拡大して最適化の対象範囲を広げること、より高いQCDEを得ることや組織や業務プロセスを密接にすることを通じてモノづく

り組織の対応能力を強化しフレキシビリティを獲得すること、また、市場、顧客やサプライチェーンが結合することで市場価値を高めるサービスを生み出すなどの、新たな価値生成が期待できる。

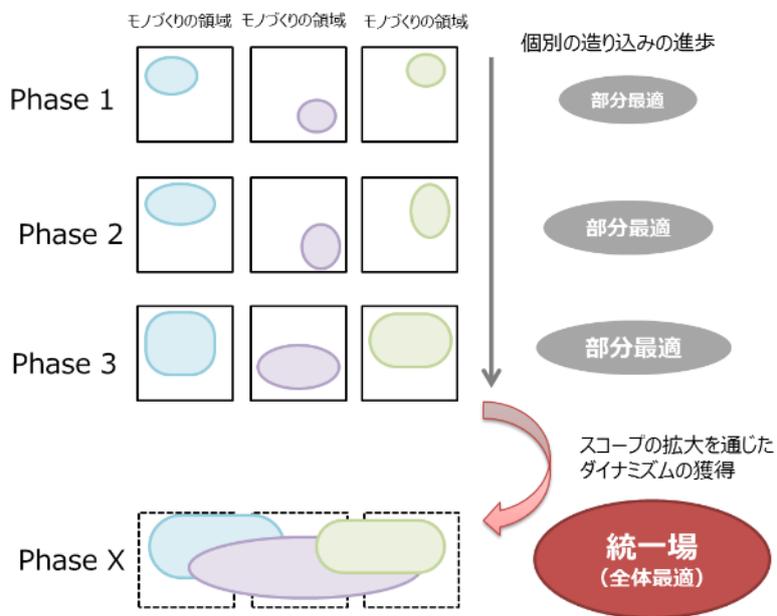


図 2-1 結合範囲の拡張による統一場を通じた新たな価値生成

2.3 検討対象とする CPPS に関する技術領域

前節で説明した「スコープを拡大する、結合のダイナミズムを獲得する」という目的に対して、CPPS による実現を狙う。図 2-2 に示すように、CPPS をサイバー空間とフィジカル空間を IoT 等の連携技術で同期化することによって実現される機構により、当該目的を達成することを狙う。本研究分科会での検討はこの機構に関するコンセプト、運用技術、また、構成技術に関する検討を行う。

ここでは、ヘテロジニアスであるフィジカル空間での様々な存在を、一旦、ホモジニアスであるサイバー空間の存在とみなすことができれば、前節で述べた全体最適を担う統一場を構成することが容易となる。

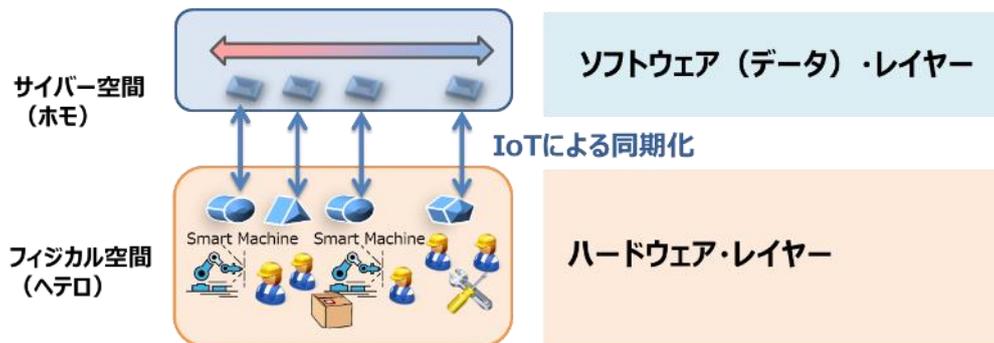


図 2-2 サイバーフィジカル・システムにおけるサイバー空間とフィジカル空間の関係

2.4 本研究分科会の狙いと、より詳細な活動目的

ここで、前節で議論した CPPS の狙いや構成については、世界中で様々な議論が行われ大きな方向性としては広く理解されつつあると思われる。ところが、まだ、CPPS で何を行うのか、どのようなコンセプトで価値生成を行うのか、という CPPS のコンセプトについては議論の途上である。また、どのような業務にどのように適用していくのかという活用モデルについても、まだ、十分な認識や具体化が成されているわけではない。これらを探究していくことがモノづくりの将来は拓くことに繋がると考え、同様の意識を持ち、CPPS の在り方に興味と期待を持つ日本機械学会生産システム部門のメンバーを中心に集まっただき、本研究分科会を設置した。以下に本研究分科会での活動の狙いと目的を説明する。

CPPS は前節で示した構成として語られる場合が多いが、これをモノづくりとしてどのように活用していくかが大きなテーマである。

下図で示すように、CPPS においては様々な利用形態としての活用モデルが考えられる。本研究分科会では、CPPS の概念により構築されるシステムをどのように活用できるのか、その活用モデルを導出する活動を行ない、この活用モデルを明らかにしていく。併せてこの活用モデルを実現するための基盤要素技術についても検討を行い、それを実現していくための技術ロードマップを策定する。

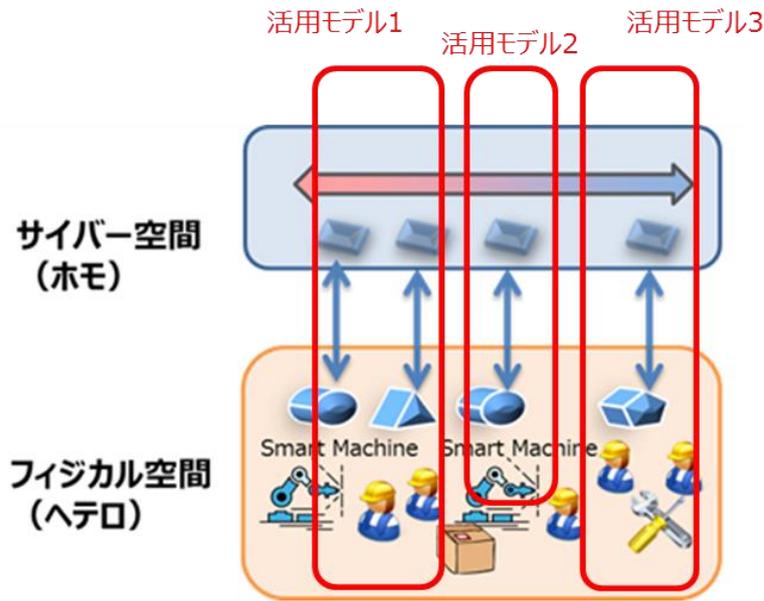


図 2-3 サイバーフィジカル・システムにおける活用モデルの探求

また、このような変革を通じてそもそも、将来のモノづくりの姿は一体、どのようなものになるのか、この点について何らかの姿を指し示すことが重要であると考え、本研究分科会で議論を行った。今日の時代は人類の文明における変革期に差し掛かりつつあり、不確実性が増している。そこで活動する多くの人々は将来に対する不安にさい悩まされるものであるが、不確実性を示して不安を増長させるのではなく、不確実性の中から希望や可能性を示すことが必要である。未来を予測することは原理的に不可能であるが、何らかの将来ビジョンを示すことにより、それに向かう求心力を与えることは可能である。将来の姿を指し示すことでヒトや組織が潜在的に持つ能力を顕在化させて、技術研究開発活動を加速させることが本研究分科会の本質的な目的であり、狙いである。

ここで、この将来ビジョン策定においては、インダストリー4.0や多くの企業が策定を行っている2030年頃までのビジョンでは意味を成さない。それより先の時代におけるビジョンを示すことが必要であると考え、2030年より一步先の「2040年のモノづくりビジョン」を策定することとした。勿論、その時代のビジョンが想定できるのか、策定できるのか、また、そもそも意味があるのかという疑義があることは十分に理解したうえで、これに挑戦した。このような活動は一般的に観念的、また、抽象的になりがちである。また、仮にそれが結果的に正しくなかったとしても、挑戦的に議論することこそが必要であり、今、求められていることであると考えた。

<シンギュラリティについて>

尚、本研究分科会で議論する将来ビジョンに置いては、「シンギュラリティ」の取り扱いについて言及しておかなければならない。

「シンギュラリティ」は Wikipedia では以下のように説明されている。『技術的特異点は、汎用人工知能（en:artificial general intelligence AGI）、あるいは「強い人工知能」や人間の知能増幅が可能となったときに起こるとされている出来事であり、ひとたび優れた知性が創造された後、再帰的に更に優れた知性が創造され、人間の想像力が及ばない程に優秀な知性が誕生するという仮説である。』

本研究分科会での議論においてシンギュラリティを決して否定するものではないが、人の創造性を超えた新たな知性で全てが変わるというその言説に基づいて議論を行った時点で、これまでの技術基盤や経験則に基づいた全ての議論は原理的に意味を成さなくなる。そのため、本研究分科会ではシンギュラリティの考え方を排除した議論とすることとした。

一方、我々の住む時代は既に情報化されており、ヒトの思考や組織の行動は自律を始めた情報に制御されつつある。後世の時代においては、今の時代は何らかのシンギュラリティが始まった時代と認識されるのかもしれない。

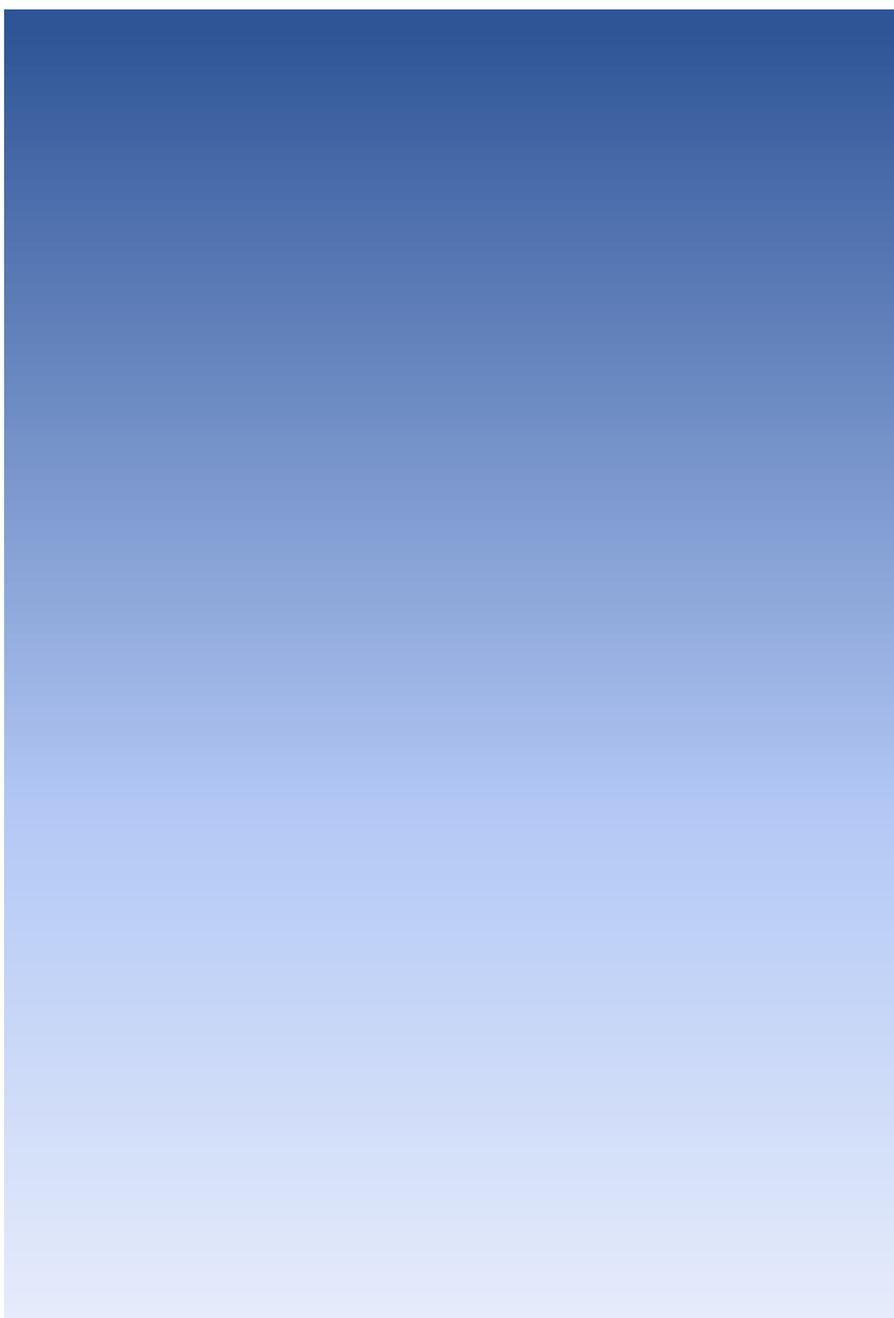
*

このようなテーマ検討を受けて、以下に本研究分科会の活動目的を掲げる。

- 第1の目的 2040年のモノづくりビジョンを示す
- 第2の目的 CPPSの技術コンセプトを明らかにする
- 第3の目的 CPPSの活動モデルを明らかにする
- 第4の目的 CPPSを構成する基盤要素技術と技術開発ロードマップを明らかにする

このような目的と前提を踏まえて、活動モデルの導出の方法を検討した。このためには、在りたい姿のモノづくりを仮説として置きながら、そこに至るためのアプローチを求めていく、いわゆる「バックキャスト」の考え方が適していると考えた。次節ではこの進め方について具体的に説明する。

第3章 本研究分科会活動の進め方



- [Redacted]

3.1 仮説としての「在りたい姿」の設定と活用モデルの探求

本章では本研究分科会の進め方について具体的に説明する。前章で述べたように、CPPS とは一体、何なのか、どのように活用できるのかがそもそもの議論の起点であった。そのため、その探求を進めることが議論を進めやすくするとの判断から、活用モデルを検討する議論から開始した。

序文で言及したように、第四次産業革命での変化の潮流は、従来の枠組みの拡張進めていけば対応できるものではない。これまで我々の文明が経験してきた第一次～第三次までの産業革命は、その概念構造を変える「パラダイム・チェンジ」を繰り返し、破壊的に、非連続に展開してきた。ここでは、いわゆる「造り込み」や実装技術の徹底だけで乗り越えて行けるものではない。

そしてこのような概念構造を変えていく議論においては、演繹的な手法だけでは有効ではない。ここでは帰納的なアプローチを越えて、「アブダクティブ」（結論と規則から仮定を推論する考え方）なアプローチを進めることが求められる。そのため、本研究分科会では、下図に示すように CPPS において様々な活用モデルが取り扱うことができるだろうとの期待から、まずは仮説としての「在りたい姿」を想定したうえで、それぞれに対応する活用モデルを抽出するアプローチを採ることとした。また、その過程において、CPPS を実現するために必要な技術要素を明らかにする活動を行った。

一方、「在りたい姿」を想定するとしても、技術的には様々な視点が存在しているので、その視点に対応して、「サプライチェーン」、「エンジニアリングチェーン」、「生産技術」、「ヒト」の4つのセグメントに立って活用モデルを検討した。モノづくり領域においては品質や自動化、コスト等、様々な視点があるわけであるが、大局的な枠組みとして条規の4つを想定して、その中で議論を重ねることとした。

特に、本研究分科会の生産に関わるメンバーからは、CPPS の進展により自動化が進む場合の「ヒト」の視点が重要との指摘もあり、特に「ヒト」の枠組みを与えることとした。尚、ここでの「ヒト」とは、生産現場の作業者に留まらず、エンジニアリング、すなわち、企画、製品設計、生産技術に関わる技術者の活動も含めて取り扱うこととした。

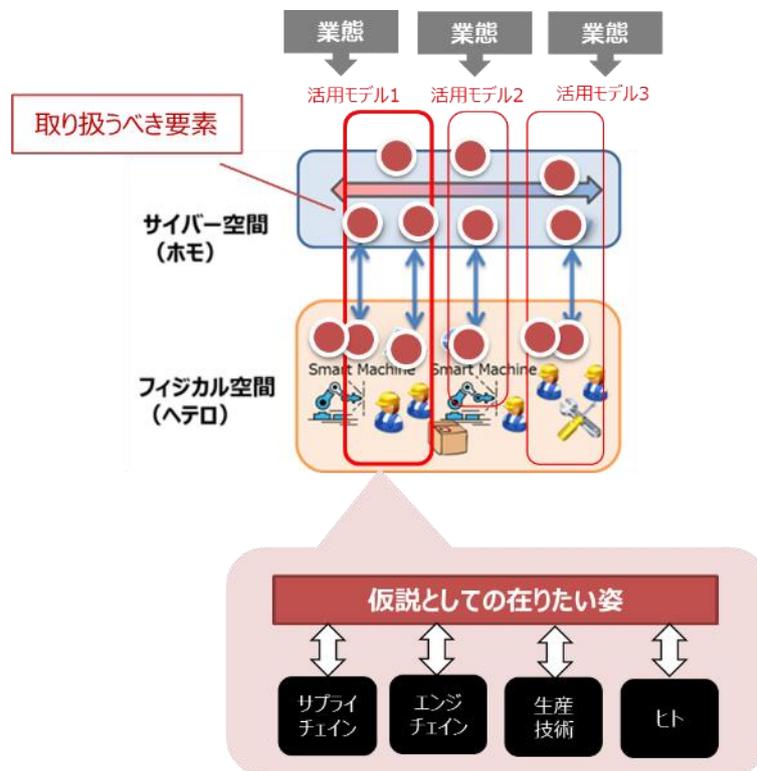


図3-1 活用モデルを探求するための考え方

3.2 バックキャストによるセグメント別のアプローチ

次に、仮説として在りたい姿を想定した活動として、いわゆる「バックキャスト」の手法で進めた。バックキャストとは、未来のある時点に目標を設定したうえで、そこへ向かって進めるために、現在、対応すべきことを考える方法である。将来ありたい姿を設定しながら、現在を起点として至るべき路を明らかにしていく。

下図に示すように、まず、未来のある時点における目標として「CPPS としてありたい姿」を設定する。そして前節で説明した「サプライチェーン」、「エンジニアリングチェーン」、「生産技術」、「ヒト」の4つのセグメントから「CPPS としてありたい姿」に至る道筋を描き上げるアプローチを採る。また、この活動を進めるにあたって、当該領域の専門家や興味を持つメンバーを中心にワーキンググループに分かれて、個別活動を行った。本報告書では、この活動を「アプローチ別 WG 活動」として記述する。

本研究分科会では、これらの活動を以下の4つのワーキンググループとして実施する。

サプライチェーン	: サプライチェーン WG	(以下、S/C と標記)
エンジニアリングチェーン	: エンジニアリングチェーン WG	(以下、E/C と標記)
生産技術	: スマートマシン WG	(以下、S/M と標記)
ヒト	: ヒューマン・セントリック WG	(以下、H/C と標記)

ここでは在りたい姿を目指すことで必要な要素技術を明らかにする活動を進める。ここで、現在の視点から見ると、見えている技術もあるが、その先には見えない技術が存在する。この活動においては、この見えない技術を見えないものとして取扱い、今後の技術研究開発に於ける「要求技術」として実現しなければならない技術を明らかにしていく。

もう一つの重要な点は、4つのセグメントから見出された技術をどのように調和させていくか、にある。4つの個別のアプローチはあくまでそれぞれのセグメントでのアプローチであり、それらをどのように有機的に連携させていくかは考えていかなければならない点である。これらの進め方と問題意識を共有しながら、4つのセグメントでのアプローチ別の議論を行った。

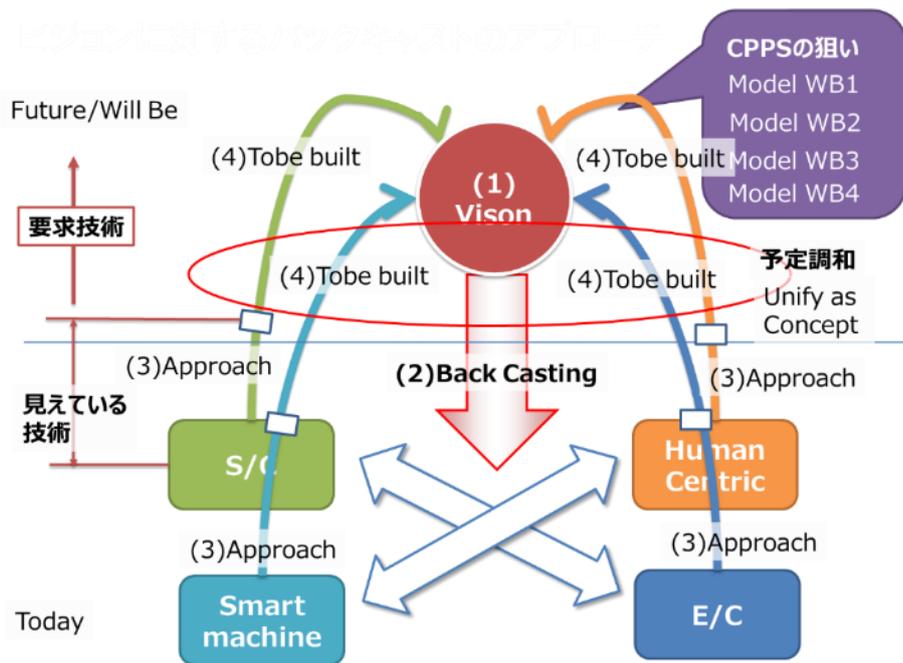


図 3-2 バックキャストによるセグメント毎のアプローチ

3.3 アプローチ別 WG 活動における仮説設定の考え方

本節では4つのセグメントでのアプローチ別 WG の議論の進め方について説明する。

既に紹介したように本研究分科会では「サプライチェーン」、「エンジニアリングチェーン」、「生産技術」、「ヒト」の4つのセグメントからのアプローチとしてバックキャストの手法で検討を進めていく。

このアプローチ別 WG 活動を進めるに当たって、その活動指針を以下の表で示すように整理した。ここでこの方針策定に当たって、「在りたい姿」を探求していくためにはいくつかの業態を想定することが必要と考えた。在りたい姿は決して一つに定まるものではなく、CPPS が活用される業態によって様々な「在りたい姿」が存在することを前提とした。換言すれば、モノづくりの姿は、2040 年に至ったとしても地域や業態、産業構造によって複数の形が併存することを想定している。人類の社会構造は多様な形態が同時に存在して共存するものであり、2040 年の将来であっても世界は同じ一つの形態に収束することはないと考えた。

このようにいくつかの業態を設定したうえで、それに対応してアプローチ別 WG 毎に仮説としての「在りたい姿」と、それらを実現するために必要な要件を明らかにしていく。

具体的には、それぞれの業態別に「システム概念」や「オペレーションモデル」を明らかにしたうえで、CPPS が運用するために必要な「取り扱うべき要素」を抽出する。さらに、それらのシステムとして実現するための技術を探索する。

ここでの技術群については、CPPS が運用されるための面、すなわち、フィジカル空間を意識して検討が進められるため、まずはフィジカル空間における構成技術の抽出から議論することとした。さらに、アプローチ別 WG 活動の最後には、それらの抽出された構成技術を実現していくためのロードマップの策定を行った。

表 3-1 アプローチ別 WG と業態分類

	業態 0	業態 1	業態 2
S/C	在りたい姿 ・ システム概念 ・ オペレーションモデル ・ 取り扱うべき要素 ・ 必要とする技術	←同左	←同左
S/M	↑同上	↑同上	↑同上
E/C	↑同上	↑同上	↑同上
H/C	↑同上	↑同上	↑同上

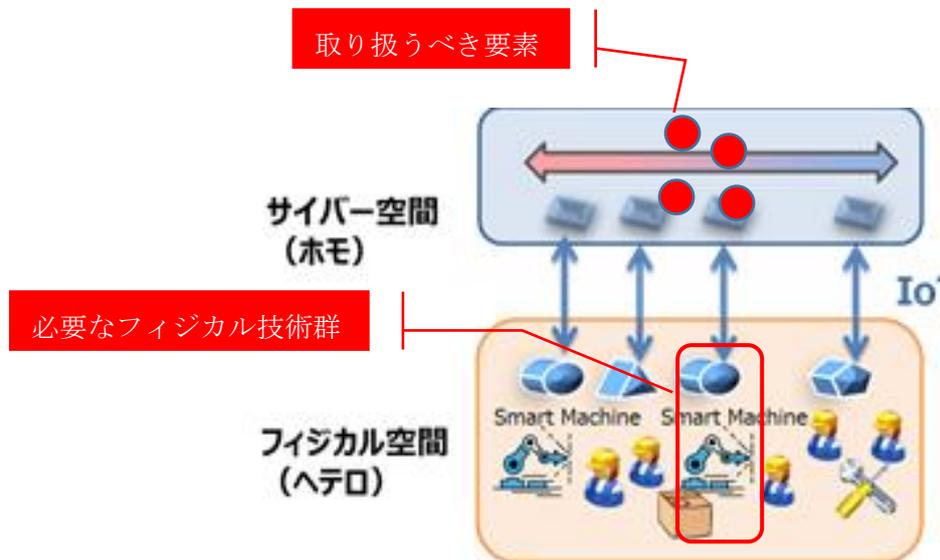


図3-3 サイバーフィジカルにおける取り扱うべき要素と必要なフィジカル技術群

尚、ここでの「フィジカル技術」とは機械的、物理的な技術のことのみを言うのではない。フィジカル空間において、サイバー空間に対するデータ連携を実現するために必要なシステム技術を言う。すなわち、ここでの区分は実装技術が物理的か電子的かという整理ではなく、サイバー／フィジカルの管理領域において、どちら側に属するかによって決定されるものとして考える。

この位置づけはサイバー空間とフィジカル空間の二項対立の関係で捉えると良い。「フィジカル技術」とは、

- ・自律動作を行う機械設備、搬送、輸送技術
- ・センシング技術、制御技術、コミュニケーション技術
- ・製品設計、工程設計、品質設計、等の設計行為を行う技術
- ・ヒトの意思決定や状態を把握し、また、指示を与える技術

等のモノづくりの物理世界におけるすべての「活動」に関与するための技術群であり、物理世界に対するアクチュエーション技術とセンシング技術の総体として捉えている。例えば自律動作ロボット等の生産システム機器において情報処理技術は制御機器に実装されるが、これらはフィジカル技術に含まれると考える。

3.4 アプローチ別活動結果を受けたその後の検討の進め方

アプローチ別活動を行った後は、各活動の取りまとめを行う。一方、この活動だけで本研究分科会の目的1～4のすべてを達成できるとは考えていない。各アプローチ別WGの結果を一旦、統合化して、明らかにできた要素を確認する。ここでは未だ明らかにできていない要素を明確化したうえで、更なる検討を加えることとする。特に、2040年ビジョンやCPPSの技術コンセプト、また、それらを実現するための基盤技術の検討は、アプローチ別WG活動をベースに議論を進める。

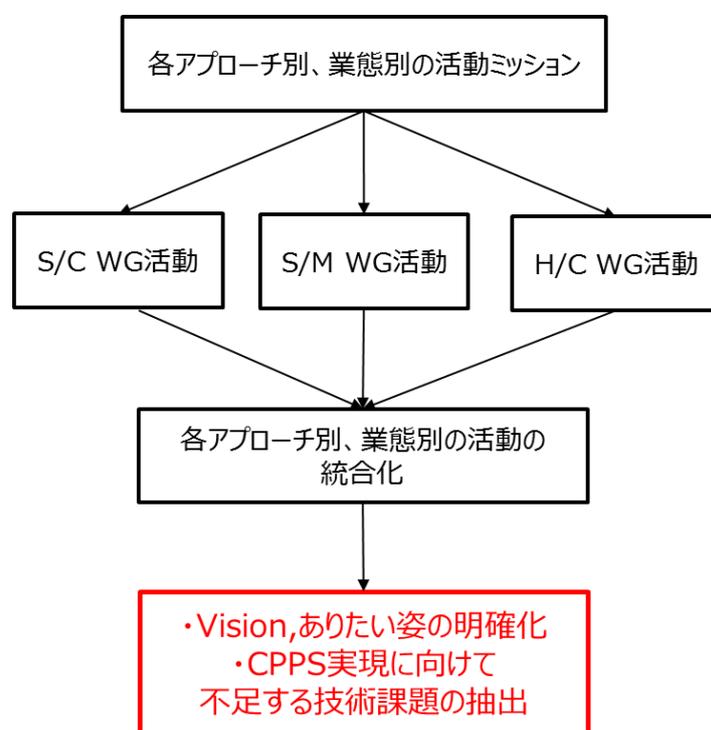
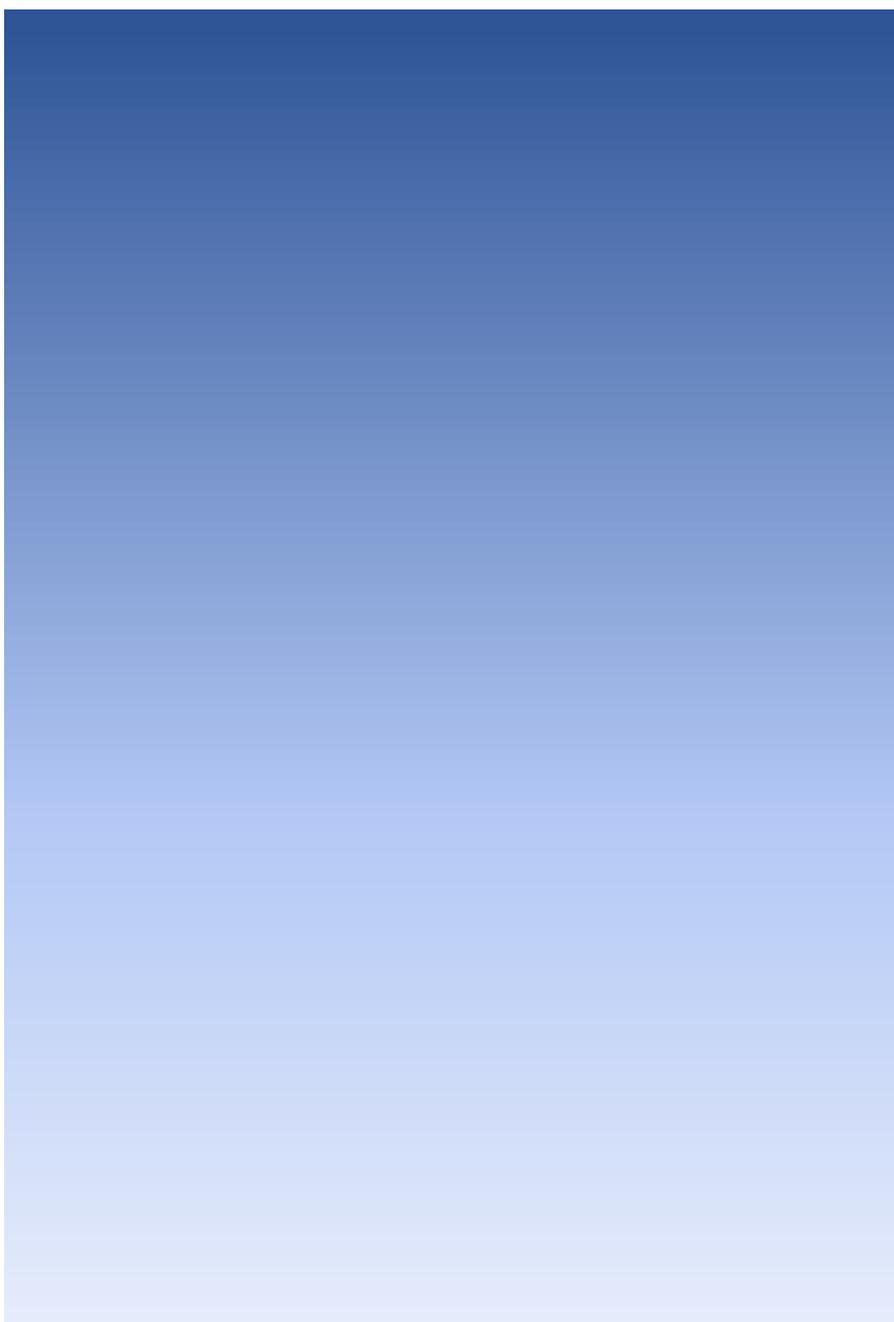


図3-4 アプローチ別WG活動の展開

第4章

アプローチ別 WG 活動の概要



- [Dark blue bar]
- [Dark blue bar]
- [Dark blue bar]
- [Dark blue bar]
- [White box with border]

4.1 アプローチ別 WG の設置

前章で説明したように、アプローチ別 WG を設置した。ここでは本研究分科会のメンバーをその専門性をベースに、チームワーキングが行いやすいメンバー構成を考えて割り当てを行った。また、アプローチ別 WG にはメンバーからリーダーとサブリーダーを設定してグループ運営を行った。また、研究分科会の幹事がそれぞれアプローチ別 WG のアドバイジングを行う役割を担い、全体の調整を図りながらグループ活動を進めた。

ここで、アプローチ別 WG として4つの WG を設置する予定であったが、本研究分科会の参加メンバーの構成を勘案し、エンジニアリングチェーンとヒューマン・セントリックの探索を併せてヒューマン・セントリック WG とすることとした。この2つの活動は相対するモノであるために、一体として議論することとして、結果、

- ・ サプライチェーン WG (以下、S/C WG と標記)
- ・ スマートマシン WG (以下、S/M WG と標記)
- ・ ヒューマン・セントリック WG (以下、H/C WG と標記)

の3つの WG 体制とした。

4.2 「タイプ別モノづくり」の導入

次に、本議論を進めるうえで複数の「業態」を想定して進めることは本章 3 節で説明した。具体的に、この業態のバリエーションとして、本研究分科会では以下の3つのタイプを設定した。

- Type 0 : 従来の大量生産型の発展
- Type 1 : 徹底的な個別対応の高度化
- Type 2 : マスカスタマイゼーション

本研究分科会では、これらの特徴を以下の表のように定義した。

表 4-1 タイプ別モノづくり

業態	Type 0 従来の大量生産型の発展	Type 1 徹底的な個別対応の高度化	Type 2 マスカスタマイゼーション
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・製造難度が高く寡占化されるもの ・希少リソース(高度設計・製造知識、高額設備投資、巨大顧客 D/B)が不可欠で寡占化されるもの ・素材や部品レベルのもの ・消費者からの選択肢が極めて少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・個人差要求（身体的・認知的特徴、感性等）が大きいもの ・消費者からの設計に基づき、製品を構成する部品の製造を指示・提示可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・セミオーダー品でモジュールにより完成するもの ・消費者からの選択肢が多い

このような業態を設定した理由は、20年後の2040年と言え、地域性、国際関係、産業成熟度、市場の多様性、さらには製品構造における部品の一般性、標準化を考えたとき、徹底的に個にフォーカスしたモノづくり形態も存在するであろうが、一方、徹底的な汎用化、大量生産の形態も残っている、もしくは拡大する可能性があることである。さらには、大きなマーケット変化の潮流として考えられているマスカスタマイゼーションは更に規模は拡大することが想定される。

このような3つの業態を「Type」として想定したうえで、S/C、S/M、H/Cの3つのアプローチ別WGで議論を進めることとした。

4.3 アプローチ別WGのミッション

各アプローチ別WGでは、Typeに対して、第3章4節で説明した以下の項目を明らかにしていく。すなわち、本研究分科会におけるWG活動は以下の表の要素を明らかにしていくことを活動の目標とした。ここで「在りたい姿」は各WGにより様々、考えられるため、各WGでの検討において適宜、設定する。

表 4-2 各アプローチ別、Type 別の活動ミッション

	Type 0	Type 1	Type 2
S/M	在りたい姿 1, 2, 3 ・システム概念 ・オペレーションモデル ・取り扱うべき要素 ・必要とする技術	←同左	←同左
S/C	↑同上	↑同上	↑同上
H/C	↑同上	↑同上	↑同上

ここで、アプローチ別 WG で取りまとめていくそれぞれの項目を改めて説明する。

■在りたい姿

CPPS を通じて実現する目的やその狙い

■システム概念

在りたい姿を実現するための CPPS の構成

■オペレーションモデル

CPPS を運用する典型的な操作

■取り扱うべき要素

サイバー空間において操作対象とする要素

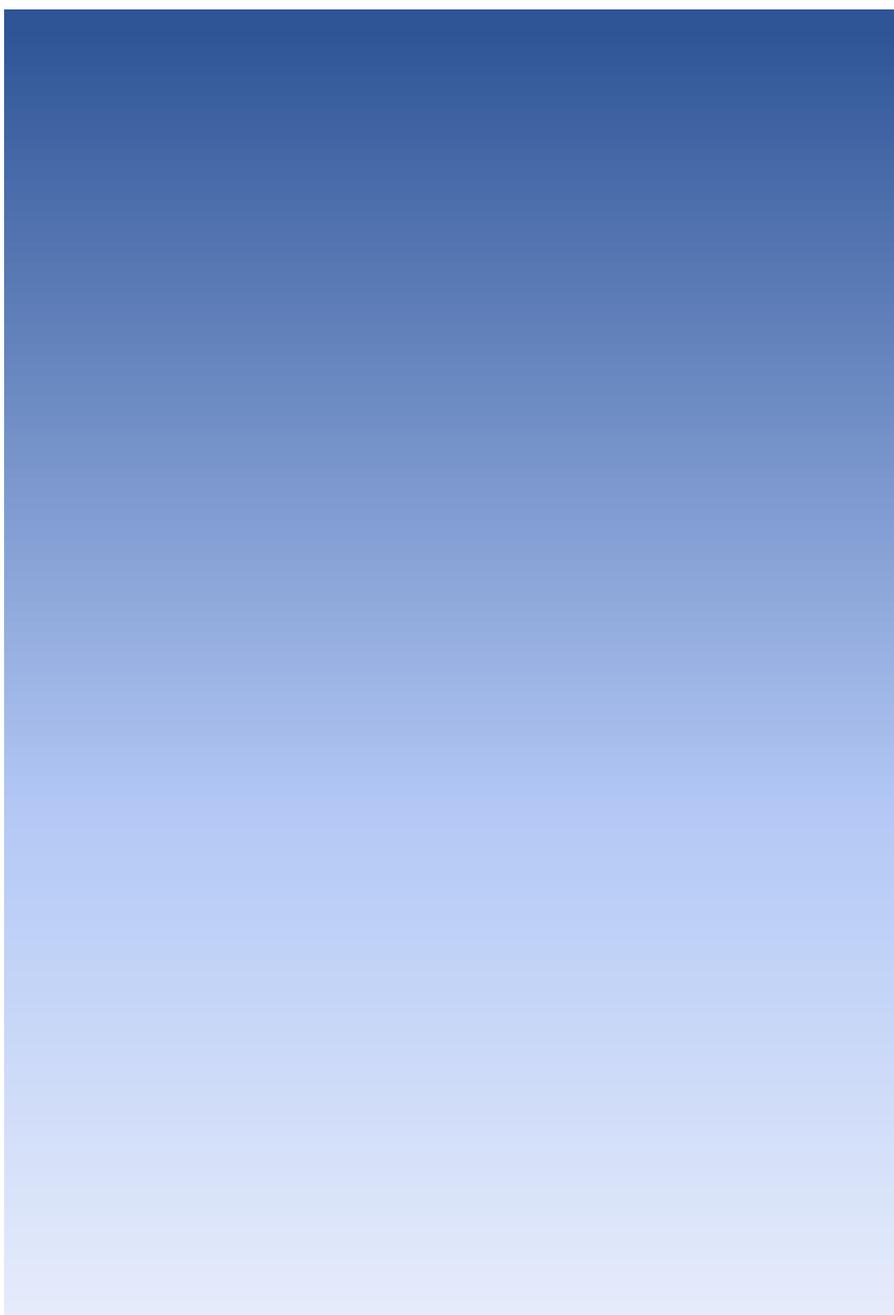
■必要とする技術

当該 CPPS を実現するために必要な技術要素

ここでは詳細な機能や仕様と言うより、CPPS を実現する方向性を打ち出すことを主眼として検討を行った。

第5章

アプローチ別 WG/スマートマシン



- [Dark blue bar]
- [White bar with border]

5.1 スマートマシン WG の概要

本章では S/M アプローチ別 WG の活動を報告する。第 4 章で説明した方針に従い、本アプローチ別 WG の活動を通じて、以下の表に掲げる内容を明らかにした。

スマートマシン WG では、仮説として描く 2040 年のモノづくりビジョンからバックキャストした時の製造設備の在り方や必要な要素技術の抽出をアウトプットとして設定した。各回の議論には、産官学から製造各分野の専門家が参加し検討を行った。メンバーの専門領域は製造技術、加工技術、生産イノベーション戦略、システム研究、新規事業開発、経営工学など多岐に渡り、幅広い視点より知見を持ち寄った。表 5-1 は WG 活動における検討内容のサマリである。製品・サービスの 3 つのタイプ毎に 2040 年のありたい姿を定義し、それぞれの実現にあたり重要となるシステム概念、それを支えるオペレーションモデルとしての 4 種のスマートマシンの関係性を表している。S/M WG では 2040 年のモノづくりのビジョンとして 4 種のスマートマシンが役割に応じて最適な分担と加工を行うことで、多様化するニーズへの対応と、QCDE ロスのゼロ化の両立を実現する社会を描いており、その検討内容を本論で解説する。

表 5-1 スマートマシン WG における検討内容サマリ

	Type0	Type1	Type2
ありたい姿	従来型生産方式の進化による QCDEロス無き世界	徹底した個別対応により顧客価値を創出 する世界	安価で 多様な生産システムを即座に構築 する世界
システム概念 2040年の CPPS構成	世界的な 主従連合の加速によるアセット集約	オープン設計情報の流通 プラットフォーム(CPG)	モジュール化されたシンプルな 単機能の組み合わせによる複雑性への対応
オペレーション モデル	A: Mega-Monoマシン →基幹部品の安定的供給	C: Micro-Multiマシン →ミニファブなどヘビーユーザー、および地域グループで活躍 (AMを基軸にした発展)	B: Mega-Multiマシン →超精密加工を要する、1品物のニッチ部品加工
4種のS/Mによる操作			D: Micro-Monoマシン →加工手順、加工形態を柔軟に対応しマスカスタマイゼーションに適應
取り扱うべき要素	・高度化された生産技術 ・H/Cな作業者の役割	・CPPS-CPGの高速連携 ・オープン化設計情報	・モノファンクションマシン ・有機的結合・分裂I/F
必要とする技術 (例)	・ハイサイクル化 ・高稼働、ゼロダウンタイム ・メンテナンスフリー ・ゼロディフェクト	・AM材料、設備低コスト化 ・超汎用コンシューママシン ・CPG創出 ・設計情報のオープン流通	・機能別スケジューリング ・対象とスマートマシンのベストマッチングPF ・SoSインテグレーション

5.2 スマートマシン WG の主題

スマートマシンWGの研究主題は「2040年に向けての製造設備の進化を描くこと」である。進化の姿を描くことで、既存技術との差分を明確にし、将来に向けたロードマップを整理することができる。しかしながら現存するあらゆる種類の製造設備を本WGにおいて統一的に扱うことは不可能である。そこで製造設備を「素材加工」という視点から見た際の本質的な要素を抽出することを検討した。言い換えると「設備の機能を加工要素別に細分化した際の単一的な機能は何か」ということである。一般的にそれらは「切削」、「研削」、「組付」、「熱処理」、「ピック/プレース」、「整列」、「搬送」、「検査」、「洗浄」、「塗装」、「段取り」などの作業に細分化することができる。本WGでは2040年においても、素材に付加価値を与える加工作業そのものは、製造の基本として残っていると考える。一方でこれらの細分化された要素作業は、現在よりも格段に進化した技術によって高度な次元で、柔軟に結びつき、将来のスマートマシンの姿を構築しているだろうと予測する。

将来のスマートマシンの実現においては、製造設備が根源的に希求しているロスゼロ化に向けて進化を続けるはずである。加工の各要素作業はマイクロチップの微細化とIoT技術の進化により、要素別の知能化が部品レベルにまで浸透していると想定をしている。モジュール化された各要素は、生産に要求されるニーズに応じた両極化が進行し、集中処理と分散処理や複雑加工と専門加工の最適な組み合わせ計算により、作業環境に応じて都度自動的な組み替えが実行される世界を仮説として設定している。

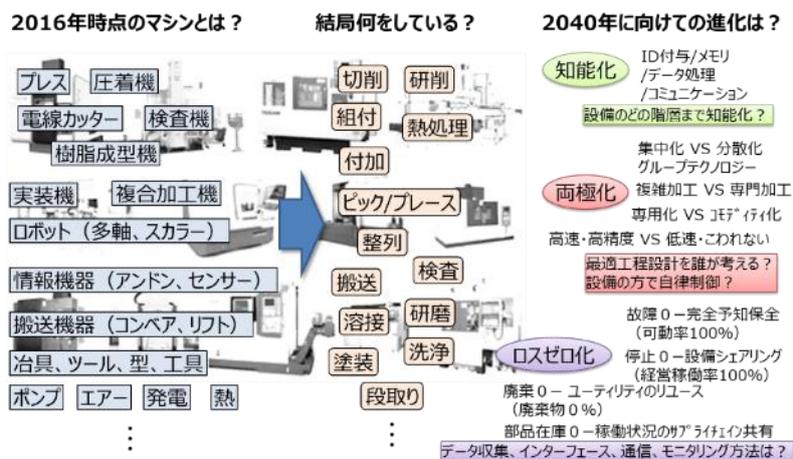


図5-1 スマートマシンWG初回議論（2016年）

5.3 製品、サービスの TYPE 別分類

2040 年に向けての製造設備の進化を描く上で、次に重要な視点は製品やサービスの前提条件を整理することである。バックグラウンドの異なる技術者、研究者が集まり議論を行う際には、どの製品やサービスを念頭において話をしているのかという「目合わせ」が重要であることはいうまでもない。そこで本 WG では 2040 年に向けての生産方式の進化という視点から特徴的な 3 種類のカテゴリ分けを Type0、Type1、Type2 として分類した。

まず Type 0 は従来の大量生産型が発展するカテゴリであり、そこでは高度な設計、製造知識、高額な設備投資、巨大顧客 D/B などの希少リソースが必要とされる。また Type 0 は素材や部品レベルのもの、事業あたりの調達量が多いため、特定の企業により市場が寡占化される場合が多いと考えられる。

次に Type 1 は徹底的な個別対応が高度化するカテゴリである。Type 1 では Type 0 で要求される希少リソースが不要なものが該当し、身体的・認知的特徴、感性などの個人的差異が大きいもの、体験が消費されるものが当てはまる。

最後の Type 2 は前述の Type 0 と Type 1 に当てはまらない中間としてのマスカスタマイゼーションが必要なカテゴリである。Type 2 の場合、アセンブリは Type1 だが、中間部品などのデバイスは Type 0 のような組み合わせが必要なものが当てはまる。またセミオーダー品でモジュール化されたコンポーネントの組み合わせにより完成するものも Type 2 として定義している。

表 5-2 は各 Type の定義に基づいて一般的な製品やサービスの分類を行ったものである。実際のところはすべての商品、サービスが明確に Type0、Type1、Type2 に分類されることはなく、商品特性や周辺産業など、さまざまな要因で各 Type 間に位置することが起こりうる。しかしながら其々のカテゴリにおける生産方式のイノベーションは、第四次産業革命に代表される製造業のデジタルイノベーションによってすでに起こりつつあり、Type0 においては QCDE ロスの最小化、Type 1 においては製品バラエティ対応性の拡大、中間の Type2 においては生産・物流全体のアジャイル対応性拡大が明示的な特徴として、さらに顕在化するだろう。

表 5-2 製品、サービスのタイプ別分類

Type 0 従来の大量生産型の発展	Type 1 徹底的な個別対応の高度化	Type 2 中間としてのカスタマイズ
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 希少リソース(高度設計・製造知識、高額設備投資、巨大顧客D/B)が不可欠で寡占化されるもの ▶ 素材や部品レベルのもの ▶ 事業あたりの調達量が多いもの 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 個人差要求(身体的・認知的特徴、感性等)が大きいもの ▶ 体験が消費されるもの ▶ タイプ0で要求される希少リソースが不要なもの 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ タイプ0とタイプ1に入らないもの ▶ アセンブリはタイプ1だが、デバイスがタイプ0のような組合わせのもの ▶ セミオーダー品でモジュールにより完成するもの
キーデバイス (CPU、メモリ等)	医療製品	自動車
鉄鋼、ベアリング	スポーツ・レジャー用品	住宅、業務用施設
シェアリング自動車	衣料、ファッション	コンビニ、外食 (チェーン店)
宇宙機器	教材、文具	中食、弁当
化学素材	健康、睡眠	業務用調理機械
住宅用資材	趣味、嗜好品	業務用車両、船舶
高精度金型	高級家具、家電	一般家電、PC
航空機部品	職人用工具	民生用ロボット
セントラルキッチン	安全・衛生用品	モジュール化された産業用機械
データセンタ	ペット用品	住宅リフォーム

5.4 生産システムの進化の方向性

5.3で定義した製品、サービスの Type 別分類を生産技術分野で用いる PQ チャート (ABC 分析) で表現すると図 5-2 ようになる。図 5-2 は縦軸に生産数 (需要数)、横軸に製品種類を取った模式図であり、生産数の多い製品を左から順に並べると左側は少品種大量生産品、右側に行くほど対応が複雑化する多品種少量品といえることができる。前述の Type 0 は左端の領域で従来型生産方式の進化により QCDE ロス無き世界を希求する。右端のロングテールを担う Type 1 はメーカーズムーブメントに代表されるようなモノづくりの民主化、オープン化がさらに進化する領域であり、徹底した個別対応により顧客価値を提供する世界である。Type 1 領域では一品一様のモノづくりによりロングテール化がさらに加速するであろう。Type 2 は Type 0 と Type 1 の間に位置するため、最もカバーする範囲が広く Type 0 からはカスタマイズニーズ、Type 1 からは量産ニーズに応じてさまざまな製品が行き来する領域となる。Type 2 の領域では現在より、はるかに安価で多様な生産システムを即座に構築することが可能な世界が促進され、効率的な生産方式設計による差別化、競争力の獲得が最も期待される領域となる。

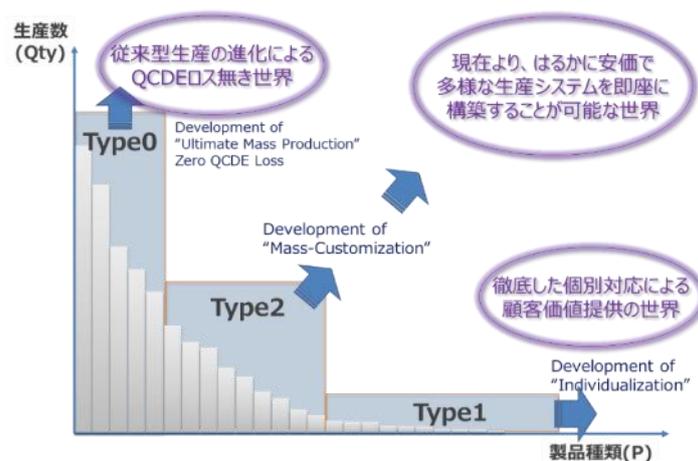


図5-2 生産システム 進化の方向性

5.5 TYPE 別2040年のモノづくり

ここからは3つの Type 別に 2040 年にかけて起こりうるモノづくりの変化を展望する。冒頭に述べたように、本 WG の検討において、未確定な 20 年後のモノづくりに対してそれを予測し、確定することは目的としていない。不確定要素を含んだ 20 年後に起こりうる変化を専門的知見の集約により、進化の方向性として仮説を設定し、そこへ向かっての選択肢を示したうえで、技術開発の指針や意義、姿勢を自らに問うことが狙いである。

■ 2040 年の Type0

現在は、各社が生産を行うために自社設備を保有し、自社と関連会社による「工場群」を形成している。換言すると同じような加工を行う設備でも、各社各々が保有、管理していることになり、各社の課題は設備投資の回収のため、設備の非稼働時間を限りなく少なくすること、稼働が必要な時に設備が問題なく稼働できるように効率的に設備を維持管理することである。Type0 において QCDE のロスゼロ化を追求する場合、ある段階において各社が独自にアセットを保有するという制約を乗り越えなければ、設備稼働の充足という根源的な課題を克服することは出来ない。そのため 2040 年に向けて、自動車産業だけでなく、製造設備においても CASE (Connected、Autonomous、Shared、Electric) の波は波及していくはずである。Type0 領域においてはサプライチェーンの川上から川下までの周辺産業を巻き込みながら、従来の大量生産型のモノづくりが発展し、世界規模でのアセットシェアリングが進むと考えられる。



図 5 - 3 現在の Type0

■ Type 0で起きる変化

- ・ 資本集中による効率化により世界規模で工場の主従連合の再編が進む
- ・ 製造設備を運営するメーカーは減り、一極集中型の大規模生産システムが浸透する
- ・ 中小企業は熟練技術を持ちニッチなニーズに対処できる企業が生き残る
- ・ 工場間はネットワークで接続され、常時 ICT システムが全体最適計画を立案する
- ・ 工場は自動化され、作業者は設備の改善、監視、保守、セキュリティを担当する。
- ・ 製造設備単体はシンプル&低価格化による過剰機能の淘汰が起こる

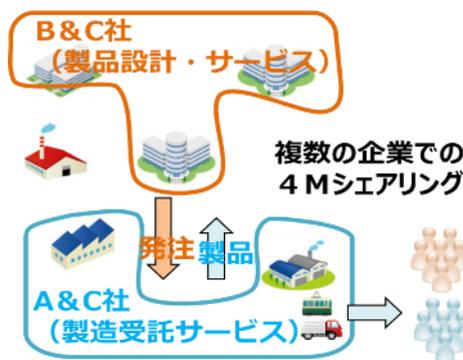


図 5 - 4 2040 年の Type0

■ 2040 年の Type1

現在は、企業毎に技術がクローズドであり、商品設計、工法開発、生産準備、量産は各社が独自にオペレーティングシステムを構築している。特に製品設計情報はブラックボックス化されており門外不出の場合がほとんどである。現在、欧米企業を中心に 3D データのフォーマット標準化や CAD/CAM/CAE のシームレスな連携環境の構築が急ピッチで進んでおり、バーチャル空間上で物理的、地理的な制約を排した企業間連携とデジタルツイン構築が進行しつつある。しかしながら現状のバーチャルエンジニアリングやバーチャルマニュファ

クチャリングでさえ、製品設計データは各社の関連工場において最終的に物質に転写されることから、エンドユーザの目の前で、ユーザーの好みに応じた最終の仕上げ加工を行うような徹底的な個別対応は依然として実現することが出来ていない。結果としてユーザーニーズと実際の商品仕様とのギャップが世界中で発生し、Amazon などの E コマースビジネスの成長にともない、グローバル規模でロジスティクス分野の物量、物流負荷を増大させ環境負荷的にも限界を迎えつつあるのが実態である。

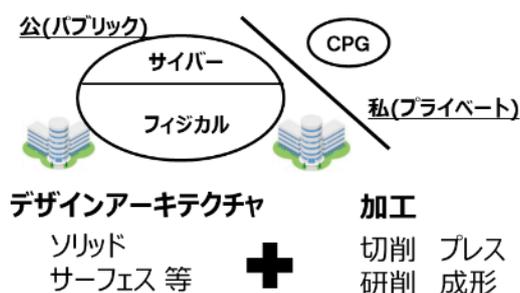


図 5-5 現在の Type1

Type 1 領域では、上記の課題を解決する方向性として、現在ビジネスモデルとしては確立されていないが、オープンかつプライベート領域での商品設計、バーチャル試作、ミニファブリケーション市場が勃興すると考える。この市場を CPG (Cyber Playground) と呼ぶことにする。CPG はメーカーズムーブメントの延長線上に発展すると考えられ、3D データを当たり前のように扱う現在の若年層が、成人として労働市場に参入する 2030 年前後に急成長する市場と想定をしている。CPG 上では現在よりもはるかに一般化された 3D ツールを人々が自在に扱い、専門家ではない 3D ネイティブの人たちが専門性、年齢、国籍に関係なく自由闊達にモノづくりを楽しむようになる。CPG では、3D デザインアーキテクチャも現在のようなソリッドモデル、サーフェスモデルを活用するのではなく、ボクセルモデルのようなよりシンプルに物質を積層するデザインツールが一般化し、AM 技術の進展と伴ってオープンコミュニティにおける 3D エコシステムが拡大する。

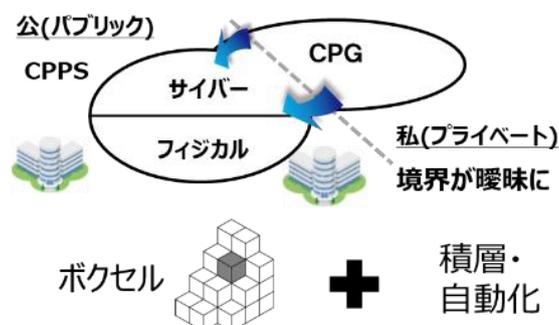


図 5-6 2040 年の Type1

■ Type1で起きる変化

- ・ オープンなサイバープレイグラウンド(CPG)上で世界中のデザイナーが、設計試作をする
- ・ 製品設計情報はフリーまたは従量課金制などのフリーミアムモデルが取られる
- ・ 設計データは顧客に最も近い場所でAM技術により物質に転写される
- ・ ユーザーの待ち時間が限りなく少なくなり、リードタイムの概念は事実上無くなる
- ・ Type1 はホームユースに近い商品領域をカバーする

■ 2040年のType2

現在の製造業は、消費者のマスカスタマイズ指向により、自動車や電機など多くの産業において、部品品種の急増に伴う管理コストの増加や間接業務工数の増加、更なるリードタイムの短縮要求など、多品種少量生産から変種変量生産に向かう際の変革課題を抱えている。これらの課題に対して、限られた工場生産スペースの中で生産変動に柔軟に対応するための生産プロセスのデジタルイゼーションが進んでいる。製造設備に関していうと、多軸制御の複合加工機を活用した複数工程の集約化に取り組む工場が出始めている。また合金などの特殊素材、材料強度が高い素材を扱う商品が増え始めたことで、これまでよりも加工時間が長くなり、工具の摩耗による段取り時間が増加する課題においても複合加工機を活用した難削材の高率加工が行われている。

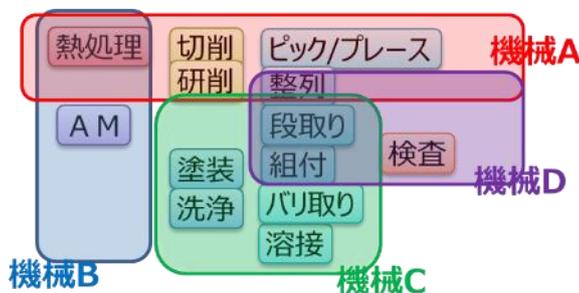


図5-7 現在のType2

一方で、単一設備で加工可能な品種数の多さやフレキシビリティが競争軸になると、設備導入コストの増大や、非稼働の遊休コンポーネント数の増加、メンテナンス性の悪化などの弊害も起こりうる。単一のマシンで複数の複雑加工をこなす設備の進化は、チップや部品の微細化イノベーションと、多面的な低コスト化により引き起こされる製造設備のコモディティ化によって、方向転換を余儀なくされるはずである。2040年に向けては、モジュール化されたシンプルな単機能の組み合わせによる複雑性への対応が進み、現在より、はるかに安価で多様な生産システムを即座に構築することが可能な世界に向かうと考える。

ここでいう「単機能設備」とは、「ある時点における経済的合理性から見て、それ以上分解する必要がない単一機能をもつ加工設備」とWGにおいて定義をし、それを「モノファンクションマシン」と呼ぶことにする。これらのモノファンクションマシン群が知能化、微細化、ネットワーク化、自律分散技術などの進化によって必要に応じて集まり、強く結びついて一個の全体を形づくり、各機能の間に緊密な統一と連関を形成することを「モノファンクションマシンの有機的結合」と呼ぶ。2040年の新たなマスカスタマイゼーションの在り方はモノファンクションマシン群の有機的結合により実現される。

■ Type2で起きる変化

- ・単一機能の自律化、有機的結合によるスマート化により多様な生産システムを実現
- ・単一機（モノファンクションマシン）の出現
 - 低コスト化、コモディティ化、省エネ
 - コンポーネントのアトム化
 - フレキシブルな通信・インターフェース
 - ロングライフサイクル管理
- ・有機的統合システム
 - 単一機の組み合わせによる多様なシステム
 - 組み合わせの複雑化、システム化

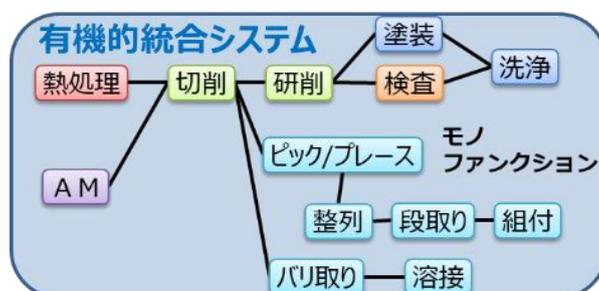


図5-8 2040年のType2

5.6 スマートマシンの4象限

前節では、2040年に起こりうるモノづくりの変化を製品・サービスのタイプ別に見てきた。製品やサービスといった消費財が表舞台の主役とすれば、それらを製造する生産設備は裏方の黒子であり、両者は表裏一体の関係がある。つまり生産する消費財の数量や求められる精度によって、生産に使用される製造設備の特長もまた決まってくるということである。

本章では、2040 年に向けての製造設備の進化を「スマートマシンの 4 象限」を用いて描き、その中で最も重要な位置づけとなるモノファンクションマシンの詳細について説明を行う。

■ スマートマシンの 4 象限

1 台の生産設備（マシン）あたりにおける消費財の生産数を縦軸に取り、設備あたりが保持する機能数を横軸に取り 4 象限を作成する。象限における座標数値はあくまで、分析対象の産業における相対的な分類であり、絶対値を用いることは適切ではない。分析対象産業における代表的な製造設備を 4 象限の上にプロットした際に、相対的な位置づけとして、将来のスマートマシンの進化を図 5-9 のように描くことができる。図 5-9 では、この分類を A:Mega-Mono マシン、B:Mega-Multi マシン、C:Micro-Multi マシン、D:Micro-Mono マシンとして 4 種類に分けている。図中の■は生産設備の動力部と知的制御部のイメージを表している。

2040 年には各設備の動力部や知的制御部の低コスト化、コモディティ化が今以上に進んでいると仮定すると、4 種類のスマートマシンがバーチャル空間上で、仮想的な論理結合を行い、生産プロセスの最適化をシミュレーションすることの容易性は現在よりもはるかに高まっていると予想される。フィジカル側においても、輸送車両の自動運転やモーダルシフト、トレーサビリティなどのロジスティクス技術が急速に発展を続けており、IoT、AI を利用した分散型のモノづくりのハードルが物理的にもコスト的にも下がっていくと考えられる。

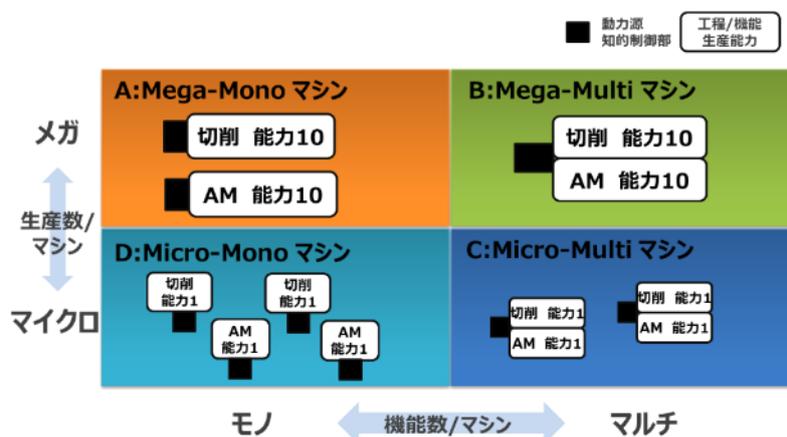


図 5-9 スマートマシンの 4 象限

■ A:Mega-Mono マシンの特長

大量生産 従来のレガシー工場（基幹部品製造工場）

対象品例：鉄鋼、軸受、CPU、メモリ

メリット

- 高生産性、大量のエネルギー排出
- 規模の経済を訴求できる
- 工程の機能をつくりこむことができる
- 単工程での大量生産で生産効率が良い
- エネルギー効率が低い
- 各機能のL/Tなどを考慮した適正バッチサイズ
- 大規模な生産が可能
- メンテナンススケジュールが組みにくい
- 機差が少ない

デメリット

- △機能単位でシェアリングできるが小回りはきかない
- △段取り、工程間輸送などのオーバーヘッドコスト発生
- ×少量への対応時に無駄が大きい
- ×生産品の切り替えに一定の時間がかかる
- ×まとまった数量がないと生産効率が落ちる
- ×需要の変動に適応できない
- ×品種の段替難、高価
- ×メンテナンス高
- ×稼働率低
- ×在庫管理コスト

■ B:Mega-Multi マシンの特長

多品種少量生産 従来の複合マシン
対象品例：高精度金型、航空機部品

メリット

- ワンチャック加工による高精度
- 工程間オーバーヘッド最小
- 加工機械間の通信・物のやりとり最小、段取りが減少
- 精度の向上
- エネルギー効率が低い
- 複数工程での加工が必須な場合の生産効率が良い
- 工程間の位置決め精度が良い
- 製品サイズの制約が少ない

○工程間のインターフェースを気にせずに使える

デメリット

- ×高価、高エネルギー
- ×稼働していない機能の割合が最大
(機能単位のシェアリングができず、かつ、各機能のサイズが大きい)
- ×柔軟性最小(仕様、工程内容が変わった時に、変化に対応に必要な手間が大きい)
- ×1つの故障の影響がA-Dの中で最大
- ×高価な設備な場合が多い
- ×生産するものによって機能(工程)が遊ぶ

■ C:Micro-Multi マシンの特長

多品種少量生産 ミニファブリケーション向け(ヘビーユーザ、職人芸グループ)

対象品例: ホビー用品、衣料、家具、体験型商材

メリット

- 設備の低価格化
- ワンチャック化による精度向上、段取り減少
- 設計から生産開始までのリードタイムが短い(小回りがきく)
- 複数工程での加工が必須な場合の生産効率が良い
- 工程間の位置決め精度が良い
- 特定の対象物に対して非稼働時間を極限まで最小化できる
- スペースを最小化できる
- 1つのマシンで完結するため品質や精度が高まる
- 設備付随の治具などを機能間で共有できる
- 需要の変動に柔軟
- 工程間のインターフェースを気にせずに使える

デメリット

- ×装置の段替コスト
- ×規模の経済がでない
- ×専用マシンとなり対応できる対象物のバリエーションが少ない
- ×同時に利用できない機能があるなど、機能単位でみると稼働率が低い
- ×機能単位のシェアリングはできない
- ×使用範囲がきわめて限定的(目的が限定されている専用設備のイメージ)
- ×生産するものによって機能(工程)が遊ぶ

- ×製品サイズに制約がある
- ×機差が大きい
- ×単機能ごとの精度が出にくい

■ D:Micro-Mono マシンの特長

多品種変量生産 機能、機種、性能の統一化（コモディティ化）

象品例：CPG の最終エンドユーザ向け

メリット

- 製品のカスタマイズ性最大
- 設備の最適調達、エネルギー小、在庫レス
- 各加工機械が単機能のみにフォーカスしているため、機能単位でのシェアリングが可能
- 機能の稼働率を高めることができる
- 単機能による低コスト
- エネルギーコストが最小限
- 市場要求に対して柔軟に対応
- メンテナンススケジュールが組みやすい
- 必要最小限の機能を保有できる（ROA 向上）
- 必要最小限の機能を利用できる（稼働率向上）
- 特定設備(機能) のみ交換可能
- 機能拡張が容易（ただし M/F を統合するプラットフォームが必要）

デメリット

- ×M/F 間の移動や精度保証が必要
- ×複数の異なる M/F が必要であり組合せが複雑
- ×生産性は低い(シンプルだけど早くはない)
- ×組み合わせると工程間の能力差によるロスが発生
- ×オーバーヘッド最大（加工の単位が小さくなるので必要な知的制御部分が多くなる、他の工程を担当する加工機械との通信、物のやり取りが大きくなる）
- ×広い設置スペースが必要
- ×機差が大きい
- ×工程間搬送ロス、組合せロスが発生

■ D:Micro-Mono マシンの進化

2040 年に Type2 で起きるモノづくりの特筆すべき変化として、製造設備の単一機能の自律化、モノファンクションマシンの有機的結合による多様な生産システムの実現を上げた。

この変化を4象限上に位置付けると、D:Micro-Mono マシンが CPPS 技術により、これまで以上に容易かつダイナミックに相互接続することによって、生産に対応できるカバー範囲がしだいに拡大していくことを意味している。

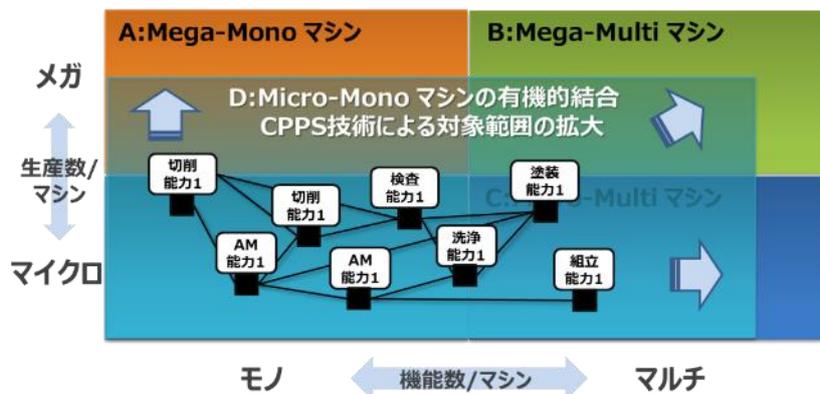


図 5-10 Micro-Mono マシンの進化

5.7 製品タイプとスマートマシンの関係性

前節において、製品・サービスのタイプ別に見たモノづくりの変化と生産設備であるスマートマシンの進化は表裏一体の関係があると述べた。図 5-11 は Type 0、Type 1、Type 2 とスマートマシンの 4 象限の関係性を示している。

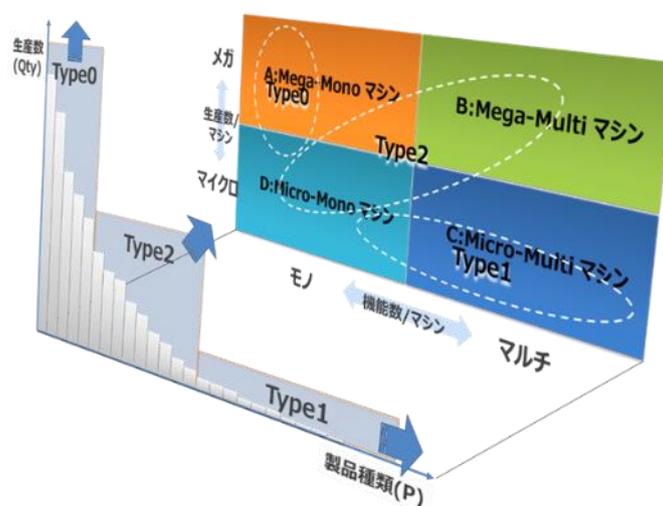


図 5-11 製品タイプとスマートマシンの関係性

5.8 スマートマシンのビジョン

本節では、スマートマシンを活用する社会の姿とそれに対する CPPS の位置づけを示し、スマートマシンおよび CPPS が社会に与える付加価値について述べる。図 5-12 は 4 種のスマートマシンと CPPS の位置づけを示しており、2040 年の社会では、CPPS-CPG 連携により 4 種のスマートマシンを用いて生産が最適化され、4 種のスマートマシンが役割に応じて最適な分担と加工を行うことで、多様化するニーズへの対応と、QCDE ロスのゼロ化の両立を社会全体で実現すると考えられる。

Type0 のカテゴリでは、メガファクトリーの台頭によって世界的な主従連合が加速しアセットが集約される。Mega-Mono マシンにより QCDE ロスが最小化された生産を行うことで、基幹部品を安定供給する。この時、QCDE 最小化を実現するための設計、原価計算は CPPS と連携して行い、基幹部品の最適な生産計画を含め計算が行われる。また、Mega-Mono マシンの安定かつ高稼働のための設備管理を CPPS が担う。

Type1 製品である個々のカスタム製品は、オープン設計情報の流通 PF である CPG によって、設計情報の共有、利用、売買が個人間だけでなく、個人と企業の間でも活発に行われる。そこで行われた設計情報をもとに Micro-Multi マシンによって加工し、製品化される。CPG では、さまざまな角度からの設計行為を行うための設計手段を複数提供しており、たとえば、Micro-Multi マシンによる加工のリバースエンジニアリング手段を提供する。その際使用する加工データは、CPPS-CPG が連携して管理、生成する。

Type2 製品のうち、超精密な加工を要する、または 1 品物のニッチな部品に対しては、その加工を可能とする Mega-Multi マシンにより加工し、要求仕様を満たした製品を社会に供給する。Mega-Multi マシンは加工精度、あるいは加工技術を高度な次元で複合保有しており、その設備は、需要と故障の予測に基づいた最適タイミングでメンテナンスできるよう CPPS にて管理される。一方、Type2 製品のうち、基幹部品の組み合わせで実現する製品においては Micro-Mono マシンである、モノファンクションマシン群の連携により、さまざまな加工手順、加工形態を柔軟に対応しマスカスタマイゼーションに適応する。モノファンクションマシンは、実行指示、製品数量や種類によってモジュール型プロセスを即座に変更し、プロセスに基づいて有機的に結合、あるいは分裂する。これを実現するための量産プロセスや物流の設計、および動的最適化計算を行い、実行指示としての発信は CPPS にて行われる。

■ CPPS-CPG 連携による4種のスマートマシンの最適化

- 4 種のスマートマシンが役割に応じて分担
- CPPS と CPG が連携し最適化
- オープン設計情報の流通プラットフォーム

- ▶ 小型複合マシンは、ミニファブなどヘビーユーザや地域グループで活躍
- ▶ 実行指示、製品数量や種類によってモジュール型プロセスを即座に変更
- ▶ 量産プロセスや物流の設計、動的最適化計算を担い、実行指示

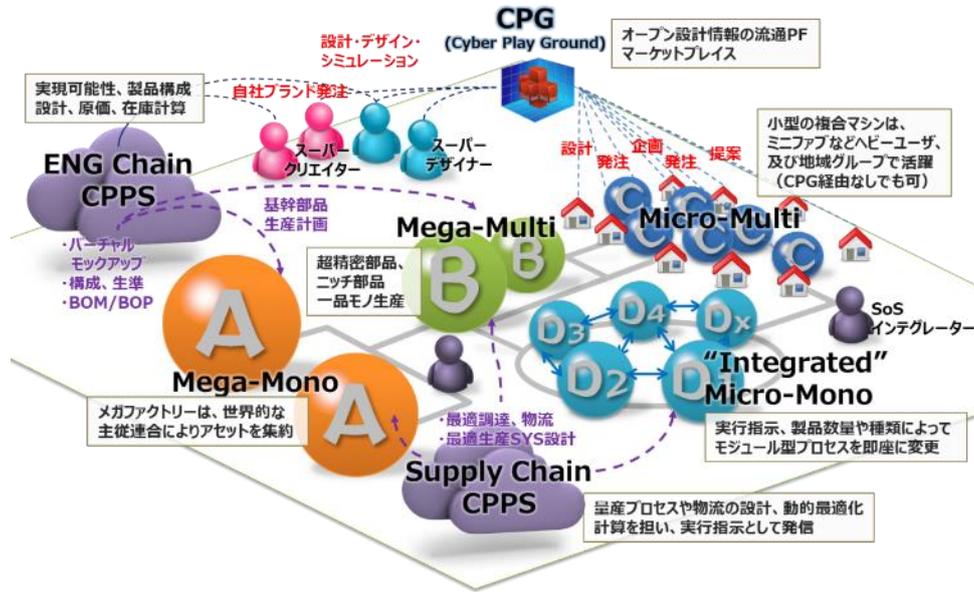


図 5-12 スマートマシンのビジョン

5.9 スマートマシンの技術課題とロードマップ

本節では、4種のスマートマシンを実現するための技術課題を抽出した結果を示す。図5-13は抽出した技術課題の一覧を示しており、ここでは、4種のスマートマシンそれぞれの視点により技術課題を抽出した。その際、いずれの設備でも必要となる共通技術については、フィジカル、サイバーそれぞれの位置づけで分類し、共通技術として整理した。また、抽出した技術の中から、CPPSとして実現が必要である技術を導いた。

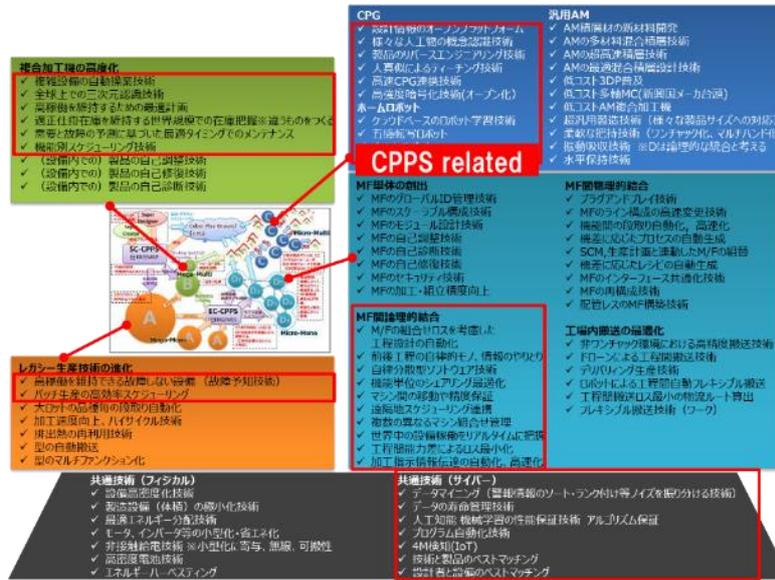


図 5-1-3 スマートマシンの技術課題

■ A:Mega-Mono マシンの実現課題

Mega-Mono マシンでは、従来通りの大量生産に対する QCDE ロス最小化のための、ハイサイクル化、高稼働、故障レス、メンテナンスフリーを実現するための必要技術があげられた。

レガシー生産技術の進化

- ✓ 高稼働を維持できる故障しない設備 (故障予知技術)
- ✓ バッチ生産の高効率スケジューリング
- ✓ 大ロットの品種毎の段取り自動化
- ✓ 加工速度向上、ハイサイクル技術
- ✓ 排出熱の再利用技術
- ✓ 型の自動搬送
- ✓ 型のマルチファンクショナル化

■ B:Mega-Multi マシンの実現課題

Mega-Multi マシンでは、複合加工を実現するための高機能化に必要な技術課題に合わせて、低コスト、省エネ化、高稼働化のための機能別スケジューリングの実現といった、複合加工機を効率運用するための必要技術があげられた。

複合加工機の高度化

- ✓ 複雑設備の自動操業技術
- ✓ 地球上での三次元認識技術

- ✓ 高稼働を維持するための最適計画
- ✓ 適正仕掛在庫を維持する世界規模での在庫把握
- ✓ 需要と故障の予測に基づいた最適タイミングでのメンテナンス
- ✓ 機能別スケジューリング技術
- ✓ (設備内での) 製品の自己調整技術
- ✓ (設備内での) 製品の自己修復技術
- ✓ (設備内での) 製品の自己診断技術

表5-3 Mega-Mono と Mega-Multi マシンの技術ロードマップ

S/M 象限	要求技術	実現ロードマップ				
		2018年	2025年	2030年	2035年	2040年
A Mega- Mono	レガシーな生産技術の高効率化 ※2030年目標			----->		
	加工速度向上、ハイサイクル技術	----->				
	バッチ生産の高効率スケジューリング	----->				
	型のモジュール化、大ロットの品種毎の段取り自動化	----->				
	高効率な排出再利用技術		----->			
	高稼働を維持できる故障予知技術		----->			
	メンテナンスフリー、自己修復技術			----->		
B Mega- Multi	複合加工機の計画系連携 ※2030年目標			----->		
	超複合加工機の低コスト化、省エネルギー化	----->	----->			
	適正仕掛在庫を維持するSCM在庫把握		----->			
	需要と連動した自動操業技術		----->			
	需要と故障の予測に基づいた最適タイミングでのメンテナンス		----->			
	機能別スケジューリング技術			----->		
	設備内の自己診断による製品調整技術			----->		

■ C:Micro-Multi マシンの実現課題

Micro-Multi マシンでは、AM 用材料、AM 設備の更なる低コスト化、汎用化の加速といった、設備の普及を加速させるための技術課題と合わせて、CPG の創出、設計情報のオープン流通、マシンとの高速連携といった、設計プラットフォームとの連携のための必要技術があげられた。

設計情報のオープンプラットフォーム

- ✓ さまざまな人工物の概念認識技術
- ✓ 製品のリバースエンジニアリング技術
- ✓ 人真似によるティーチング技術
- ✓ 高速 CPG 連携技術
- ✓ 高強度暗号化技術(オープン化)
- ✓ ホームロボット
- ✓ クラウドベースのロボット学習技術
- ✓ 五感転写ロボット

- ✓ AM 積層材の新材料開発
- ✓ AM の多材料混合積層技術
- ✓ AM の超高速積層技術
- ✓ AM の最適混合積層設計技術
- ✓ 低コスト 3DP 普及
- ✓ 低コスト多軸 MC(新興国メーカー台頭)
- ✓ 低コスト AM 複合加工機
- ✓ 超汎用製造技術 (さまざまな製品サイズへの対応)
- ✓ 柔軟な把持技術 (ワンチャック化、マルチハンド化)
- ✓ 振動吸収技術
- ✓ 水平保持技術

表5-4 Micro-Multi マシンの技術ロードマップ

S/M象限	要求技術	実現ロードマップ				
		2018年	2025年	2030年	2035年	2040年
C Micro-Multi	超汎用コンシューマー向け製造装置 ※ 2035年目標				----->	
	低コスト多軸MC(新興国メーカー台頭)	----->				
	AMの多材料混合積層技術	----->	----->			
	柔軟な把持技術(ワンチャック化、マルチハンド化)	----->	----->			
	AM振動吸収技術	----->	----->			
	AM水平保持技術	----->	----->			
	低コスト3DP	----->	----->			
	AM積層材の新材料開発	----->	----->			
	AMの超高速積層技術	----->	----->			
	低コストAM複合加工機	----->	----->	----->		
	AMの最適混合積層設計技術	----->	----->	----->	----->	
	高速CPG連携技術 ※ Cyber Play Ground 2035年目標				----->	
	高強度暗号化技術(オープン化)	----->	----->			
	製品のリバースエンジニアリング技術	----->	----->			
	人真似によるティーチング技術	----->	----->			
クラウドベースのロボット学習技術	----->	----->				
設計情報のオープンプラットフォーム	----->	----->	----->	----->		
様々な人工物の概念認識技術	----->	----->	----->	----->		
五感転写ロボット	----->	----->	----->	----->		
人まねロボット	----->	----->	----->	----->		

■ D:Micro-Mono マシンの実現課題

Micro-Mono マシンでは、モノファンクションマシン単体の実現に必要な技術課題と合わせて、加工対象とモノファンクションマシンのCPPSによるベストマッチングを実現するために必要となる制御、管理に関する必要技術があげられた。

MF 単体の創出

- ✓ MF のグローバル ID 管理技術
- ✓ MF のスケラブル構成技術
- ✓ MF のモジュール設計技術
- ✓ MF の自己調整技術

- ✓ MF の自己診断技術
- ✓ MF の自己修復技術
- ✓ MF のセキュリティ技術
- ✓ MF の加工・組立精度向上

MF 間論理的結合

- ✓ M/F の組合せロスを考慮した工程設計の自動化
- ✓ 前後工程の自律的モノ、情報のやりとり
- ✓ 自律分散型ソフトウェア技術
- ✓ 機能単位のシェアリング最適化
- ✓ マシン間の移動や精度保証
- ✓ 遠隔地スケジューリング連携
- ✓ 複数の異なるマシン組合せ管理
- ✓ 世界中の設備稼働をリアルタイムに把握
- ✓ 工程間能力差によるロス最小化
- ✓ 加工指示情報伝達の自動化、高速

MF 間物理的結合

- ✓ プラグアンドプレイ技術
- ✓ MF のライン構成の高速変更技術
- ✓ 機能間の段取り自動化、高速化
- ✓ 機差に応じたプロセスの自動生成
- ✓ SCM, 生産計画と連動した M/F の組替
- ✓ 機差に応じたレシピの自動生成
- ✓ MF のインターフェース共通化技術
- ✓ MF の再構成技術
- ✓ 配管レスの MF 構築技術

工場内搬送の最適化

- ✓ 非ワンチャック環境における高精度搬送技術
- ✓ ドローンによる工程間搬送技術
- ✓ デリバリィング生産技術
- ✓ ロボットによる工程間自動フレキシブル搬送
- ✓ 工程間搬送ロス最小の物流ルート算出
- ✓ フレキシブル搬送技術（ワーク）

表 5 - 4 Micro-Mono マシンの技術ロードマップ

S/M象限	要求技術	実現ロードマップ				
		2018年	2025年	2030年	2035年	2040年
D Micro-Mono	MF単体の自律制御の確立 ※2035年目標					----->
	アセットのグローバルID管理技術	----->	----->			
	MFの加工・組立精度向上			----->	----->	
	MFのセキュリティ技術			----->	----->	
	自律分散型ソフトウェア技術			----->	----->	
	MFの自己調整技術			----->	----->	
	MFの自己診断技術			----->	----->	
	MFの自己修復技術			----->	----->	
	MF間の物理的結合技術の確立（搬送を含む） ※2040年目標					----->
	非ワンチャック環境における「高精度チャック技術」	----->	----->			
	ロボット、ドローンによる工程間自動フレキシブル搬送	----->	----->	----->	----->	
	MFの配管レス等、インターフェース共通化技術			----->	----->	
	マシン間の移動や精度保証			----->	----->	----->
	高速フラグアウントレイ技術			----->	----->	----->
	ワークのフレキシブル搬送技術			----->	----->	----->
	機能間の段取り自動化、高速化			----->	----->	----->
	テリヤリング生産技術				----->	----->
	MF間の論理的結合技術の確立 ※2040年目標					----->
	世界中の設備稼働をリアルタイムに把握	----->	----->			
	レシピ情報伝達の高速度通信			----->	----->	
MFの組合せロスを考慮した工程設計の自動化			----->	----->	----->	
異なるMFのスケラブル構成シミュレーション技術			----->	----->	----->	
MF機差に応じたレシピの自動生成				----->	----->	
機能単位のシェアリング管理				----->	----->	
工程間搬送ロス最小化、物流ルート最適化				----->	----->	
SCM,生産スケジューリングと連動したMFの組み合わせの最適化					----->	

■ 共通技術(フィジカル)

- ✓ 設備高密度化技術
- ✓ 製造設備（体積）の極小化技術
- ✓ 最適エネルギー分配技術
- ✓ モータ、インバータなどの小型化・省エネ化
- ✓ 非接触給電技術 ※小型化に寄与、無線、可搬性
- ✓ 高密度電池技術
- ✓ エネルギーハーベスティング

■ 共通技術(サイバー)

- ✓ データマイニング（警報情報のソート・ランク付けなどノイズを振り分ける技術）
- ✓ データの寿命管理技術
- ✓ 人工知能 機械学習の性能保証技術 アルゴリズム保証
- ✓ プログラム自動化技術
- ✓ 4M 検知(IoT)
- ✓ 技術と製品のベストマッチング
- ✓ 設計者と設備のベストマッチング

表 5 - 5 Micro-Mono マシンの技術ロードマップ

S/M象限	要求技術	実現ロードマップ				
		2018年	2025年	2030年	2035年	2040年
共通	加工対象とスマートマシンのベストマッチング ※2040年目標					----->
	データマイニング精度向上（非構造データのノイズ振り分け）	----->	----->			
	4Mの状態監視、常時検知（人、材料、設備、方法）	----->	----->			
	データの寿命管理技術（必要ない技術を選択）		----->			
	4M変化に応じた加工プログラムの自動化技術			----->		
	人工知能（機械学習、DL）の性能保証、アルゴリズム保証			----->	----->	
	エネルギーロスゼロ稼働技術 ※2040年目標					----->
	モータ、インバータ等の小型化・省エネ化	----->	----->			
	全個体電池等、高密度電池技術	----->	----->			
	非接触給電技術 ※小型化に寄与、無線、可搬性	----->	----->			
	エネルギーハーベスティング		----->	----->		
	製造設備（体積）の極小化技術			----->	----->	
	エネルギー最適分配技術				----->	----->

5.10 スマートマシン WG のまとめ

本稿では、製品、サービスの3つのタイプ毎に2040年のモノづくりのありたい姿を規定し、その実現に向けたCPPSのシステム概念とシステムを支えるオペレーションモデルとしての4種のスマートマシンを提案した。スマートマシン群がCPPSの支援により最適な役割分担を担い、より柔軟に結合と分離を行えるモノづくりの実現に向けて、本WGのメンバー自らがそれぞれの立場で技術革新をリードしていく決意をもって本WG活動報告の結言としたい。

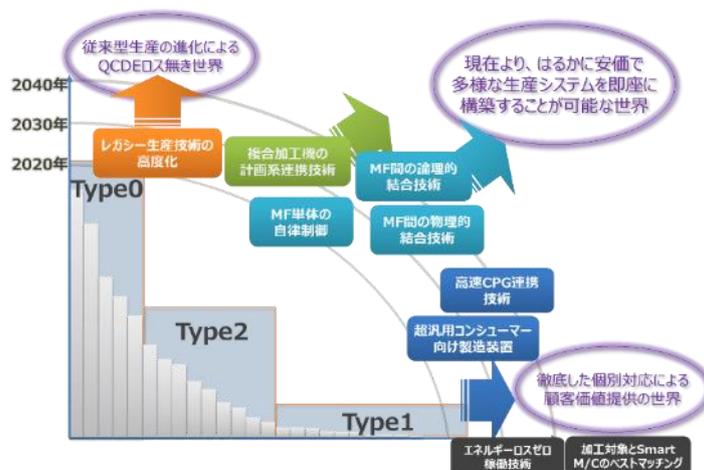
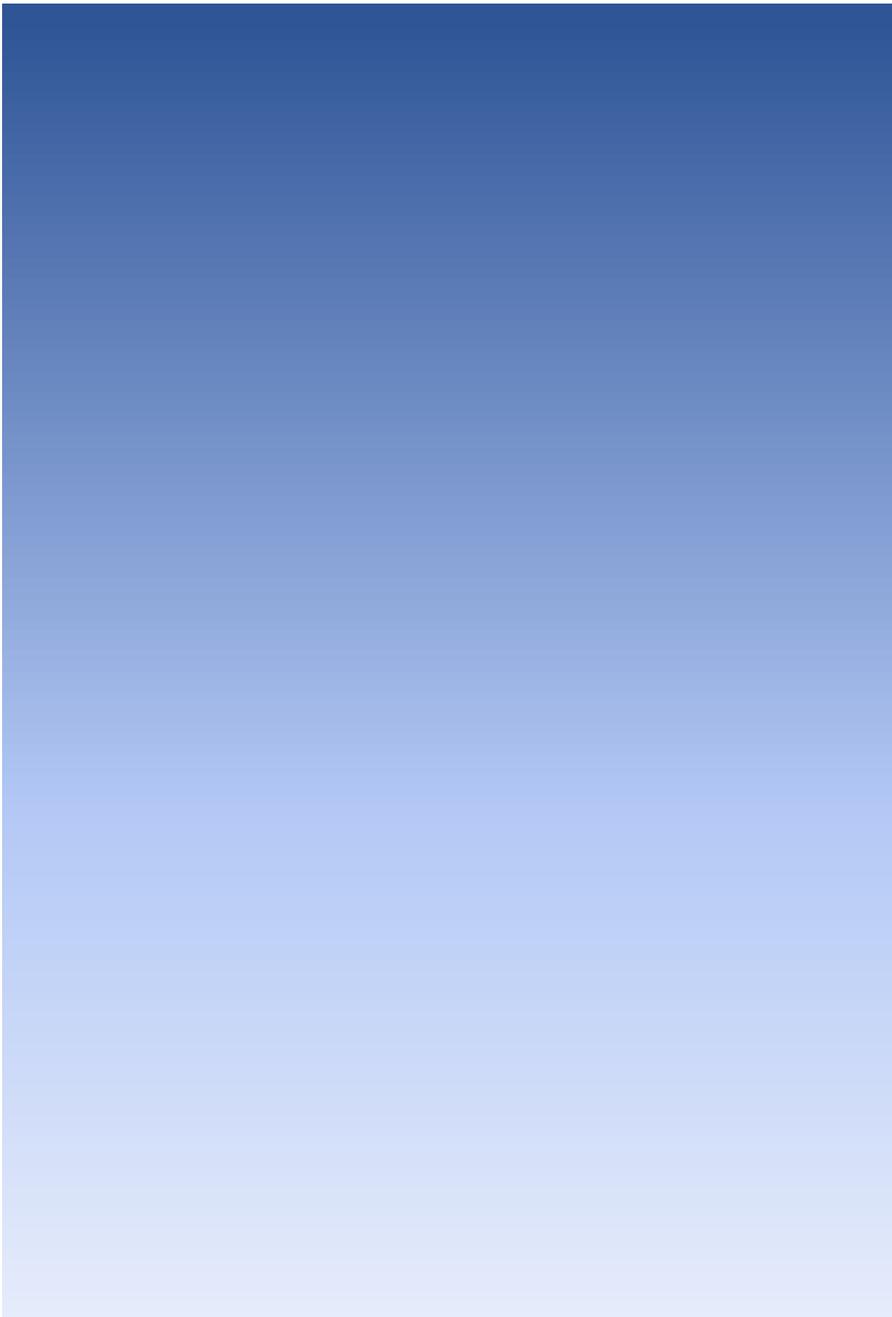


図 5 - 14 スマートマシン WG のまとめ

第6章

アプローチ別 WG/サプライチェーン



- [Redacted]

6.1 サプライチェーン WG の概要

本章では S/C アプローチ別 WG の活動を報告する。第 4 章で説明した方針に従い、本アプローチ別 WG の活動を通じて、以下の表に掲げる内容を明らかにした。

表 6-1 S/C アプローチ別 WG 活動における検討内容

	Type0	Type1	Type2
ありたい姿	<ul style="list-style-type: none"> ・大量生産、大量輸送を考慮した QCDE ロス無き世界 	<ul style="list-style-type: none"> ・顧客発の設計を短期に実現する瞬間々に出現する短めのサプライチェーン 	<ul style="list-style-type: none"> ・市場変化に応じて、モジュール構成とサプライチェーンを迅速、かつ柔軟に再構築
システム概念 (2040 年の CPPS 構成)	<ul style="list-style-type: none"> ・製品構成情報の共有による徹底した最適化システム ・コア部品を中心としたリーンな生産を可能とするマネジメントシステム 	<ul style="list-style-type: none"> ・近隣の製造装置の諸元と空き状況が CPPS 上で公開。その都度、最適な生産委託先を見つけるマッチングシステム 	<ul style="list-style-type: none"> ・製品構成情報を共有し、様々なプレイヤーが差別化可否 CPPS 上でシミュレーションする戦略立案支援システム
オペレーションモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・基幹部品の安定的供給 ・様々な災害に対する BCP 再構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・近隣リソースをマッチングした素材から完成品製造までの一時的なアレンジ ・一時生産発注／受注を安全に行うブロックチェーン／スマートコントラクト 	<ul style="list-style-type: none"> ・共通 P F 上での情報を活用した最適シミュレーション連携 ・サプライチェーン再構築を迅速化するスマートコントラクト
取り扱うべき要素	<ul style="list-style-type: none"> ・効率化されたロジシステム 大量輸送、ロボット ・災害対策、BCP 支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計情報も含めたサプライチェーン CPPS 構造 ・サプライチェーン CPPS への情報高速転写 	<ul style="list-style-type: none"> ・生産運用の自動連携 I/F ・モジュール単位での設計・運用・管理
必要とする技術	<ul style="list-style-type: none"> ・代替部品 DB、仮想 S C 	<ul style="list-style-type: none"> ・CPG 連携、検索技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・MES 再構築支援技術

	<ul style="list-style-type: none"> ・資源量予想、地政学リスク予想 ・工場直結SC ・自動運転トラック、ロボット ・災害検知/予測、BCP 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン物流（単品輸送）、オンデマンドB2B ・超汎用スケジューリング ・Manufacturing/Logistics as a Service 	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール、BOM/SCM ・品質保証技術（BC） ・内外製切替(リアルタイム) / 動的生産計画
--	--	--	--

6.2 現在のサプライチェーンのとらえ方

サプライチェーンとは、需要を持った市場に何らかの価値を供給する連鎖型のシステムとしてとらえることができる。2018年の現在、多くの価値はモノとして市場に供給され、いわゆる物流を形作っており、市場の需要に合わせて滞りなくタイムリーに流れることが、サプライチェーンマネジメントの目的の一つとなっている。

現在のサプライチェーンにおいて、物流の最上流は資源の発生源であり、加工組立などを経て末端の市場にモノという価値が供給されている。モノという価値は、発明研究に端を発し設計や開発を経て設計情報となって人々の前に現れるが、設計情報の発生源はサプライチェーンを形作る上で現状はあまり重要視されていない。一方で、加工組立する製造拠点や倉庫などの物流拠点の地理的位置はサプライチェーンを形作る上で制約条件となっている。

このような状況から、サプライチェーンを描く場合には、サプライチェーンを形作る地球表面上の各拠点を結んだ、図6.1の様な二次元的なネットワーク図として描くことが多い。更に供給の流れを動脈系と言い、リサイクルの静脈系の流れを加え、図6-1の両端が接続された循環型にとらえられる場合もある。

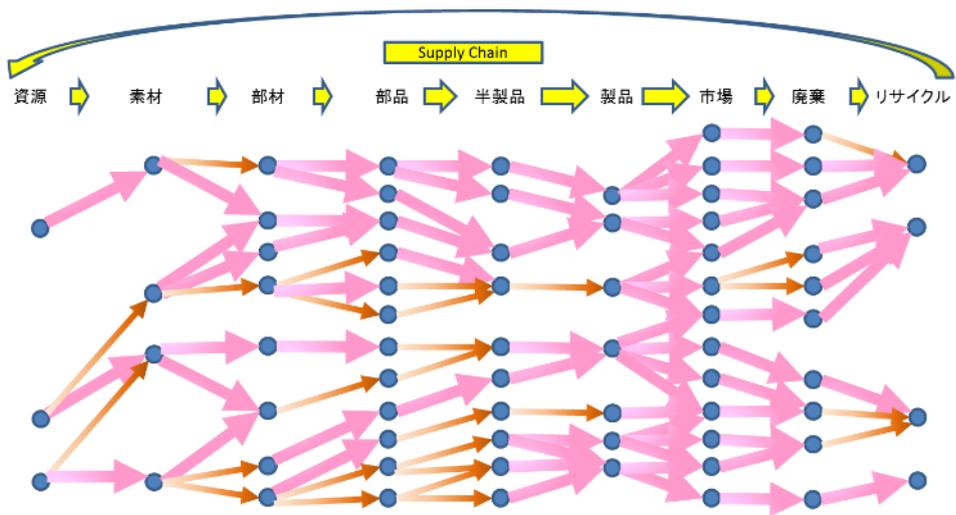


図 6-1 二次元的なサプライチェーン・ネットワーク図

6.3 価値の変化とものづくりの変化

モノという価値を作り出してきた「ものづくり」は、世の中の価値多様化と共に変化を始めている。世界では情報や情報のつながり（いわゆる情報サービス）をビジネスとした企業が急成長し、ものづくり企業はその後塵を拝している。「ものづくりのサービス化」は唱えられて久しいが、ものづくりビジネスを大きく変化させるための推進力となっている。たとえ日本のような先進国が少子高齢化し、発展途上国が人口爆発をおこし、貿易戦争が激しくなろうとも、世の中はモノの価値よりもサービスの価値を求めていく傾向は変わらないだろうと考える。図 6.2 は、2017 年のドイツハノーバーで開催された Cebit での会場の展示の一部を示している。左側はビッグデータによるサービス化を志向するアメリカ企業のブースで、右側はスマートマニュファクチャリングを国策として進めるドイツ企業のブースの一場面である。

Cebit 2017 でのコンセプト展示



図 6-2 Cebit でのアメリカ企業とドイツ企業の展示

偶然にも双方の展示は環境配慮した自動車をキーデバイスに、コミュニティを形作るサービスを提供しようとする部分で一致しているのである。これはシェアリングエコノミーやブランドによる品質保証という価値をサービスの形で提供しようとしている。

モノの価値を生み出すプロセスでも変化が起こっている。それが Voxcel データを使った三次元設計である。特にサイバープレイグラウンド (CPG: Cyber Play Ground) と呼ばれる分野では、マイクラフトで代表されるようなゲーム感覚で Voxcel データを使った三次元設計が可能なソ

ソフトウェアが多くの人に楽しまれている。更に Voxcel データを使った 3D プリンティング技術が開発されており、ユーザサイドで三次元設計された設計情報を 3D プリンタで即座に現実のモノにすることができるような環境が用意され始めている。極度に多様化することが予想される未来の価値観に対して、自身の力で設計した自分だけの価値を身近な場所で形にすることができるのである。今まで、ものづくりメーカーに頼ってきたモノとしての価値を、3D プリンタさえあればユーザサイドで作りに出すことができるようにものづくりの環境も変化し始めている。

また、地球と言う限られた環境の中で人間社会を恵まれた豊かな状態に維持存続させるためには、環境保護や省エネルギーは経済的な価値と並ぶかそれ以上の価値となる可能性もある。

6.4 TYPE 別のものづくり予想

第4章で説明した製品タイプ (TYPE0, 1, 2) 別のものづくりとサプライチェーンの形を決める要因とともに、製品タイプ別のシナリオの概要とを順に説明していく。

6.4.1 TYPE0 のものづくり

現在の量産系製品は、2040 年にはモノがネットワークでつながりあうことで作り出される価値を供給するシステムの構成要素になるだろう。例えば、自動車は自動運転自動車というシステムの構成要素となり、それらを全体制御する交通網でモバイルコミュニティ (ヒトやモノが自動運転自動車で最適に輸送される街) を作るようになる。この世界では、コミュニティ全体をシステムとして作り上げられるだけの技術と資本力を持った超大企業とそれにつながる企業のグループがモノづくりを実施することになる。それは、コミュニティを支えるための品質や安全性を保証できるだけの技術やサポート能力を有し、競争力の維持に努めることが社会責任上大事となるからである。超大企業は自社だけでなく、多くの関連企業と助け合いながら競争力を維持しつつ、環境維持や省エネルギーを先導する役割を担う。ハードウェアを供給するためのサプライチェーンは、このような企業群がその時代の価値観を最適化するように作り上げられるだろう。

6.4.2 TYPE1 のものづくり

一方で、究極に多様化した価値観は、個による価値供給を広めると思われる。高性能な 3D プリンタが個人ユースでも使用が可能となり、様々な製品を作り出すことができる様々な 3D プリンタ用の材料が供給される。さらに、予想もできない機能を発揮できる製造方法なども開発され、オリジナルデザインのパーソナルユースが可能となる。更に、それらの後押しするサービスが世界中に定着するだろう。例えば、現在のコンビニエンスストアにあるコピー機の代わりに高性能 3D プリンタが整備され、事前送信しておいたデータで無人でオリジナル製品

が製造され、ユーザーは取りに行くか、無人宅配サービスなどで受け取れるようになっているかもしれない。

6.4.3 TYPE2 のものづくり

TYPE0 と TYPE1 の中間に存在する TYPE2 の製品は、世界の中小企業を活性化させていく可能性がある。設計情報という価値を生み出す情報は、生産効率の向上や多様化に柔軟に対応するためにモジュール化が進む。これらのモジュールがつながるための仕様も標準化され、多様な機能を組み合わせて使えるようになるだろう。ブロックチェーン技術は、設計情報の共有にも使われるようになり、知財やセキュリティを守りながら、設計情報という価値の共有を可能とする。この世界では、TYPE0 や 1 よりもサプライチェーンが複雑になることが予想でき、そのサプライチェーンを動的に構成するためのサービスなども生まれてくることが期待できる。

6.5 2040 年の TYPE 別サプライチェーンの姿

6.5.1 TYPE 別サプライチェーンの形を想像するための基本的考え方

価値の源となる設計情報がどこから生み出され、どこで作られるかによって、サプライチェーンの形が変わってくる。例えば、TYPE0 は超大企業が設計情報を生み出し、品質や保証などでつながりあった企業グループによって作り出され供給される。そこでは、価値が生み出されリサイクルされ再生産されるまでの環境や消費エネルギー、資源循環を最適化するために必要な情報が共有できるようなサプライチェーンを形成しなければならないだろう。

TYPE1 は個人レベルから設計情報が生まれる。すなわち、消費者がそのまま設計者になりえる製品タイプと考える。IT とユーザーインターフェースの更なる発展に伴い、消費者自身が頭に描いたモノ・形状をデータに変換することが容易になり、設計行為を消費者が楽しむようになるだろう。その設計情報は現在の設計図の概念と違った、Additive Manufacturing 的な設計情報となっている可能性が高い。更にものづくりは自宅や近所のコンビニで作り出されることが可能となる。

さらには、TYPE2 は全体システムの設計情報はシステム供給企業が生み出すが、システムを構成するモジュールシステムはシステムのつながりを実現するための標準を守っていれば、どこからでも生み出せるようになる。そのためこのタイプのサプライチェーンは、TYPE0 で示した価値も重要視されながら、モジュール別の価値の最適解によって動的に生成されると考える。

6.5.2 TYPE0 のサプライチェーンの姿

継続維持可能な社会を形成しようとする 2040 年の価値観は、機能やコストという価値以外に環境維持や省エネルギーに対する価値が高まる。これら環境維持や省エネルギーと競争力維持

とを両立し、サプライチェーン全体で最適化するには、サプライチェーンを構成するノード別に作り出す価値の構成情報 (BOM:Bill Of Material) と製造プロセス情報 (BOP:Bill Of Process) が、サプライチェーン全体で共有されなければならない。ここでは、構成情報と製造プロセス情報をひとまとめにして設計情報と呼ぶ。そのようなサプライチェーンの姿は、図 6-1 で示した 2 次元的なサプライチェーンではなく、設計情報を含んだサプライチェーンとならなければならない。そのためには、ロジスティクスという空間的な情報と設計情報の組み合わせによるサプライチェーンモデルをサイバー世界に持たなければならない。

図 6.3 に、サプライチェーンを構成するノードの位置関係を二次元的に描き、設計情報がサプライチェーンを構成するノード別に上下方向に描いた三次元的サプライチェーンモデルを描く。この図に示されるノードとノードを結ぶ線がサプライチェーン全体のモデルとなり、複数の価値を最適にする経路が 2040 年の最適化で実現されると想像される最適サプライチェーンである。また、一度形成されると安定的で静的なサプライチェーンとなることが予想される。

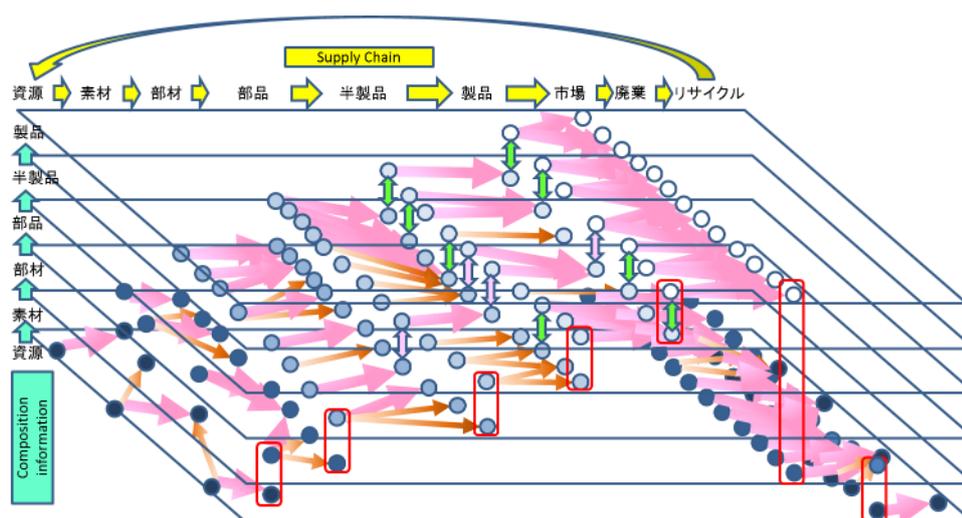


図 6-3 三次元的サプライチェーンモデル

6.5.3 TYPE1 のサプライチェーンの姿

TYPE1 のサプライチェーンは、設計情報が神出鬼没であり、さらにローカルな製造機械 (Makers 台頭や、コンビニエンスストアでの 3D プリンタ普及) での製造機会が増える。そのため、モノの流れる距離が短く生成されては消えるような動的サプライチェーンになることが予想される。材料自体は別なサプライチェーンを構築すると思われる。特に、アディティブマニュファクチャリング用の材料の場合、現在のインフラのように当たり前材料が供給されていると思われる。そのため、あまり複雑で長距離を結ぶようなサプライチェーンではなく、単

純で短いサプライチェーンとなることが予想される。

6.5.4 TYPE2のサプライチェーン

素材→部材→部品（モジュール）と連鎖することが考えられるが、価値の多様化に対応した中小企業がフレキシブルに対応する姿が予測される。現在、最終製品の多くはセットメーカーからの供給になっているが、場合によってはソフトウェアプラットフォームのみが存在し、各種モジュールを組み合わせると最終製品になると共に、ソフトウェアプラットフォームによるサービスが受けられるような製品となる可能性もある。モジュールの供給はプラットフォーム仕様に準拠することで様々な価値となると考えられ、中小企業の独自性によるバラエティも提供されるであろう。したがって、多様な価値観で最終製品の仕様が決まると同時に、最適にモジュール組み合わせが決定するような動的なサプライチェーンが形成されるであろう。ただし、環境維持や省エネルギーなどの価値観はTYPE0と同じであることから、設計情報の共有はTYPE0と同様に必要になると思われる。機会損失を最小化するため、設計情報の更新タイミングに合わせてサプライチェーン構成ノードが動的に組み替えられ、サプライチェーンが迅速に再構成される。その結果、図6-4の様なアメーバ型のサプライチェーンが形成されるであろう。

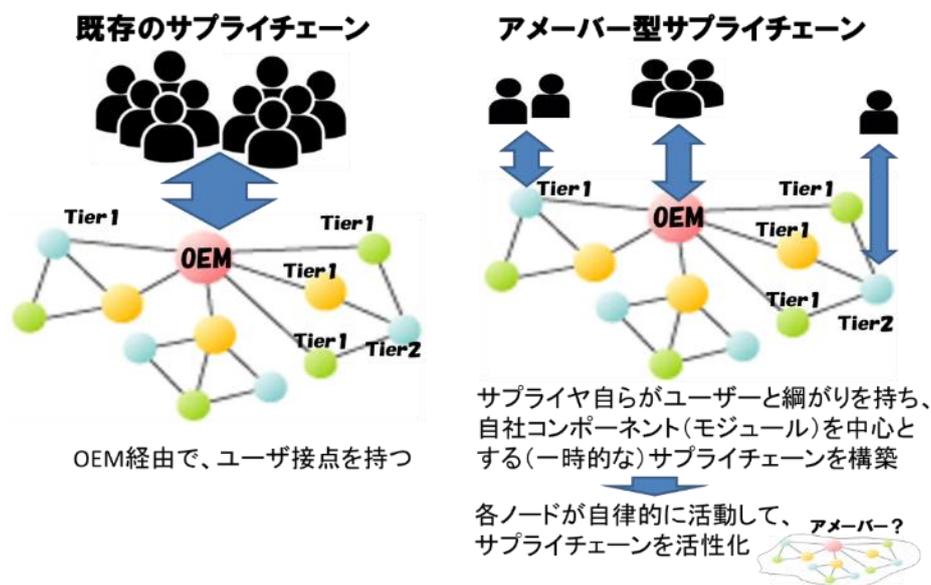


図6-4 従来型サプライチェーンとアメーバ型サプライチェーン

6.5.5 各TYPEのサプライチェーン進化の方向

TYPE別のサプライチェーン像の予測から、各TYPEのサプライチェーン進化の方向をまとめる。サプライチェーンは設計情報発生源の違いによりTYPE別に分化し最適化されていくこと

で、サプライチェーンの空間的長さが TYPE によって変わっていくと考える。多様な価値観に対応するために、従来の静的なサプライチェーンから動的なサプライチェーンに移行していくものが増えるであろう。また、環境維持や省エネルギーの価値観の高まりに合わせ、サイバー空間でのサプライチェーンは設計情報としてのつながりが深くなっていくであろう。

TYPE 毎のサプライチェーン進化の傾向を相対的に表すと図 6.5 のようになり、TYPE0 は信頼性・資源・環境が重視され、固定的で空間的に長く、設計情報としては深い連鎖になる。TYPE1 は、多様性・CPG など個の価値観が重視され神出鬼没の短く浅い連鎖となる。TYPE2 はモジュラー化に対応した中小企業が地産地消を形成し、比較的空間的に短いが設計情報としては深い連鎖となる。

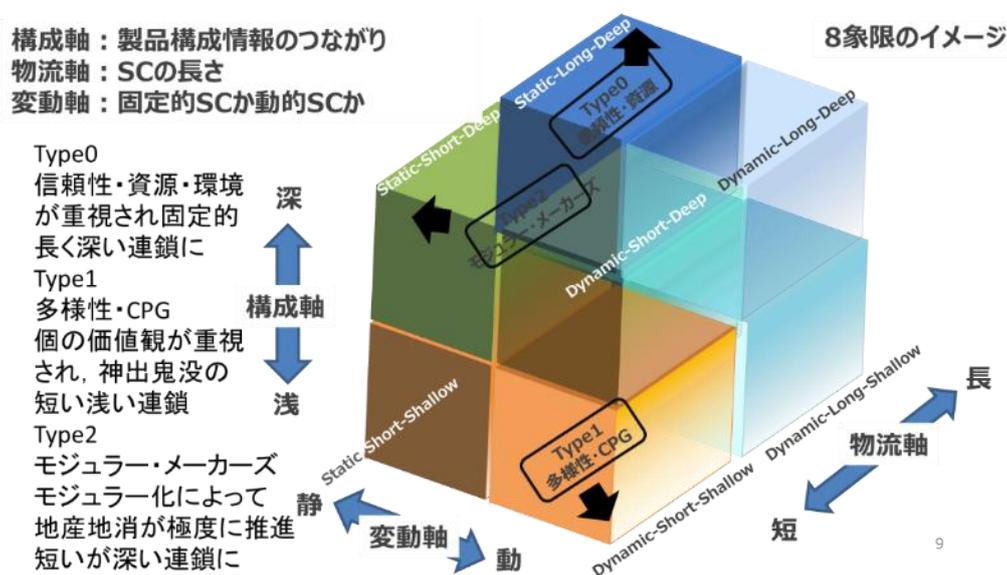


図 6-5 各 TYPE のサプライチェーン進化の方向性

6.6 2040 年のサプライチェーン CPPS のイメージ

ここまでの議論から、2040 年のサプライチェーンのサイバー側のモデルイメージを描くことができた。フィジカル側のサプライチェーンはセンサの高度化・多様化・低コスト化に伴い、様々なデータがリアルタイムにサイバー上にアップされ、膨大なデータがサイバー上を常に流れている。一方、サイバー側モデルは、膨大なデータレイクから半自動で必要/関係データを検索やマッチングを行い、2040 年でのものづくりの姿と価値観に合わせてシミュレーションや学習制御などを適切に実施し、最適な状態に向け制御を行ったり、意思決定を支援したりする。その結

果、フィジカル側のサプライチェーンが様々な環境変動下でも、迅速、かつ柔軟に動的な最適解を適用できるように変化した姿が 2040 年のサプライチェーンの CPPS である。そのイメージを図 6-6 に示す。

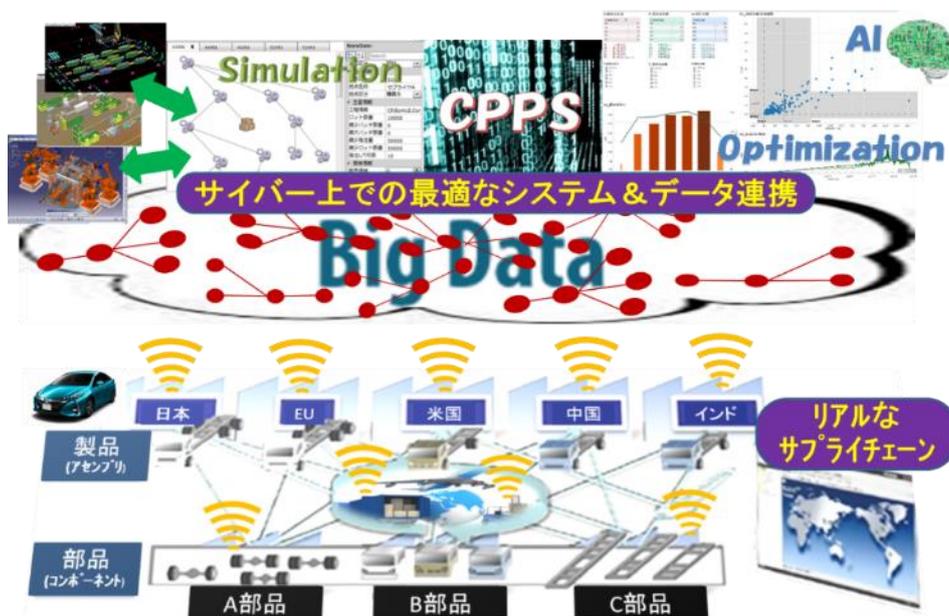


図 6-6 2040 年のサプライチェーンの CPPS イメージ

6.7 2040 年のサプライチェーン CPPS 実現のための技術課題

6.7.1 系統図法による技術課題の分解

サプライチェーンの進化の方向が定まったところから、2040 年のサプライチェーン CPPS を実現するための技術課題への分解を、新 QC7 つ道具の一つである系統図法を使って行うこととした。現在の価値観である効率性（効率的なサプライチェーン）と将来の価値観の一つである維持継続可能性（レジリエンスサプライチェーン）を実現するための技術要素に分解していったものを図 6-7 に示す。

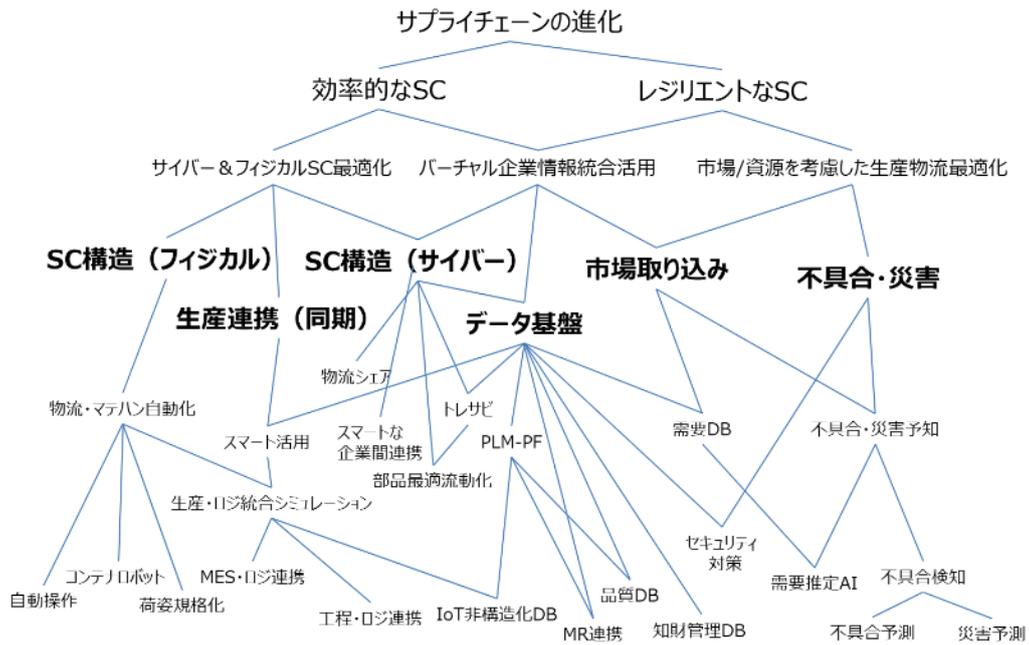


図 6-7 サプライチェーン進化要素技術へのブレークダウンの例

6.7.2 導き出された技術課題

系統図法とブレインストーミングによって全タイプに共通の技術課題を抽出した。それらを親和図法 (KJ 法) によって分類したところ、表 6.1 に示すように 6 分類 (サプライチェーン効率化 (サイバー)、サプライチェーン効率化 (フィジカル)、生産連携 (同期) による効率化、企業間連携データ基板&効率化・スマート化、不具合・災害対策、市場取り込み) にまとめることができた。

表 6 - 2 全 TYPE 共通の技術課題

分類	項目
サプライチェーン効率化 (サイバー)	トレサビ P/F
	部品個体追跡
	部品個体最適流動化
	サイバー空間への転写
	定型便連携・物流シェア
サプライチェーン効率化 (フィジカル)	Physical Internet
	自動積み下ろしハンド
	コンテナ ID・規格
	コンテナロボット化
生産連携 (同期) による効率化	MES・工程・ロジ連携
	社会モデリング・シミュレーション・予測
企業間連携データ基盤&効率化・スマート化	PLM Plat Form, Mixed Reality 連携
	品質 DB 規格化
	IoT 非構造化 DB
	バーチャル品質保証
	品質コントロール設計
不具合・災害対策	不具合検知
	不具合予知
	災害予知
	BCP 支援・最適化
	代替部品調達 DB Plat Form
市場取り込み	ダイアログトレース DB
	市場ニーズ推定 AI

更に、TYPE 別の技術課題も同様に抽出し、表 6-3 の様に 6 分類した。

表 6-3 TYPE 別技術課題

分類	項目	TYPE0	TYPE1	TYPE2
サプライチェーン効率化 (サイバー)	資源調達・エネルギーシミュレーション	○		
	調達多頻度切替シミュレーション		○	
	動的 SC 最適化		○	
	予測型 SC 最適化		○	
	Smart Contract			○
	SC コーディネート			○
サプライチェーン効率化 (フィジカル)	混載架装効率化		○	○
	ドローン物流			○
	自動積み替え		○	○
	自動運転トレーラー	○	○	○
	自動運転トラック	○	○	
生産連携 (同期)	工場直結 SC	○	○	
	最適生産順計画		○	
企業間連携データ基盤	生産安定性評価	○	○	
	Smart Contract 応用			○
不具合・災害対策	資源量予測	○		
市場取り込み	顧客要求モジュール分解		○	
	内外製判断		○	
	差別化技術隠匿設計		○	

6.7.3 CPPS における技術連携シナリオ

CPPS において、抽出した技術課題がどのように連携しながら上位課題を解決していくのか例を挙げて説明する。

<効率的なサプライチェーン>

CPPS による効率的なサプライチェーン実現のための技術連携シナリオの一例を説明する。サプライチェーンの効率化のためには、フィジカル面では製品/部品構成の最適化した上で製造とロジスティクスがタイミングを同期させて、最適に連携することが求められる。そのため、

設計時に作られる構成情報(BOM:Bill Of Material)と製造プロセス情報(BOP:Bill Of Process)が部品表(Bill of Material)を起点にどの製品／部品単位でロジスティクスに載せていくべきかを検討する。さらに、IoTで収集される生産トレーサビリティデータと販売後トレースデータを活用し、製品／部品移動をサイバー上に評価し、ボトルネックが見える化させることができる。さらに、2040年頃には、様々な周辺データをリアルタイムで集めるとともに、販売数や天候、渋滞などの予測もさらに高精度かされ、多くの製品／部品流動化をシミュレーションするとともに、コスト計算を正確に行った上で競争力を維持させつつ最適化することが可能となる。

上記のように、製品／部品の移動が見える化され、将来的にQCDEの観点で最適流動化されていく中で、製造ラインとロジスティクスも連動して高度化していく。製品／部品の移動が見える化される一方、昨今の工場IoTデータにより見える化された製造状況(早い／遅い、トラブル)情報を付加させることで、B2B物流との連携も最適化することができると考えられる。例えば、出荷予定数が1時間遅れるならば、先に、他の製品／部品のピックアップを済ませるために、行先を柔軟に変更していくことが可能となる。これにより、ロジスティクスのムダな待ちを抑制することが可能となる。このことは製造ライン側にとっても同じで、ロジスティクスの遅れが予め把握できていれば、生産ピッチを下げて他の作業を行ったり、特急品オーダー対応を優先させたり、生産比率を変更したりすることが可能となり、全体の効率性は大幅に向上すると考えられる。さらに、将来的には、製造ライン内の設備(工程)単位での制御や、トラック経路指示、コンテナロボット制御まで行くと、さらなる効率化、省エネルギーまで狙うことが可能となると考える。図6-8にはフィジカルとサイバーとのデータ連携も含めたシナリオイメージを示す。

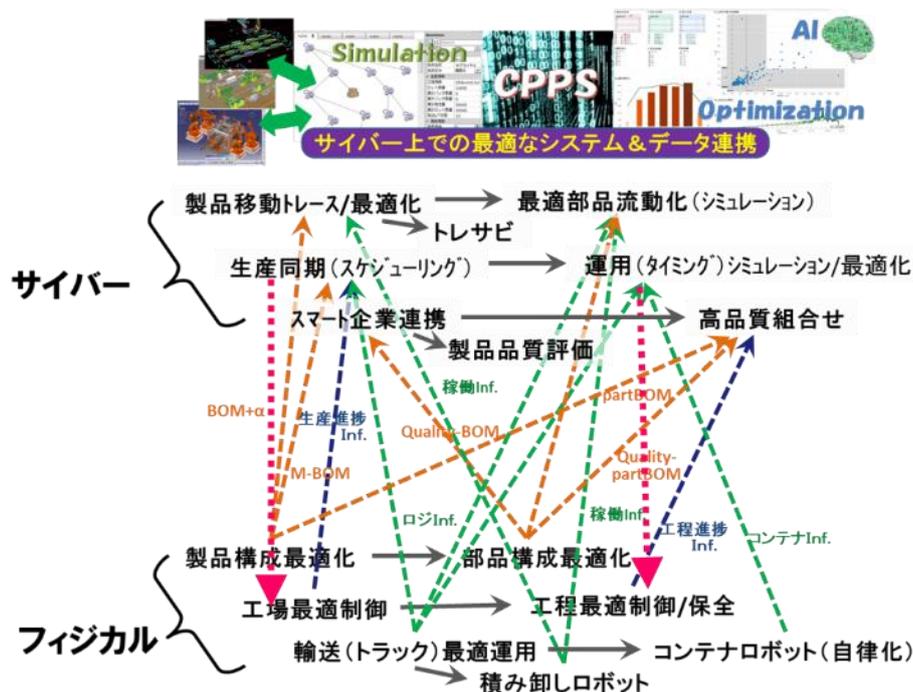


図6-8 効率的なサプライチェーンの実現シナリオ

<レジリエンスサプライチェーン>

サプライチェーンの高度化に関して、効率化とともに大きな関心事として、レジリエンス（弾力性、継続力）がある。近年においてタイの大洪水や東日本大震災にて、サプライチェーンが寸断され、復旧に多くの時間を費やしたことは記憶に新しい。そのため、CPPSを活用したサプライチェーンに関しても、レジリエンスの向上は重要なテーマとなっている。そこで、レジリエンスの観点で、CPPS活用によるサプライチェーンに関する技術連携シナリオの一例を説明する。レジリエンスを向上させるためのフィジカル面での方策として、

- ① 市場センシングにより需要予測精度向上させ、常に必要分をストック（高精度MRP）
- ② 製品／部品構成の見直しによる代替品が多い部品への切り替え
- ③ サプライチェーンを左右する対象の不具合検知（予測）

などが考えられる。①に関しては、ツイッター情報や販売店情報などを吸い上げ、サイバー上で傾向分析することで需要予測、さらには市場ニーズ分析まで行うことが当たり前になる。2040年頃にはこれらの情報を集め、ライフサイクル・シミュレーションへの拡張も可能と考える。②に関しては、サイバー上で部品構成を最適化し、代替部品DBの作成を行う。将来的には市場ニーズ／需要予測に関する情報と合わせ、リアルオプション思考

を取り入れた内外製決定支援や技術開発テーマ決定支援、さらに、それらを踏まえて設計最適化へとつながっていく。不具合検知はサプライチェーンに関わる様々な情報を集め、変化点を検知するとともに、予測へつなげ、それらを加味した事業継続計画（BCP）支援技術、さらにはBCP最適化まで実現することが重要であると考えている。上記①～③は全て関連しており、必要なデータを相互にやり取りしながら（図6-9）、サイバー上で効率性とレジリエンスを高度に両立することを目指す。

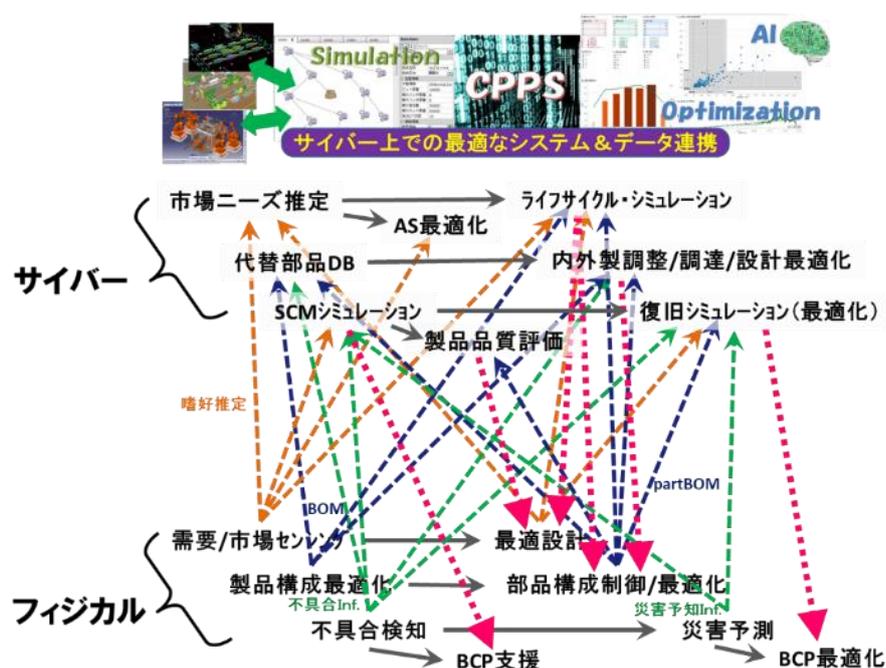


図6-9 レジリエンスサプライチェーンの実現シナリオ

6.8 注目すべき技術

6.8.1 Physical Internet

サプライチェーンの効率化に関する研究コミュニティとして、ジョージア工科大が中心となり、フィジカルなモノのロジスティクスに、インターネット上のパケット伝送と同じ考え方で効率化することを目指したPhysical Internetという取り組みが始まっている。図6-10に示すように様々なプロジェクトがある。例えば、コンテナ（パレット）の標準化プロジェクトでは、いくつかの小コンテナを組み合わせることにより、トラックの荷台に搭載できる標準サイズとなる小コンテナを決めるプロジェクトである。コンピュータネットワークにおけるトークンの空きに信号を載せるのと同じ発想で、小コンテナサイズを標準化しておくことで、拠点

ごとに小コンテナの載せ替えが用意となり、行先やタイミングに応じてトラックの荷台のコンテナを柔軟に構成し直す。全体効率を向上させるために、どのトラック（どこから、どこへ向かっているトラック）にどのタイミングで、対象とする小コンテナを載せるかを最適スケジューリングする。

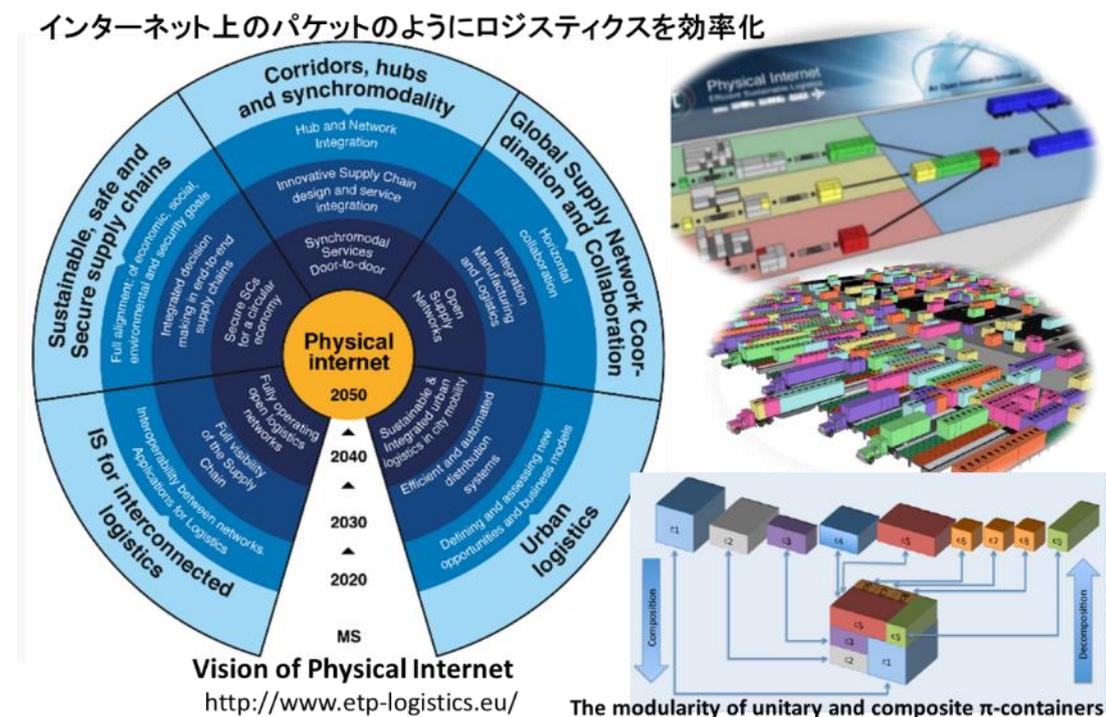


図6-10 Physical Internet の概要

6.8.2 Smart Contract(ブロックチェーンの応用)

ブロックチェーン技術では、参加者で構成されるネットワーク全体で契約とお金をやり取りする台帳情報を共有し、不正や改ざんができないようにする技術である。この技術を利用し、図6-11に様にサプライチェーンの参加者全体で設計情報を共有し、供給連鎖における契約とお金のやり取りまでをセキュアに管理できるようにする。サプライチェーンにおける契約やお金のやり取りが簡素化されるだけでなく、モノの流れや設計情報がサプライチェーン全体で共有できるため、図6-3に示したような三次元的なサプライチェーンモデルをサイバー側に保有することが可能となる。

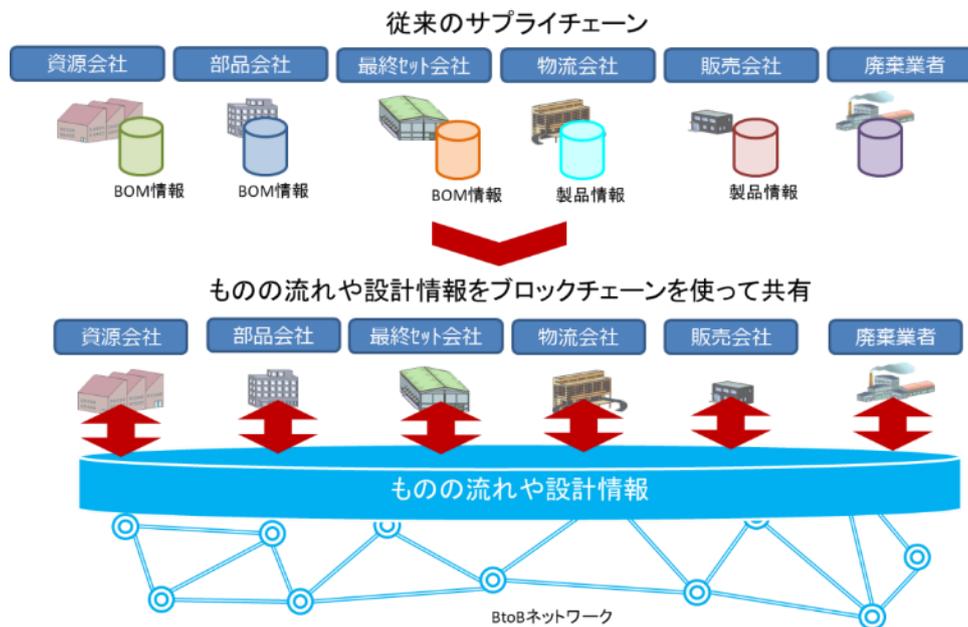


図 6-1-1 サプライチェーンへのブロックチェーン技術応用イメージ

6.9 技術ロードマップ

6.9.1 全 TYPE 共通技術のロードマップ

6.6 節で系統図法によってリストアップされた技術課題と、6.7 節で取り上げた現状での注目すべき技術を考慮しながら、WG メンバで議論し技術課題に対する 2040 年までの技術ロードマップを作製した。すべての TYPE に共通した技術課題のロードマップを図 6-1-2 に示す。

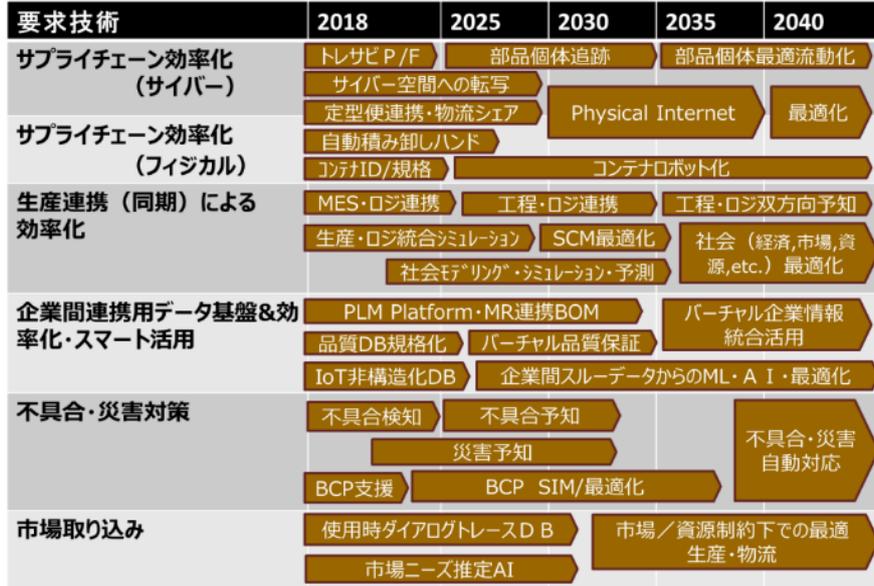


図6-1-2 全TYPE共通の技術ロードマップ

サプライチェーン効率化においては、サイバー側とフィジカル側の双方が歩み寄る形で最適化を実現していく。サイバー側だけでなくフィジカル側もより効率化できる、Physical Internet の様な進化を遂げながら 2040 年の価値に沿った最適化が実現されなければならないだろう。生産連携(同期)による効率化では、ロジスティクスだけでなく生産工程までまさに、この姿が 2040 年のサプライチェーンにおける CPPS の姿である。企業間連携用データ基盤としては、設計情報を共有化するための PLM (Product Lifecycle Management system) のプラットフォームが整備されなければならない。その上で QCD に関わるデータ共有の基盤が、現在の技術開発の延長線の上で高度化されていくだろう。更に世界環境変化に対しても持続性の高いサプライチェーン(レジリエンスサプライチェーン)を構築するための不具合・災害対策やビッグデータを使った市場取り込みなどの技術革新も、目的に合わせて進んで行くと思われる。

6.9.2 TYPE0 特有技術のロードマップ

現在の量産製品の未来である TYPE0 製品は、共通技術とほぼ同様の技術進化を遂げなければならない。その中でも特出すべき技術をロードマップにしたものを図6-1-3に示す。TYPE0 としての価値を生み出す超大企業の戦略の中で開発が進んで行くと考えられる。

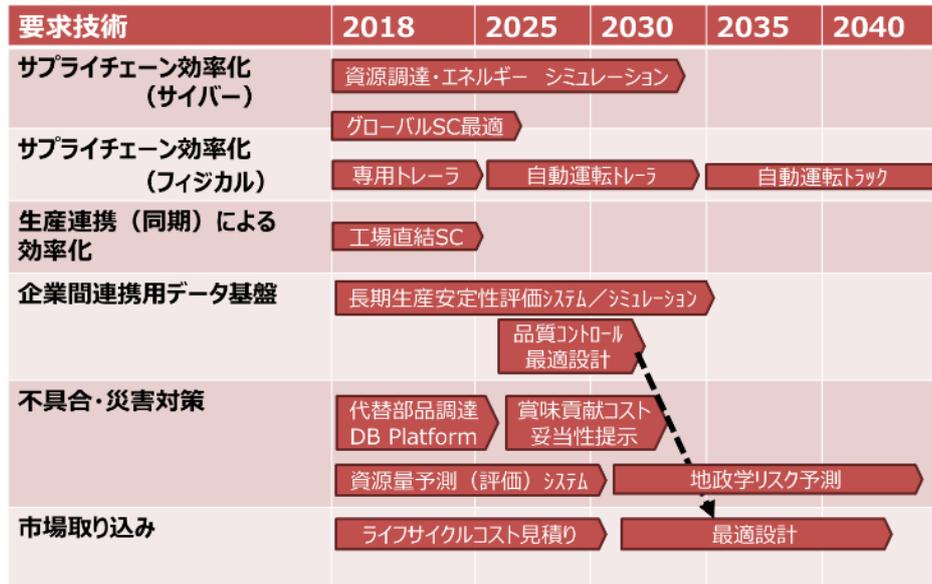


図 6 - 1 3 TYPE0 特有技術のロードマップ

6.9.3 TYPE1 特有技術のロードマップ

多様な価値観が神出鬼没に生出す価値情報を具現化し、更にビジネスとして成り立つようにするための技術が TYPE1 特有の技術である。特に個が生出す価値という知財を保護しながら、セキュアにお金が行き渡るしくみとしてのブロックチェーン技術の応用は大変重要となる。また、三次元設計と 3D プリンタが生出すモノの信頼性や品質を確保するための技術も重要となる。それらの技術がある程度のレベルになる時期に、このビジネスは急激に成長し、Laas (Logistics as a Service) や MaaS (Manufacturing as a Service) が技術としてだけでなくビジネスとして台頭してくると考えられる。今後の変化の大きい分野と考えられる技術ロードマップを図 6 - 1 4 に示す。

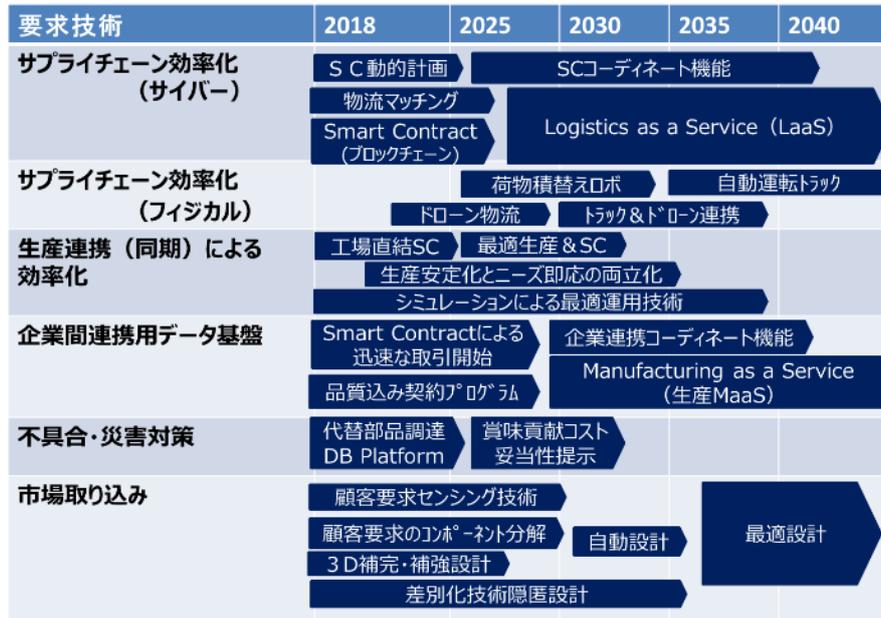


図6-1-4 TYPE1 特有の技術ロードマップ

6.9.4 TYPE2 特有の技術ロードマップ

TYPE2 ではモジュラー化技術が中心となる。モジュラー化に対応できるサプライチェーン効率化技術や設計情報管理技術が開発されて行かなければならない。当初はTYPE0に近い企業におけるモジュール化の進展が、この分野の技術開発を引っ張っていくものと考えられる。しかしながら、多様な顧客価値を実現するためのモジュール組み合わせプラットフォーム（例えばモジュール組み合わせに対応したロボット用OSのようなもの）の出現によって、中小企業による差別化モジュール開発が進み、地産地消に対応したサプライチェーンを構築するための技術がその後の進化をリードしていくであろう。その中でも特出すべき技術をロードマップにしたものを図6-1-5に示す。

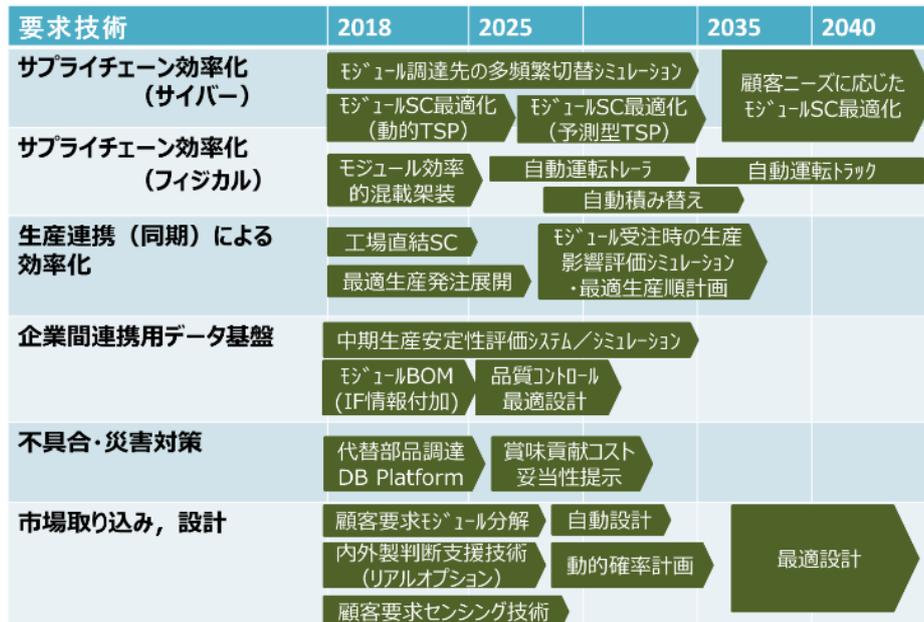


図 6-1 5 TYPE2 特有の技術ロードマップ

6.9.1 全 TYPE 共通技術のロードマップ

6.6 節で系統図法によってリストアップされた技術課題と、6.7 節で取り上げた現状での注目すべき技術を考慮しながら、WG メンバーで議論し技術課題に対する 2040 年までの技術ロードマップを作製した。すべての TYPE に共通した技術課題のロードマップを図 6-1 6 に示す。

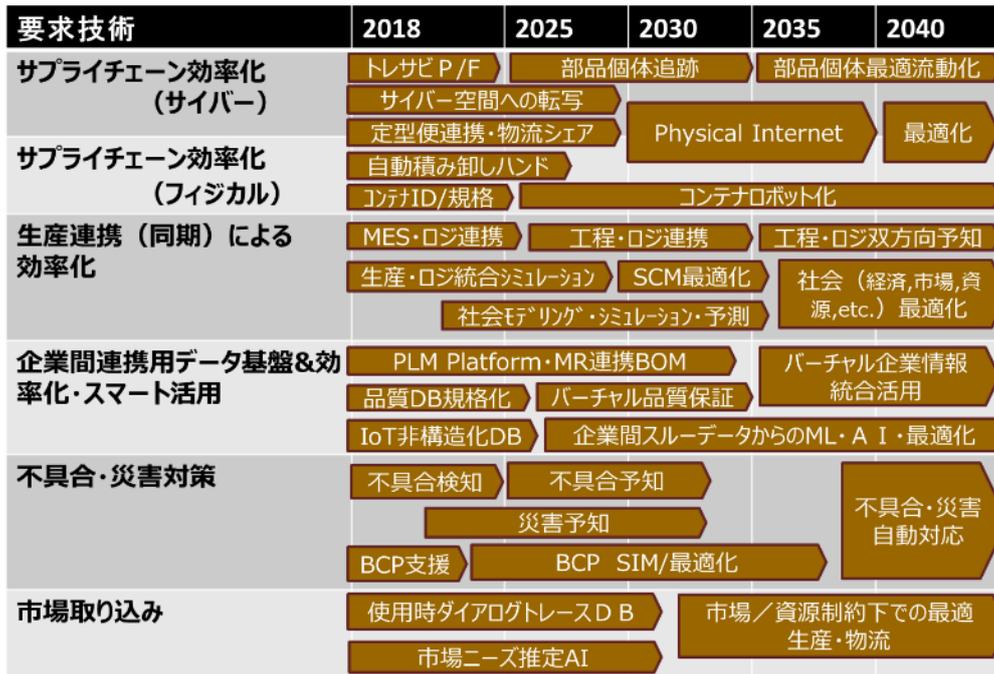


図6-16 全TYPE共通の技術ロードマップ

サプライチェーン効率化においては、サイバー側とフィジカル側の双方が歩み寄る形で最適化を実現していく。サイバー側だけでなくフィジカル側もより効率化できる、Physical Internet の様な進化を遂げながら 2040 年の価値に沿った最適化が実現されなければならないだろう。生産連携(同期)による効率化では、ロジスティクスだけでなく生産工程までまさに、この姿が 2040 年のサプライチェーンにおける CPPS の姿である。企業間連携用データ基盤としては、設計情報を共有化するための PLM (Product Lifecycle Management system) のプラットフォームが整備されなければならない。その上で QCD に関わるデータ共有の基盤が、現在の技術開発の延長線の上で高度化されていくだろう。更に世界環境変化に対しても持続性の高いサプライチェーン(レジリエンスサプライチェーン)を構築するための不具合・災害対策やビッグデータを使った市場取り込みなどの技術革新も、目的に合わせて進んで行くと思われる。

6.9.2 TYPE0 特有技術のロードマップ

現在の量産製品の未来である TYPE0 製品は、共通技術とほぼ同様の技術進化を遂げなければならない。その中でも特出すべき技術をロードマップにしたものを図6-17に示す。TYPE0 としての価値を生み出す超大企業の戦略の中で開発が進んで行くと考えられる。

要求技術	2018	2025	2030	2035	2040
サプライチェーン効率化 (サイバー)	資源調達・エネルギー シミュレーション				
	グローバルSC最適				
サプライチェーン効率化 (フィジカル)	専用トレーラ	自動運転トレーラ		自動運転トラック	
	工場直結SC				
生産連携（同期）による 効率化	工場直結SC				
企業間連携用データ基盤	長期生産安定性評価システム/シミュレーション				
		品質コントロール 最適設計			
不具合・災害対策	代替部品調達 DB Platform	賞味貢献コスト 妥当性提示			
	資源量予測（評価）システム		地政学リスク予測		
	ライサイクルコスト見積り				
市場取り込み	ライサイクルコスト見積り		最適設計		

図 6-1-7 TYPE0 特有技術のロードマップ

6.9.3 TYPE1 特有技術のロードマップ

多様な価値観が神出鬼没に生出す価値情報を具現化し、更にビジネスとして成り立つようにするための技術がTYPE1特有の技術である。特に個が生出す価値という知財を保護しながら、セキュアにお金が行き渡るしくみとしてのブロックチェーン技術の応用は大変重要となる。また、三次元設計と3Dプリンタが生出すモノの信頼性や品質を確保するための技術も重要となる。それらの技術がある程度のレベルになる時期に、このビジネスは急激に成長し、Laas (Logistics as a Service) やMaas (Manufacturing as a Service) が技術としてだけでなくビジネスとして台頭してくると考えられる。今後の変化の大きい分野と考えられる技術ロードマップを図6-1-8に示す。

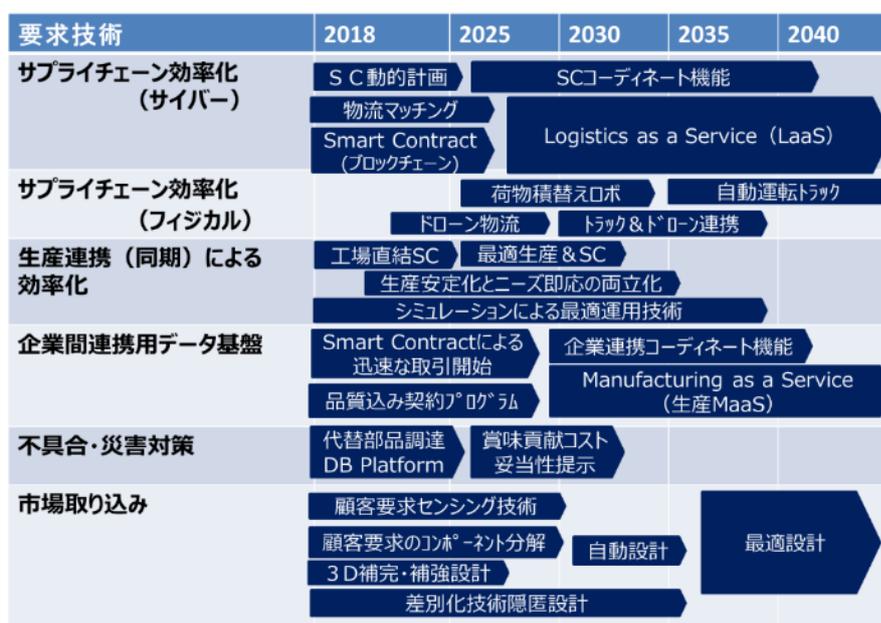


図6-18 TYPE1 特有の技術ロードマップ

6.9.4 TYPE2 特有の技術ロードマップ

TYPE2 ではモジュラー化技術が中心となる。モジュラー化に対応できるサプライチェーン効率化技術や設計情報管理技術が開発されて行かなければならない。当初はTYPE0に近い企業におけるモジュール化の進展が、この分野の技術開発を引っ張っていくものと考えられる。しかしながら、多様な顧客価値を実現するためのモジュール組み合わせプラットフォーム（例えばモジュール組み合わせに対応したロボット用OSのようなもの）の出現によって、中小企業による差別化モジュール開発が進み、地産地消に対応したサプライチェーンを構築するための技術がその後の進化をリードしていくであろう。その中でも特出すべき技術をロードマップにしたものを図6-19に示す。

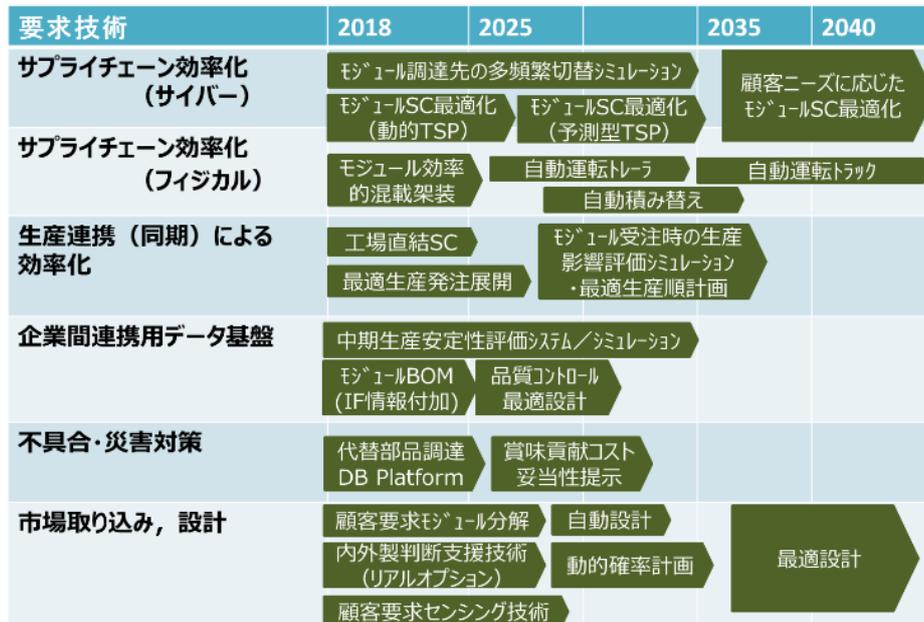
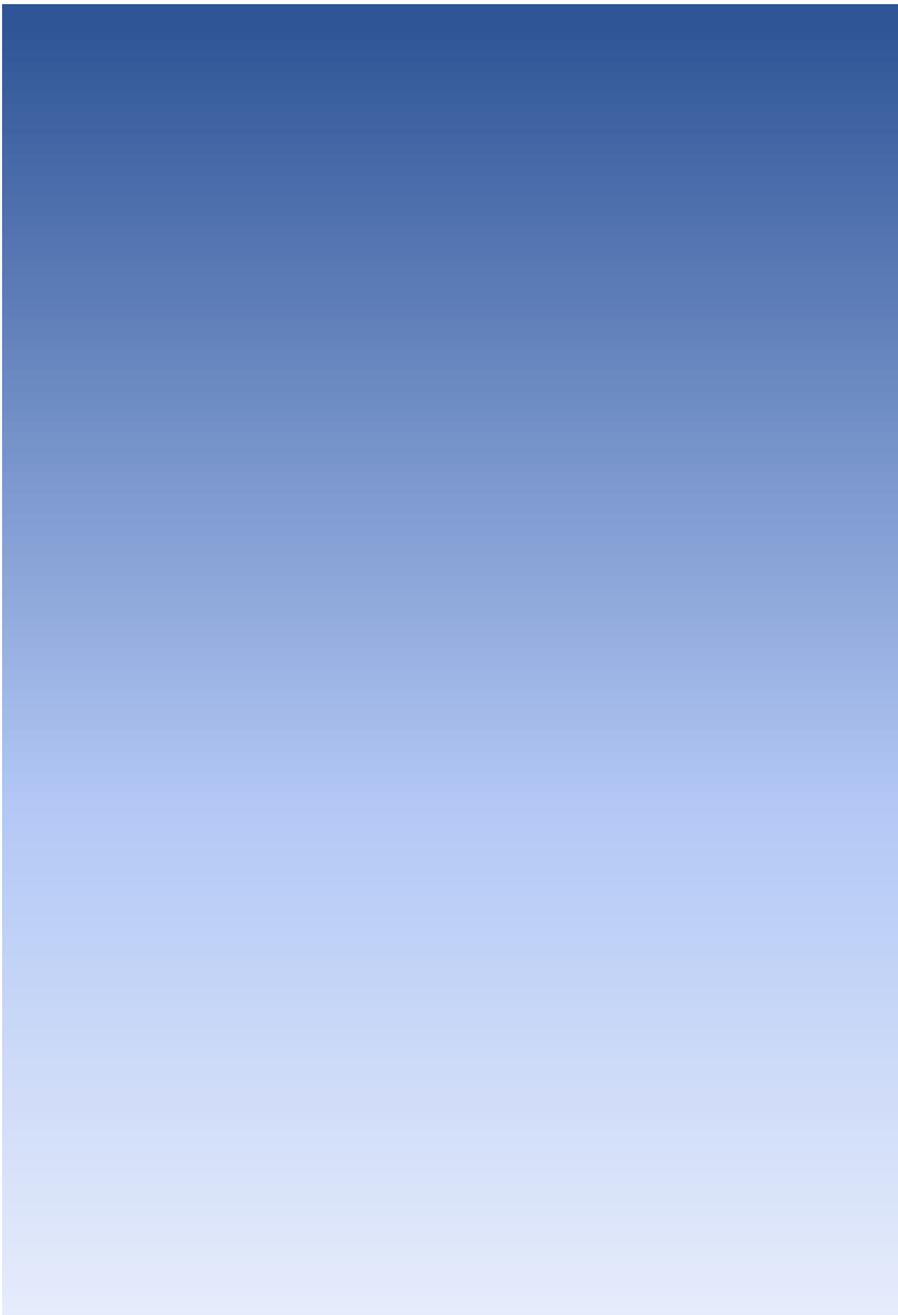


図6-1-9 TYPE2 特有の技術ロードマップ

第7章

アプローチ別 WG/ヒューマン・セントリック



- [Redacted]

7.1 ヒューマン・セントリック WG の概要と主題

本章では H/C アプローチ別 WG の活動を報告する。第 4 章で説明した方針に従い、本アプローチ別 WG の活動を通じて、以下の表 7. 1 に掲げる内容を明らかにした。

表 7-1 H/C アプローチ別 WG 活動における検討内容

	Type0	Type1	Type2
ありたい姿	<ul style="list-style-type: none"> ・従来型生産方式の進化による QCDE ロス無き世界 	<ul style="list-style-type: none"> ・徹底した個別対応により顧客価値を創出する世界 	<ul style="list-style-type: none"> ・現在よりはるかに安価で多様な生産システムを即座に構築する世界
システム概念 (2040 年の CPPS 構成)	<ul style="list-style-type: none"> ・グローバル戦略の中で、サプライチェーン及び生産の最適化を図る CPPS ・同時間、同一品質で生産する作業者を支援する CPPS 	<ul style="list-style-type: none"> ・顧客ニーズ個々にマッチした商品を開発する CPPS ・顧客サイド側に分散された調達、生産環境の動的、最適化を図る CPPS ・多種多生産個所のグローバル生産管理する CPPS 	<ul style="list-style-type: none"> ・マーケット変化に動的に追従し、開発、調達、生産の最適化を図る CPPS ・多品種の作業を定められた時間、品質で生産する作業者を支援する CPPS
オペレーションモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・最適生産設計システム ・ナレッジ収集、伝承システム ・生産監視システム 	<ul style="list-style-type: none"> ・顧客ニーズ収集、短期開発環境システム ・多種多生産個所の調達、生産の動的、最適化システム 	<ul style="list-style-type: none"> ・多種多様ニーズ対応の短期開発環境システム ・動的、調達、生産システム ・多品種ナレッジ収集、伝承システム ・多品種生産監視システム
取り扱うべき要素	<ul style="list-style-type: none"> ・調達、生産最適化 ・ナレッジの収集、活用 ・作業員支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・顧客個々に潜在する満足度 ・多種多生産個所のグローバル生産管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・多種多様ニーズと、調達及び生産を考慮した商品企画、開発 ・動的対応する調達、

			生産最適化 ・多種ナレッジの収集、活用
必要とする技術	・調達、生産最適化技術 ・ナレッジ収集技術 ・作業支援技術	・顧客個々に潜在する満足度のデジタル化技術 ・多種多生産個所の調達、生産の動的、最適化技術	・商品開発から工程設計、調達、生産までの仮想化技術 ・動的対応調達、生産最適化技術 ・多品種ナレッジ収集技術 ・作業支援技術

7.2 ヒューマン・セントリック WG の扱う領域と概念

本 WG では、製造にかかわるヒトの活動を中心に、これからの 20 年（2040 年を想定）で製造プロセスがどのように変化するか、ヒトが果たすべき活動や役割がどのように変化していくのか、という視座の下で検討をおこなった。

製造プロセスにかかわるヒトの活動や役割は多岐にわたり、すべてについて論じることは困難である。そこで、図 7.1 に示すように、ヒトの活動範囲を、「サプライチェーンの工場内とエンジニアリングチェーンにおける活動」に限定し、この領域に焦点をあてて考察をおこなった。

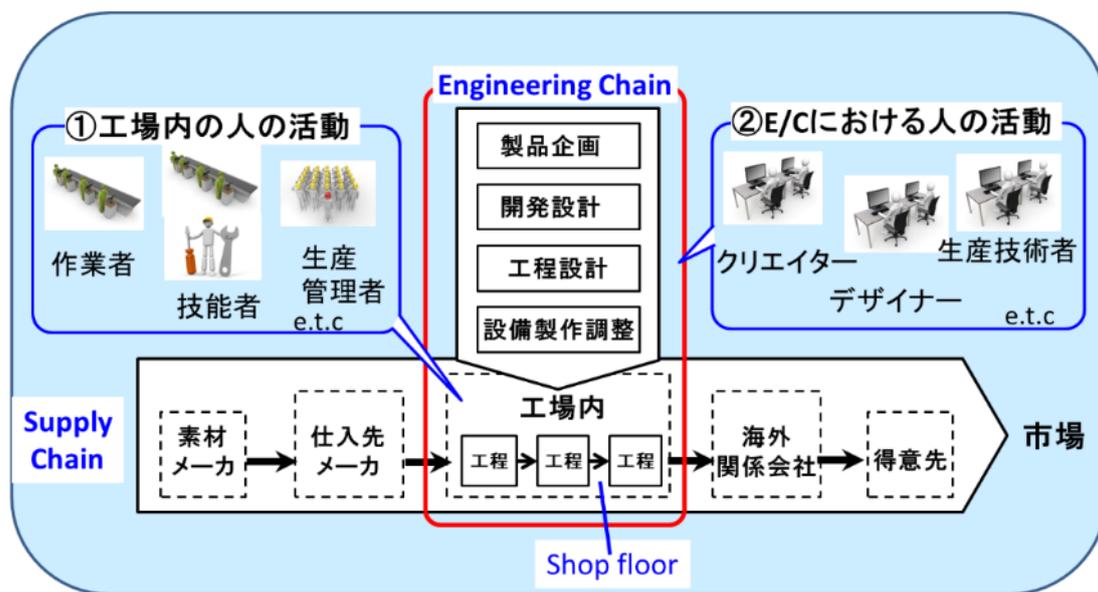


図 7—1 HC-WG で扱う領域

ものづくりを取り巻く環境はさまざまであり、多種多様な視点で変化をとらえることができる。われわれは、①知の創出の枠組みの変化、②協調、③高齢化、④職能の変化、⑤現場活動の価値付け、⑥知の伝承、⑦地域、⑧労務管理、などの観点に着目し、以下に示す具体的な変化について検討をおこなった。

- 非競争領域における標準化、プラットフォーム領域での知の共有が加速する。
- 競争領域における知の保存および、伝承が加速する。
- 現場側で生み出される気づき、アイデア、知恵を技術高度化や戦略活用に活かすためのヒトの役割が大きくなる。
- いつでもどこからでも作れるようになり、多様な働き方になる。
- 柔軟な雇用・勤務体系とそれを考慮した業務オペレーションが必要になる。
- 職能のボーダレス化、職能性から職務性への評価体系の移行が生じ、職務データベースの整備による人材流動性が高まる。
- 現場においてはロボットへ作業を教示する熟練者が必要になる。
- 共有知識へのインタラクション環境が充実することにより、技術習得・技能伝承が加速する。

これら変化をもたらす共通の概念を図 7—2 に表す。表中の横軸は CPPS の熟成度を、縦軸はヒトの成熟度をあらわす。ヒトは、作業を通じて技能を習得したり、あたらしい技術を開発したりする。これらの技能や技術は形式知として CPPS に蓄積され、機械化やシステム化を推進し、製造ラインを進化させる。ヒトは進化した製造ラインから、あらたに技能

を習得したり、より進んだ技術を開発したりする。このように、ヒトと CPPS の間にポジティブ・フィードバックループが形成されることによって、ヒトの熟成度と CPS の熟成度は連動し、段階的に高まっていくことになる。その中で、CPPS を含めた製造ライン全体のエンジニアリングに責任をもつ、最高のスペシャリストを“エンジニアリングの超人”と呼び、CPPS を活用して意思決定をしていく最高のスペシャリストを“生産の超人”と呼ぶことにする。

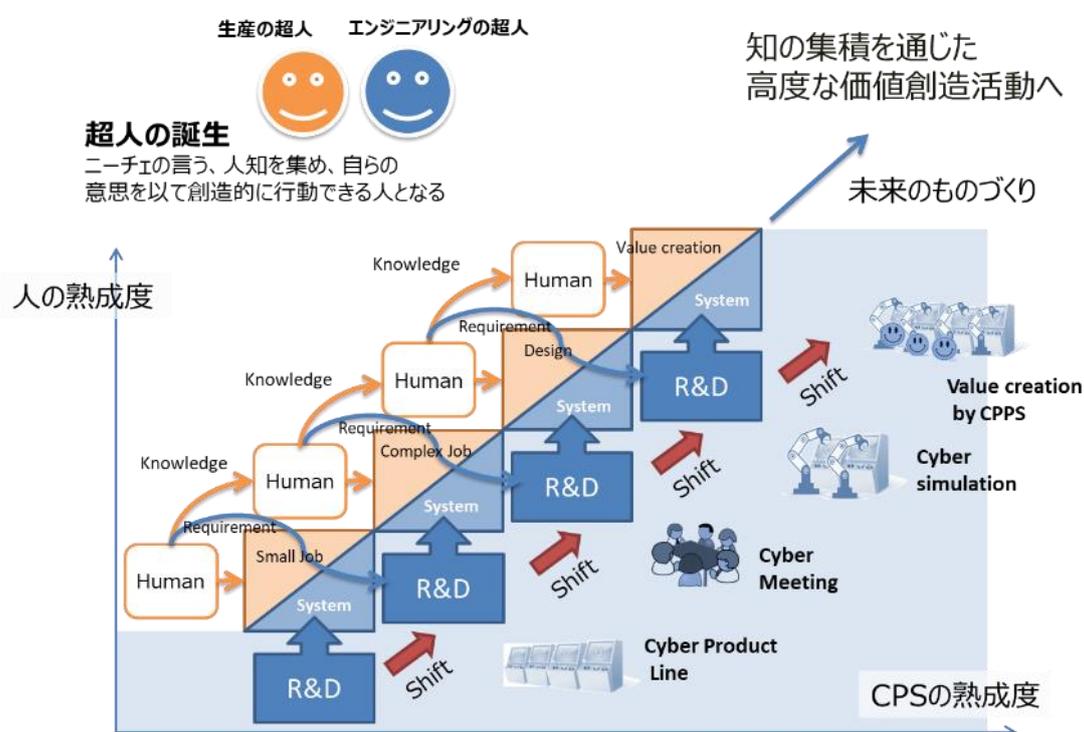


図 7-2 ものづくりにおける「ヒトの熟成度」と「CPPS の熟成度」の変化

従来、『ヒトの役割』は狭い分野において勘と経験によってその役割を果たしてきたが、ものづくりのグローバル化やスピードアップ、ニーズの多様化に伴い、CPPS を進化させるヒトや、CPPS を使いこなして広い範囲を統合した意思決定をするヒトなど、役割は多様化するとともに、大きく変化していく。このような、CPPS が存在する環境の中で、ヒトが果たすべき役割の変化を図 7-3 に示す。エンジニアリングの超人を頂点とする製造エンジニアは、製造サポートシステムとして、CPPS が最大限有効に機能を発揮できるように進化させることにたいして責任をもつ。設計部門や監理部門からの情報に加え、製造ラインや仕掛品を含む製品、製造に従事するヒトから逐次得られるデータを集積し、CPPS を最適化さ

せ続けるスタッフ活動を担う。一方、生産の超人を頂点とする製造ライン従事者は、CPPSを活用することによって、勘と経験に左右されない最適な意思決定が可能となり、製造効率を最大限に高めることができるようになる。そして、製造ライン従事者の活動データは、あらたな知識として CPPS へフィードバックされる。

これら一連の活動によって、ヒトはこれまでよりも広い範囲にたいして最適な意思決定をおこなうことが可能となり、作業担当者による部分最適を脱して、製造ラインの全体最適を実現する。また、CPPS に蓄積された知識を活用することによって、個々人がより高い能力を発揮することが可能となり、全体の作業効率の向上に寄与する。

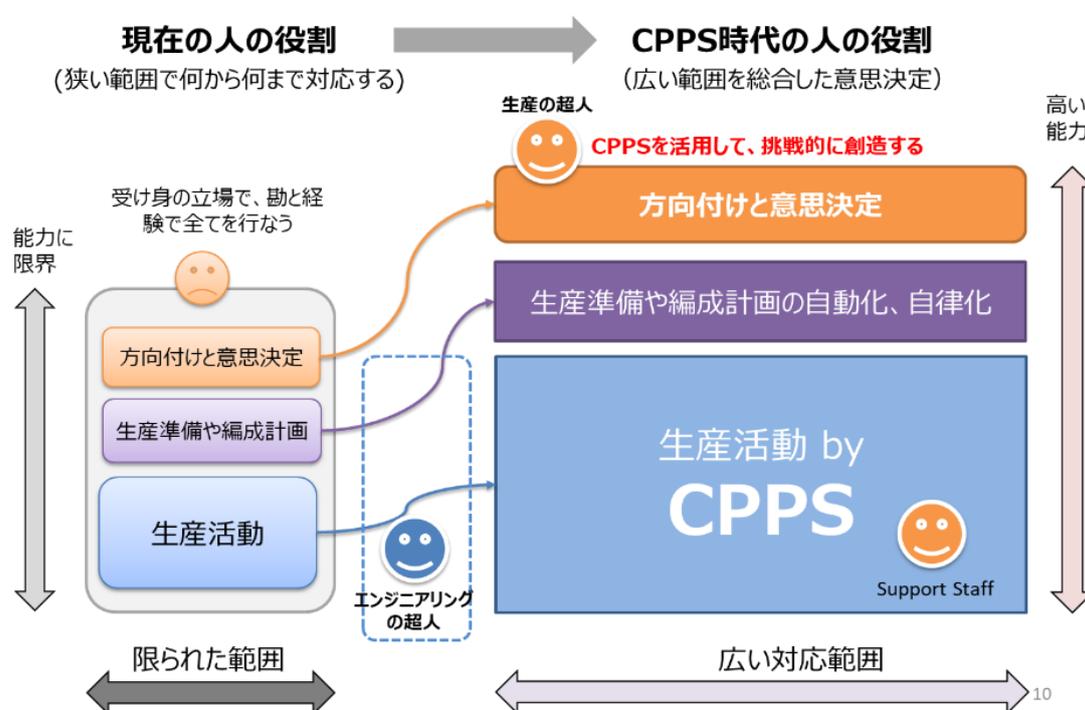


図 7-3 現在のヒトの役割から CPPS 時代のヒトの役割の違い

7.3 2040 年へ向けたビジョンと CPPS を運用するエンジニア像/作業員像

このように、CPPS の実装によってヒトの役割が変化していく中で、本 WG では、2040 年へ向けたビジョンを基に、CPPS を運用するエンジニア像と、CPPS を活用する作業員像を 3 つの TYPE ごとに表 7. 2 にまとめた。

TYPE0 は現在の製造モデルの発展型であり、単一品種の大量生産を中心としたモデルで

ある。TYPE0 では、QCD ロスを低減することがエンジニアおよび作業者にとっての最大の目的であり、活動の中心となっている。

TYPE1 は TYPE0 とは対照的に、徹底してカスタマーニーズに対応することを目的とした製造モデルであり、多品種少量生産を中心としたモデルである。この TYPE1 では、個々のカスタマーにとっての顧客価値を最大化することが、エンジニアおよび作業者にとっての目的であり、フレキシブルな製造を実現し、運用することが活動の中心となっている。

TYPE2 は TYPE0 と TYPE1 の中間型とみなされる。マスカスタマイゼーションによって顧客価値を向上させるとともに、製造効率化も進めようとするモデルである。エンジニアおよび作業者、2つの目的を高い次元で両立させるために、生産計画とも連動した柔軟な製造能力を実現し、活用することが目的となる。

表 7-2 2040年のものづくりにおける H/C-WG ビジョン

	Type 0 従来の大量生産型の発展	Type 1 徹底的な個別対応の高度化	Type 2 中間としてのマスカスタマイゼーション
▶ 変化の主題 (キー・メッセージ)	▶ 従来型生産の進化による QCDロス無き世界	▶ 徹底した個別対応による 顧客価値提供の世界	▶ モジュール型知能設備群による 生産最適化世界
HC-WG ビジョン	①生産に関わる様々な要素のナレッジ化、メソッド化を図り、サイバー世界に 転写するとともに、上流・下流とのコミュニケーションにより価値創造する活動にシフト。 ②サプライチェーンとエンジニアリングチェーンとを融合したCPPSを自由に操り、 価値創造する『超人』を創出。		
2040年の CPPSに対応する エンジニア像	グローバル戦略の中で、サブ ライチェーンのCPPS情報を 活用し、最適な生産のしくみを 構築する活動	・小型万能複合機・新素材を 開発・創造する活動 ・フレキシブル生産を実現する 工法開発から、フレキシブル 製品設計の可能性を提案 できる活動	大量生産用複合機群を活用して、 カスタマイゼーション生産能力を 高める生産システム設計ができる活 動
2040年の CPPSに対応する 作業者像	・大量生産用単一機能設備、 大量生産用複合機の稼働 を最大にできる活動 ・安定した時間・品質で作業 できる活動	・小型万能複合機の維持管 理できる活動 ・場合によっては、匠の技能を 持った活動。	・カスタマイゼーション生産能力を 高める生産計画を意志決定す る活動 ・生産指示に基づき、柔軟に生産 実行する活動

以下に、表 7-2 に示した 3 つの TYPE ごとに、より詳細にヒトの役割と CPPS の関係について示す。

まず、TYPE0 (従来の大量生産型の発展) では、図 7-4 に示すように、Production より上流のサプライチェーンとエンジニアリングチェーン間での『ヒトの役割』が重要になる。エンジニアの超人は、生産準備段階で QCD ロスなき世界を追求し、生産の超人は、生産する現場で QCD ロスなき世界を追及する。この TYPE0 の世界では、生産開始前および開始後も QCD ロスなき世界をさらに追及することになり、そのために CPPS の構築が必要に

なる。

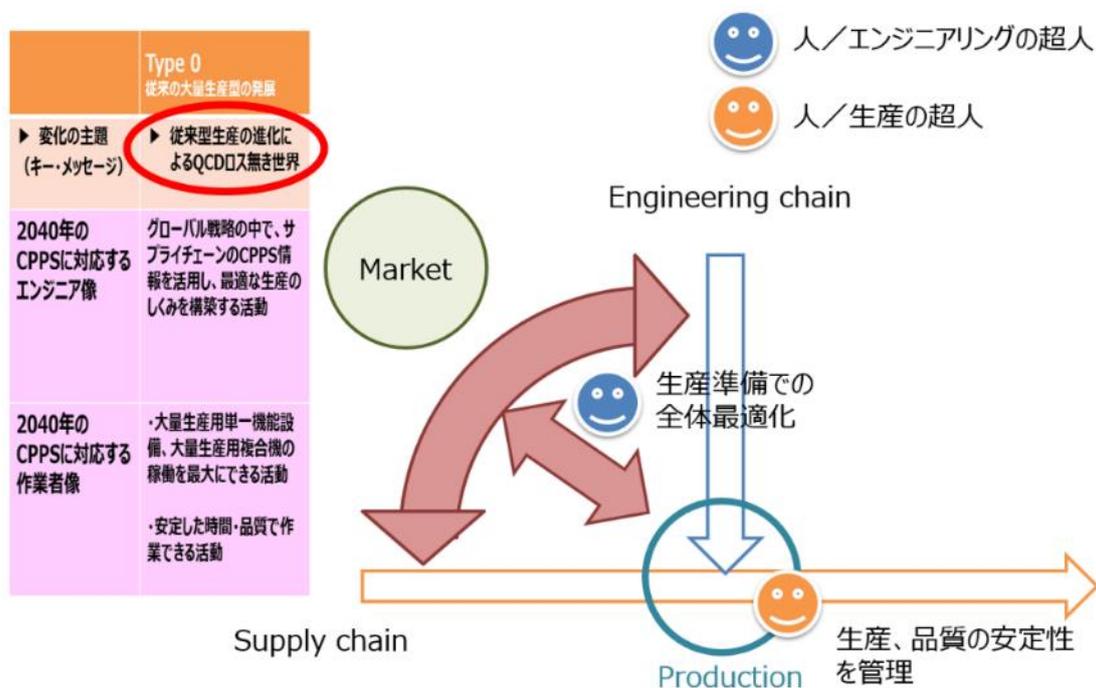


図 7—4 TYPE0 活動する「ヒト」の主な場

TYPE0 における CPPS とヒトの関係を図 7. 5 に示す。サイバー空間上の仮想工場によって、(1) エンジニアリングの超人が最適生産システム設計をおこない、リアル空間で生産が開始される前に QCD ロスのない最適な生産環境を構築する。(2) 作業員に対しては、従来の熟練者のカン・コツ・気づきなどの暗黙知がサイバー空間上にナレッジとして提供され、これらの情報を用いて非熟練者でも熟練者並みの作業ができるような教育・作業指示システムが提供される。また、作業員の作業状況だけでなく、生産設備やロボットなどの稼働状況も逐一データ化され、品質・生産性・故障・エラー情報などの生産状況の情報がサイバー空間上に蓄積される。(3) 生産の達人は、これらサイバー空間上の生産情報を基にした生産監視システムを利用することにより、生産状況をリアルタイムに精緻に監視でき、QCD の変化を監視し、即座に対応することで QCD ロスを防ぐ。

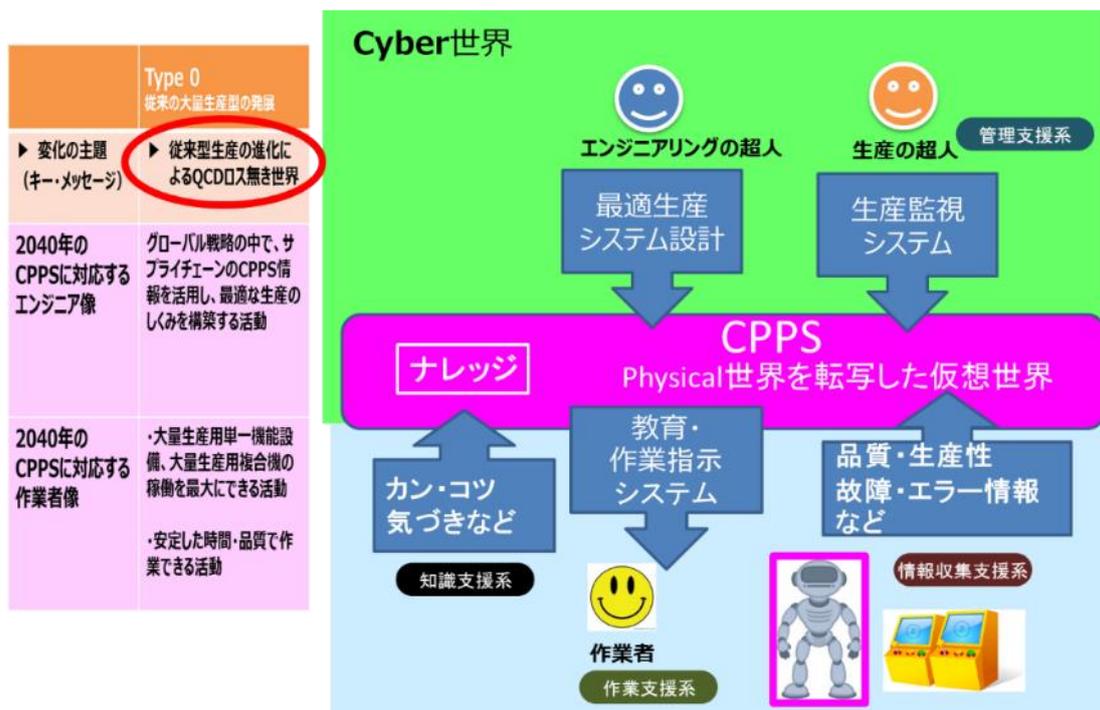


図 7—5 TYPE0 2040 年の世界 (例)

つぎに、TYPE 2 (モジュール型知能設備群による生産最適化の世界) における活動する『ヒト』の主な場を図 7. 6 に示す。TYPE0 とは異なり、Production より上流のサプライチェーンとエンジニアリングチェーン間だけでなく、マーケット変化をリアルタイムに把握し、マーケットとサプライチェーンの時間が最短となる生産活動 (以下、動的とする) を実現する CPPS と『ヒトの役割』が重要になる。エンジニアの超人は、マーケットの要求に動的対応できる製造方式 (情報・設備・ヒト) を構築し、生産の超人は、動的対応の生産を実行する役割を担う。

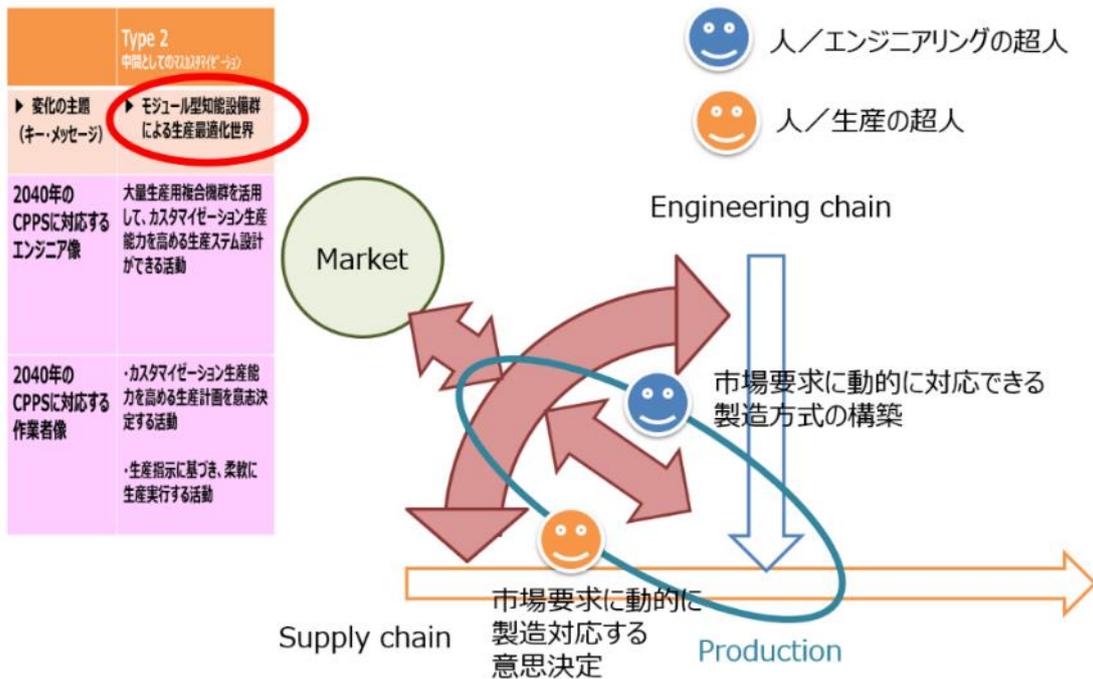


図7-6 TYPE2 活動する「ヒト」の主な場

このTYPE2では、生産開始前に最適な環境を整えるだけでなく、生産開始後もマーケットの動向に応じて動的な対応をする必要があり、そのためにCPPSの構築が必要になってくる。

TYPE2における具体的な製造プロセスを図7-7に示す。サイバー空間上の仮想工場によって、(1) エンジニアリングの超人が、将来のマーケット変化を考慮してモジュールタイプ等の動的生産装置を設計し、その装置を用いて動的生産工程を構築する。(2) 作業者は、TYPE0と同様の教育・作業指示システムが提供されるとともに、『カン・コツ』などヒトの経験値、生産設備の状態や生産進捗の情報をサイバー空間上に蓄積する。(3) 生産の達人は、生産監視システムを用いてQCDロスを防ぐとともに、動的生産を最大化する生産計画システムを用いて、マーケット要求に柔軟且つ、連続的な意思決定をおこなう。

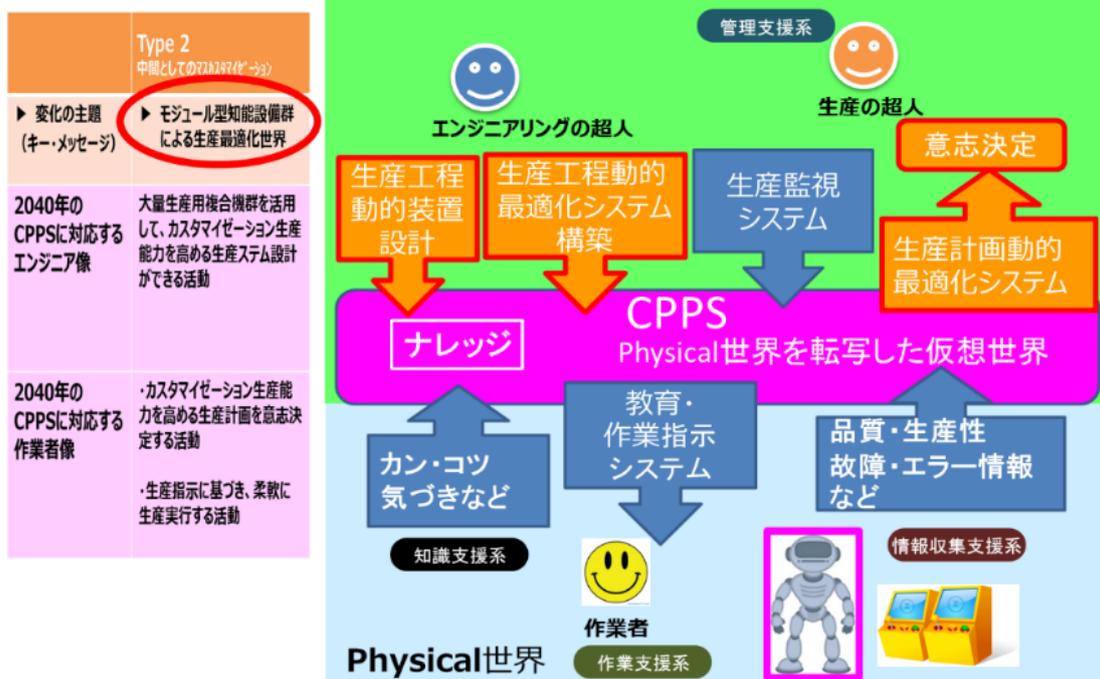


図 7—7 TYPE2 2040 年の世界 (例 1)

CPSS を実装することによって実現される、製品の開発から設計までの工程の変化を図 7—8 に示す。現在、現物試作による実証と多数の関係者による協議によって、設計変更を繰り返して量産に結び付けることで、開発期間が長期におよんでいる。CPSS を実装することにより、仮想的に設計検証ができ、その情報をグローバルに共有できるようになる。その結果、製品開発および工程設計の開発期間を短縮することが可能となる。また、マーケットの変化に対してもタイムリーに対応できるようになる。

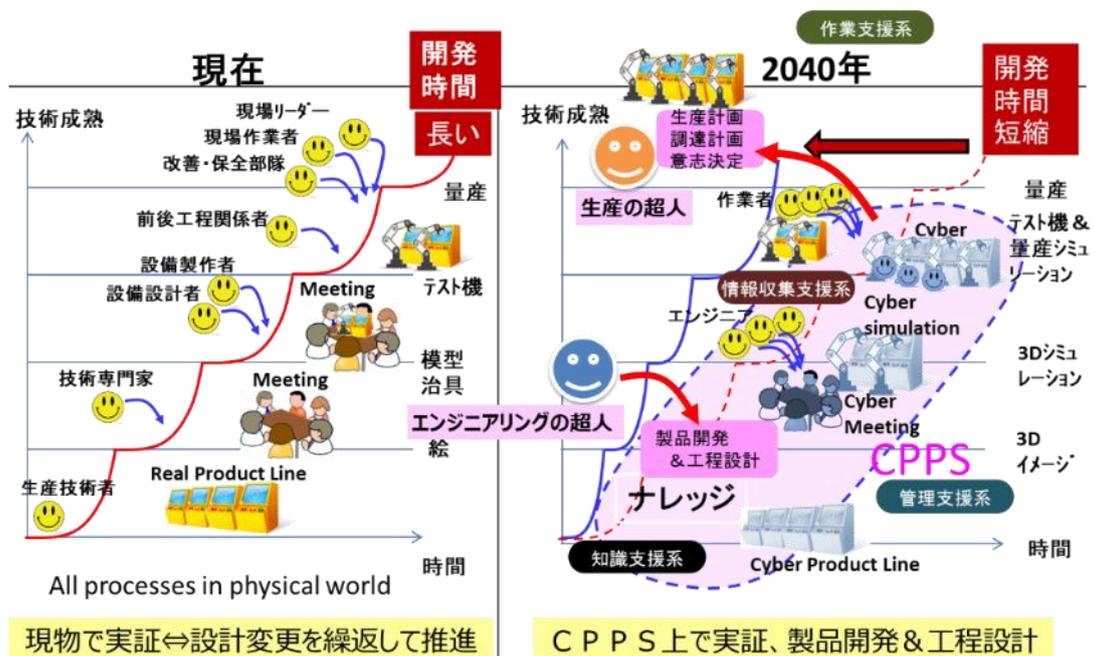


図 7-8 TYPE2 2040 年の世界 (例 2)

最後に、TYPE1 (徹底した個別対応による顧客価値提供の世界) における活動する『ヒト』の主な場を図 7-9 に示す。TYPE1 では、マーケットとエンジニアリングチェーン間での『ヒトの役割』が重要になってくる。エンジニアリングの超人は、マスマーケットへの対応を対象としたものではなく、顧客個人のニーズに対応する製造方式構築や製品開発環境の構築の役割を担う必要が出てくる。生産の超人は、生産を補佐する役割や、顧客個人のニーズをつかむ営業やサービスの役割をあらたに担う必要が出てくるであろう。

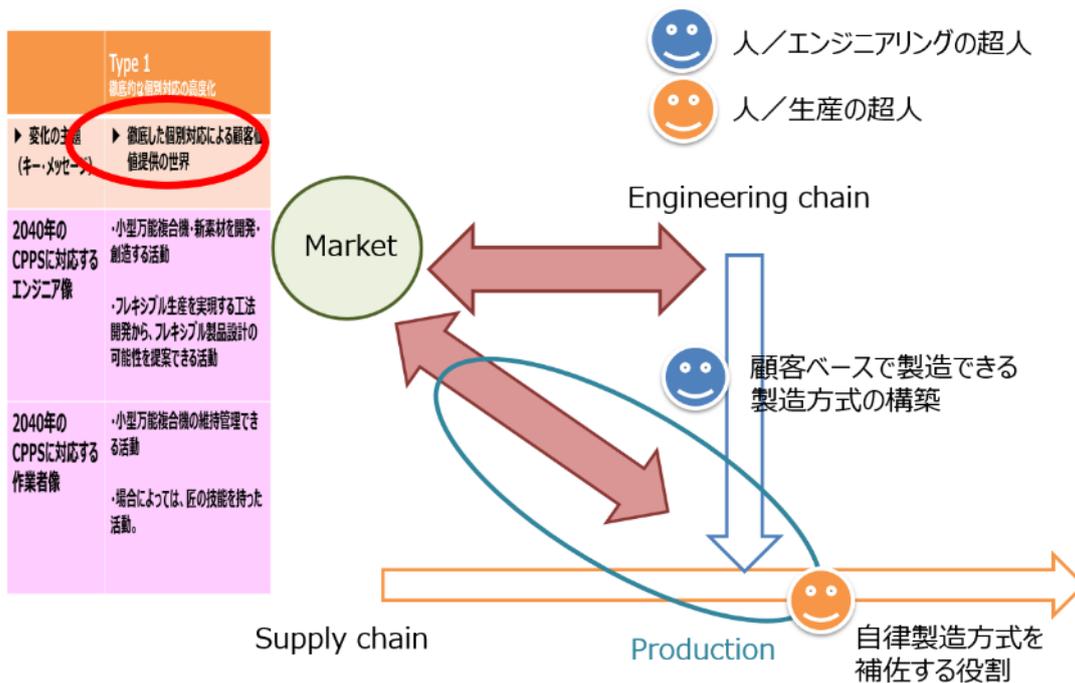


図 7-9 TYPE1 活動する『ヒト』の主な場

この TYPE1 では、リアルな生産が顧客側に移行し、あらたな生産スタイルに対応するために CPPS の構築が必要になってくる。

TYPE1 における具体的な製造事例を図 7-10 および図 7-11 に示す。TYPE1 の CPPS では、サイバー空間上の仮想工場によって、(1) エンジニアリングの超人が、個々の顧客のニーズに合わせたものづくりができるような設計・提案システムを用いて顧客への提案をおこなうとともに、顧客ベースで製造できる装置を設計する。(2) 生産の達人は、グローバル生産管理システムを用いて、顧客サイトに分散されている製造装置を管理し、材料調達・供給できるようになる。(3) 作業者は、リアルな生産現場を持たず、顧客サイトの製造装置の利用を支援するサポート営業的な役割に変化する。

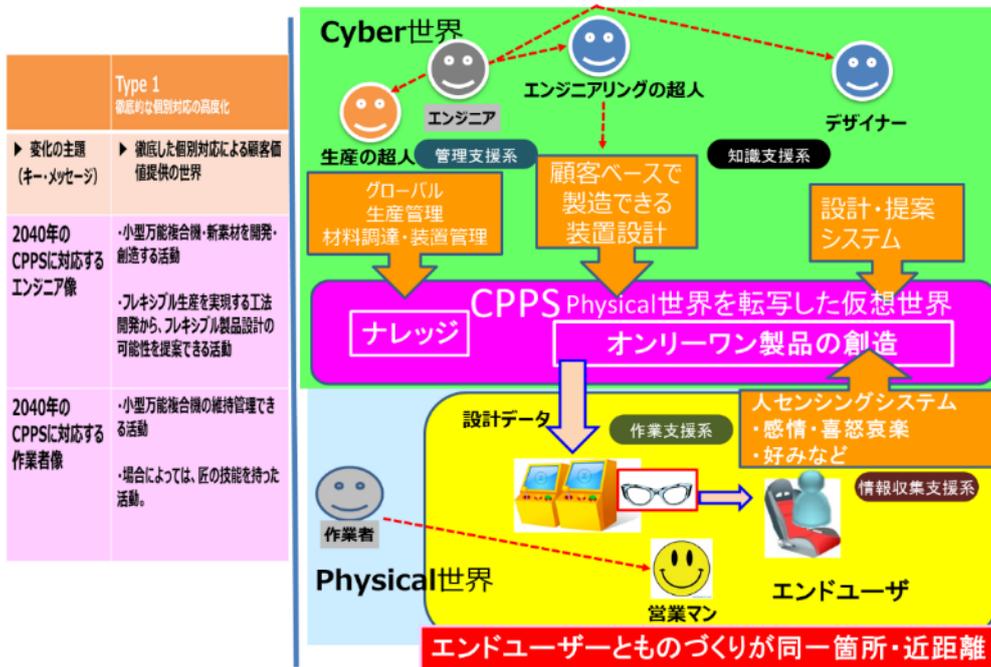


図 7—1 0 TYPE1 2040 年の世界 (例 1)

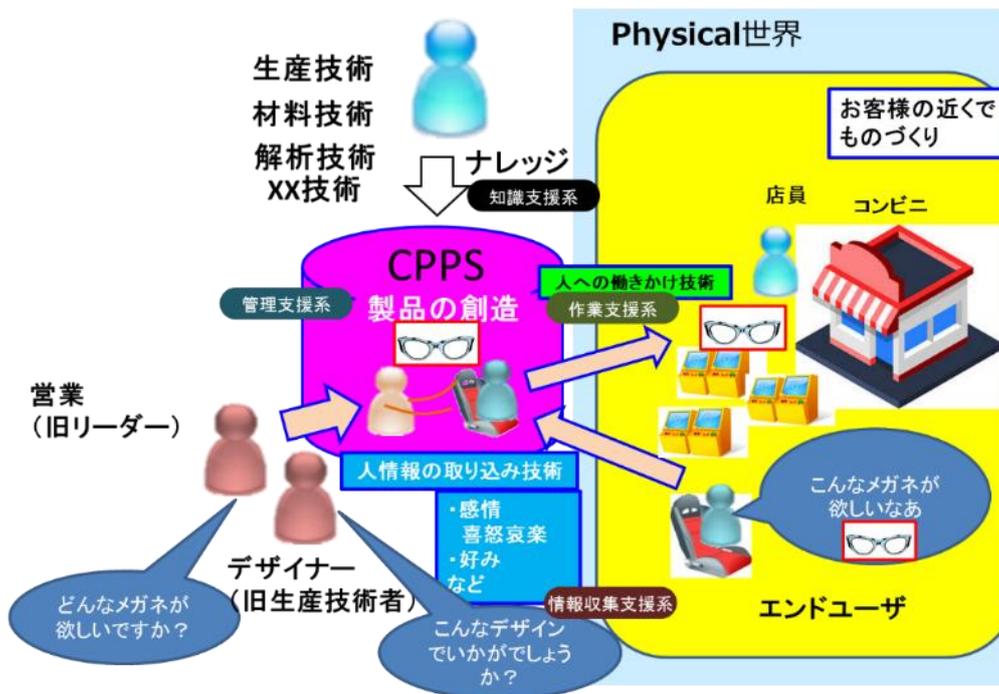


図 7—1 1 TYPE1 TYPE1 2040 年の世界 (例 2)

7.4 2040年へ向けた重要技術

以上、TYPEごとに、『ヒトの役割』の変化の一例を示したが、その変化を支えるCPPSとはどういうものかを考察するにあたり、『ヒトとCPPSとの関係』を以下の3つに区分する。

- ① センシング（ヒト情報⇒CPPS）
- ② シミュレーション（CPPS機能）
- ③ インタラクション（CPPS⇒ヒトへの働きかけ）

これら区分で中核となる技術として、以下の3つの技術をあげる。

- ① 情報収集支援系技術
例：・人工5感デバイス技術 ・大規模マルチモーダル信号通信技術
- ② 知識支援系技術および管理支援系技術
例：・ナレッジコミュニケーションによる知識支援技術
・設備&生産システム 大規模シミュレーション技術
- ③ 作業支援系技術
例：・ウェアラブル技術 ・仮想現実技術

*

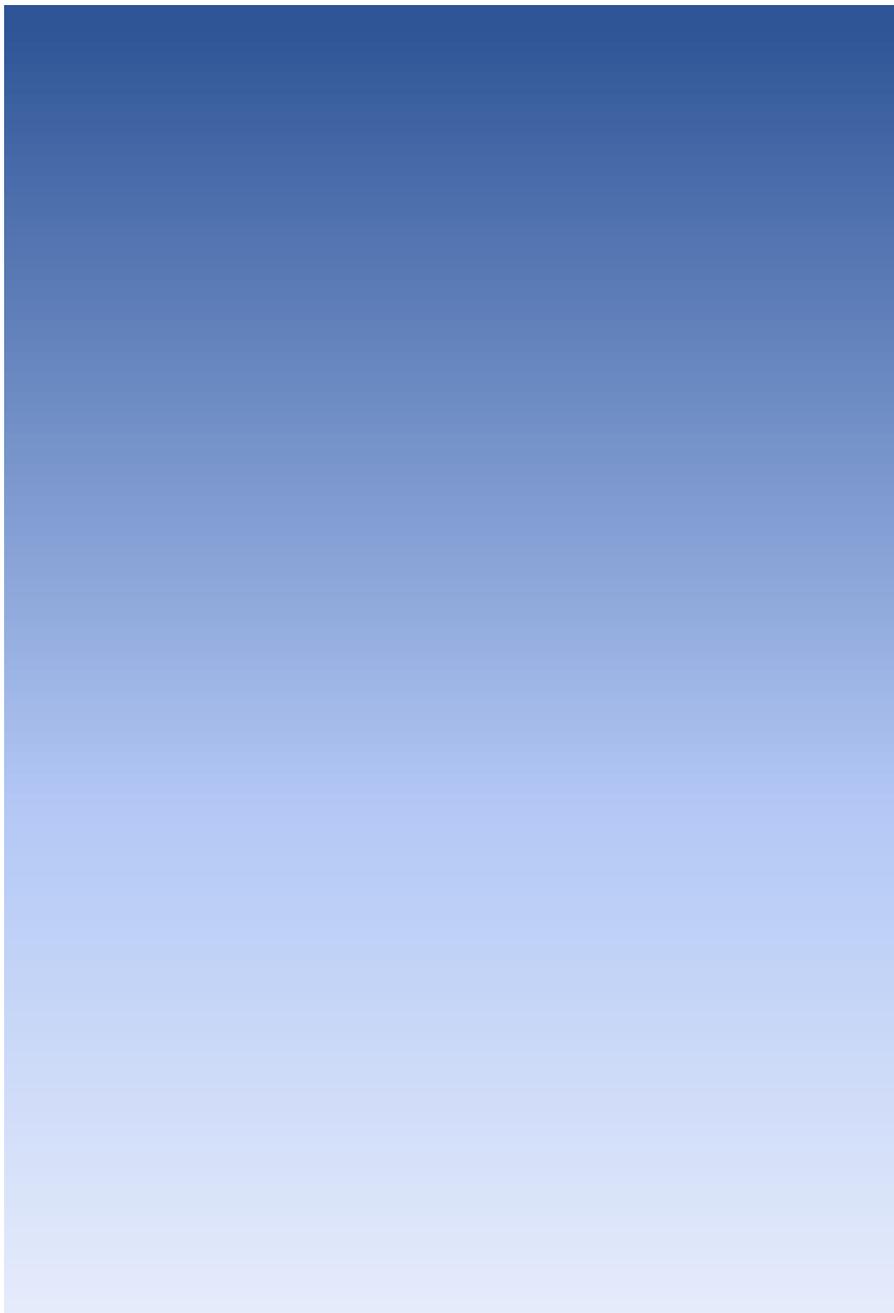
次章では、急速かつ大きく変化する『ヒトの役割』を支援する、もしくは、並行して進化するためのCPPSとはどういうものなのか、サプライチェーンWG、スマートマシンWG、ヒューマン・セントリックWGのそれぞれの視座、および全WGを統合した視座から、『ものづくり』全体を俯瞰し、検討を進める。

第8章

アプローチ別 WG 活動が明らかにする

CPPS への期待と

更に検討が必要な技術課題



- [Redacted]

8.1 アプローチ別 WG 活動の統合化

第5章～第7章で報告した各アプローチ別 WG の活動結果を以下の表にとりまとめて、統合化を試みる。

表8-1 アプローチ別 WG 活動の統合化（在りたい姿）

	Type 0	Type 1	Type 2
S/M	従来型生産方式の進化による QCDE ロス無き世界	徹底した個別対応により、顧客価値を創出する世界	現在よりはるかに安価で多様な生産システムを即座に構築する世界
S/C	大量生産、大量輸送を考慮した QCDE ロス無き世界	顧客発の設計を短期に実現する瞬間々に出現する短めのサプライチェーン	市場変化に応じて、モジュール構成とサプライチェーンを迅速、かつ柔軟に再構築
H/C	大量生産の進化による QCDE ロス無き世界	オンリーワン製品の創出や顧客価値を創出する世界	マスカスタマイゼーションを実現する世界

表8-2 アプローチ別 WG 活動の統合化（取り扱うべき要素）

	Type 0	Type 1	Type 2
S/M	<ul style="list-style-type: none"> 高度化された生産技術 HC な作業者の役割 	<ul style="list-style-type: none"> オープン設計情報と AM CPPS-CPG の連携 PF 	<ul style="list-style-type: none"> モノファンクションマシン 有機的結合・分裂 I/F
S/C	<ul style="list-style-type: none"> 効率化されたロジシステム 大量輸送、ロボット 災害対策、BCP 支援 	<ul style="list-style-type: none"> 設計情報も含めたサプライチェーン CPPS 構造 サプライチェーン CPPS への情報高速転写 	<ul style="list-style-type: none"> 生産運用の自動関係 I/F モジュール単位での設計・運用・管理
H/C	<ul style="list-style-type: none"> 調達、生産最適化 ナレッジの収集、活用 作業支援 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客個々に潜在する満足度 多種多生産個所のグローバル生産管理 	<ul style="list-style-type: none"> 多種多様ニーズと、調達及び生産を考慮した商品企画、開発 動的対応する調達、生産最適化 多種ナレッジの収集、活用

表 8-3 アプローチ別 WG 活動の統合化（必要な技術）

	Type 0	Type 1	Type 2
S/M	<ul style="list-style-type: none"> ・ハイサイクル化 ・高稼働、故障レス ・メンテナンスフリー ・ゼロディフェクト 	<ul style="list-style-type: none"> ・AM 材料、設備低コスト化 ・超汎用コンシューママシン ・CPG 創出 ・設計情報のオープン流通 ・マシンとの高速連携 	<ul style="list-style-type: none"> ・機能別スケジューリング ・対象とスマートマシンのベストマッチング ・SoS インテグレーション
S/C	<ul style="list-style-type: none"> ・代替部品 DB、仮想 S C ・資源量予想、地政学リスク予想 ・工場直結 S C ・自動運転トラック、ロボット ・災害検知/予測、BCP 	<ul style="list-style-type: none"> ・CPG 連携、検索技術 ・ドローン物流（単品輸送）、オンデマンド B2B ・超汎用スケジューリング ・ Manufacturing/ Logistics as a Service 	<ul style="list-style-type: none"> ・MES 再構築支援技術 ・モジュール BOM/SCM ・品質保証技術（BC） ・内外製切替(リアルタイム)/動的生産計画法
H/C	<ul style="list-style-type: none"> ・調達、生産最適化技術 ・ナレッジ収集技術 ・作業支援技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・顧客個々に潜在する満足度のデジタル化技術 ・多種多生産個所の調達、生産の動的、最適化技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・商品開発から工程設計、調達、生産までの仮想化技術 ・動的対応調達、生産最適化技術 ・多品種ナレッジ収集技術 ・作業支援多能工化支援技術

これらの取りまとめられた結果を Type 軸で統合化して見ていきたい。

まず、Type0 について、各 WG で抽出された「取り扱うべき要素」をリストアップする。

S/M

- ・高度化された生産技術
- ・HC な作業者の役割

S/C

- ・効率化されたロジシステム
大量輸送、ロボット
- ・災害対策、BCP 支援

H/C

- ・調達、生産最適化
- ・ナレッジの収集、活用
- ・作業支援

ここでは、ロボットや生産最適化のような、生産技術領域の「取り扱うべき要素」とともに、作業に関する情報のような、異種の「取り扱うべき要素」が見出された。次に、Type1 について、各 WG で抽出された「取り扱うべき要素」をリストアップする。

S/M

- ・AM 材料、設備低コスト化
- ・超汎用コンシューママシン
- ・CPG 創出
- ・設計情報のオープン流通
- ・マシンとの高速連携

S/C

- ・CPG 連携、検索技術
- ・ドローン物流（単品輸送）、オンデマンド B2B
- ・超汎用スケジューリング
- ・Manufacturing/ Logistics as a Service

H/C

- ・顧客個々に潜在する満足度のデジタル化技術
- ・多種多生産個所の調達、生産の動的、最適化技術

ここでは、生産技術領域の要素と共に、設計情報のオープン流通、オンデマンド B2B、Manufacturing/Logistics as a Service、顧客の個別満足度等、市場との接点を獲得するための「取り扱うべき要素」が見出された。

さらに、Type2 について、各 WG で抽出された「取り扱うべき要素」をリストアップする。

S/M

- ・機能別スケジューリング
- ・対象とスマートマシンのベストマッチング
- ・SoS インテグレーション

S/C

- ・MES 再構築支援技術
- ・モジュール BOM/SCM
- ・品質保証技術 (BC)
- ・内外製切替(リアルオプション)／動的生産計画法

H/C

- ・商品開発から工程設計、調達、生産までの仮想化技術
- ・動的対応調達、生産最適化技術
- ・多品種ナレッジ収集技術
- ・作業多能工化支援技術

ここでは、製造オペレーションに関する要素がリストアップされてきたが、その対象は設備連携系から上流一下流連携、作業多能工化などの幅広い領域における「取り扱うべき要素」が要求されている。

8.2 更に検討が必要な技術課題／取り扱うべき要素の連携に関する技術課題

前節では各アプローチ別 WG の活動結果から様々な新しい視点を得ることができた。今後の CPPS 構築に当たって有益な参考にしていただけるとことと考えている。

ここで、「Vision やありたい姿の明確化ができていないか」、また、「CPPS 実現に向けて技術課題の抽出ができあがっているか」という点で考えると、まだ、検討が不十分であると考えられる。CPPS がもたらす実現イメージについては方向性を議論することができたが、これらのコンセプトを実現するためにどのような CPPS が必要なのかはここでの議論では明らかにできていない。特に、

- ・アプローチ別活動から見出されてきた「取り扱うべき要素」を系統的にどのように扱うのか
- ・各要素をどのように連携、結合させてオペレーションを実現し、最適化運用していくためにはどのような手法が必要なのか、

等について、引き続き、議論していく必要がある。例えば、図 8-1 に示すように、各アプローチ別 WG 活動から得られた取り扱うべき要素は総合的、横断的に連携していく必要があるため、どのような方式で連携させていくのか、また、そもそも、そのような要素をどのようにして CPPS として操作できるようにシステムを構成すればよいか等の議論である。具体的には、製品設計情報と生産工程設計情報を連携させることは意味があり、必要であるとしても、どのように連携させて最適化していくのか、そのような方式の検討が必要である。

そのため、第 9 章ではものづくりが目指すべきものとして、「モノづくりの多様性体系化」を試みたうえで、「2040 年モノづくりビジョン」を提案する。

その後、第 10 章ではこの「2040 年モノづくりビジョン」を実現するための CPPS のコンセプトを提案する。

更に検討が必要な技術課題として、以下の項目について、引き続き章でその内容を明らかにしたうえで課題を抽出することとする。

- ・サイバー領域に関する技術課題 → 12 章
- ・フィジカル領域に関する技術課題 → 第 13 章
- ・サイバー領域とフィジカル領域の連携に関する技術課題 → 第 14 章

Type 別の領域での各アプローチ別要素の連携

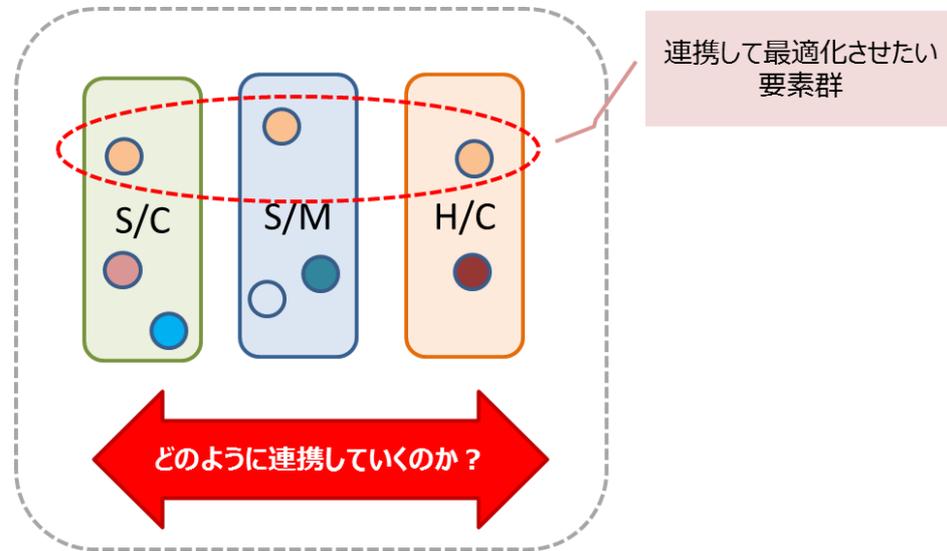
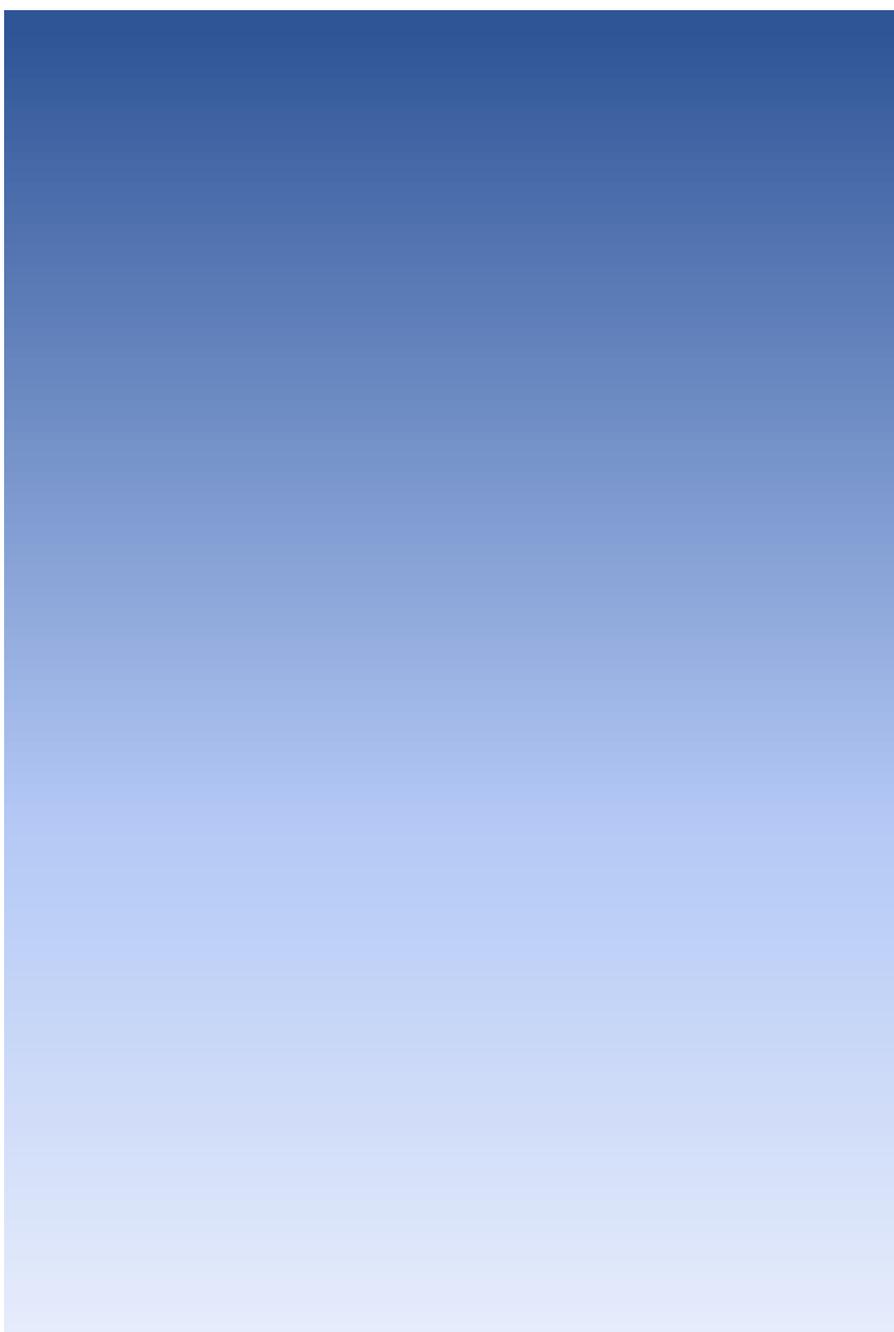


図 8 - 1 取り扱うべき要素の連携

第9章

モノづくりの多様性体系化と 2040年モノづくりビジョン



- [Dark blue bar]
- [White box]

9.1 タイプ別モノづくりの形態から見るモノづくり特性の検討

前章までに既述したタイプ別のモノづくりの将来シナリオを俯瞰すると、コストが普遍的で、且つ最も重要な価値基準であり続ける限り、2040年においてもモノづくりの量産効果がQCDEのロスを減少させ、モノづくり形態を決めるという構図は変わらないと考えられる。しかしながら、近年、ITの目覚ましい発展により様々なものがハードウェアからソフトウェアへ移行し、それに伴いデータ化も加速している。そのため、様々な意思決定や制御に必要なデータが簡単に集まるようになっていき、コンピュータの処理能力向上とともに、多くの事象（データ）を広く集めて、意思決定や制御、最適化に活用できるようになっていくと考えられる。例えば、ある生産ラインの生産仕掛りスケジュールを変更する際、直接的な部品仕入れるサプライヤーや、生産終了後の在庫だけでなく、二次サプライヤー、三次サプライヤーへの影響や、直接的な完成品在庫だけでなく、さらに下流の販売店への納入状況、作業者の労働時間への影響だけでなく、その作業者がかかわる他の工場への影響、さらに、その他工場と取引を行っているサプライヤー、さらにその二次サプライヤーというように、集められるデータは多く、広範囲に広がっていき、同時に高速化するコンピュータで最適化処理することが可能となっていくと思われる。特に、サプライチェーン・ネットワークにおいて、直接、取引を行う企業間のやり取りを対象とする対象は、イジングモデルとの親和性が高く、ハードウェア的な実装（特に量子アニーリングマシン）モデルに近く、アニーリングアルゴリズムを適用し易いと考えられる。そのため、近い将来においても、量子コンピュータの適用が進む可能性が高いと考えられ、実用時間内での更なる大規模最適化への期待が目前に迫っているとも考えられる。

以上のことが意味するところは、モノづくりのソフトウェア化と、最適と制御のための管理対象の広がりにより同じ機械、同じ工具での造りわけが容易となり、変種変量生産の生産性向上と、生産システム再構築の限界費用の減少が進むということである。その結果、製品多様性や変更が今まで以上に量産効果によるQCDEロス、すなわち、品質(Q)、コスト(C)、届くまでの時間(D)、環境配慮(E)に関するロスを減少させることにより、向上する価値を上回り、多くの製品において、既存のQCDEロス減少を追求してきた製品においても、Type1のような個別対応の多様化や、Type2のような製品変更へのシフトにより市場を崩そうとするプレイヤーが増えると考えられる。特に、製品そのものだけでなく、他の製品と上手く融合させたサービスにより、市場を全く異なるものにしてしまうことも今まで以上に可能となってくるため、市場の大幅変更の下で、製品の位置付け（意味）が大きく変わり、従来のQCDE追及が加速する製品と、大きくストップする製品とに分かれていく可能性がある。また、モノづくり活動を行うプレイヤーの観点からも、製品の多様化や大幅変更により新しい価値を創出することが得意なプレイヤーと、効率化やコストダウンの追求によりQCDEロス減少が得意なプレイヤーが存在し、それら両プレイヤーが製品特性やタイミング、市場や顧

客嗜好との関係などによる価値向上の可能性を鑑みて、絶えず競争を続け、付加価値を向上していく（図9-1）。

以上のような付加価値向上の競争において、強力な武器になり得るのが CPPS である。サイバー上に多くの情報を検索して集め、何を意思決定するか、どういう KPI で最適化、制御していくかにより、価値向上の方向性が異なるが、常に、プレイヤーの戦略に応じた KPI（方向性）に向かい、多くの管理対象を見て、より良い意思決定や最適判断につながることを支援することで、今まで以上に、価値向上競争が激しくなる。

製品によっては、製品の多様性や大幅変更による市場認知が鈍く、価値へ変換してもほとんど価値向上につながらない Type0 のような製品もある。そこに集まるプレイヤーは自ずと QCDE ロスカットが得意なプレイヤーが集まり、さらに、協力、合併して、更なる効率化、量産効果を実現するメガプレイヤーが増え、製品多様性や大幅変更での付加価値創出の難しさが向上し、Type1 や Type2 との溝が深くなる。一方で、前述のとおり、CPPS により製品の多様性追求や大幅変更が容易になる。そのため、今まで以上に高いレベルで、QCDE ロス減少と、現有市場を壊す多様性や大幅変更による競争が激しくなると思われる。

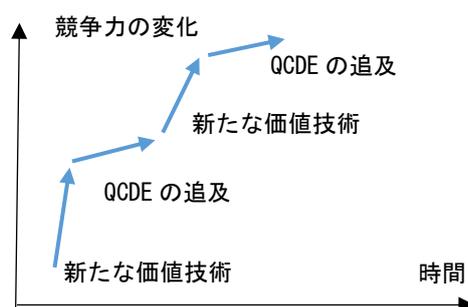


図9-1 新たな価値技術と QCDE の追及による競争力の変化の波

9.2 多様なモノづくり形態の体系化

CPPS の求められる役割を再定義するため、2040 年の CPPS がもたらすべき付加価値を考える。ここでは 2040 年に向けてモノづくりにとっての新たな価値が次々と生まれてモノづくりは革新されていく。特に市場と供給サイドの関係変化による競争力の強化や、市場側の要求に対応できる全く異なった方式のモノづくり、さらにはモノづくりそのものがサービス化されて、「造る一売る」の関係を越えた新しい概念、関係性がもたらされる。基本的な動きとしては市場要求に対する製造サイド供給が密結合していくとともに、多様でフレ

キシブルなビジネス様態へと進んでいく。このような動きの中で、モノづくりの価値をどのように生み出していくかは重要なアプローチである。

一方、その流れのなかであっても、前述のとおり、2040年になってもQCDEロス減少への追求は変わらないと仮定しても異論はないだろう。特に、環境に関しては現代以上に資源とエネルギーが枯渇して逼迫している可能性も高いだろう。これらQCDEのロスを減らすことは2040年に向けても不変の価値であることは議論の余地がないと思われる。特に、Type0においてそれが顕著となり、量産効果・大量輸送・分業化などによる効率化が追及されていく。

換言すれば、QCDEの追及は新価値を過去の様々な産業においても、図9-2のように、新しい産業（市場価値）が出現してしばらく経つとQCDEロスの削減が競争力となって市場を牽引し、さらに新しい価値創出～QCDEロス削減という価値サイクルは変化しないと思われる。一方、ここでは市場、流通、製造に関するプレイヤーが変化し、それを担う企業、地域、国の役割も新しい形態へ移行していく。

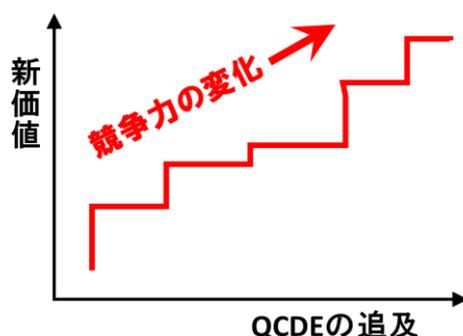


図9-2 一般的な市場競争力の変化

このように、新たな価値モデルが生まれた世界では、それぞれのステージに対してQCDEの追及が展開され、競争力が変化し、強化されていく。換言すると、新たな価値モデルとは新しい関係性の構築とその関係性を強化する動きが揺れ動き、波のように繰り返されていくものである。

それでは、2040年、様々なシェアリング、顧客へのダイレクトマーケティング、超情報社会の中、何が変化するだろうか？、それは、新しい価値創造の手段が広がり、頻繁になることだと考える。様々な市場・顧客情報がクラウドに集まり、情報アクセス性向上するため、商品戦略においてもヘッド集中戦略からロングテール特化戦略まで様々な商品戦略を取ることができる。それに合わせ、モノづくり手段も自前一貫型からエコシステム型、製造発注型まで今以上に自由に選択することができる。すなわち、図9-1の縦軸の手段が広がることを意味する。このことは、前章までのType1、Type2の商品群で顕著に現れると思われる。

る。

以上のような価値創造が広がり、頻繁になることで市場多様性が爆発的に拡大すると考えられる。当然ながら、様々な情報とつながり、サイバー上で評価、最適化を支援する CPSS に求められる価値も対応していくことになると思われる。モノづくりにおいては、Type1 と Type2 では多様化した市場価値への対応方法が異なるものと考えられる。Type1 では完全個別生産であるため、様々な商品を広く製造できることが求められる。分かり易い一例が 3D プリンタであろう。顧客の様々な要求に対しハードを変えず、プログラムだけで造り分けることができる。また、旧来からのプレス機自体も型を変えるだけで様々な形状をプレスできるという意味では当てはまると言える。2040 年では、様々なリソース（設備、ヒト、エネルギー、ソフト、データなど）がシェア／融通され合い、システム全体として製品バリエーションの拡大に対応することが大きな価値創造となり競争力向上につながり、それを CPSS が支援することを求められる。

一方、Type2 は Type1 と Type0 の間に位置し、QCDE ロス削減の志向も強くなる。そのため、製品バリエーションの幅を減らして効率化の重要性が高まる。そこで、市場多様性への追従策として、製造可能な製品バリエーションの幅を広げるのではなく、市場変化に追従して、リソースとシステム全体（生産・物流・ヒト・ソフト・データ）を迅速に再構成することが重要となってくる。

以上のことから、Type0 においては QCDE ロス最小化、Type1 においては製品バリエーション対応性拡大、Type2 においては生産・物流全体のアジャイル対応性拡大が CPSS に求められると考えた。

しかしながら、実際のところは全ての商品が Type0、Type1、Type2 にきれいに分けられることはなく、商品特性、商品年齢、時代背景、周辺産業等、様々な要因で各 Type 間に位置する。また、ビジネス戦略として Type 変更を仕掛けるプレイヤーも出現するため、Type1 の価値要素、Type2 の価値要素、Type3 の価値要素が入り交ざり、且つ変化していると考えられる。それを CPSS で支援することとなる。

そこで、各 Type の差異を明確化するとともに統一的に議論できるように、CPSS の価値の定義を試みる。CPSS の目的を、モノづくり価値の最大化、すなわち、（価値 | CPSS 支援あり）／（価値 | CPSS 支援なし）を最大化することとし、

$$\begin{aligned} & \text{MAXIMIZE } \{ (\text{価値} | \text{CPSS 支援あり}) / (\text{価値} | \text{CPSS 支援なし}) \} \\ & = \text{MAXIMIZE } \{ E^{-\alpha} \times (V/A)^{\beta} \times R^{-\gamma} \} \end{aligned}$$

と定義する。ここで、

E : (QCDE ロス | CPSS 支援あり) / (QCDE ロス | CPSS 支援なし)、但し、 $E < 1$

V : (製造多様性範囲 | CPSS 支援あり) / (製造多様性範囲 | CPSS 支援なし)

A : 全製品バラエティ

R : 生産ラインの、(再構築ロス | CPPS 支援あり) / (再構築ロス | CPPS 支援なし)、
但し、 $R < 1$

であり、また、 α 、 β 、 γ は、各項のバランス調整係数で、 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ とする。前章までに定義した各 Type 別商品は、 α, β, γ の 3 軸空間上で、Type0 は $(\alpha, \beta, \gamma) = (1, 0, 0)$ よりに、Type1 は $(\alpha, \beta, \gamma) = (0, 1, 0)$ よりに、Type2 は $(\alpha, \beta, \gamma) = (0, 0, 1)$ よりに付置される製品と考えられる。

9.3 2040 年のモノづくりビジョン「シェアド・モノづくり」

前章までで議論した製品タイプにより、QCDE ロス最小化による価値向上と、製品多様性による価値向上、または、変更追従性による価値向上に商品競争の方向性が変わると説明してきた。しかしながら、実際には、QCDE ロス最小化（量産能力）だけ、もしくは、製品多様性（個別対応力）だけが商品力となり続ける製品は多くない。製品の発展フェーズや競合との関係、源泉という観点での周辺製品との相対関係等により、量産能力と個別対応力のウェイト度合が変化する（図 9-3）。これは、様々なプレイヤーが市場に参入する際、既存市場の競争の源泉を変えようとするプレイヤーも参入してくるからである。競争の源泉が変わることで、量産能力と個別対応力の重視度合が変化することになる（図 9.3）。9.2 節で定式化した式においては、 α 、 β 、 γ が変化することになる。その際に大事なのは、自社のポテンシャルを考慮しつつ、 α 、 β 、 γ の変化に追従したり、逆方向に振ってみたりと、市場の詠みと戦略にそって α 、 β 、 γ を柔軟に変更できることと考える。

量産能力を向上させるには、大量生産型の生産ラインにして極力多くの製品を生産することで、生産コストに上乗せされる減価償却（及びその他固定費）を小さく抑えることが大事となる。逆に言えば、大量生産が見込めない場合は、初期コストや固定費を減らし、少ない生産量でも減価償却を抑えることが必要となる。すなわち、今後、量産能力と個別対応力の間での柔軟な市場変化に追従するためには、固定費を減らしておくことが重要である。

製品多様性や変更追従性を実現する上で、今後、ソフトウェア／システムの変更で対応可能な範囲が広がることが期待されるが、ハードウェア／物理的に柔軟性が限られる部分がどうしても残る。例えば、特殊工具や専用設備が必要な場合、ある特定の加工や形状のためだけ、もしくは特定期間のためだけに、製造に必要な工具や設備を用意しなければならないことも少なくない。一般的に、設備や工具を新たに用意するにはコストが必要となり、製品には減価償却費分が上乗せされる。特に、特殊設備や特殊工具はコストが高く、減価償却費を低くするためには、特殊設備や特殊工具を高稼働率で長く使い続ける必要がある。一方、

特殊設備や特殊工具は、その特殊性が高まるほど汎用性が狭く市場変動や変化に対応できない。そのため、固定費を抑えるための別の手段が望まれる。

2040年において、汎用性や変化追従性の市場価値が相対的に高まるとしても、ハードウェア・物理的には限界があり、ITの発展を上手く活用して、全く別の方法で減価償却費分を低く抑え、汎用性や変化追従性を確保する必要がある。その具体策がシェアリングである。すなわち、多くのプレイヤーで特殊設備や特殊工具を効率的にシェアすることである。特殊設備や特殊工具を購入・構築するのではなく、必要なタイミングのみ借りることで初期投資、すなわち、減価償却費を小さくすることができる。あるプレイヤーにとっては一時的対応でしかない、特殊設備、特殊工具であっても、異産業を含む多くのプレイヤーでシェアすることで、それらを有効活用することができる。このことは、減価償却費を多くのプレイヤーで少しずつ負担を分け合うとも言える。2040年、CPPSを含むITの発展により、多くの設備や工具の情報をサイバー上にリスト化し、今以上に賢く、簡単に検索することができると考えられる。さらに、生産状況を表す情報（IoTデータ）やサプライチェーン情報、市場情報を掛け合わせることで、シェアする設備のタイミングや規模を適切に制御することも可能となると思われる。その兆候がスマートグリッドであり、限られたエネルギーを街全体が最適に分配し、シェアし合っている。同様な仕組みで、様々なリソースがシェアされていくことが考えられる。当然ながら、作業員も時間帯毎に作業する工場や設備を変更することでシェアできるし、物流もまとめて少数のトラックで運ぶことで、輸送手段をシェアし、効率的な物流を実現することができる。

一方、第5～7章で既述したように、サプライチェーン、ヒューマン・セントリックのそれぞれ視点から描いた2040年のモノづくり像においても、シェアド・モノづくりの重要性が示された（図9—4）。スマートマシンにおいては、顧客嗜好多様性に伴う種類変動と量変動へ追従するモノ・ファンクションな設備が必要に応じて連携する将来モノづくり像を示した。単機能的な設備が有機的に連携することで、製造する製品種と量は激しく変動しても、モノ・ファンクション設備の組合せで対応できるため、モノ・ファンクション設備そのものの変更は最小限に留めることができる。そのことはサプライチェーンにおいても同様で、固有な生産能力を持つ様々なサプライヤーとの連携により、複雑な製品種や量へ対応することができる。そのためには、多くのモノ・ファンクション設備や、サプライヤーの情報がサイバー空間に転写され、必要に応じて検索・集約され、定めたKPIの元でマッチング、スケジューリング、最適化、シミュレーションされることで、柔軟性と効率性を高いレベルで両立することができる。CPPSで管理、見渡せる範囲が広がるほど、シェアリングによる効果が高まり、量産能力と個別対応力を自由に変化させることが容易になる。但し、競合他社との差別化を考え、戦略上、どのKPIを重視し、どのようなステップで理想とする状態へ近づけていくかは、サイバー上に集められた情報を少しでも早い段階で有効活用することが重要となる。すなわち、エンジニアの役割が変わり、市場や環境の動向と変化を予測し、多くの情報を自社の戦略に沿うように活用することがエンジニアに求められる。第7章で

既説したスーパー・エンジニアの役割が重要となってくる。

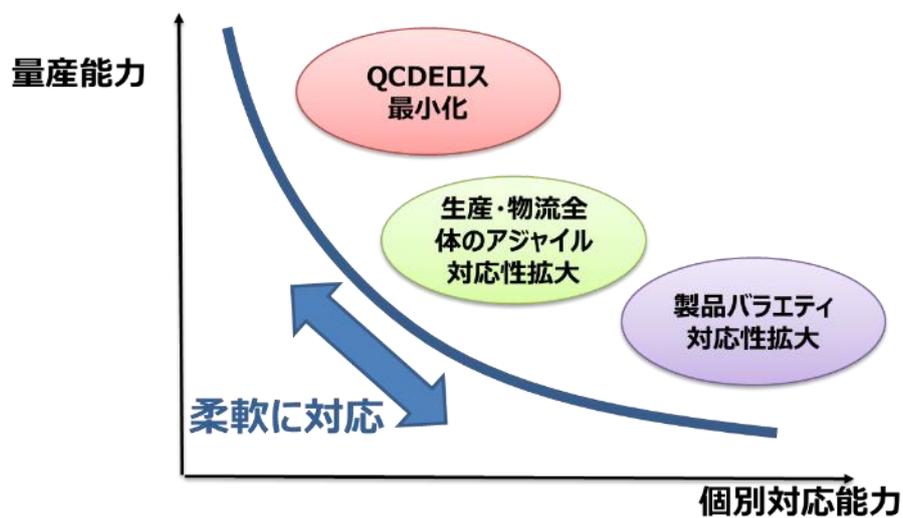


図 9-3 量産能力と個別対応能力との間を柔軟に変化して対応

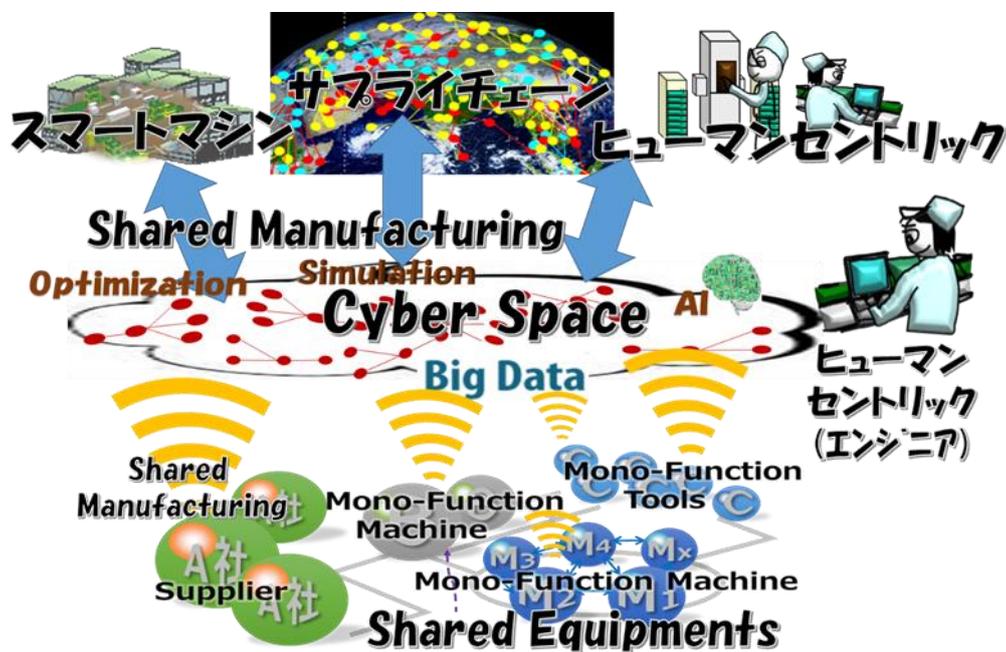


図 9-4 サイバー空間上に上げられた情報によるシェアド・モノづくり

10.1 「シェアド・モノづくり」から CPPS の在りたい姿へ

本章では、第8章でとりまとめたバックキャストिंगに基づくアプローチ別WG毎のビジョン策定、また、活動モデル検討において明らかになった課題に対応するための新しい方式を検討する。第8章では、図10-1に示すように、各アプローチ別WG活動から得られた取り扱うべき要素は総合的、横断的に連携していく必要があるため、どのような方式で連携させていくのか、また、そもそも、そのような要素をどのようにしてCPPSとして操作できるようにシステムを構成すればよいか等の議論が必要であることを述べた。

具体的には、製品設計情報と生産工程設計情報を連携させることは意味があり、必要であるとしても、どのように連携させて最適化していくのか、そのような方式の検討が必要であり、そのために第9章で検討した「モノづくりの多様性体系化」をベースとして、「2040年モノづくりビジョン」に基づき、その実現コンセプトの検討を行う。

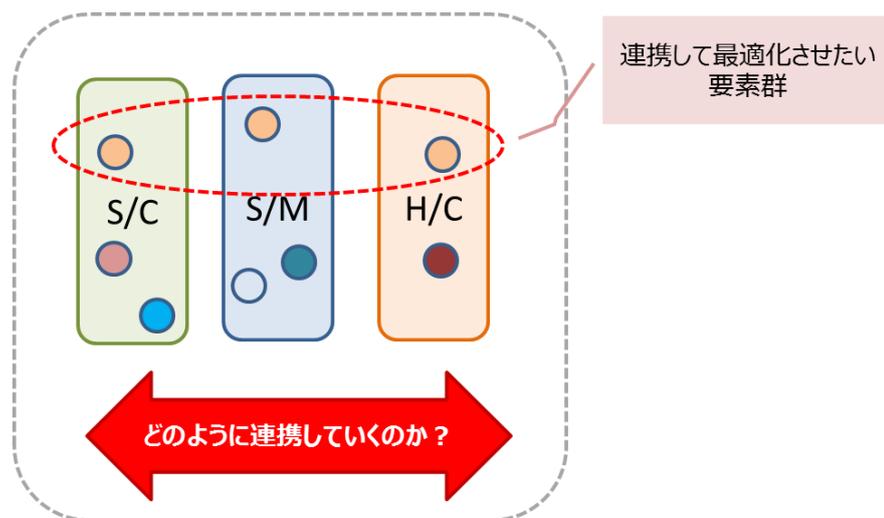


図10-1 CPPS要素の連携

10.2 第四次生産革命時代における実現すべき生産システム「CPPS」の概念

第1章、第2章で言及した通り、今日の通信技術、コンピューティング能力の向上を受けて、ドイツが発信する第四次産業革命をはじめとして、新たな生産システムとしての「サイバーフィジカル生産システム（CPPS）」が期待されている。

本研究分科会で考える CPPS では、生産工場における機械設備等の個別の結合は行わない。生産工場の個別物理設備に対応して同等の個別設備をデータとして定義させたうえで、データとしての個別設備間での結合を行う考え方を基軸とする。

ここで、部品、機械設備等の物理的な生産資源が存在する空間をフィジカル空間（物理レイヤー）と呼び、物理的な機械設備等に対して1対1の関係として等価なデータとして存在する空間をサイバー空間（データ・レイヤー）と呼ぶこととする。

また、フィジカル空間、サイバー空間で取り扱う機械設備、治工具、部品、製品、作業員、搬送デバイス、作業員編成等の生産アセット、標準や基準の類、また、製品設計情報、工程設計情報、工場立地計画、工場レイアウト、サプライチェーン設計等の計画情報、さらには生産状況、製品のトレーサビリティ、品質情報、また、市場における要求、期待、満足度の状態を表す情報を含めた、CPPS が取り扱いたいモノづくりに関わるあらゆるデータを「CPPS 個物」と呼ぶこととする。

ここでこの CPPS 個物は、空間次元、時間次元、また、個物の属性次元を超えて一般化された概念である。空間次元としては、工程間、生産ライン間、生産ゾーン間、工場間、企業間、顧客や製造業、関係する産業間のような広がりである。

時間次元としては、マーケティング、製品企画、製品設計、工程設計、レイアウト設計のようなエンジニアリングチェーンにおける各要素の変化、設備の時間的变化や部品材料の時間変化、作業員のスキル向上度合い、また、工場立地計画、ロジスティクス設計、調達計画、物流設計、配送計画、出荷、リサイクル計画等のサプライチェーンの流れにある事象である。

個物の属性次元としては、設備、治工具、部品、ヒト、計画データ、実績データ、状態データ、品質データ、また、様々な標準類等の、従来、異なった種類の存在として取り扱わなければならない属性の存在である。



図 1 0 - 2 CPSS 個物のイメージ

ここでこの CPSS 個物は、狭い意味として、Platform Industrie4.0 で提案されている「管理シェル」システムが取り扱うデータ群のインスタンス情報として考えていただくと分かりやすいかもしれない。管理シェルは物理層を抽象化するためのひとつの体系化手段であるが、管理シェルのようなアセットを管理するメカニズムを通じて提供される、つまり、あるコンテキストにおいて規定されたデータ処理の対象が CPSS 個物である。

すなわち、本研究分科会での議論は Industrie 4.0 における「管理シェル」の層ではなく、その上位に位置した議論である。例えば「管理シェル」を通じて獲得される情報に対してどのような処理を行うべきかと言う議論であり、管理シェルよりさらに上位の構造に対しての枠組みを検討することが目的である。

尚、「管理シェル」の概念は未定義で拡張中であるために今後、変更される可能性があるが、本研究分科会での議論はより上位の検討であり、何ら影響するものではない。

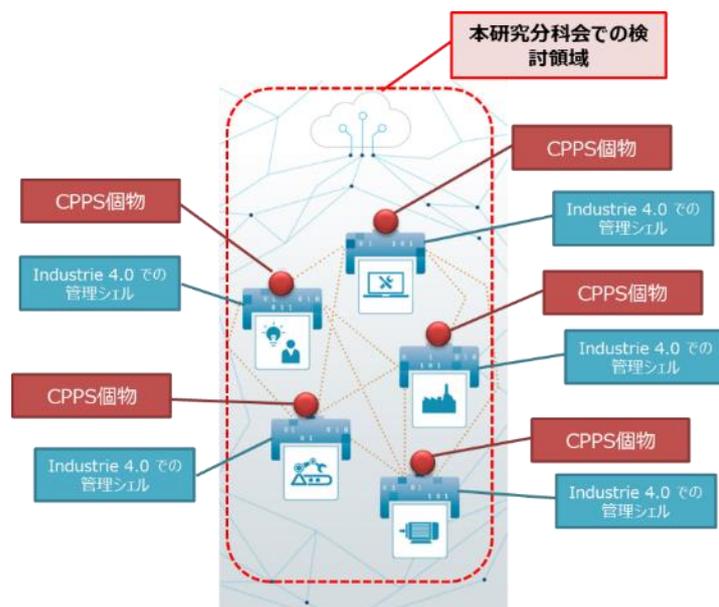


図 10-3 管理シェルと CPSS 個物の関係 (Plattform Industrie 4.0 より)

尚、本研究分科会で考える CPSS の基本的な概念は、フィジカル空間とサイバー空間に存在する CPSS 個物は観念的に同一であり、存在な等価であるということである。サイバー空間での CPSS 個物は実質的にフィジカル空間で存在しているものとして見なすことができ、また、フィジカル空間での CPSS 個物はサイバー空間で確かに存在しているものとして考える。

ここではフィジカル空間とサイバー空間の CPSS 個物は同一の存在であり、いずれかの空間において操作・編集が成されると、その結果はサイバー空間とフィジカル空間に存在する CPSS 個物へ反映される。観念的には鏡像関係（ミラー）のように見えるが、鏡像関係と言うより、「同一の存在として取り扱う」ということであり、換言すると、サイバー空間での存在は「リアルである」ということである。

(参考：英語での「Virtual」を日本語では「仮想」と訳される場合が多いが、本来の英語の意味は、【機能的に実質、そのようであること】である。すなわち、サイバー空間でのバーチャルな存在は「リアルである」ということを意味する。)

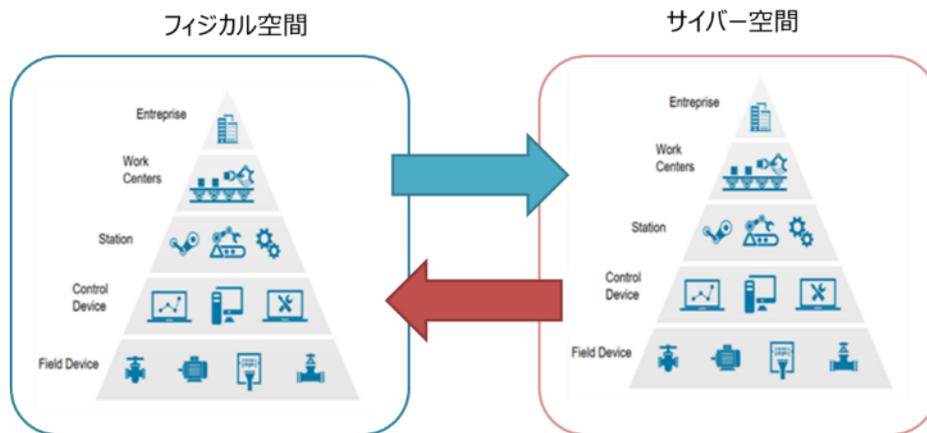


図 10-4 リアルであること、等価であること

ここで、CPPS を構成する実現技術としては、サイバー空間の CPPS 個物とフィジカル空間の CPPS 個物が相互作業を及ぼして同期関係を維持する機構を実現することで、このような概念システムを構築する。

そしてこれらの CPPS が実現されたならば、サイバー空間上の CPPS 個物を相互結合させることだけで、従来の生産システム制約を取りはらい、「スコープを拡大する、結合のダイナミズムを獲得する」ことを可能とすることができる。サイバー空間上の「リアル」である CPPS 個物を、その存在次元（異種属性）や接続方法の制約を取り払って、システム全体を取り扱う意図に対応して編集、加工、制御を行うことができるようになる。

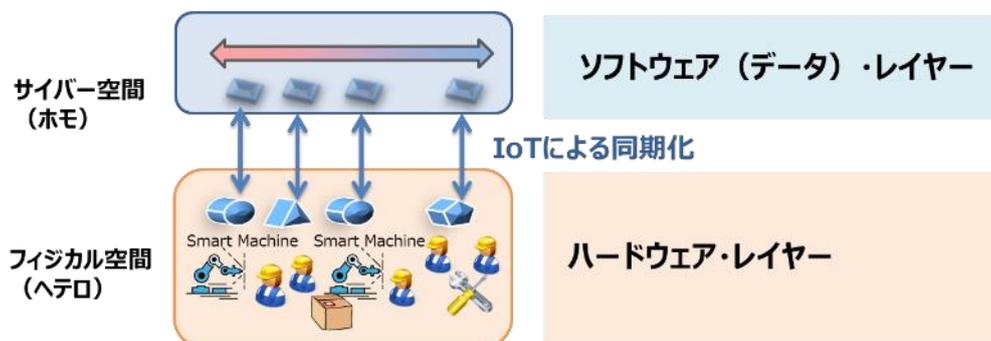


図 10-5 サイバーフィジカル・システムにおける
サイバー空間とフィジカル空間の関係

10.3 CPPS のスコープと「Connected」

次に、前節での述べたように CPPS の本質が「サイバー空間の CPPS 個物とフィジカル空間の CPPS 個物が相互作業を及ぼして同期関係を維持する」ことであるとすると、その同期関係を取り扱う対象としてのスコープについての想定を置くことは有益と考える。CPPS の目的として設定した「スコープを拡大する、結合のダイナミズムを獲得する」というコンセプトを適用する領域を検討しておくといよい。

ここで、この検討を経済産業省が掲げる「Connected Industries」の視点で考えてもよいだろう。2017 年 3 月に経済産業省は目指すべき産業の在り方としてヒト、モノ、技術、組織等が繋がることにより新たな価値創出を図る「Connected Industries」の概念を提唱した。ただ、ここではあくまで「Connected」することを観念的に示し、政策的に支援することに留まっており、方法論や実現技術等に関しては何ら示していない。CPPS の議論を行うに当たって、その適用スコープとして「Connected Industries」の適用をより精緻に考えると、以下のような適用領域が有効であると考えられる。

ここでは、「Connected」の関係を 6 つのレベルとして設定してみた。

- Connected Level 1 物理層接続レベル
- Connected Level 2 データ層接続レベル
- Connected Level 3 サプライチェーン接続レベル
- Connected Level 4 エンジニアリングチェーン接続レベル
- Connected Level 5 S/C - E/C 接続レベル
- Connected Level 6 マーケット接続レベル

ここで Connected Level 1 と 2 は、リアルタイムに同期させるための接続レベルである。Connected Level 3 以上の接続レベルはリアルタイムというより時間を遡った、つまり、時間を越えた接続である特性を持っている。そして、Connected Level 3 以上の接続レベルでは、それぞれ、接続する意図が想定される必要があり、それに応じた接続を実現するための機能が求められることになる。

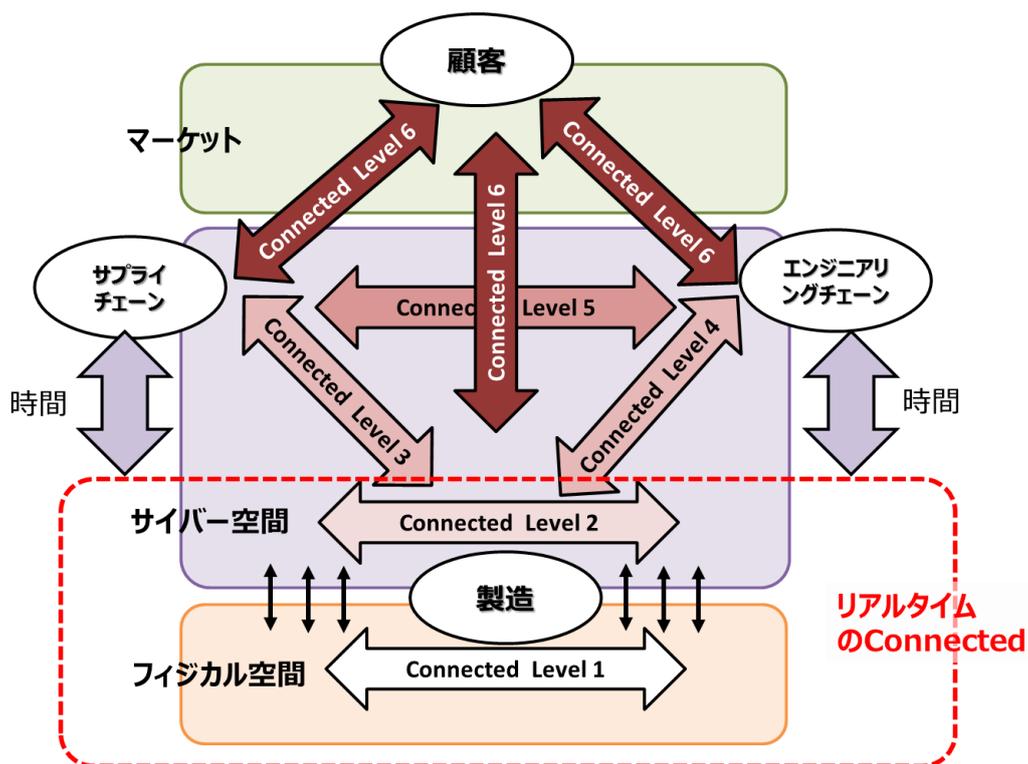


図 10-6 様々な「Connected」レベル

10.3 CPPS 個物を結合するインテリジェント・レイヤー

次に、これらの Connected Level を実現するための機構を検討する。Connected Level 1 と 2 はリアルタイム系の接続を意図しているため、本節で議論する対象は Connected Level 3 以上とする。そして、どのように Level 3 以上の接続において、当該接続を行う意図を実現するのかを検討する。

まず、10.2 節で導入した CPPS に存在する CPPS 個物について、相互結合の視点から説明する。CPPS を通じて一旦、フィジカル空間の CPPS 個物をサイバー空間で CPPS 個別として存在させることができたなら、サイバー空間での時間軸、空間軸、個物種類軸における任意の個物を選び出すこと、また、選び出された CPPS 個物間同士を結合させて同期させることは容易である。何故ならば、フィジカル空間における CPPS 個物群は異種（ヘテロジニアス）であり、直接的な結合を行うためには個別開発（定義）が必要であるが、サイバー空間では同等のインターフェースとフィーチャーを持つ個物として（ホモジニアス）取り扱うことができるため、情報システムによる対象の選択と結合を一元化して実現できるからである。

そして、サイバー空間で一旦、結合された CPPS 個物同士の状態はサイバー空間とフィジカル空間を同期させるシステムを通じてフィジカル空間の個物へと状態を反映させることで、フィジカル空間の CPPS 個物群を期待する状態へと変化させることができる。先述したように、ここでの個物間の関係とは、場所を越した関係、時間を遡った関係、生産に関わる異種の個物（装置、治工具等の生産財、人的資産等の生産に直接的に関わるアセット）の関係組織を越した関係、業務を越した関係であり、これらの個物群から必要に応じた対象群を選択して、上記の操作を行う。

このような CPPS 個物群を選択して結合させる機能的役割はサイバー空間に存在するデータとしての CPPS 個物を対象とする操作であり、サイバー空間（データ・レイヤー）とは一線を画した上位のレイヤーの役割として位置付ける。本研究分科会では、この役割を果たす機能を「インテリジェント・レイヤー」として位置づける。CPPS 個物を選択し、結合する活動は独立した操作であり、独立した機能群で構成されるため、データ・レイヤーと異なった機能レイヤーとして意識することが望ましい。

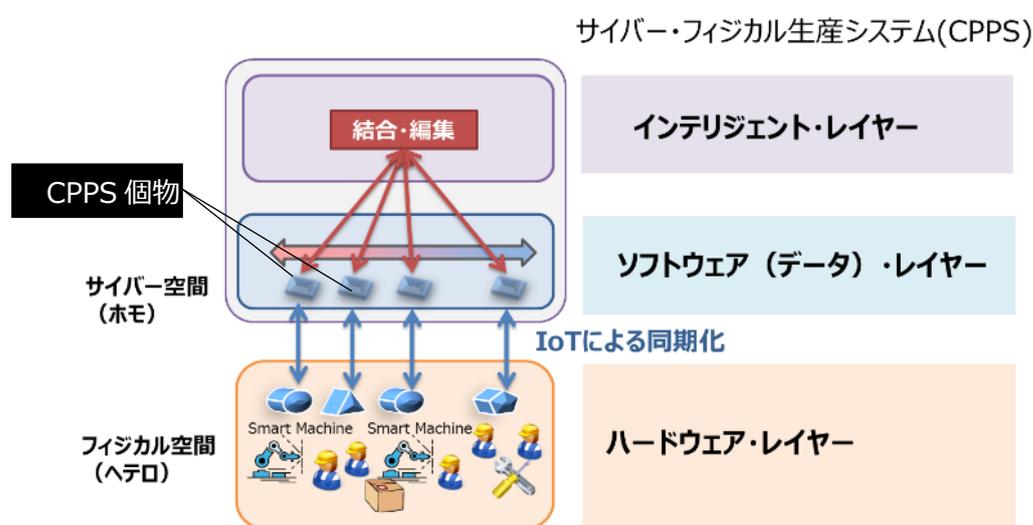


図 10-7 CPPS におけるインテリジェント・レイヤー

10.4 インテリジェント・レイヤーによる「スコープの拡大と結合ダイナミズムの獲得」

ここまで説明してきたようにサイバーフィジカル・システムは「スコープの拡大と結合ダイナミズムの獲得」を実現するための生産システムのコンセプトとして位置づけることができる。これを通じて様々な「Connected」を実現し、その意図に対応した運用システムを構築する。ここで、スコープを拡大して結合を拡大するためには、以下のような活動を進めていかなければならない。

- 1) 異種属性の対象群を関係させるように拡大する
- 2) 空間距離が離れた対象群を関係させるように拡大する
- 3) 時間距離が離れた対象群を関係させるように拡大する

下図に示すように、様々なモノづくりに関わる CPPS 個物を CPPS でどのように取り扱っていくのが、CPPS を確立させ、その位置づけ与えるための一つのテーマである。

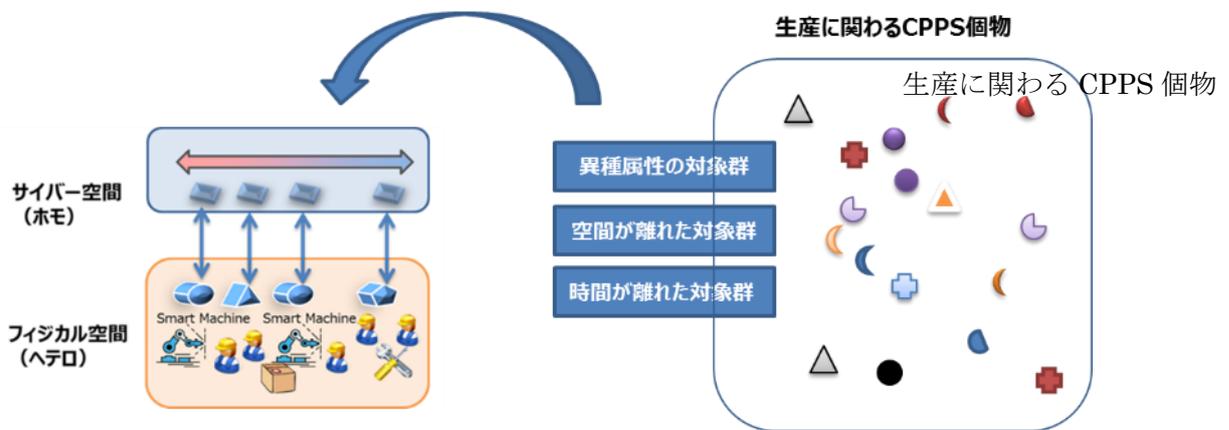


図 10-8 CPPS 個物を CPPS で取り扱う

換言すれば、下図に示すように、CPPS を介して CPPS 個物同士が「Connected」されるということになる。種別が異なる、時間が離れている、空間が離れている個物同士であっても等価に結合できる、いわば、個物群のインターオペラビリティを実現することである。

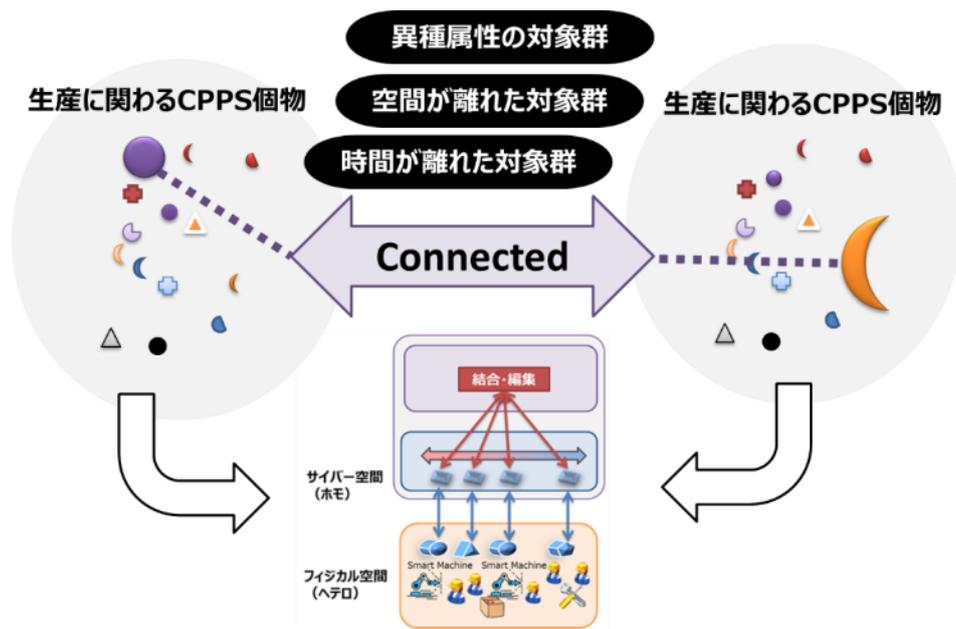


図 1 0 - 9 CPPS 個物の連携

10.5 CPPS 管理スコープ

次に、このサイバーフィジカル・システムを実務的な生産システムとして位置づけるためには、モノづくりの方式を変えていくこと（サイバーフィジカル・システムが実現するアプリケーションの姿）を想定しながら、

- 1) そのスコープと対象とする CPPS 個物を明らかにすることと、
- 2) どのような方式で結合ダイナミズムを与えるかを明らかにすること、

が必要である。

尚、サイバーフィジカル・システムは生産システムにおいて、加工、成形、組立等の固有技術ではなく、制御、最適化等の管理技術として位置づけ、どのようにスコープ対象内の CPPS 個物を選び出し、それらをどのように結合させるかをコアとする技術として位置づける。

そのため、本研究分科会での検討においては、サイバーフィジカルの対象とするスコープの様々な様態を議論するために、「CPPS 管理スコープ」と呼ぶサイバーフィジカルが管理する対象を示す範囲の概念を導入する。ここで CPPS 管理スコープは唯一のものではなく、モノづくりの方式（アプリケーション）に応じて様々な様態を持つものとして考える。

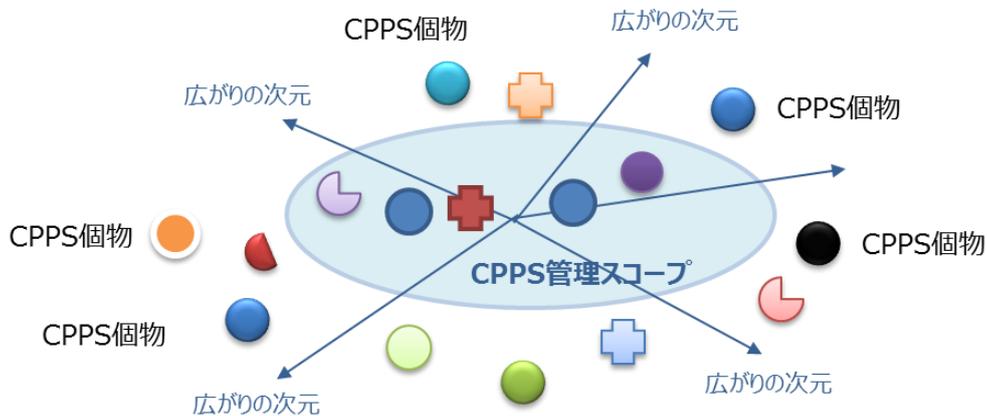


図 10-10 CPPS 個物と CPPS 管理スコープが持つ広がり次元

この「CPPS 管理スコープ」の概念を活用して、下図で示すように各 CPPS 個物を時間や空間、そして種別の壁を越えて結合させていく。ここでのポイントは、その結合させる範囲であり、その範囲の設計によって CPPS の役割と価値が定められる。

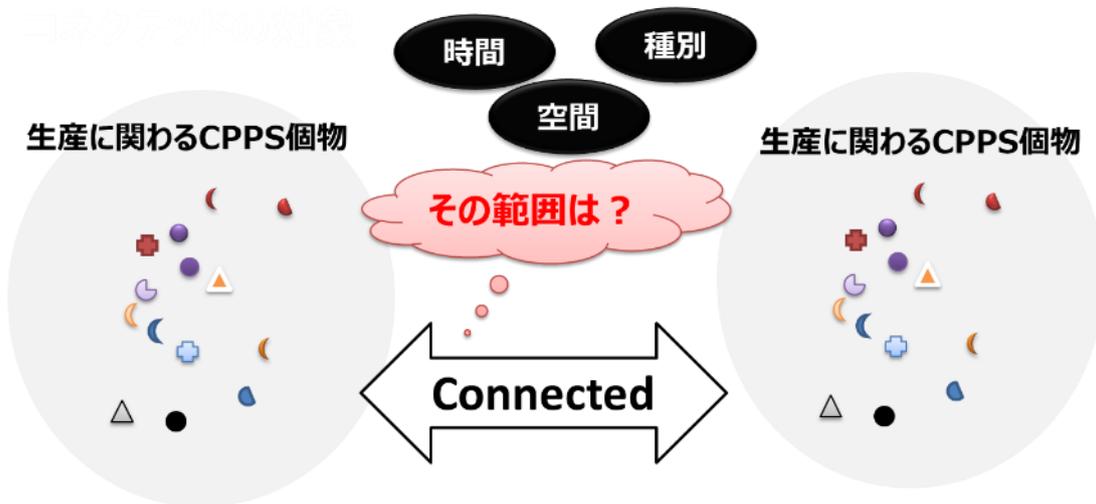


図 1 0 - 1 1 CPPS 個物の相互結合

ここでは、CPPS 管理スコープの対象として管理される CPPS 個物群同志は、当該 CPPS 管理スコープの目的に従って適切な CPPS 個物群が結合されたうえで、該 CPPS 管理スコープの目的に従って結合・連携操作がなされればよい。

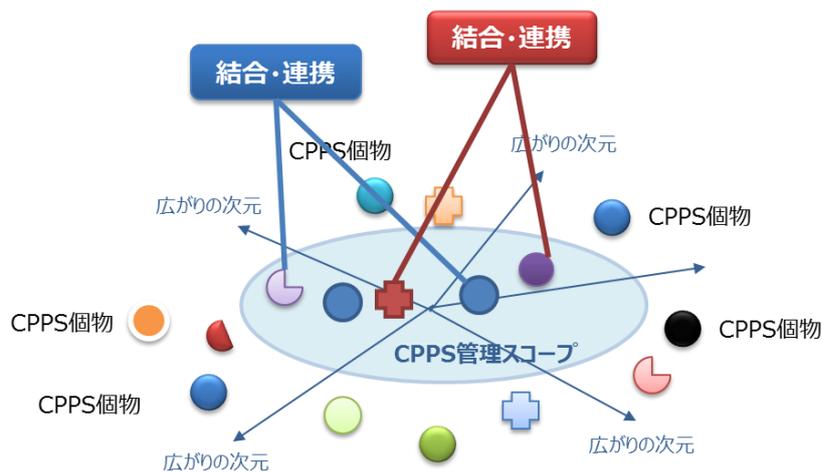


図 1 0 - 1 2 CPPS スコープの対象とする CPPS 個物群の結合

この結合は時間、空間、異種の関係の内輪であっても、それらを越えた関係であっても良い。また、結合された個物同士は CPS 管理スコープが目的とするテーマに従って適宜、参

照され、その関係性を評価され、また、編集（変化）させていく。

ここで、CPS 管理スコープは多様な次元に対して広がりを持ち、様々な様態が存在するため、これらを包含する（基底としての）サイバーフィジカル・システムとしての統一的なコンセプトを規定するために、下図のような CPPS 管理スコープをマッピングして、その位置づけを明確にするための「CPPS 管理モデル」を考える。ここでは次元として、空間軸、時間軸、個物種類軸（生産システムにおけるアセットの種類）を設定すると都合が良い。

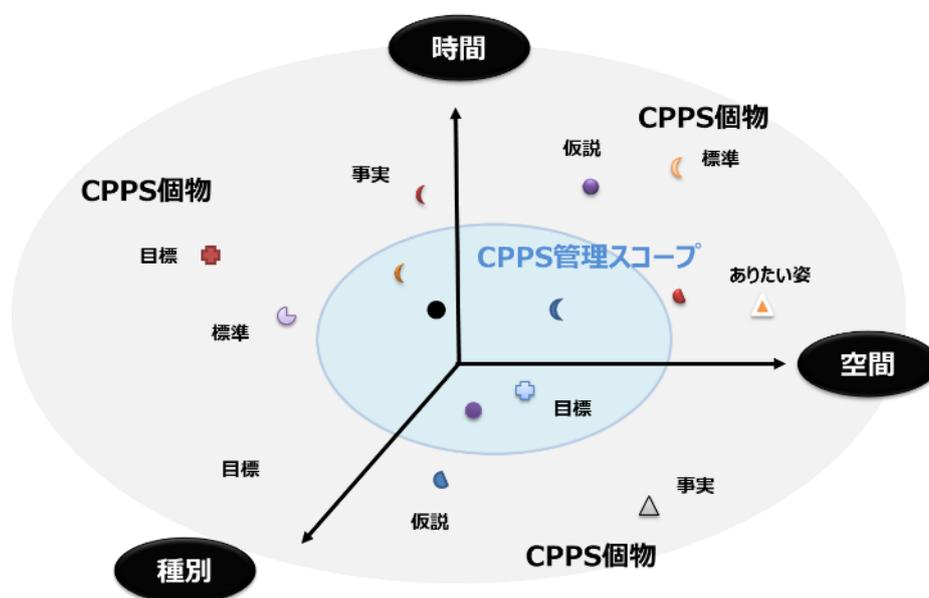


図 10-13 「CPPS 管理モデル」に位置づけられた CPPS 管理スコープ

ここでは、RAMI4.0, IRA 等のリファレンスモデルとは異なるものの、本提案は新しいリファレンスモデルを提案することではなく、サイバーフィジカル・システムにおける管理とは何かを考えるとときに有用な管理空間を設定するものである。勿論、既に提案されているリファレンスモデルを活用することも可能であろうし、場合によってはそのほうが都合よい場合も考えられる。本検討ではリファレンスモデルを策定する段階ではなく、それらのモデルに立脚してサイバーフィジカル・システムの在り方を議論することが目的であり、そのためには実現されるべき各アプリケーションの位置づけを明らかにする必要があることから、このような管理モデルをひとつの基軸として置いてみた。

換言すれば、CPPS 管理モデルは CPPS 管理スコープの位置づけを明確化し、整理するためのマップであり、マップを作ることに目的があるのではない。そのマップにおいて位置づけられた CPPS 管理モデルに対してその実現へ向けてどのようにアプローチするかを検

討するためであり、本研究分科会での活動はまさしく、このアプローチを差し示すことに他ならない。

10.6 CPPS 管理スコープに対応する CPPS の振る舞い

前節では CPS 管理スコープの考え方と想定できる管理スコープを抽出することを試みた。本節ではどのように CPPS 管理スコープの対象とする CPPS 個物を結合させるか、その方式を立案する考え方について検討する。ここでは、それぞれの個物に対する取扱いとして、

- ・ 検索の方式の考え方
- ・ 結合の方式の考え方

を確立していかなければならない。

以下は上記運用の説明の例として、時間軸での CPPS 個物の結合・連携を通じて、新たな CPPS 個物が生み出されていく振る舞いを図 10-14 に紹介する。

まず、管理スコープ内の様々な個物を対象として、要件に合致した個物を検索して抽出する。抽出された個物群はそれらの相互的な関係性を分析・評価され、結合・連携対象とみなされたならば、それらの個物群は新たな関係性を与えられるとともに、その結果、新しい個物が生成される。ここでの新しい個物とは、CPPS の運用に応じて生産現場の状態が変わって個物そのものが変化する（生まれ変わる）場合だけでなく、運用に応じて新たな知見が生まれる、また、目標値が生成されるなどの、CPPS が建設的に変化していく方向性を示す「将来、在りたい個物」等の指標を表すことが有効であると考えられるとともに、CPPS 時代におけるマネジメントとして必要となる。

つまり、自律的な自己増殖活動を推進するために、単なる運用メカニズムに留まらず、「在るべき姿」を明らかにすることは大きな推進力となる。

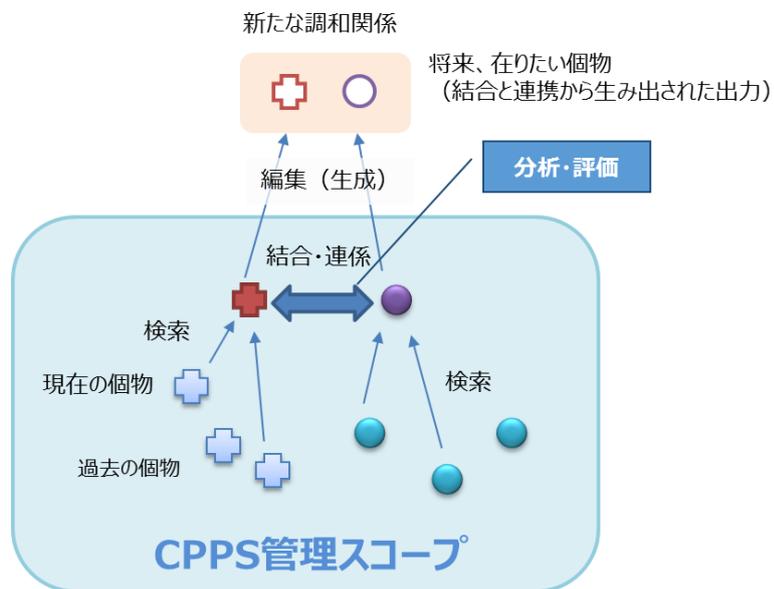


図 10-14 現在の CPPS 個物を起点とするも、過去の個物を参照しながら
将来の CPPS 個物を推定する CPPS 管理スコープのサブジェクト例

このような推進力を実現するためには、結合された対象間を評価する技術がコアとなり、
図 11-10 に示すように、以下のような個物を対象として相互的な情報処理がなされる
ことが必要と考えられる。

- ・ 事実を表す CPPS 個物
- ・ 仮説を表す CPPS 個物
- ・ 言説を表す CPPS 個物
- ・ 標準を表す CPPS 個物
- ・ ありたい姿を表す CPPS 個物
- ・ 目標を表す個物

これらの多様な関係性を紐解きながら、CPPS としての新たなサービスを構築していく
ことを目指す。

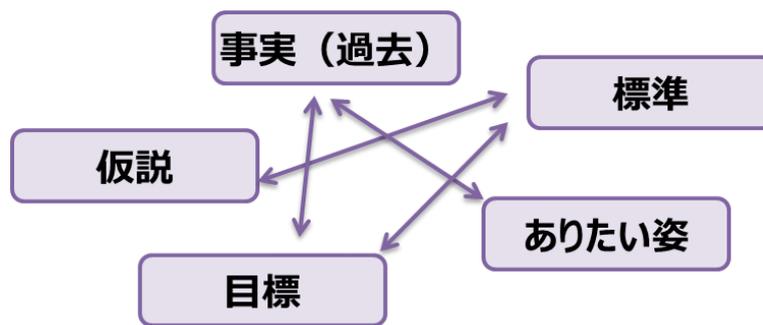
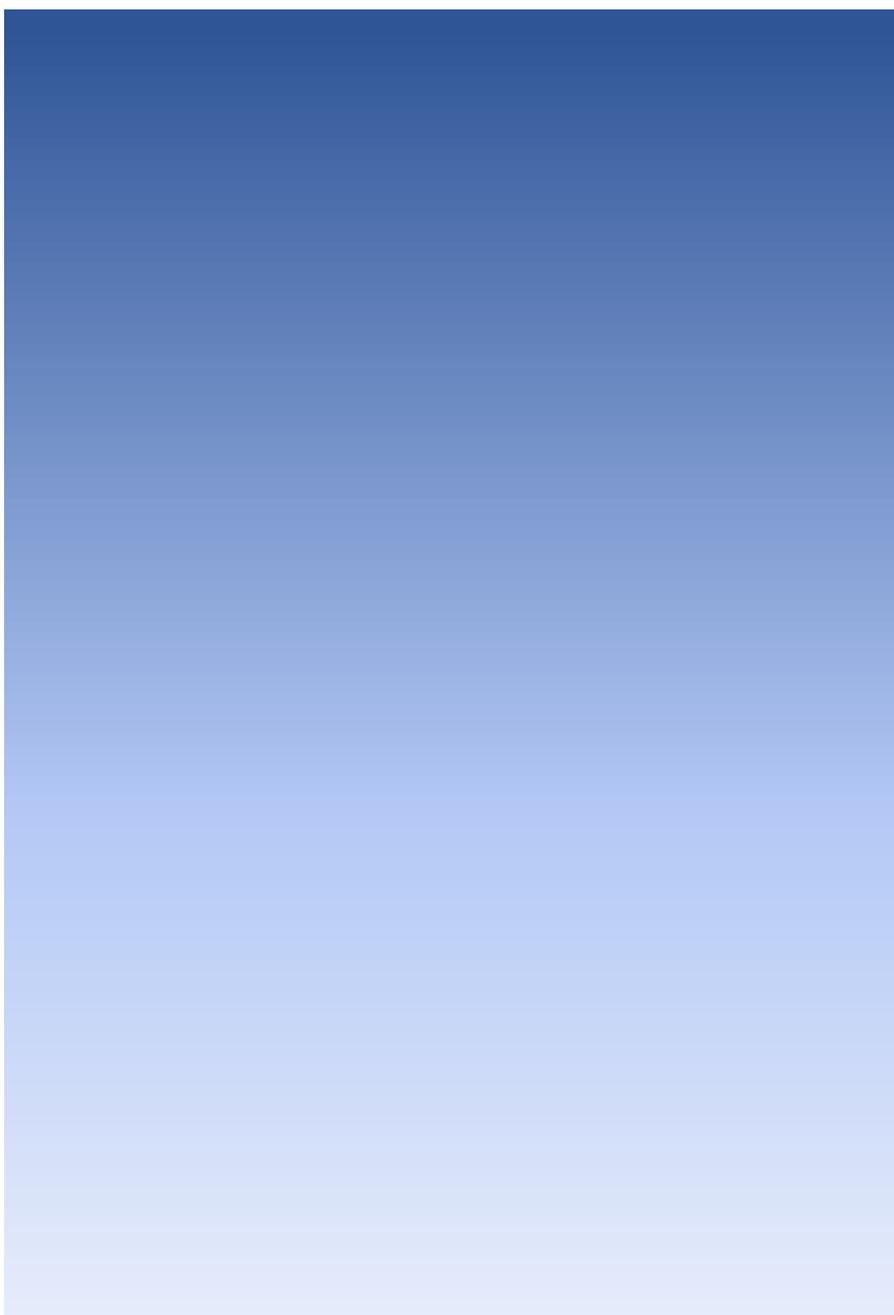


図10-11 CPPS 個物の関係性

このような関係性を取り扱うことを通じて獲得できる新たなサービスや価値を検討することを目的として、次章では CPPS 管理スコープをベースとした CPPS 適用アプリケーションの検討を行う。

第 11 章

CPPS 適用アプリケーションの検討



- [目次](#)
- [1. 概要](#)
- [2. 目的](#)
- [3. 対象とするアプリケーション](#)
- [4. 検討方法](#)
- [5. 検討結果](#)
- [6. 結論](#)
- [7. 参考文献](#)
- [8. 付録](#)
- [9. 索引](#)
- [10. 謝辞](#)
- [11. 参考文献](#)
- [12. 謝辞](#)
- [13. 参考文献](#)
- [14. 謝辞](#)
- [15. 参考文献](#)
- [16. 謝辞](#)
- [17. 参考文献](#)
- [18. 謝辞](#)
- [19. 参考文献](#)
- [20. 謝辞](#)
- [21. 参考文献](#)
- [22. 謝辞](#)
- [23. 参考文献](#)
- [24. 謝辞](#)
- [25. 参考文献](#)
- [26. 謝辞](#)
- [27. 参考文献](#)
- [28. 謝辞](#)
- [29. 参考文献](#)
- [30. 謝辞](#)
- [31. 参考文献](#)
- [32. 謝辞](#)
- [33. 参考文献](#)
- [34. 謝辞](#)
- [35. 参考文献](#)
- [36. 謝辞](#)
- [37. 参考文献](#)
- [38. 謝辞](#)
- [39. 参考文献](#)
- [40. 謝辞](#)
- [41. 参考文献](#)
- [42. 謝辞](#)
- [43. 参考文献](#)
- [44. 謝辞](#)
- [45. 参考文献](#)
- [46. 謝辞](#)
- [47. 参考文献](#)
- [48. 謝辞](#)
- [49. 参考文献](#)
- [50. 謝辞](#)
- [51. 参考文献](#)
- [52. 謝辞](#)
- [53. 参考文献](#)
- [54. 謝辞](#)
- [55. 参考文献](#)
- [56. 謝辞](#)
- [57. 参考文献](#)
- [58. 謝辞](#)
- [59. 参考文献](#)
- [60. 謝辞](#)
- [61. 参考文献](#)
- [62. 謝辞](#)
- [63. 参考文献](#)
- [64. 謝辞](#)
- [65. 参考文献](#)
- [66. 謝辞](#)
- [67. 参考文献](#)
- [68. 謝辞](#)
- [69. 参考文献](#)
- [70. 謝辞](#)
- [71. 参考文献](#)
- [72. 謝辞](#)
- [73. 参考文献](#)
- [74. 謝辞](#)
- [75. 参考文献](#)
- [76. 謝辞](#)
- [77. 参考文献](#)
- [78. 謝辞](#)
- [79. 参考文献](#)
- [80. 謝辞](#)
- [81. 参考文献](#)
- [82. 謝辞](#)
- [83. 参考文献](#)
- [84. 謝辞](#)
- [85. 参考文献](#)
- [86. 謝辞](#)
- [87. 参考文献](#)
- [88. 謝辞](#)
- [89. 参考文献](#)
- [90. 謝辞](#)
- [91. 参考文献](#)
- [92. 謝辞](#)
- [93. 参考文献](#)
- [94. 謝辞](#)
- [95. 参考文献](#)
- [96. 謝辞](#)
- [97. 参考文献](#)
- [98. 謝辞](#)
- [99. 参考文献](#)
- [100. 謝辞](#)

11.1 CPPS 管理スコープと適用アプリケーション

次に前章で位置づけられた CPPS 管理スコープとは一体、どのようなものになるのかを検討する。CPPS 管理スコープはサイバーフィジカル・システムが提供する業務対応のアプリケーションが司る範囲であるので、本研究分科会の進め方であるバックキャストのアプローチを活用してその様態を明らかにしていく。つまり、このような活動を通じて、業務適用モデルに対応する管理スコープを定めていく。

第 5～7 章で説明したように、本研究分科会ではスマートマシン、サプライチェーン、ヒューマン・セントリックの観点から、CPPS の意義と共に業務的な活用モデルの検討を進めてきた。特にここでは、将来のモノづくりの様態として Type 0, Type 1, Type 2 の業態を想定したアプリケーションの姿を検討してきた。この検討結果を活用してどのような CPPS 管理スコープが考えられるかを議論した。

以下、本研究分科会での議論を通じて提案された CPPS 管理スコープを掲げる。

- ・ CPPS 管理スコープ 1 「CPPS によるカーシェアリングと CASE エコシステム」
- ・ CPPS 管理スコープ 2 「オープン設計情報の活用 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 3 「モノファンクションマシンを用いた加工機械構成とタスク割り当ての同時決定 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 4 「人材の多様性を考慮した人員配置 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 5 「商談情報リアルタイム共有（受注見込み・受注情報など）による、ロスゼロを目指す最適調達・最適生産 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 6 「最速生産を目指した CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 7 「サイバー空間での 5S 活動 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 8 「多点間結合プル生産方式 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 9 「工場全体リーン化のための工程間在庫圧縮制御 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 10 「多品種少量動的生産における標準在庫導出 CPPS」
- ・ CPPS 管理スコープ 11 「作業者疲労の変化に対応する生産計画の変更方式 CPPS」

ここで、CPPS で実現しようとするビジネスモデルと、そのサイバー上での管理内容を記述する CPPS 管理スコープを記述することは、サイバーフィジカルを活用した新しいビジネスモデル提案を表すことになるため、国際標準化の議論につながる内容を含む可能性がある。そこで、ビジネスモデルの記述方式は、日独国際標準の議論で共通言語として使われる Application Scenario を表現するための Usage Viewpoint（例：図 1 1 - 1（1））を基本として整理・記述するが、Usage Viewpoint の表現可能範囲に制約を受けて、提案すべきビジネスモデルが十分に表現できなくなることを避けるために、必ずしも Usage Viewpoint

に縛られないように自由に記述方式を拡張・変更しても良いものとした。そして、提案するビジネスモデルから、サイバー空間上に転写され、管理・引用する対象となるデータ範囲とフローを記述するものが CPPS 管理スコープであるため、表現形式も転写されたデータ（個物）を対象とした Usage Viewpoint 形式で表現した（例：図 1 1 - 1（2））。さらに、その CPPS 管理スコープがもたらす管理範囲（種類、時間、空間）の拡大の方向性を 3 軸グラフで記述することで、To-Be モデルとしての方向性を示すこととし、併せて、そのために必要な技術を整理した。

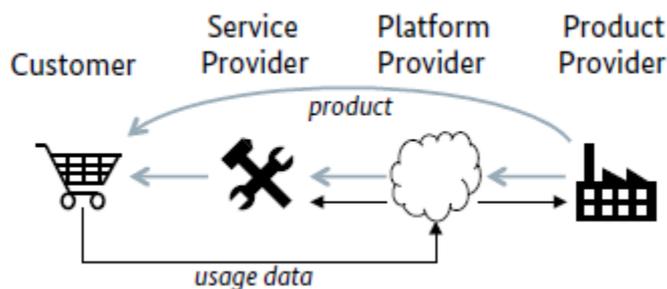


図 1 1 - 1 1（1） Usage Viewpoint の例

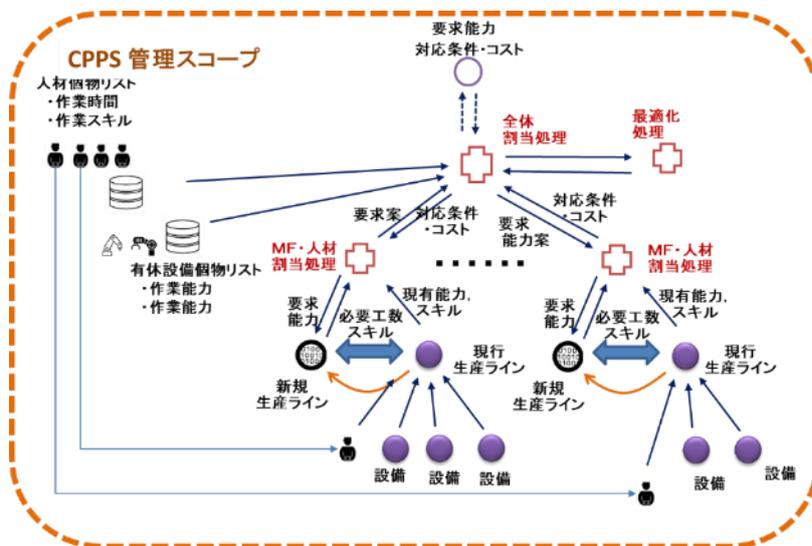


図 1 1 - 1 1（2） CPPS 管理スコープの記述例

以下に、上記に掲げたした CPPS 管理スコープのうち、CPPS 管理スコープ 1～6 に関して、次節以降に順次概説する。

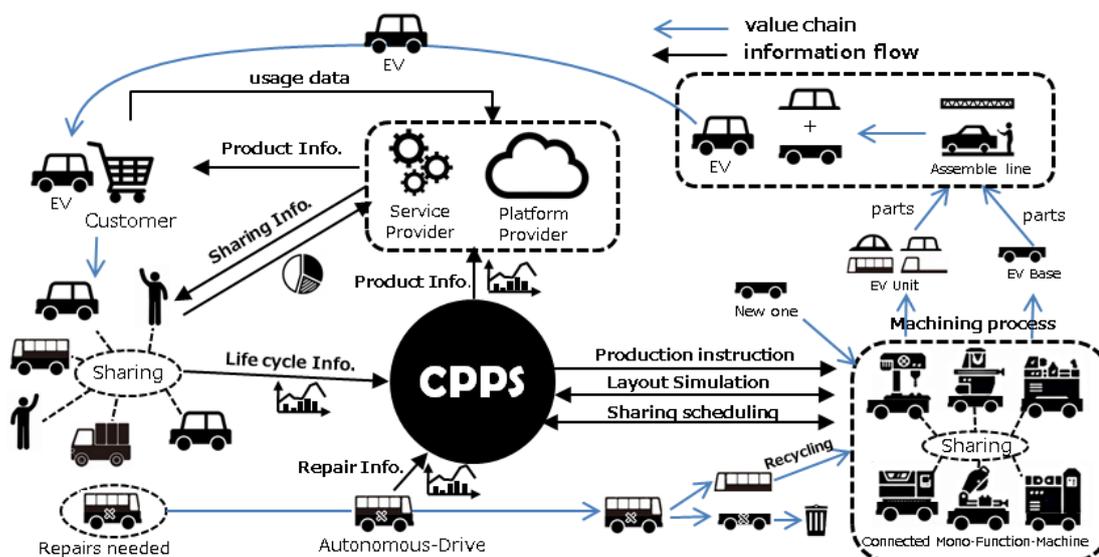
11.2 CPPS 管理スコープ1「CPPS によるカーシェアリングと CASE エコシステム」 担当 向井 康晴（株式会社ジェイテクト）

<業務適用モデル(アプリケーション)>

業務モデル（図 1 1 - 2（1））を提案する。2040 年ほとんどの車種では自動運転システムとなっており、カーシェアリングが一般に普及している前提でモデルを考える。車両が工場生産された後は、シェアリングサービスプロバイダーが提供するクラウドプラットフォームにレジストされ、常時、運行状態がモニタされる。利用者はサービスプロバイダーに手配依頼するとサービスプロバイダーが車両手配等を代行する。

一方、CPPS では、通常の生産計画と別に、クラウドプラットフォームに蓄積された車両のコンディション、ライフサイクル（経年変化）、シェアリング状態などを常時監視し、その需供バランスにシンクロしながら、生産計画情報が逐次決定される。また、経年劣化や故障、事故などにて運転継続が困難になりつつある車両は自律的にガレージファクトリーに向かい、修理情報を CPPS に送信する。

これらの情報より決定された生産計画に基づき、CPPS が行うファクトリーライン構成のフォアキャストスケジューリングにおいて、生産サイクルの数百倍のスピードでシミュレーションを回し、最適なライン構成を自律的に決定する。その後、常時モニタリングしている設備のシェアリング状態から、最も稼働率が低いかまたはゼロで、かつ最も近い機械に生産準備指令をポストする。指令を受けた機械は、自律的に集合し、他の機械とプラグアンドプレイで接続され、指示されたライン構成を迅速に構築する。



1 1 - 2 (1) 業務適用モデル (Usage View Point)

<CPSS 管理スコープのサブジェクト例>

上記業務モデルにおいて、CPSS 管理スコープが取り扱う CPSS 個物および、処理を図 1 1 - 2 (2) に示す。CPSS では、カーシェアリング社会において各車両の運行状態データやライフサイクルデータ、故障・異常データなどから、増減産判断、及び最適な生産指示予測が行われる。ここで生産指示パッケージが時々刻々と蓄積され、その蓄積の時系列に沿ったフォアキャストスケジューリングにより、スマートラインの最適構成シミュレーション、生産指示、製品調達指示がコンカレントに実行される。その指示に合わせ単機能マシン (Mono-Function Machine (以下、MF マシン)) の有機的結合が構築されることで、柔軟に生産ライン構成を更新する。完成品データは、シェアリング管理処理に通知され、シェアリングの需給バランスを安定化及び最適化する。

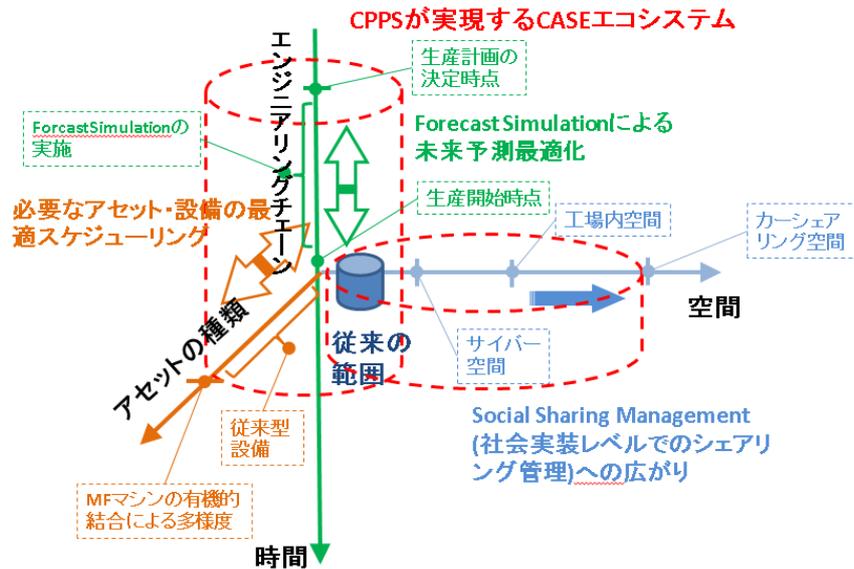


図 1 1 - 2 (3) CPPS 管理スコープの対象範囲の広がり

<結合・連携に必要な技術>

最後に、本管理スコープにおける結合・連携に必要な技術コンポーネントを図 1 1 - 2 (4) に示す。フォアキャストスケジューリングでは、AI を活用したシミュレーション技術、またフィジカル空間においては、MF マシンを構成するロボティクスやマシニング技術の高度最適化。さらに、広範なシェアリング社会実装においては、高速・ハイセキュアなネットワーク技術と自動運転車両による高度に連携したロジスティクス技術がキーテクノロジーになるとと思われる。

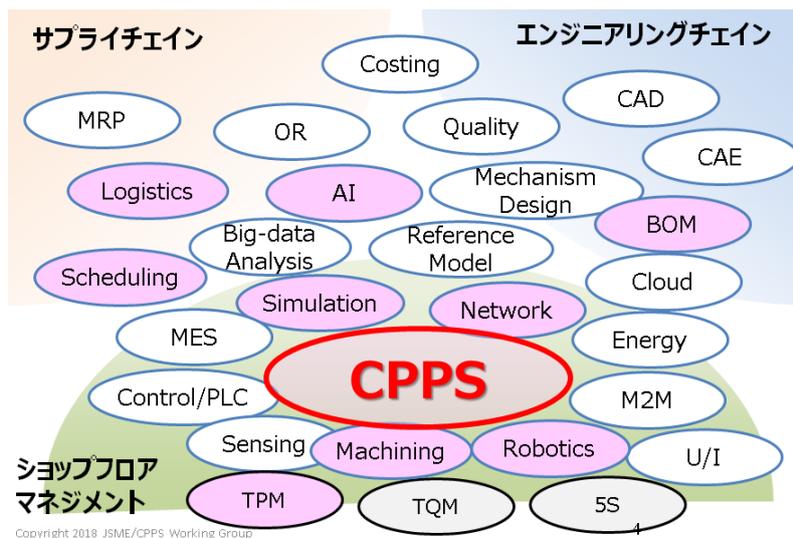


図 1 1 - 2 (4) CPPS 拡張モデルにおける
CPPS 管理スコープの結合・連携を実現する技術

11.3 CPPS 管理スコープ2「オープン設計情報の活用 CPPS」 担当 榎原 正（パナソニック株式会社）

<業務適用モデル(アプリケーション)>

提案する業務適用モデルの全体像を図11-3(1)に示す。EVのホイールデザインをWeb上でカスタマイズし、メーカーに発注するケースを想定する。AS-ISシナリオにおいてユーザーは製品オプションをカタログから複数案選択し、Web上のコンフィギュレーションソフト等で完成品イメージを確認した上で、予算、納期を勘案しメーカーに発注を行う。メーカーの受注管理システム上で承認された注文は最終仕様、価格、納期が確定され、個社もしくは関係会社のサプライチェーンを経て実際の車両へ取付けが行われる。納期も1~2週間程度必要である。

対してTO-BEシナリオでは、オープンな設計情報を流通させるプラットフォーム上でAIによるレコメンドや口コミ評価を基に、エンドユーザーがベースデザインを選択し、コミュニティ上でフルカスタマイズした製品をスマートマシンであるモノファンクションマシン群に発注するケースを想定する。本シナリオでは、所有するEVのホイールデザインに加えて構造設計をエンドユーザー自らがオープンコミュニティ上で実行することが可能となる。

第5章で述べたように、スマートマシンWGでは、オープンかつプライベート領域での商品設計、バーチャル試作、ミニファブリケーション市場が将来的に勃興するという仮説を置いており、この市場をCPG (Cyber Playground) と定義している。CPGはメイカーズムーブメントの延長線上に発展すると考えられ、3Dデータを当たり前のように扱う現在の若年層が、成人として労働市場に参入する2030年前後に急成長する市場と想定をしている。上記のTO-BEシナリオが実現された際には、CPGによるプロダクトデザインの活性化、生産プロセス全体のイノベーションの促進に加えて、工場へのダイレクト発注による業務プロセスの簡素化や納期の短縮、完成品在庫等の圧縮によるキャッシュフローの良化等の効果が期待できる。

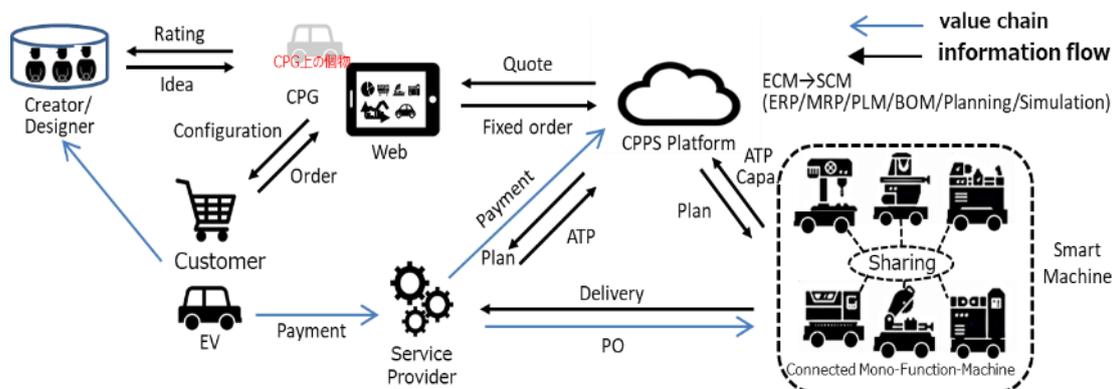


図 1 1 - 3 (1) 業務適用モデル (Usage View Point)

<CPPS 管理スコープのサブジェクト例>

図 1 1 - 3 (2) に、上記業務モデルにおいて、CPPS 管理スコープが取り扱う CPPS 個物および、処理を示す。CPPS の重要な役割は製品仕様決定と生産指示をデジタル化によってダイレクトに結びつけることにある。

エンドユーザが保有する EV の仕様は予め CPPS 個物として MyEV データベースに登録されており CPG 上に属性が集約された個物として実在する。EV の走行距離やメンテ状況、基幹部品の摩耗状況はセンシングにより都度自動で更新され同期化される。外観部品はセルロースナノファイバー等のリサイクル性に優れた材料の革新により、現在よりもはるかに安価かつ容易に着せ替えをすることが可能となる。

例えばホイールデザインは、コミュニティ上のデザイン Data WH から人気があるものを選択することや、クリエイターの提案を加える等の詳細なカスタマイズが可能となる。実在する EV との整合性を図るために、MyEV 属性データと、デザイン案とのマッチング計算が CPG 上で実行される。デザイン決定時には、強度計算がジェネレーティブデザインソフトウェアによって自動で行われ構造の最適化が行われる。ソフトウェア上で発注されたオーダーは CPPS プラットフォームとシステム上で連携し、要求品質や生産数、コスト、リソース状況、現在の稼働状況等を鑑みた MF アンサンブル (モノファンクションマシンの組み合わせ計画) が立案され、スマートマシンの構築指示が行われる。

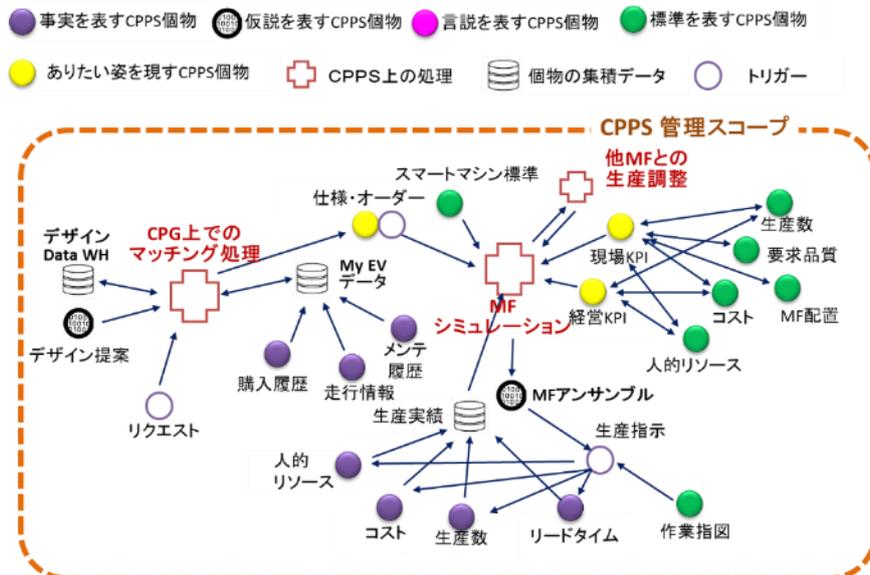


図 1 1 - 3 (2) CPPS 管理スコープのサブジェクト例

<スコープの広がり>

本業務モデルにおける CPPS 管理スコープの範囲拡大内容を図 1 1 - 3 (3) に示す。

- ・ エンジニアリングチェーン：CPG によるユーザーニーズの製品反映領域の深化、拡大
- ・ 空間軸：個社に閉じたクローズ領域からオープンコミュニティへの拡大
- ・ アセットの種類軸：対応可能な製品バラエティの増加

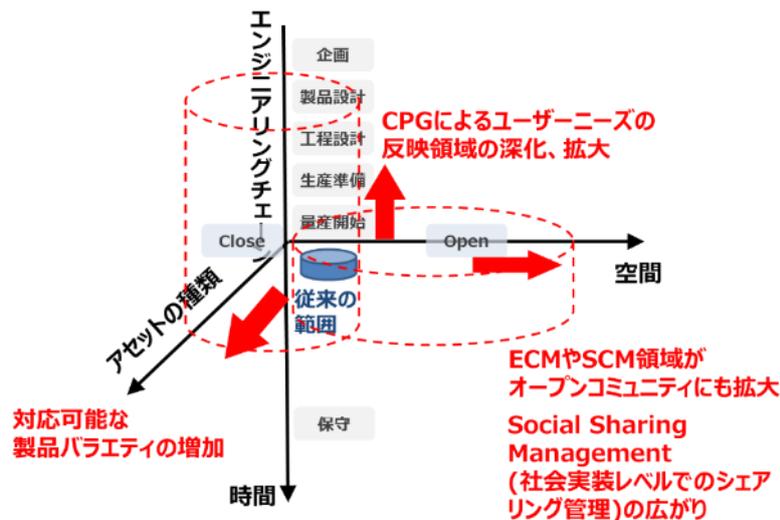


図 1 1 - 3 (3) CPPS 管理スコープの対象範囲の広がり

<結合・連携に必要な技術>

本 CPPS 管理スコープで結合・連携に必要な技術を図 1 1 - 3 (4) に示す。本 CPPS 管理スコープでは、バーチャルエンジニアリングとバーチャルマニュファクチャリングを実現する技術は当然のこととして、ロジスティクスやコストイング技術との連動、最適化シミュレーション、生産計画スケジューリング技術の革新が必要となる。

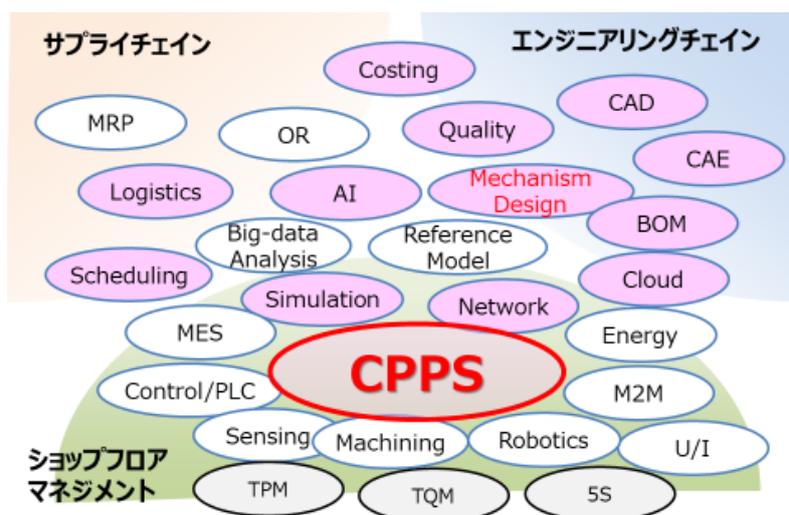


図 1 1 - 3 (4) CPPS 拡張モデルにおける
CPPS 管理スコープの結合・連携を実現する技術

11.4 CPPS 管理スコープ3

「モノファンクションマシンを用いた加工機械構成とタスク割り当ての同時決定」 担当 近藤 伸亮（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

<業務適用モデル(アプリケーション)>

提案する業務適用モデルの全体像を図 1 1 - 4 (1) に示す。モノファンクションマシン（以下、MF）を用いたCPPSを想定する。MFを用いた生産環境においては、地域内に分散して存在しているMFを、製品製造オーダーに合わせて、適宜、適切な製造拠点へと移送し、これらを組み合わせて（以下、MFを組み合わせた製造ラインをMFアンサンブルと呼ぶ）製造を行う。MFアンサンブル中の同一種類のMFの数量を増減することで、生産能力を調整し、顧客に近い拠点に立地することでタイムトゥーマーケットを短くし、試作製品については、オーダーの変更に応じたアジャイルな仕様変更、再設計を実現することができる。オーダーが終了すると、MFアンサンブルは解消され、次のオーダーに備えてスタンバイする。なお、オーダー実行中であっても、アイドル状態のMFは、他のオーダーに応じて、拠点を移動し、MFアンサンブルの組み替えをすることが可能である。このことから、適切に設計されたMFについては、高い稼働率を実現することができる。図 1 1 - 4 (1) にステークホルダ、CPPSプラットフォーム、システム構成要素間の中で流れる情報および価値の流れを示す。

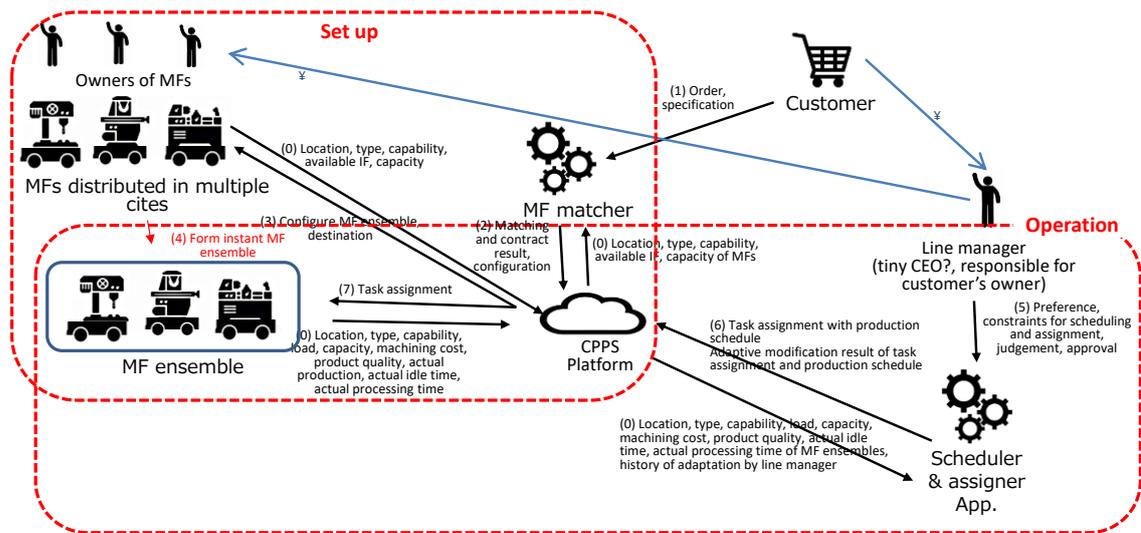


図 1 1 - 4 (1) 業務適用モデル (Usage View Point)

<CPPS 管理スコープのサブジェクト例>

図 1 1 - 4 (2) に CPPS 管理スコープ内での処理の流れを示す。製品発注を受け、MF の能力、実績、現在地などを考慮してどのような MF アンサンブルを、どこに形成すればよいかを決定する。次いで、MF アンサンブルへタスクを割り当て、スケジュールを決定する。さらに割り当てられたタスク、スケジュールを稼働実績と比較し、熟練技術者が過去に行ったタスク割り当て、スケジュール修正の履歴から抽出したルールを用いて、MF アンサンブルの構成、タスク割り当て、スケジュールリングを適応的に修正する。

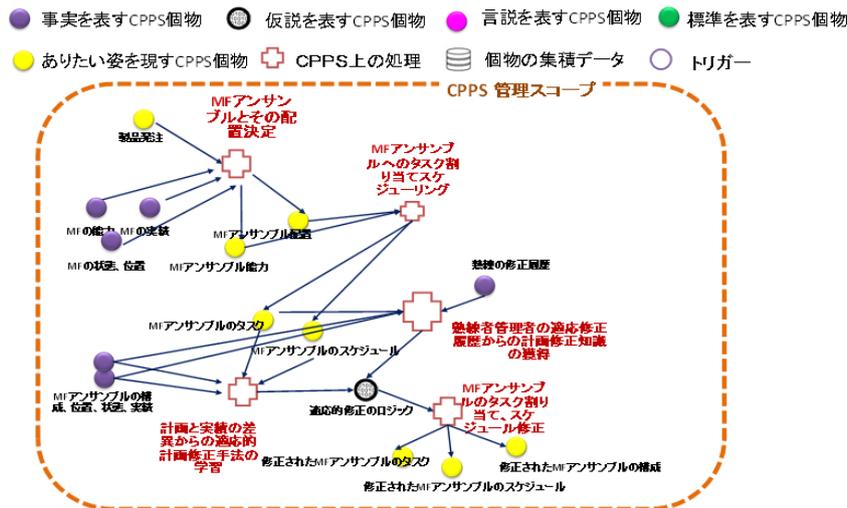


図 1 1 - 4 (2) CPPS 管理スコープのサブジェクト例

<スコープの広がり>

CPPS 管理スコープの対象範囲の広がりについて図 1 1-4 (3) に示す。MF を導入することで、生産準備と、生産実行の二つが、オーダー毎に最適化されることになるので(図 11. 4. 1 の左上側、下側の破線で囲われた部分がそれぞれ該当)、対象となるエンジニアリングチェーンは生産準備から生産実行に至る範囲まで拡大する。利用可能な MF は一工場、一企業に所有されているものに限定されない。このことから、空間的に広い範囲に対して、適切な製造拠点立地を考えることが可能となる。MF そのものは、単機能的な製造設備であるが、これらの組み合わせとして、多様な製造能力を実現する。このことから、一つの MF の振る舞いに加え、MF が組み合わさった場合の振る舞いを理解することが重要となり、管理スコープはアセット種類方向についても拡大される。

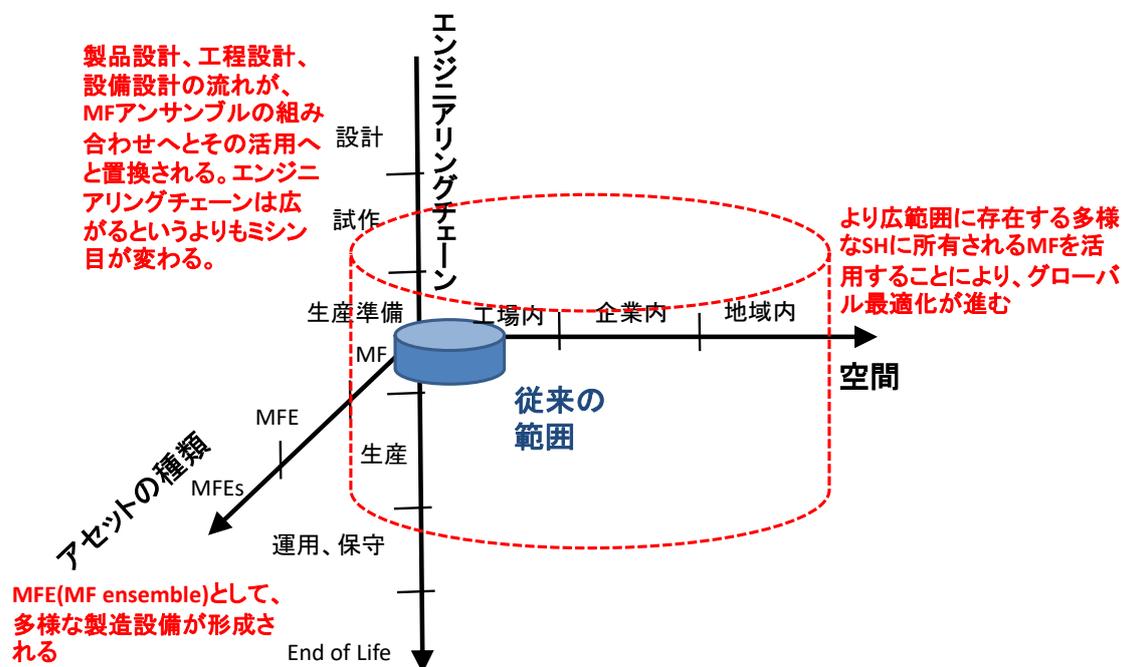


図 1 1-4 (3) CPPS 管理スコープの対象範囲の広がり

<結合・連携に必要な技術>

次に、本 CPPS 管理スコープで結合・連携に必要な技術を図 1 1-4 (4) に示す。本 CPPS 管理スコープでは、生産準備、生産実行の両方を適切に実行することが必要となるので、サプライチェーン、ショップフロアマネジメント、エンジニアリングチェーンの 3 象限にわたる技術が必要となる。なかでも、図 11. 4. 4 において黄色く着色した技術開発が重要となる。

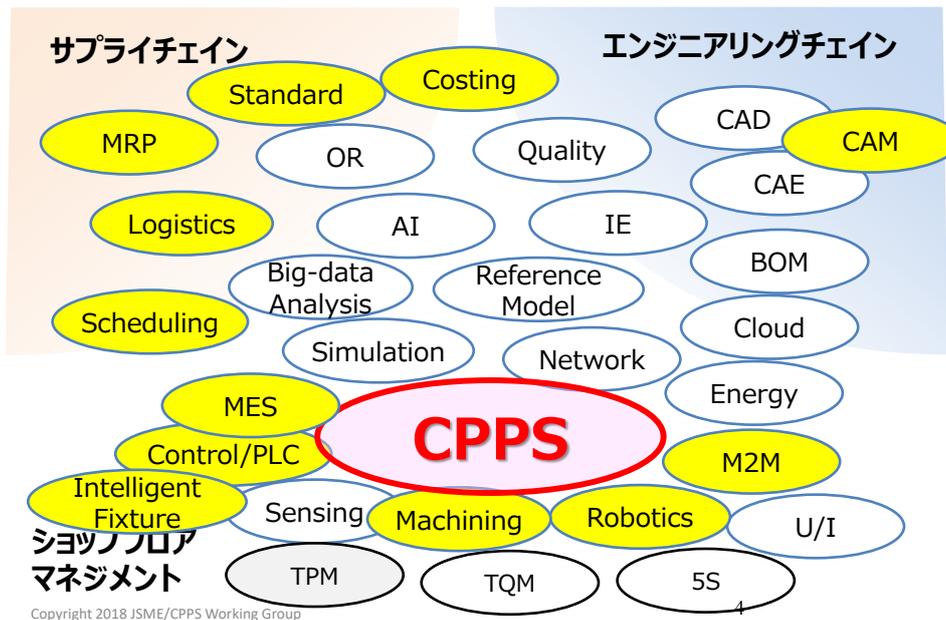


図 1 1 - 4 (4) CPPS 拡張モデルにおける
CPPS 管理スコープの結合・連携を実現する技術

11.5 CPPS 管理スコープ4「人材の多様性を考慮した人員配置 CPPS」 担当 下村 賢司（矢崎総業株式会社）

<業務適用モデル(アプリケーション)>

提案する業務適用モデルの全体像を図 1 1 - 5 (1) に示す。少子高齢化、外国人労働者の増加を例とする、労働環境、国際環境の変化に伴い、人材の多様な雇用形態の実現とそれを考慮した労働力の確保が必要となってくることを想定した。作業員による組立を行う生産ラインにおいては、作業員のアサインは多様化、多国籍化し、さまざまな国、年齢、宗教の作業員が一つのラインで生産に従事することが考えられる。そのようなラインに対して CPPS は多様な作業員個々に適した作業指示を伝達し、同時に生産性の確保も実現するための人員配置、作業編成の最適化を行う。

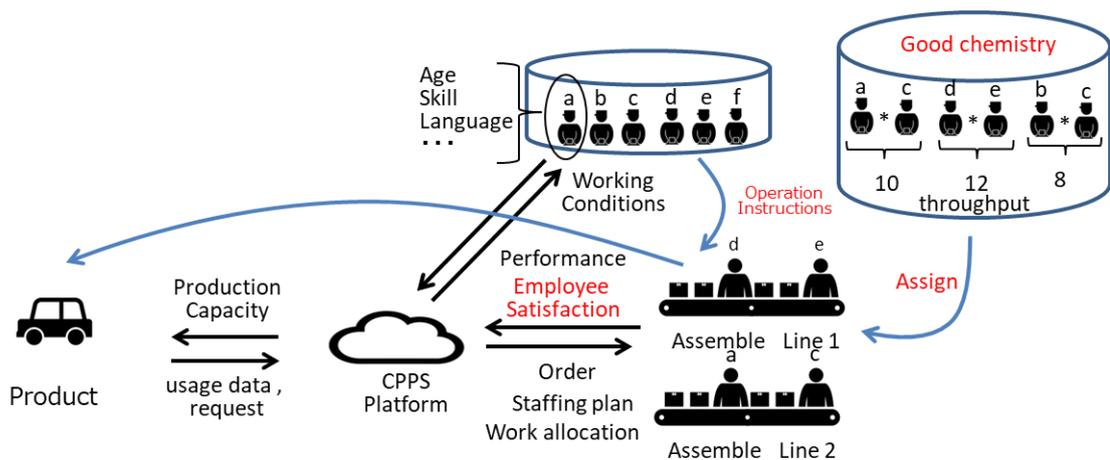


図 1 1 - 5 (1) 業務適用モデル (Usage View Point)

<CPPS 管理スコープのサブジェクト例>

図 1 1 - 5 (2) に、上記業務モデルにおいて CPPS 管理スコープが取り扱う CPPS 個物および、処理を示す。CPPS では、市場からの QCD 要求を踏まえた経営、現場の KPI をありたい姿として設定する。一方で、保有している人員で構成する生産ラインを CPPS 内で仮説を立てる。仮説を立てた生産ラインから導く KPI とありたい姿で設定した KPI の差が最小となる人員配置、作業配分をシミュレーションにて求める。求めた人員配置に対して、音声、映像、および文書といった作業指示の伝達方法を、各作業者が受け取りやすい方式で伝達できるよう、作業指示情報を生成する。生産時には、各作業者の作業に要した時間だけでなく、例えば、心拍を例とする身体データを収集し、そのデータから作業者の疲労度合の把握、それに伴う安全衛生の管理を行う。さらには、協働作業における作業者の組み合わせによる生産能力の違いや、各作業者の仕事に対する満足度をデータとして収集し、これらのデータを人員配置、作業配分の最適化に利用する。

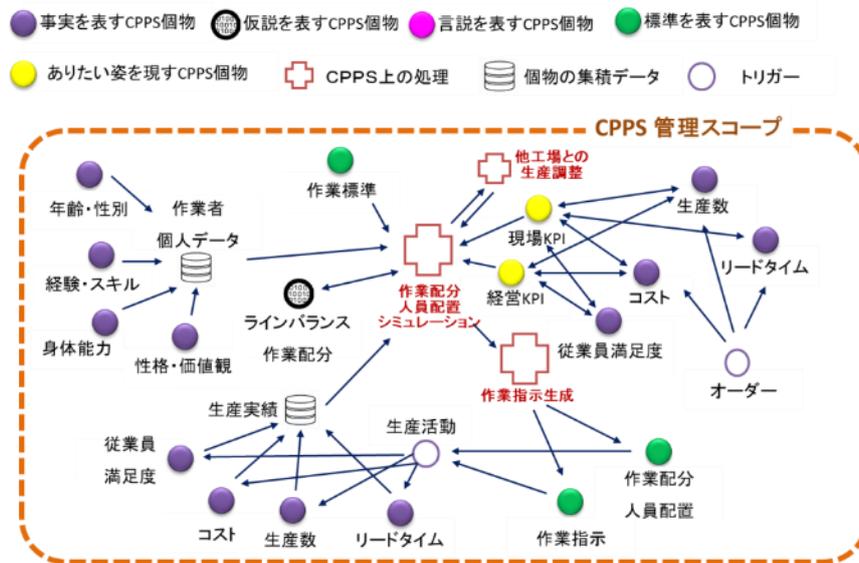


図 1 1 - 5 (2) CPPS 管理スコープのサブジェクト例

<スコープの広がり>

本業務モデルにおける CPPS 管理スコープは、量産以降の複数の作業員によるライン生産を対象とし、作業員の適切な配置と作業配分の最適化、および、各作業員に適した作業指示の伝達を行うものである。従来の熟練した作業員に対する、教育を受けた生産ラインに限定した人員編成だけでなく、複数の生産ラインをまたがる人員編成や熟練度を考慮した人員の配置を行えるよう人員管理の範囲を拡大していく CPPS 管理スコープである。具体的な範囲拡大内容について図 1 1 - 5 (3) を示しながら説明する。

- ・ 空間軸 (人員を編成する範囲の拡大)
 限定されたライン内での人員編成～ライン間をまたぐ幅広い範囲での人員編成の実現
- ・ アセットの種類軸 (アサインする人員の多様化)
 熟練作業員のみ～習熟度、年齢、国籍を制限しない混成ラインの実現

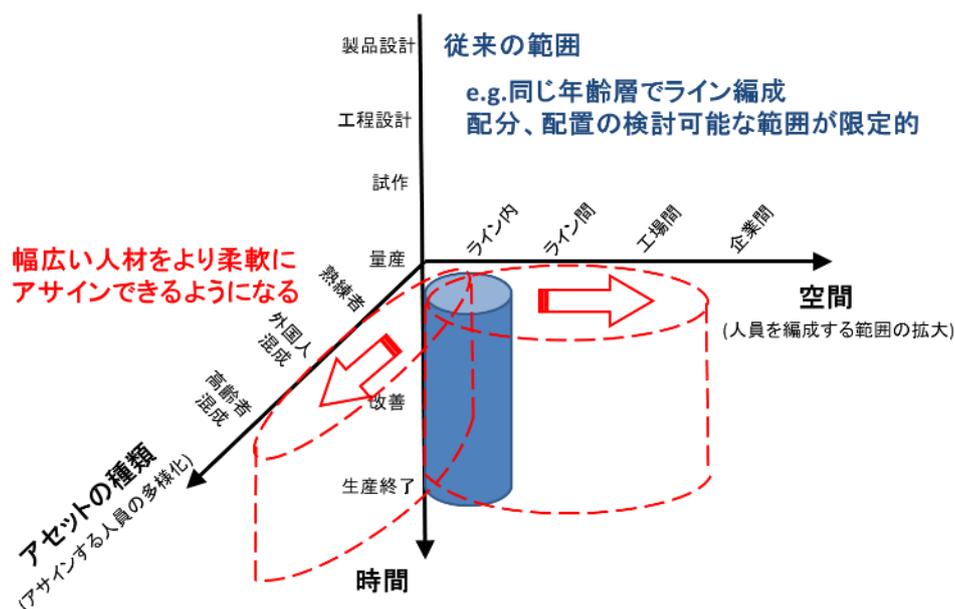


図 1 1 - 5 (3) CPPS 管理スコープの対象範囲の広がり

<結合・連携に必要な技術>

次に、本 CPPS 管理スコープで結合・連携に必要な技術を図 1 1 - 5 (4) に示す。本 CPPS 管理スコープでは、作業配分、および人員の最適化を行うための、シミュレーション技術、および最適化技術が軸となる必要技術である。また、本 CPPS 管理スコープにおける活動の中心はヒトである。よって、機械のセンシングと同様に、ヒトのセンシングが必要な技術の一つとなる。これは、作業の実績だけでなく、作業者の心拍等ヘルスケアデータのセンシングが必要となる。さらには感情といった、メンタルに関するデータも対象になってくるであろう。

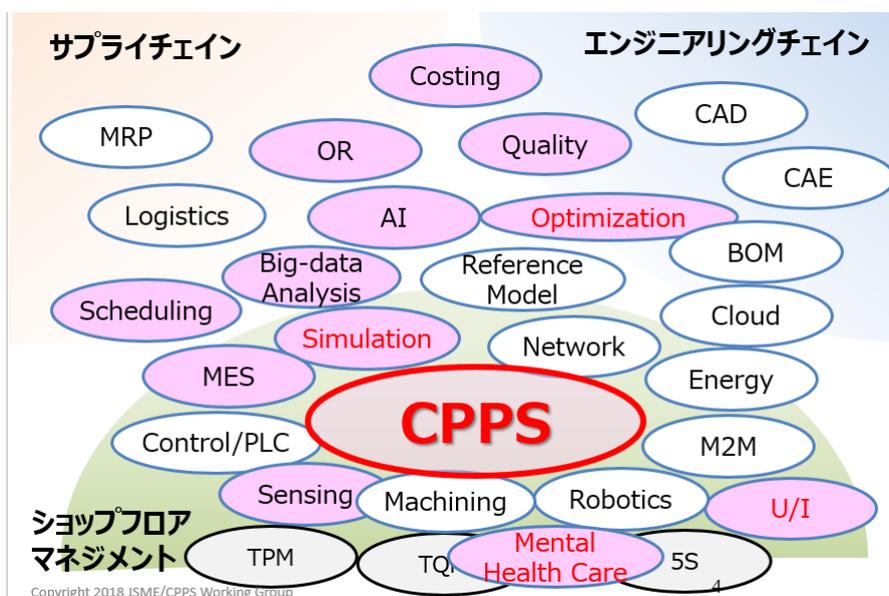


図 1 1 - 5 (4) CPPS 拡張モデルにおける
CPPS 管理スコープの結合・連携を実現する技術

11. 6 CPPS 管理スコープ5「商談情報リアルタイム共有(受注見込み・受注情報など)による、ロスゼロを目指す最適調達・最適生産 CPPS」 担当 杉浦 純一(横河マニュファクチャリング株式会社)

<業務適用モデル(アプリケーション)>

提案する業務適用モデルの全体像を図 1 1 - 6 (1) に示す。多くの産業において、デジタル支援により、お客様との商談状況・内容が情報収集されているが、十分な情報ではなく、営業部門、調達部門、生産部門、サプライヤーごとに情報端末を用いているものの、リアルタイム性と情報共有度合いに欠けているケースがある。

そのため、スピーディーに調達・生産のアクションがスタートできなく、無駄な調達・生産及び納期に時間がかかっている現状がある。

そこで、全ての産業において、デジタル支援により、お客様との商談状況・内容が情報収集され、分析・解析された情報が、受注予測情報として、調達部門と生産部門にリアルタイムで共有され、スピーディーに調達・生産のアクションがスタートし、最適な調達・生産・納入が行われる CPPS である。

提案する業務適用モデルの全体像を図 1 1 - 6 (1) に示す。複数の CPPS が協調・連携することで、営業・サプライヤー・調達・生産、それぞれの活動の最適化が実現され、結果、

グローバルで一元化された CPPS により、ロスゼロの調達・生産・納入が可能となるモデルである。

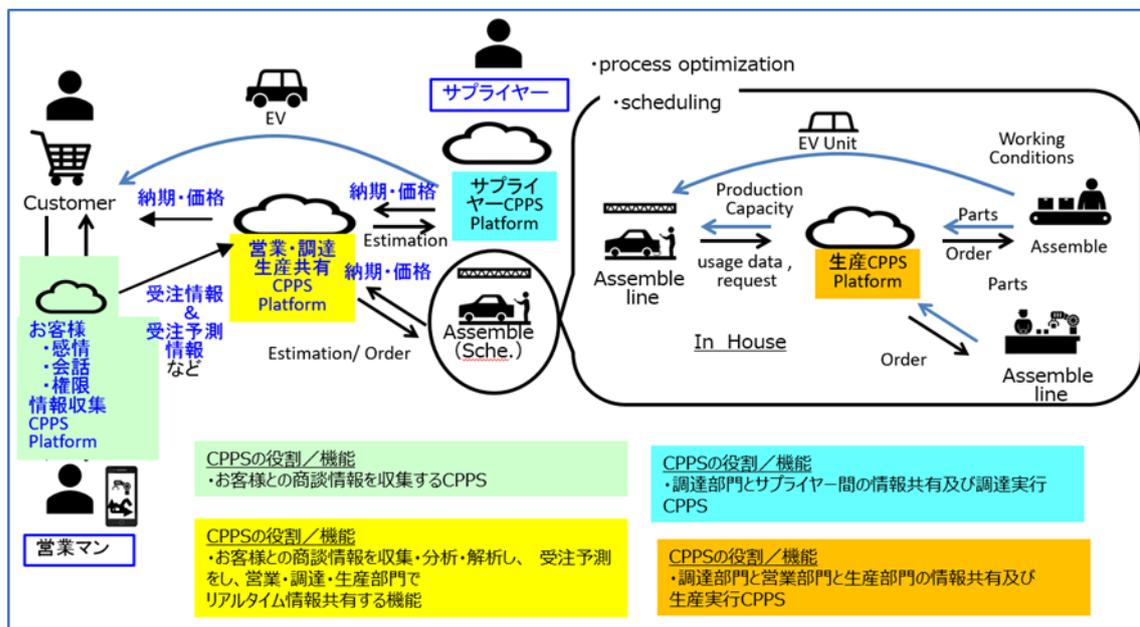


図 1 1 - 6 (1) 業務適用モデル (Usage View Point)

<CPPS 管理スコープのサブジェクト例>

図 1 1 - 6 (2) に、上記業務モデルにおいて、CPPS 管理スコープが取り扱う CPPS 個物および、処理を示す。CPPS は、①商談中のお客様情報を収集・処理する CPPS ②営業、調達部門、生産部門間で情報共有・処理する CPPS ③生産ラインの必要情報を収集・処理する CPPS ④サプライヤーの情報を収集・処理する CPPS の 4 つの CPPS が協調・連携する、マルチ CPPS である。お客様との商談中に収集する情報として、お客様の感情、会話、権限、履歴などを収集し、受注した案件情報だけでなく、受注しそうな案件情報を、「受注予測情報」として、営業部門、生産部門、調達部門で共有し、必要な時、必要な量だけ、調達・生産をすることで、ロスゼロを実現する高度な CPPS 管理スコープのサブジェクト例である。

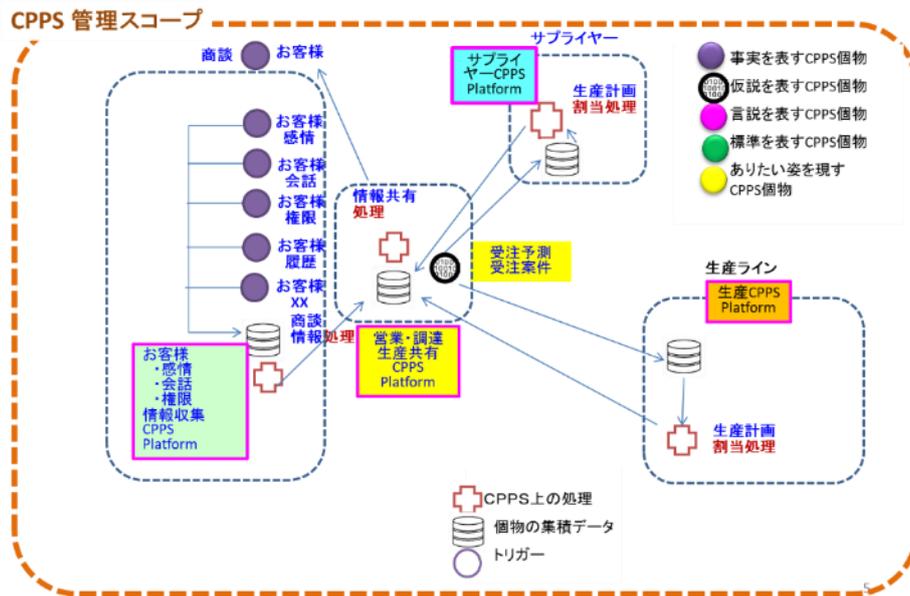


図 1 1 - 6 (2) CPPS 管理スコープのサブジェクト例

<スコープの広がり>

本業務モデルにおける CPPS 管理スコープは、自社工場の生産現場で情報共有がされている状況を「従来の範囲」とした時、サプライチェーン上にある、グループ会社、さらに、サプライヤーまでスコープ範囲を拡大するとともに、エンジニアリングチェーン上の上流で、最適な生産ラインを構築するとともに、調達、生産を計画・実行し、お客様が求めるタイミングで納入を実現するスコープまで一元化されたスコープとしている。

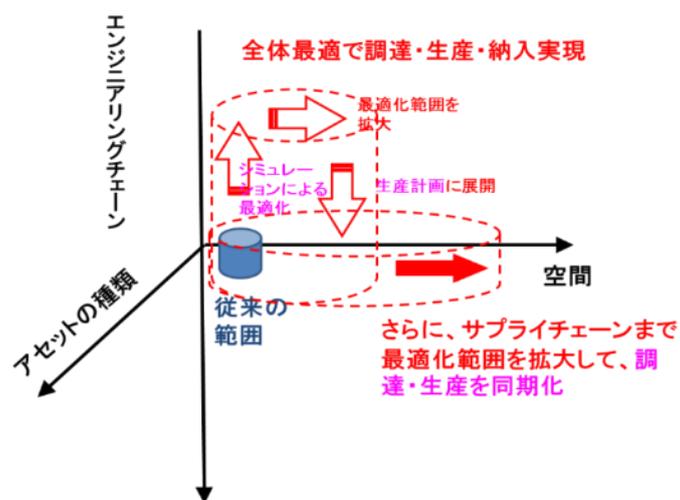


図 1 1 - 6 (3) CPPS 管理スコープの対象範囲の広がり k

<結合・連携に必要な技術>

次に、本 CPPS 管理スコープで結合・連携に必要な技術を図 1 1 - 6 (4) に示す。重要な技術は、受注予測をするための情報収集技術と予測をする技術である。受注予測をするための情報は、お客様の感情や会話などからの各種情報だけでなく、外部環境、例えば、株式市場等の情報も必要となるかもしれない。これら多種多様な情報から予測した受注予測情報に基づき、サプライチェーン上、トータルで、かつ、リアルタイムに最適な調達、生産、納入を最適化する技術も重要となってくる。

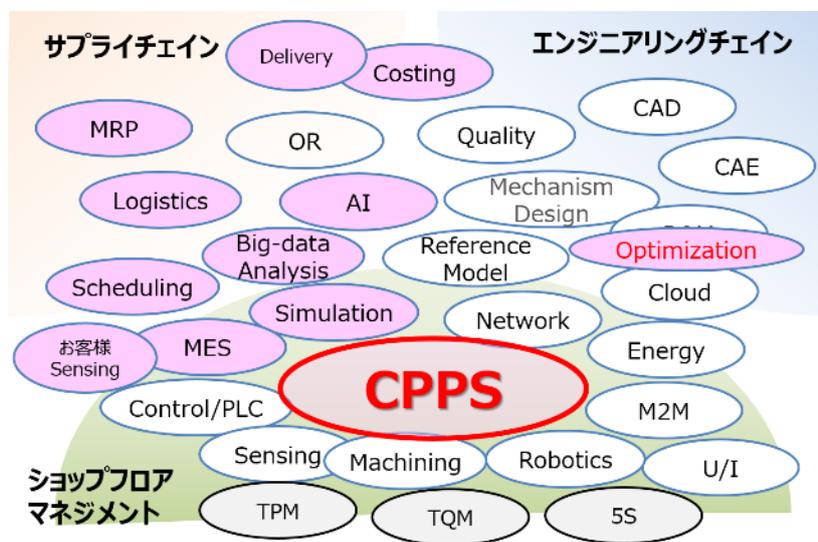


図 1 1 - 6 (4) CPPS 拡張モデルにおける
CPPS 管理スコープの結合・連携を実現する技術

11.7 管理スコープ6「最速生産を目指した CPPS」 担当 杉本 隆(パナソニック株式会社)

<業務適用モデル(アプリケーション)>

提案する業務適用モデルの全体像を図 1 1 - 7 (1) に示す。経済成長に伴う製品の大量生産時代から経済成熟に伴う製品の多様化による多品種変量生産の環境を想定している。製品及び製造の環境は、TYPE1、TYPE2 を対象とした。

近年、多品種変量生産の需要増加、市場競争の激化、企業の社会的環境配慮などに伴い、

TYPE1、TYPE 2 の製品開発や製造の環境では、企業利益向上の為、活動拠点の前線化（市場に近い場所で開発製造）、開発・製造リードタイムの短縮、環境配慮を含めた製造コスト低減が求められている。これら開発・製造環境をコスト抑制しながら最適化していくためには、都度変化する開発・生産状況を短時間且つ、多頻度に把握し、最適化を求める業務を持続的に進めなければならない。

このような開発・製造環境を実現する為、「ヒトによる演算では時間がかかる」「ヒトの思考、想像を超えた演算処理」が求められると考え、CPPS を用いた業務モデルを検討した（図 1 1 - 7 （ 1 ））。以下に CPPS 管理スコープ「最速生産を目指した CPPS」を述べる。

Case : 最速生産を目指した C P P S

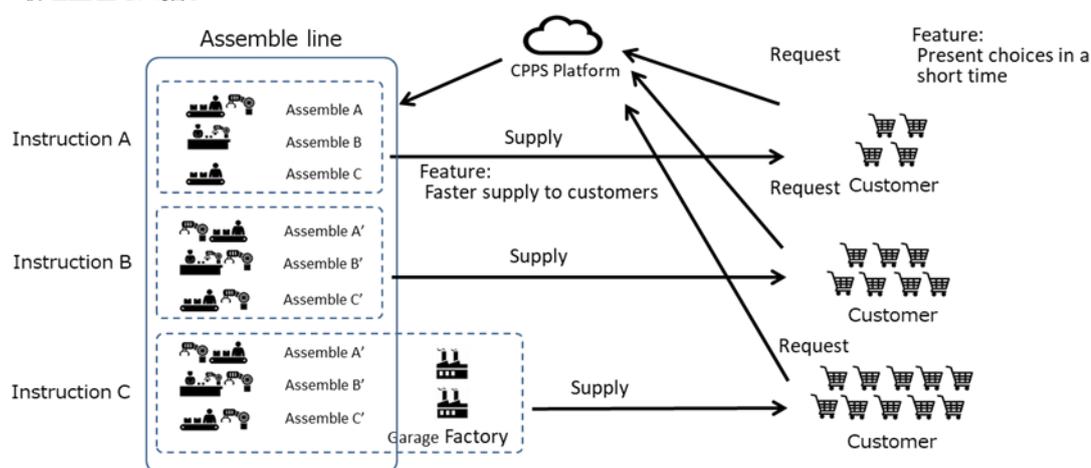


図 1 1 - 7 （ 1 ） 業務適用モデル

<CPPS 管理スコープのサブジェクト例>

多品種変量生産における生産量の最大化を目論んだ、「最速生産を目指した CPPS」では、顧客より注文を受けた後、顧客要求を最大化する為、CPPS 個物を段階的にシミュレーションしていく。段階的シミュレーションとは、第 1 段階で企業内の生産ラインの範囲で最適な生産計画を提示（スケジューラーで既存技術）する。この場合、生産設備の移動変更は発生しない。第 2 段階では、企業内の生産設備組合せ変更で、生産を最大化するシミュレーションを行い最適な生産計画及び、最適な設備組合せ（レイアウト）を提示する。第 3 段階では、社外に範囲を拡大し、生産を最大化するシミュレーションを行い、最適な生産計画、最適な設備組合せ、最適な生産拠点提示する。これらの結果を、ヒトが顧客要求、利益、社会課題（電力、輸送燃料など環境配慮）の視点で、提示されたシミュレーション結果を選択し意思決定する（図 1 1 - 7 （ 2 ））。

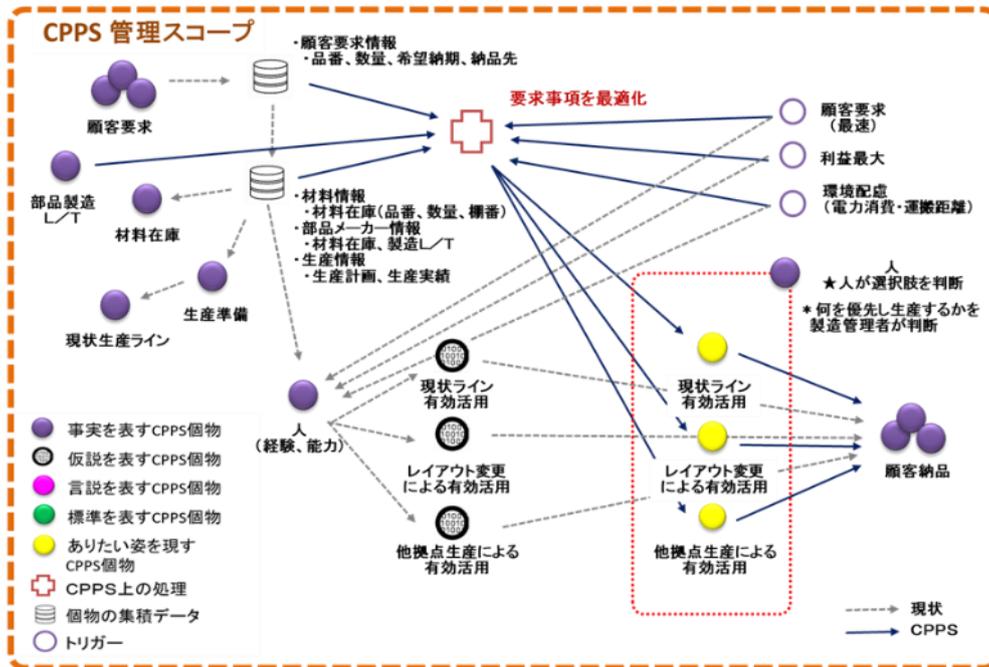


図 1 1 - 7 (2) 最速生産を目指した CPPS

<スコープの広がり>

本業務モデルに於けるスコープの単位は、アセットの種類を「生産設備」、時間軸を「生産可能時間」、空間を「生産リードタイム、顧客要求」とした。「生産設備」では、企業内生産ライン・設備から企業外（他社や地域）の生産ライン、設備へと選択肢が拡大する。「生産可能時間」では、生産できる品種数が生産設備の選択肢拡大により増加する。「生産リードタイム、顧客要求」では、生産方法、手段を最短で提示することにより意思決定が速くなる（図 1 1 - 7 (3)）。

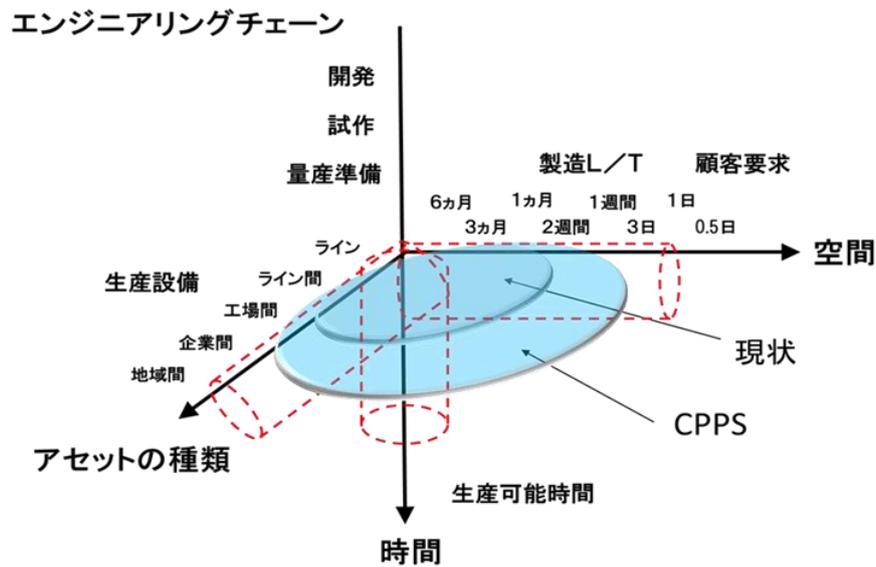


図 1 1 - 7 (3) CPSS 管理スコープの対象範囲の広がり

<結合・連携に必要な技術>

本管理スコープの結合・連結に必要な技術は、サプライチェーン技術では、MRP、Scheduling、AI、エンジニアリングチェーン技術では、Costing、IE、ショップフロアマネジメント技術では、MES、Network、Control/PLC、Sensing、Machining、Energy が関連深い。Machining、Sensing 技術と Energy 技術の結合・連携は近年盛んであるが、サプライチェーン系技術と Energy 技術の結合・連携は今後、期待される技術である (図 1 1 - 7 (4))。

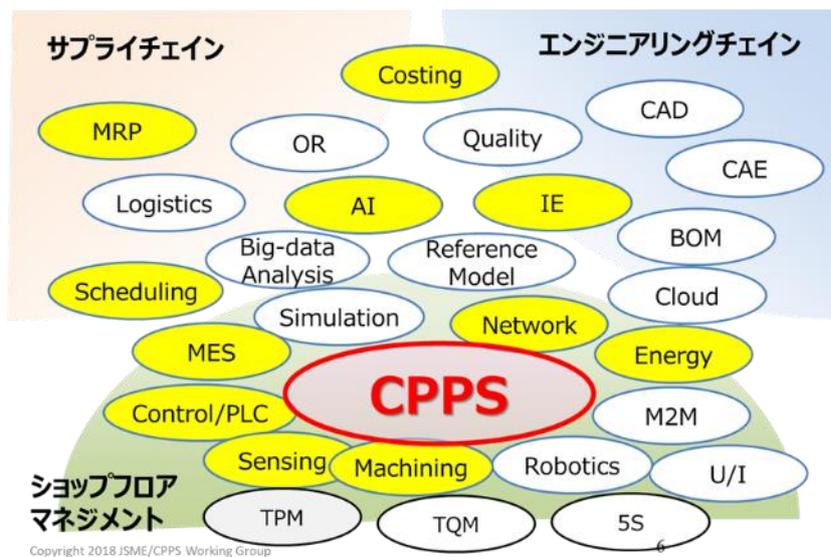


図 1 1 - 7 (4) CPSS 拡張モデルにおける CPSS 管理スコープの結合・連携を実現する技術

12.1 個物の識別と標準化、検索

管理スコープで様々な個物の情報を紐づけ制御や最適化などに活用するが、管理対象の広がりに応じてサイバー上での個物の識別性が懸念される。臨機応変に広がる可能性を持つ管理スコープにおいて、将来においても識別性を確保するためには、サイバー上でも存在の唯一性を確保できる ID の割振りが必要となる。このことは IoT が抱えている課題と同じく、扱う対象が広く、且つ細くなるほど、全てのモノ（個物）に唯一の ID を割り付けることが難しくなる。特に、CPPS においては、現状の個物だけでなく、同一個物の時間軸上の差異、状態の差異なども異なる個物と識別することが必要になるとすると、IoT 以上に難しくなる。さらには、個別だけでなく、データ、情報にも唯一性を確保する ID を割り当てるとなると、必要な ID 数は爆発する。

また、製造－販売後のサービス、トレーサビリティのためには、その個物がなくなるまで ID を確保することが求められる。30 年前の自動車を見かけることは珍しくないし、100 年以上の歴史がある建造物もあり、それらの ID 管理も必要となるだろう。個物を識別する ID の維持や更新、忘却（破棄）も難しい課題となる。また、製造側からすると、稼働率が低くなった設備の部分廃棄、有休設備の再利用、設備部品の再利用や改造などを考えた場合にも属性データの管理とともに対応が求められる。

一般的に、個物の ID とそこに紐づける属性データに関しては、将来の使われ方を見越して定義する必要があるが、将来、どのようなデータがどのような詳細度で必要かはわからないことが一般的であり、データの定義も標準化を伴う難しい課題となる。技術進歩により今まで見えなかったものが見えるようになり、全く新しい KPI のためのデータが必要になるかもしれない。しかしながら、対応したデータがなく新たに作り直すということは良くある話である。

一方、管理スコープが広がるとしても、それぞれの管理スコープが地球の裏側の個物まで管理範囲となることは将来にわたってもないと考えれば、唯一性確保までは必要なく、個々の管理スコープ内での識別性さえ確保できれば良いとも考えられる。地理的とサプライチェーン上での距離が離れるほど、CPPS における意思決定、最適化、制御への影響力は小さくなるため、CPPS の目的達成の観点からは範囲を限定しても良く、予め決められた範囲内のみ相対的な距離（地理的距離、サプライチェーン・ネットワーク上の隔たり）を表す情報を付加した ID を割り当てる方法も考えられる。

以上のように、個物の ID 管理が抱える課題に対応し、その ID、および ID に紐づく属性データを誰がどこで、どれくらいの期間、どのようなフォーマットで管理し、責任を持つかが大きな課題である。特に、部品単位で ID 管理を行う場合、その ID を部品メーカーと完成品メーカーの両方で ID の整合を取った上で重複管理することになると想像される。その場合、部品の改良等、どこまで管理するかが課題となる。製造業においては、製造責任をきちんと

実施するため、製造メーカーが個物の ID と属性データを管理することが必須だが、対象製品のリサイクル、リユース後も追跡して ID と属性データを管理するとなると、かなり大変である。また、部位品単位でリサイクルされる場合、データ管理責任をどこまで課すかが難しい。特に、管理されたデータの信頼性担保、改ざんなし証明、セキュリティなど解決しなければならないことが多く、暗号化技術に加え、ブロックチェーンやスマートコントラクトなどのシステム技術、メカニズムデザインやコンセンサスアルゴリズム等の制度設計技術など、今後の研究進捗に期待したい。

12.2 シミュレーション

CPPS 上で意思決定を行うために、様々なシミュレーションの可能性が考えられる。生産ラインシミュレーションのように、生産量や稼働率などを事前評価するシミュレーションや、エネルギーシミュレーション、干渉の有無を確認するためのシミュレーション、作業性やメンテナンス性を確認するシミュレーション、ロボットの動作やエアカット時間を確認するシミュレーション、コスト予測するシミュレーションなど様々である。従来、限られた CPU 能力の下、早く予測するため、目的に合った最低限度のモデル化を行ってきた。そのため、生産量を評価するシミュレーションとエネルギー消費を評価するシミュレーションでは必要なモデルの内容や詳細度が異なる。そのため、CPPS で何を評価するたびに必要な詳細度のモデルを集めてシミュレーションを実行し直すか、もしくは、予想される評価項目を全て組み込んだ最も詳細なモデルで汎用シミュレーションを行うかが問題となる。但し、後者の汎用シミュレーションに関しては、モデル対象とする個物の詳細レベル（工場レベル～設備レベル～アクチュエータ/デバイスレベル）に関しては詳細な評価を行う可能性を考慮して最も細かいレベルで表現することになり、また、シミュレーションの時間刻みに関しても、生産量や稼働率評価に必要なイベント（事象）毎に捉えるものから、連続系シミュレーションのように、微小時間毎に評価するシミュレーションもある。後者の汎用シミュレーションの場合、最も細かいサンプリング時間でシミュレーションを行うとすると、結果的に最も細かいレベルの連続系シミュレーションを行うこととなり、実機よりも遅くなる可能性が生じるだけでなく、計算リソースとしてもムダが多い。2040 年には、計算リソースのムダが気にならないほど、さらに CPU とメモリが発展していることも考えられるが、計算に必要なエネルギー視点からもムダは減らすべきと考えられる。

一方、前者だとすると、必要な目的が発生するたびに、必要な詳細度のモデルを集めてシミュレーションを行うことになるが、管理スコープの範囲が拡大するにつれて、再シミュレーションが大変になる。また、他社の CPPS からシミュレーション結果のみを参照しようとする場合、そのシミュレーション内容との整合確認、速度の違うシミュレーションどうしの

融合などが課題となる。シミュレーション内容の整合確認については、目的別にリファレンスモデルを設定するなどシミュレーションモデルの標準化が解決策になる。また、速度の違うシミュレーションも含めたシミュレーション間の連携に関しては、イベントシミュレーションであれば、2000年当時、アメリカ NIST が中心で研究した HLA (High Level Architecture) が参考になる。イベントシミュレーションと設備連続動作のシミュレーションの場合はより時間刻みが小さい方のシミュレーションの挙動データをタグ付けデータとして受け取り、期間刻みが大きい方のシミュレーションでデータを取捨選択する仕組みが必要である。勿論、タグの意味付けについては予め標準化しておく必要がある。

12.3 AI、および周辺技術に関する課題

CPPS の発展と同時に AI の活用にも大きな期待がある。両者とも共存できるもので、CPPS と AI の融合による新しい価値創造に期待が持てる。一方、AI には学習がつきものであり、大量データから学習する AI には期待ができるが、内部処理がブラックボックス化されるため、エンジニアが理解して、それを超える創造的な活動に役立てるには難しい。特に、AI のフレーム問題が解決されない限り、競争の土俵変えのような新しいビジネスや製品を創造することは AI には難しく、全てが均一化していく懸念がある。ビジネス競争の土俵変えはヒトの役割だとしても、それを AI の既存フレームに無矛盾で追加することも現状の技術では困難である。

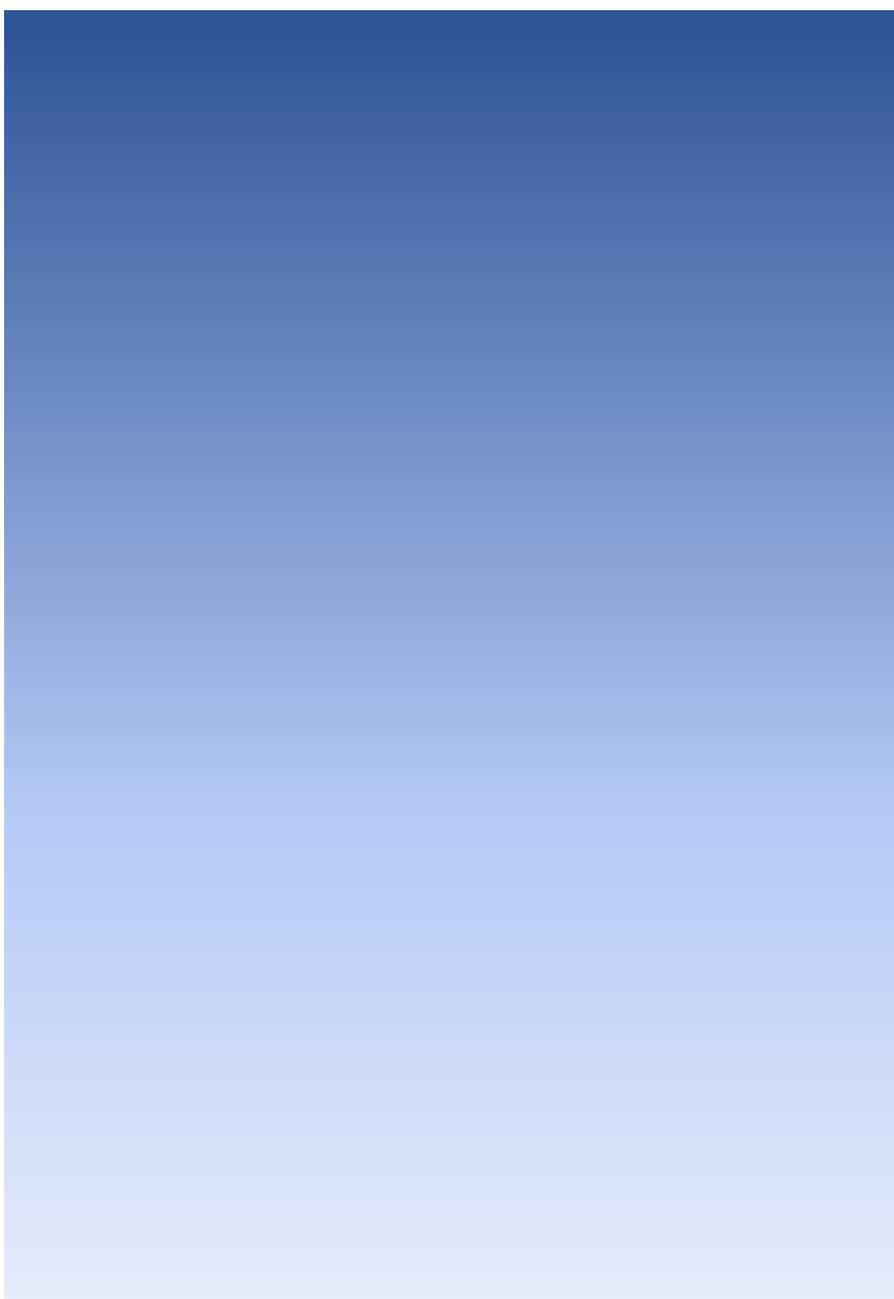
また、AI の追加により処理のブラックボックス化が進み、説明性や納得性、および責任についても大きな課題となる。必ずしも AI だけの問題ではなく、機械学習をはじめとしたビッグデータ処理技術や最適化処理技術、制御技術など CPPS が判断した結果に対する理解に関しても同様である。より最適性を求めるにつれ、管理スコープが広がり大量な個物やデータを管理・処理し複雑な計算を繰り返すという流れの中で、とうとうヒトの理解範囲を越え、説明性が難しくなる。CPPS/AI は間違えないという暗黙の了解が得られるかが大事である。CPPS/AI が間違えないかという点について、一般的に CPPS に用いる AI や最適化アルゴリズムは定評があるものが用いられることになると思われるため、データと条件さえしっかりしたものを与えれば、確実な解を算出すると考えられる。しかしながら、間違ったデータや不適切なデータ、意図と違う条件設定をすることで、気づかないうちに目的と合致しない解を出す場合がある。将来、CPPS に個物のデータを正しく集めてくるものと考えられるが、例えば、サプライヤーの設計途中の一時的な値を集めてきたり、上司への提案途中の値（後で上司に否定されて、最終的に異なる値になる）を集めてきたりすることで、それをベースに計算した結果が最終的に最適でない結果に導くことは容易に想像できる。社会やサプライチェーンでつながった様々なプレイヤーの都合で

CPPS が自動で起動し、データの意図や状況を理解しないまま集められたデータによる最適化処理結果や制御結果は、その瞬間の集まったデータの中では最適解かもしれないが、ヒトが意思決定し、実行する頃には最適でないことは十分に考えられる。そのため、全てのデータに状況（案／見積り／決定）や確信度などの情報も付加して、CPPS/AI の判断結果への信頼度も併せて出力するようにすべきである。その場合でも、悪意を持ってデータを改ざんしたり、ミスした値が入ったりすることがないように仕組みも必要である、もちろん、CPPS/AI のアルゴリズム自体がウィルスで改ざんされないようにセキュリティを向上させる必要があることは議論の余地がない。

以上の点については、ヒトの介在をどこまで許すかにもよるが、一般的にビジネス戦略、競争がある限りは、リスクはなくならないと考えるべきであり、ブロックチェーン技術やメカニズムデザインなどの制度設計技術により、悪意を起こせないような仕組みを構築する技術の進展が望まれる。

第 13章

サイバー領域とフィジカル領域の 連携に関する技術課題



13.1 サイバーフィジカル連携のための技術課題検討の必要性

ここまで CPPS の概念やそれを実現する考え方、方式について、サイバー空間における新たに望まれる技術のみを議論してきた。一方、サイバー空間での処理で CPPS を実質的な管理システムとして存在ならしめるためには、サイバー空間処理で完結すべく、フィジカル空間において呼応するオペレーションを実現する基盤技術が必須である。

ここでは様々なフィジカル空間における要素技術が必要となってくる。本章では第 10 章、第 11 章、第 12 章で取り上げたサイバー領域における処理を実現するための、具体的なシステム構築を実現するために、この基盤となるいくつかの要素技術の方式について検討する。

尚、本章で表記する「デジタルツイン」とは、CPPS におけるリアルタイム処理系についての概念として取り扱うこととする。

13.2 ロボット

モノづくりにおいて CPPS が産業用ロボットにもたらす変革のひとつは、ロボットの動作を記述するプログラムの生成が、サイバー世界を通して簡便化、自動化できるようになることである。この変革は既に進みつつあり、サイバー世界で導きだすロボットの動作によって、フィジカル世界のロボット実機が作業を確実に実行することが、CPPS の産業用ロボットの理想形のひとつといえる。

この理想を実現するための課題のひとつとして、フィジカル側のロボットおよび周辺環境と、サイバー側のデジタルモデルを正確に一致させるのが難しいことがあげられる。既に、ロボットを構成するリンクの構造や形状は設計データから 3D モデル化され、シミュレータ上でティーチングや動作確認ができるツールが活用されている。センサやカメラ画像から距離や寸法を計測できるようになり、作業対象や周辺環境の 3D モデルも作成できるようになってきた。それでも誤差をゼロにすることは困難で、従来のロボットでは現場での微調整が必要となっている。そこで、ロボットの制御に柔軟性をもたせ、誤差があっても作業を遂行できるようになれば、調整が不要になり、デジタルツインの正確性に対する要求レベルも緩和できる。このようなロボットの機能の実現は従来から課題とされているが、幅広い用途での実用化が必要になると思われる。

制御だけでなく、作業の成否を判断するためのセンシングも課題である。サイバー側のシミュレーションで成否を前もって判断することはサイバー側の課題としてあるが、フィジカル側での成否を作業中に判断することも必要で、センシング技術の高度化が求められる。

具体的には、たとえばハンドリング作業では、位置や力の数値を検知するだけでなく、対象物を保持する接触状態、摩擦力、滑りの発生などを検知できれば、作業の成否判断や、さらには動作の修正が可能となる。また、ロボットは溶接や塗装といった作業もおこなうので、何をどのようにセンシングすれば、正否の判定や動作の修正ができるのか、技術の進展が望まれる。このような複雑な物理現象のセンシングや現象のモデル化は、ロボットだけでなくものづくりのデジタルツインを実現するうえで、大きな課題であろう。

近年では、ヒトの作業者と協働することを想定した人協働ロボットの活用が注目されてきている。CPPSでも、フィジカル世界の「ヒト」をどのようにサイバー世界にデジタルツインとして実現するか、課題となることが想像できる。たとえば、ヒトの動きや状態を検知するウェアラブルデバイスがICTツールとして活用され始めており、作業者に対するセンシング技術も進展していくことが期待される。さらに、人協働ロボットでは、作業者の動作に合わせるだけでなく、動作を予測して合わせることも求められるようになるかもしれない。どのような機能が必要となるかも含めて、フィジカル世界とサイバー世界の高速な連携やAIの活用など、新しい技術展開が望まれる分野といえる。

13.3 工作機械

工作機械におけるフィジカル領域の技術課題はさまざま存在するが、センシング技術や加工精度向上、高速化のような一般的な持続的イノベーションの進化に関してはここでは割愛し、主に破壊的イノベーションと位置付けられる工作機械のデジタルツイン化を実現する際の課題に絞って検討を行いたいと考える。

現在の工作機械開発においてデジタルツインという視点で見た場合、限定的ではあるが実施されている例もある。例えば設計開発工程での3D設計はその一つであり、そこでのデジタルモックアップなどで、組付け性や部品間の干渉などを事前確認することができる。しかし、真のデジタルツインとは、設計工程のみにとどまらず、製造プロセス工程や運用工程まで浸透させることでその威力を発揮できる。例えば、工作機械の製造プロセスにおいて、今まではメカ設計の完了後、電気系試運転を実施するためには、機械の組付けと電気配線工事が完了するまでの待機時間（タイムラグ）が発生していた。もし設計工程後、すぐに計算機上の仮想マシンすなわちサイバーマシンがある程度動くようになれば、そこでのサイバー試運転が可能となり、実機組立て完了前に試運転工程をフロントローディングすることでリードタイム短縮が実現できる。また、そこで行うサイバー試運転は「壊れない機械」でおこなうので、通常では想定されない操作を行う、いわゆる「いじわるテスト」も十分安全に実施することが可能となり、制御シーケンスの品質向上を狙うことができる。また、回路デバッグや加工試験においては環境の良くない工場ではなく、快

適なオフィス環境で実施できれば、間違いなく生産性向上も期待できるだろう。さらに、そうして完成度の上がったサイバーマシン単体としてだけでも、BS (Before Service) テスト、顧客のトレーニングスクール、営業活動などをすべてサイバー空間で実施することで、様々な場面に有効活用することも想像できる。

このようにデジタルツイン化を実現することで、様々な恩恵を受けることが予想できるが、ここまで理想的な姿を実現するには現状では様々な課題がある。まず、サイバーマシンそのものの開発コストもその一つであろう。現状の顧客はサイバーマシンの価値をほとんど理解できておらず、関心があるのは納期がしっかり守られ不具合のない「フィジカル」な機械である。よって、工作機械メーカーにとってサイバーマシンは、あくまで「おまけ」のような扱いである。またメンテナンスや改造項目が発生するたびにサイバーマシンの改造も追従させるコストや、顧客カスタマイズに固められた専用機であることが多い工作機械にとって、そのバリエーションに一つずつ対応するサイバーマシンを揃え維持していくことは気の遠くなるコストがかかる。

また、サイバーマシンの詳細度を決定するためのプロセスは極めて難しい。一言でシミュレーションと言っても、そこで要求されるコンテンツレベルの違いにより、どこまで詳細なサイバーモデルが必要になるかは千差万別である。もちろん、フィジカルな機械を限りなく忠実に再現できる汎用的なモデルが完成できればいいが、現実世界の工作機械では、機械内部に発生する熱変形や、各構成部品で起こる様々な振動現象、各部摺動面に存在するトライボロジー現象、重力や慣性力による動力的挙動、また工具と被加工物との間に発生する加工現象など、実に複雑である。この環境をどこまで忠実に表現可能とするかの「さじ加減」は非常に悩ましい。

しかしながら、スマートマシンの章で説明した「モノファンクションマシンの有機的結合」を実現しようとするれば、高精度なライン構成シミュレーションを生産開始前に迅速に行う必要があるため、より詳細で精密なサイバーマシンの存在が必須であり、今後将来に向けて、あらゆる機械のデジタルツイン化は避けて通れないと考えられる。

まずは、デジタル設計コストの低減であるが、様々な設計開発業務の生産性向上はもとより、機械を作りながら並行してサイバーマシンも“開発”していくコンカレントな開発設計手法や、機械や部品の汎用化を進めデジタル設計コストそのものの低減、また制御系もソフトウェアモジュール化を進め、各モジュールのインターフェースを国際的に標準化するなど、サイバー空間へ適用する際のコストを下げる必要がある。

シミュレーション精度の向上については、シミュレーションが目的とする詳細度のターゲットを的確にとらえ、それぞれ目指すコンテンツに見合った粒度のシミュレーション構築を目指す必要がある。さらに、部分的かつ粗いシミュレーションからでもまずは始めて、段階的に大規模、高精度なものへと積み上げていく拡張性の考慮も必要であろう。

完成したシミュレーションは、例えば生産シミュレーションなら、生産準備情報の入力に対し、即座に高速なループで生産シミュレーションを回し、ライン構成などの最適解を生産開始時点までに自律的に導き出し、リードタイムを短縮する仕組みも必要である。

また、機械単体の加工現象から、ライン、工場、工場間生産計画まで管理されるべきスコープの水平拡大は必至であり、膨大な計算リソースの確保やシェアリング、また管理スコープ内での生産情報のセキュリティなどに関しては、ブロックチェーンのような技術も必要になってくる。

今後さまざまな無人工場が展開されていく中でも、最後まで熟練技術を駆使する作業者の存在も欠かせない。これら作業者の存在をデジタルシミュレーションの中でどのように実現するのか。例えば作業者の動きをIoT技術でセンシングし、それらをデジタルシミュレーションに実時間で取り入れ、それをフィードバックしてダイナミックに生産シミュレーションをアップデートしていくような技術の実現なども重要な課題の一つと言える。

13.4 作業者

作業者の生産活動を取り扱う管理スコープにおいて、CPPS とヒトとの間において遅延のない正確な相互連携を構築するためには以下の課題がある。

<プライバシー>

作業者から得ることとなるデータは、その個人の特性を特定する情報であり、個人情報そのものである。例えば、近年欧州で適応されているGDPRでは、個人データを次のように定義している。「個人データとは、識別された又は識別され得る自然人（以下「データ主体」という。）に関するあらゆる情報を意味する。識別され得る自然人は、特に、氏名、識別番号、位置データ、オンライン識別子のような識別子、または当該自然人に関する物理的、生理的、遺伝子的、精神的、経済的、文化的もしくは社会的アイデンティティに特有な一つ、もしくは複数の要素を参照することによって、直接的にまたは間接的に、識別され得る者をいう。」(GDPR 第4条)。今後、生産活動から得られる情報についても同様の保護が必要とされてくることが考えられる。一方、CPPSでは、取得した情報を企業間で共有することも必要であり、個人情報保護の観点と共通活用の観点との背反事項に対して、企業間、当事者の理解を得られるデータ収集、活用の枠組みを整備する必要がある。

<データ収集、およびデータ転送>

作業者に関する情報を収集するタイミングはまさに生産活動中であり、作業者はあらゆる

る動作を行っている。作業者の作業性を損なうことは生産性の低下に直結するため、作業者のデータを収集方法は生産性を損なわない形式である必要がある。例えば、カメラによる映像データであれば、生産性を損なうことはない。しかし、映像から身体データのような体の内部の情報までを全て収集できるとは限らないため、作業者にデータ収集機器を身に付けてもらうことは避けて通れないことになる。作業者に負担なくかつ、生産性を阻害しない装着型のデータ収集機器の開発はヒト作業に対する CPPS 実現に向けて重要な課題である。また、有線接続によるデータ通信では、装着型のデータ収集機器とした場合に作業者の行動範囲に制約が発生しかねないため、無線通信によるデータの転送が望ましい。一方、生産する対象によっては電波を遮断する必要のある工程も存在し、そのような工程では無線によるデータ通信が行えない。通信が行えない場所でのデータを収集するためには、作業者のデータ収集機器には一時的にデータを記録する機能も必要となることも考慮しておく事項である。

<CPPS の情報を伝達するためのユーザーインターフェース>

CPPS では、演算した結果を例えば、作業指示、生産計画といったヒトが生産現場で行動する上での情報を作業者に伝達する必要がある。従来の生産現場では、指示書を代表する紙媒体による伝達や作業者間の口頭での伝達、あるいは PC の画面表示による指示が主な伝達手段となっているが、CPPS から出力される情報を遅延なく正確に伝達するには、より効率的な伝達手段が必要になる。主な方法として、メガネのような機器による映像での伝達や、イヤホンによる音声での伝達等、作業者の身に付ける形式での伝達が有効な方法になる。この場合、前述した作業者の負担や生産性を阻害しないことが求められる。また CPPS が作業者に情報を伝達するケースには、指示や警告のような作業者に能動的に伝達するケースと、作業者からの問い合わせに対して回答する受動的なケースがあり、受動的なケースの際には作業者から CPPS へ情報要求のトリガーを発信する必要がある。作業中の作業者が問い合わせを行うに有効な手段に音声での問い合わせがあり、音声認識の技術と合わせて、工程内の周囲の音の影響を受けないマイク技術の高精度化は重要な技術になる。加えて、このような身に付ける機器においては、動作するための動力源は蓄電池による電力供給が最も一般的であるといえるが、CPPS 間との大量の情報通信により、使用する電力も大量になり、生産活動中に必要となる電力を蓄電池でまかなうためには、その体積は大きくなり重量物を作業者に保持してもらうことを強いることになりうる。そのため、作業者の負担のないよう蓄電池の軽量化と蓄電容量の高密度化は重要な要素技術である。また、これらの機器は、例えば、視力の弱い方には音声で伝達し、聴覚にハンデのあるヒトには映像で伝達するといった、作業者毎の多様性にも柔軟に対応が必要になるため、一つの手段ではなく、複数の伝達手段を保有し、それを柔軟に使い分けていくことが重要である。

13.5 エンジニア

この節では、「エンジニア」とは、モノやサービスを創造することから実際の製造プロセスに落とし込むことまでのプロセスをつかさどる人材と定め、具体的には、企画、設計、生産技術、生産管理等の業務を担当する人材とする。

そのうえで、これらの人材に対して、デジタルツイン実現に向けたスキル向上に必要な技術課題とともに、デジタルツイン実現後に必要となるスキルを支援する技術課題についても論じることとする。

<設計エンジニア>

設計プロセスにおけるデジタルツインとは、あらゆる設計情報をデジタルすることで、サイバー空間上で設計された創造物の検証をサイバー空間のまま総合的・高精度に実施できるようにすることである。これによって、フィジカル空間での試作評価、設計見直しという繰り返し時間を要するプロセスを省略し、効率化することができ、顧客へタイムリーな製品・サービスを提供できるようになると考えられている。

しかしながら、設計情報をすべてデジタル空間に射影するためには、現状のフィジカル領域での設計プロセスにおいて、エンジニアが所有する暗黙知となるノウハウや勘・コツ・経験などをデジタル化する必要がある。例えば、以下のような様々な課題が存在する。

- ・機械設計の三次元モデルであっても、細部まで統一モデルで表現されておらず、三次元モデルと二次元図面が併用されているケースがある。このような場合、サイバー空間上で一貫通貫したデータ活用が困難となり、デジタルツインによる効率化の利点が阻害される可能性がある。

- ・デジタルツインでは、CAE (Computer Aided Engineering) と呼ばれるシミュレーションが重要となるが、構造・流体などの解析ごとに、三次元モデルをチューニングするケースがある。このような場合も、サイバー空間上で一貫通貫したデータ活用が困難となり、デジタルツインによる効率化の利点が阻害される可能性がある。

- ・機械設計、電気設計、ソフトウェア開発など、設計部門が細分化・専門化されており、サイバー空間上で統一的なモデルとして表現できていないケースがある。このような場合も、サイバー空間上で一貫通貫したデータ活用が困難となり、デジタルツインによる効率化の利点が阻害される可能性がある。

- ・既存製品の改良設計の場合、流用設計がベースとなるケースがある。このような場合、設計思想が暗に埋め込まれており、デジタルツインによりサイバー空間上で既存製品の使用状況に基づいて大幅な設計変更を行うということが困難になる可能性がある。

- ・製法上の誤差や歪みなどにより、設計段階で寸法等を確定できず、製造段階で現物合わせ (現合) により製作するケースがある。このような場合、サイバー空間上での事前検証が

困難となり、完成度の高いデジタルツインを実現することが難しくなる可能性がある。

このようなデジタルツイン実現に向けた阻害要因を解決するためには、「統合型・階層型 3DCAD モデルの開発」、「設計フロー支援システムおよび設計ノウハウ蓄積システムの開発」、「AI を用いた設計自動化・最適化システムの開発」などの技術研究開発が課題となる。

<生産技術エンジニア>

生産設計プロセスにおけるデジタルツインとは、設計された創造物を実際に製作するためのプロセスを検討する上で、設計情報だけでなく、工作機械などの情報、素材・材料などの情報をデジタル化することで、サイバー空間上で生産プロセスの検討を実現できるようにすることである。これによって、フィジカル空間上で実際に製作トライアルすることなく、短時間で高精度に生産プロセスを確立でき、顧客へタイムリーな製品・サービスを提供できるようになると考えられている。

しかしながら、生産技術エンジニアの現状は、フィジカル空間で実際に試作を行い、以下に示すような様々な条件を考慮して、エンジニア自身に蓄積されたノウハウや勘・コツ・経験などを通して、生産プロセスを決定している。

- ・設計情報に含まれていない溶接開先などの生産プロセスのための情報
- ・工作機械におけるツールの摩耗や剛性などの影響など
- ・素材・材料の特性のばらつきなど

このような情報をサイバー空間上でどのように実現し、生産技術エンジニアのノウハウをどうデジタル化するかが課題となる。

このような課題解決のために、「高精度 3DCAD モデルの開発」、「CAE の高度化と計測データの融合」、「溶接等の計測技術の進歩」、「AI を用いたプロセス検討の自動化・最適化システムの開発」などの技術研究開発が課題となる。

<生産管理エンジニア>

生産管理プロセスにおけるデジタルツインとは、サプライチェーン上で生産計画（人員配置、投入順序、設備割当など）を検討する上で、工場内外の作業員、部材、設備などの情報をデジタル化することで、サイバー空間上で適切な生産計画の検討を実現できるようにすることである。これによって、日々変化する様々な条件に対応して、事前に高精度で最適な生産計画を立案でき、必要最小限のコストでリードタイムを短縮し、顧客へタイムリーな製品・サービスを提供できるようになると考えられている。

しかしながら、生産管理エンジニアの現状は、フィジカル空間の実際の生産現場で発生する、以下に示すような様々な不確実な条件を考慮して、エンジニア自身に蓄積されたノウハウや勘・コツ・経験などを通して、生産計画を立案している。

- ・作業員の特性、能力差など
- ・設備の個体差、故障の予兆など

- ・部材の個体差など

このような情報をサイバー空間上でどのように実現し、生産管理エンジニアのノウハウをどうデジタル化するかが課題となる。

このような課題解決のために、「故障等を考慮した設備モデルの高度化」、「作業員の行動モデルなどのデジタル化」、「ファクトリー・シミュレーションの高度化と計測データとの融合」、「設備課等々の計測技術の進歩」、「生体情報などのヒューマンデータの計測技術の進歩」、「AI を用いたスケジューリングの自動化・最適化システムの開発」などの技術研究開発が課題となる。

一方、デジタルツインが実現した後では、各エンジニアの役割が変化し、より多くの領域をカバーするようになると考えられる。このように、役割変化に対応してエンジニアに必要なとなるスキルも変化する。

<企画エンジニア>

デジタルツインが実現すると、製品の利用者の使用状況を把握することで、モノ売りからコト売りへの世界が加速する可能性がある。このような世界では、データを用いて新しいサービス事業などのビジネスモデルの構築などを行うスキルが、企画エンジニアに必要ななってくると思われる。

このようなスキル向上を支援するため、「消費者行動などを考慮した社会モデル・シミュレーションの開発」などの技術研究開発が課題となる。

13.5 工場間ロジスティクス

デジタルツインの目的（メリット）としては、サイバー上に実世界（フィジカル領域）を再現することにより、サイバー上で様々なシミュレーションができるということである。そこで得られた最適値をフィジカル領域へ返すことで、フィジカル領域では常に状況に応じた理想状態を保つことができる。

これを製造業における工場間の物流に当てはめてみる。自動車業界のサプライチェーン全体のモノと情報の流れを見ると、基本的には1～3ヶ月単位で受注された情報をもとに日毎の生産計画を立てることが多い。一方、現実にはエンドユーザは1台単位で購入することがほとんどであり、そこにはギャップが生じている。究極的には、エンドユーザから仕入先までサプライチェーン全体の完全同期生産、すなわち、エンドユーザの受注ごとにサプライチェーンの1次、2次から納品されるような状態が理想である。工場間物流のデジタルツインを実現するためには、サイバー上にサプライチェーンを再現し、完全同期生産を実現するための最適値を算出し各要素に返すことが必要となるが、実際には完全同期生産の実

現は極めて難しい。変動する受注に対して最適値を導き出すためには膨大な計算が必要になること（そもそも何をもって最適というか、という問題もある）、各生産工場および工場間物流がリアルタイムに追従できないことが原因である。前者のサイバー上の問題は12章で述べており、本節では、工場間物流についてその課題を述べる。（運送契約等の課題もあるが、ここでは技術課題に絞る。さらに技術課題には、生産工場側の課題もあるが、ここでは、工場間物流の課題に絞り記述する。）

運搬作業は、集荷（荷積み）、運搬、荷降ろしの3作業で構成される。工場間物流のリアルタイムな追従ができない要因としては、サイバー上ではじき出された数値通りにこの3作業が実施できないことにある。まずは、荷積み/荷降ろしについて考えてみる。現時点、トラックへの荷の積み込みはトラック運転手によって行われることが多い。このとき、以降の運搬先での荷降ろしを考慮した荷積みを行うことで、“予め計画された範囲”において効率的な荷積み/荷降ろしを実現している。さらに荷積みの際、「パレット」を縦に積むために、パレット上の荷の天面がフラットになるような積み方の工夫も行っている。これらはすべて作業者の経験によるものである。こういった作業が前提の場合、リアルタイムに運搬経路や運搬物に変更になると“計画的”でなくなるため、現在の荷積み/荷降ろし作業ができなくなる。結果的に荷積み/荷降ろし時間が増加するだけでなく、ヒトによるばらつきが生じ、シミュレーション通りに進まなくなる。すなわち、荷積み/荷降ろし作業のシミュレーション時に、これら「ヒトの経験値」を織込むことが重要となる。

運搬においては、出発地と到着地間の経路と所要時間がシミュレーション対象となる。交通状態を考慮した経路探索技術や交通量測定技術の進化により、シミュレーション精度は高くなっているが、同期生産の実現にはさらなる精度向上が必要である。また、同期生産を行うということは、必然的に運搬単位は小さくなり使用するトラックも小型になる。全体の物流量は変わらないため、より多くのドライバーが必要になり、人件費やドライバー不足といった課題が発生する。さらに、トラックが小型になれば通行可能な道路が増えることで、より効率的な経路編成が可能となるが、小～中型の道路には交通量測定機器が設置されておらず、シミュレーションに必要な情報が得られなくなってしまう。以上のように、運搬に関しては、技術的な課題というよりも社会的な課題が大きいように思える。

そして、全体に共通する課題は通信技術である。デジタルツインの使い方にもよるが、精度やリアルタイム性（応答性）が上がるとその適用領域を広げることができる。精度を上げるためにはより多くのデータが必要となり大容量通信が必要となり、また、リアルタイム性を上げるためには高速通信が必要となる。

以上の課題を解決するポイントは、「ヒトの経験値の織込み」「種々作業の自動化」「高速大容量通信」である。荷積み/荷降ろしにおける「ヒトの経験値」については、12章で述べたAIによる深層学習の出番である。（もっとも、運搬単位が小さくなれば荷積みは単純化され天面だしも不要になる。）作業が決まってしまうと、積み込み作業の自動化は技術的なハードルは高くない。運搬については、自動運転が社会規模で実現できるレベルになる必要があ

る。現在、生産工場内という限定的な範囲においては、無人搬送車（AGV）による工場内物流を実現しているため、それを工場間まで拡大しリアルタイムで運用するイメージである。そして全体をつなぐための通信技術については、5G 通信に代表される高速大容量通信の実用化がカギとなる。

13.6 企業間発注行為

CPPS 上で行われる意思決定によって、従来出来なかった最適化、改善、品質向上、更にはビジネススタイルの変更等様々な成果が得られることは前頁までに述べてきた。CPPS 上の意思決定内容とフィジカル領域に反映する（成果をものにする）には、何らかのアクションが必要になる。アクションには物品の購入や技術開発、作業/業務のアウトソーシング等さまざまな企業間の発注行為が発生する。ここでは同発注行為について述べたい。

CPPS 上での行為は、実態が無く第三者からは見えにくい。CPPS 上にていう発注行為がなされた場合、気づかないまま法規や各種ルールより離脱する危険性を孕んでいる。また、発注すれば必ず納品（成果物）があり、これも同様に法規や各種ルールが存在する

その為には以下に示す課題を解決する必要がある。

- ・発注や納品に関わる、法規、ルールが存在するか？（国内外共）
- ・上記確認後に、変更や新たに追加、廃止された法規、ルールが存在するか？
- ・発注形態や納品形態の変更により、これに関わる法規、ルールがあるか？
- ・発注や納品行為の際、上記それぞれ厳守できているか自主監査、外部監査が可能か？
- ・国内外の法規、ルールに矛盾が無いか？ ex. 片方は守れているが片方は守れていない

そこで発注または納品に、CPPS 上で問合せが出来る環境が必要となる。そのためには法規に代表される国、公的機関が定めるルールは、国や公的機関が CPPS からの問い合わせに対応できる DB と同仕組みの整備が必要になる。これら解決に必要な技術となる。

- ・関連する法規、ルールを抽出
- ・発注、納品する内容と上記抽出結果との照合と、判定
- ・上記判定をできない場合は、「ヒト」に通知
 - ↳ その後、ヒトが判断、判断後 DB ロジックに落とせるものは Sys に反映
- ・上記の継続モニタ；法規ルール改定時の対応、是正
- ・上記仕組みの最新性維持、監視
- ・これら仕組みと CPPS を繋ぐ I/F 仕様
 - ↳ 前日までに取り上げた TYPE0, 1, 2 それぞれによって扱う DB や接続先も異なる

実現に向けて、個々の国、公的機関それぞれが、技術開発及び整備するのではなく、国際基準を持って進められること必須となる。そのため声、要望を足早に発していくことが重要と考える。

また企業内にもルールが存在する。こちらも同様に個々に整備するのは企業の負担が増える為、上記国際基準の仕組みを流用できることを望みたい。企業はその仕組みを流用することでルールの登録、維持管理のみに集中する。

前頁までに述べた「繋がる」と合わせ、法規やルールも「繋がる」を忘れてはならない。

■ 結言

本報告書を読まれた方の中には、これまでの技術研究や論文と異なる議論内容や展開方法について違和感を抱かれた方がいらっしゃるかもしれない。前半の活動はモノづくりの現状に立脚しながらも、そこから最大限に観念を拡張した姿を模索した。後半の活動はサイバー空間という、ある意味、解き放たれた領域での議論であり、物理的な生産システムの制約を取り払った情報空間での価値生成の議論を進めた。

ここで目指したことは、単に現状の技術からの演繹的に拡張的な議論を行うだけでは不十分で、日本のモノづくりを大きく革新し、再び、世界をリードしていくためには、実現手段の限界を超えた新たな考え方や方式をを仮説として提示すること、言わば新たな思想を導出が必要であると考えた。なぜなら、サイバーフィジカルの議論は自然科学や実装技術と言うより社会科学の範疇に属するものであり、いわゆる「科学哲学」の対象とするものであるからである。

例えば、ポスト構造主義思想の旗手とみなされてきたフランスの哲学者ジル・ドゥルーズは、その著書『記号と事件』で「管理社会」の概念を示しているが、その中では、テクノロジーの発展から監視カメラやデータベースなどで個人情報管理され、個々の倫理や規律的な行動に取って変わる新たな管理手段の登場を予見している。また、現象学の立場で科学哲学を展開したエルンスト・マッハは時間と空間の経験性を主張し、同時代に生きたアルベルト・アインシュタインはこの影響を受けて相対性理論を着想することができたと考えられる。

また、科学哲学者として名高いトーマス・クーンは、科学は研究者間で共有される共通の枠組みである「パラダイム」に基づくものであるとともに、累積的な進歩ではないことを主張した。ここでは現状、解けない問題に対して様々な変則事例を体系化しながら新たな通常科学を構成して、科学革命が進んでいくことを示している。

我々の活動は基本的に科学的立場に立脚するものであるが、科学とはその枠組みの中だけでは科学革命を起こすことは原理的に難しい。上記に紹介した科学と哲学の関係性から、思想体系とも深く関係して新たな視点で捉えることが必要であると考えている。このような背景から、本研究分科会の活動を進めるに当たっては、単なる実現技術やシステム実装方式、もとい、現状のパラダイムの枠組みに留まってはならないと考えた。また、言うまでもなく、将来の「夢」を描くことではない。眼前の技術や考え方の延長線では新しい概念、すなわち、未来の価値を導出することはできないものである。ものを捉える視点を変えることで自身を客体化し、それが何ら担保されない変則事例であったとしても仮説導出を行い、検証していく行動が重要である。特に日本では、インダストリー4.0でリードするドイツのような観念論的議論をベースにした戦略検討が十分になされていないため、様々な考え方、視点、意見があるなかでも、何らかのメッセージをの打ち出して行かなければならないと考え

ている。

そしてここでは技術論や科学哲学に留まらず、事業者における経営戦略に直結する議論を進めなければならない。IT やネットワーク、センシング、また、知識技術をはじめとする新たなテクノロジーを基盤として産業構造やビジネスモデルの変化が加速する今日、将来の姿が不透明であることは自然である。そして産業界や企業、モノづくりに関わる研究者、技術者は、その対応すべき指針を見失いがちになることも、また、自然なことである。一方、ここではその先が見えづらく不透明であることが起因して技術研究開発や事業活動が挑戦を避けて保守的となり、国内産業の進化そのものが停滞することにも繋がりがねない。

今後の我が国の競争力を維持するとともに新たな挑戦を推進するためには、2040年の姿やそこで実現されるかもしれないモノづくりの姿はどんなものであるのか、また、そこで追求されるべき、本質的に狙うことは何であるかを議論し、メッセージを提示することが肝要であると考えた。本研究分科会ではこれらの議論を通じて、目指すべき将来の姿を明らかにしながら、今を生きる我々が採るべきひとつの指針として参考にしていただければ幸いである。

*

本研究分科会の活動を通じて、以下の議論を行い、そのイメージを提示にした。

- 1) CPPS の位置づけと技術領域
- 2) スマートマシンに関する在りたい姿の検討と技術ロードマップ
- 3) サプライチェーンに関する在りたい姿の検討と技術ロードマップ
- 4) ヒューマン・セントリックに関する在りたい姿の検討と技術ロードマップ
- 5) 多様なモノづくり形態の体系化
- 6) 2040年モノづくりビジョン「シェアド・モノづくり」
- 7) CPPS のシステム概念
- 8) CPPS を適用するアプリケーションのケース
- 9) サイバー領域に関する技術課題
- 10) サイバー領域とフィジカル領域の連携に向けての技術課題

CPPS に関する議論においてはサイバー空間でのデータ処理が主役になり、フィジカルはそれを底支えする技術になる。ここでは IT を主体とした CPPS やロボットを駆使する自動化技術が大きく貢献することになるため、従来のモノづくり技術とは一線を画したものとなり、それまでの技術や経験の蓄積を過去のものに葬り去られてしまうと思われるかもしれない。確かに CPPS や自動化技術は一種のブルート（野獣のような猛々しい強さ）で、

圧倒的な力を与えるものである。しかし、如何にブルートであろうと野蛮であってはならないし、それだけでは市場に対応するビジネスとして、また、経済的にも勝者となれるわけではない。

ここで求められるのは、このブルートを如何に知的な運用を成さしめる知見であり、英知である。この点において、これまで日本のモノづくりが育んできた「徹底的なムダ取り」や「生産現場をきめ細かく管理することを通じて英知を紡ぎあげる」活動は、改めて有効になるだろうが、しかし、忘れてはならないのは従来のままの形であってはならないことである。これまでの日本のモノづくりでの英知は個に依存して組織的に集積できず、個の中に埋没している。そして、これらの英知は加工作業を行う職能のような皮膚感覚的な経験値ではなく、論理的な知見でもある。CPPS の考え方、力をうまく活用し、これまでは本来の目的とは異なる労働集約的活動に束縛されていたエンジニアを開放したうえで、個々の英知を結集し、未来へ向けた価値を生み出す提案、判断、意思決定等、ヒトの本質的な存在意義を顕在化させなければならない。このようにエンジニアの英知を顕在化させ、紐解き、集合知として得ることができるならば、CPPS の時代、つまり、IT や自動化、AI 等を基盤とする新しい時代においても日本のモノづくりはリーダーシップを発揮して、また、世界をリードできるチャンスがある。

*

未来とは、決してディスラプティブ（破壊的、予期しない方法で変わる）ではなく、様々な連続性のある技術拡張の営みが折り重なるように展開しつつ、それらの関りの変化から大きな変化を生み出していくものである。そして未来はそもそも確定的なものではなく、あくまで我々の選択と決定に委ねられている。眼前の選択肢に対してどの道を選び、どのようにアプローチするのか、その選択と判断、そしてそれらを推進させるのは技術研究開発を推進する主体者としての我々が責務である。

一方、この問題に対応するためには、日本のモノづくりに関わる研究者、技術者の意識や思考方法を変えていくことや、決して日本人が強いとは言えないデジタル技術等のスキルを獲得することが重要である。

世界が大きく変わろうとしている今、これを戸惑うことなく絶好の好機と捉え、眼前の問題を乗り越えながら、ここまで蓄積してきた日本の強みを更なる武器として活かしていくことが大切であると考えている。単に地道な努力で技術を維持していくことだけに留まらず、CPPS のような全く新しい時代の技術基盤を駆使して挑戦的で戦略的な技術へと昇華させていくことを通じて、日本のモノづくりを人類史上、類をみない「人知の高み」へと昇華することを期待する。

担当・文責

	担当	所属
序文	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
第1章	日比野浩典	東京理科大学
第2章	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
第3章	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
第4章	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
第5章	榎原 正	パナソニック株式会社
第6章	古賀 康隆	インダストリアルパブリケーションシフト
第7章	杉浦 純一	横河マニュファクチャリング株式会社
第8章	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
第9章	則竹 茂年	株式会社豊田中央研究所
第10章	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
第11章	則竹 茂年（監修）	株式会社豊田中央研究所
11. 各節	本文中に記載	
第12章	則竹 茂年	株式会社豊田中央研究所
第13章		
13.2	梅津 真弓	株式会社安川電機
13.3	向井 康晴	株式会社ジェイテクト
13.4	中野 信一	川崎重工業株式会社
13.5	松石 穂	株式会社デンソー
13.6	澁谷 宗隆	日産自動車株式会社
結言	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ

最終報告書執筆メンバ

役職順、グループ順、アイウエオ順

主査	日比野浩典	東京理科大学
幹事	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
幹事	則竹 茂年	株式会社豊田中央研究所（現・鴻池運輸）
S/C グループリーダー	古賀 康隆	一般社団法人インダストリアルバリューチェーンイニシアティブ
S/M グループリーダー	槇原 正	パナソニック株式会社
H/C グループリーダー	杉浦 純一	横河マニュファクチャリング株式会社
S/M サブリーダー	近藤 伸亮	国立研究開発法人産業技術総合研究所
S/M グループ	梅津 真弓	株式会社安川電機
S/M グループ	下村 賢司	矢崎総業株式会社
S/M グループ	向井 康晴	株式会社ジェイテクト
S/C サブリーダー	澁谷 宗隆	日産自動車株式会社
H/C サブリーダー	田村 康訓	株式会社デンソー
H/C グループ	杉本 隆	パナソニック株式会社
H/C グループ	中野 信一	川崎重工業株式会社
H/C グループ	松石 穂	株式会社デンソー
H/C グループ	渡辺 嘉彦	矢崎総業株式会社

以上、16名

研究分科会参加主要メンバ

役職順、グループ順、アイウエオ順

主査	日比野浩典	東京理科大学
幹事	中村 昌弘	株式会社レクサー・リサーチ
幹事	則竹 茂年	株式会社豊田中央研究所（現・鴻池運輸）
S/C グループリーダー	古賀 康隆	一般社団法人インダストリアルバリューチェーンイニシアティブ
S/M グループリーダー	槇原 正	パナソニック株式会社
H/C グループリーダー	杉浦 純一	横河マニュファクチャリング株式会社
S/M サブリーダー	近藤 伸亮	国立研究開発法人産業技術総合研究所
S/M グループ	梅津 真弓	株式会社安川電機
S/M グループ	上岡 洋介	CKD株式会社
S/M グループ	下村 賢司	矢崎総業株式会社
S/M グループ	堤 大輔	株式会社日立製作所
S/M グループ	向井 康晴	株式会社ジェイテクト
S/C サブリーダー	澁谷 宗隆	日産自動車株式会社
S/C グループ	根井 正洋	株式会社ニコン
H/C サブリーダー	田村 康訓	株式会社デンソー
H/C グループ	寛 宗徳	福島大学
H/C グループ	杉本 隆	パナソニック株式会社
H/C グループ	中野 信一	川崎重工業株式会社
H/C グループ	松石 穂	株式会社デンソー
H/C グループ	森永 英二	大阪大学
H/C グループ	渡辺 嘉彦	矢崎総業株式会社
顧問	西岡 靖之	法政大学
オブザーバ	長谷川 洋	経済産業省
オブザーバ	水上 潔	ロボット革命イニシアティブ協議会

以上、24名

研究分科会委員会活動および発表活動

<委員会開催>

第1回委員会	2016年6月24日
第2回委員会	2016年8月26日
第3回委員会	2016年10月21日
第4回委員会	2016年12月16日
第5回委員会	2017年1月13日
第6回委員会	2017年2月20日
第7回委員会	2017年4月20日
第8回委員会	2017年6月30日
第9回委員会	2017年8月23日
第10回委員会	2017年10月25日
第11回委員会	2017年12月19日
第12回委員会	2018年1月31日
第13回委員会	2018年3月2日
第14回委員会	2018年5月18日
第15回委員会	2018年7月5日
第16回委員会	2018年9月21日
第17回委員会	2018年11月22日
第18回委員会	2019年1月11日
第19回委員会	2019年3月1日

<学会内発表>

日本機械学会生産システム部門 2017年次大会	2019年3月16日於埼玉大学
日本機械学会生産システム部門 2018年次大会	2019年3月14日於明治大学
日本機械学会生産システム部門 2019年次大会	2019年3月12日於青山学院大学

<外部発表>

2017年3月20日	Cebit IoT フォーラム参加（ドイツ・ハノーファ）
2017年7月21日	日本能率協会ものづくり展セミナー
2018年3月1日	ドイツ・バーデンビュルテンブルグ州訪日団とのシンポジウム
2018年3月19日	ロボット革命協議会セミナー
2018年7月20日	生産システム見える化展セミナー

■ 編集後記

本研究分科会は3年間に渡る活動を終えて、ようやく、最終報告書を完成させるに至った。本研究分科会に参加いただいた委員には改めて厚く御礼を申し上げる。

当初は、今、日本のモノづくりが置かれている状況に対する危機感や、これからの日本を何とかしなければならないという、何某かの使命感に燃えて本研究分科会を立ち上げたものの、一体、どのように本委員会を運営していけばよいか、暗中模索の中で活動を進めざるを得なかった。

ドイツのインダストリー4.0の技術研究を担う様々な公的な組織で進められるような議論と異なり、本委員会は日本機械学会に参加する危機意識と積極的な使命感を持った有志がボランティアで進める体制であった。そのなかで各委員には事務局・幹事の無茶ぶり、無理を快く対応いただけた。一方、このような活動を通じて異なった企業に属する委員各位が様々に議論を交わすことを通じて相互理解を深め、また、緊密なチームワークを造り上げることできたことは、ひとつの成果であった。



委員会風景



ワーキング活動



継続的な委員会活動



CeBIT IoT Expert Conference、 acatec カガーマン教授とのパネルディスカッション



生産システム見える化展での発表



最終報告書の仕上げでほっとする面々

ここで、本研究分科会に参加いただいた主要な委員から一言、メッセージを頂くこととする。

*

古賀 康隆(一般社団法人インダストリアルバリューチェーンイニシアチブ) S/C WG グループリーダー

2040年のモノづくりの姿を真面目に本気で想像する機会をいただいたことをきっかけに、ふとした瞬間に20年以上の未来を思い浮かべている自分に気づくことが多くなりました。様々な展示会を見学する時にも、未来に続くコンセプトにつながるのではないかと考え、今までの近視眼的な見方と違った視点で各社の展示を拝見するようにもなりました。これから5年経ち、10年20年を経過した時のモノづくりの変化が楽しみです。

榎原 正（パナソニック株式会社）S/M WG グループリーダー

本報告書はコンセプトチュアルであり、ある意味言いたい放題であり、難解でもある。しかし2040年に向けて日本の製造業が取り組むべき本質的課題の1つであるCPPSに関して、個人の利害を超えて議論し、抽象化を重ねた結果、到達したビジョンでもある。本書を契機に現場主体の議論がより一層活発化し、モノづくり力強化の一助となることを願う。

杉浦 純一（横河マニュファクチャリング株式会社）H/C WG グループリーダー

本研究分科会スタート時、まず、2040年のモノづくりの姿を自由に想像する事から始まったのだが、私は、モノづくりの「場」が、地球上から宇宙に拡張されており、モノづくりをする装置から、輸送手段が大きく変化し、更に、そこで働く人々を支えるCPPSが、想像を超えたものになる予感を抱きながら本WGのリーダーを務めさせていただいた。

高度に進化するCPPSによって、人々の生活に役に立ち、世界の人々が幸福を得るものを創出し、そして、そこで働く人々が、安全に安心して働け、働く喜びを感じられる事ができる「モノづくり」を実現するCPPS技術が、次々と、生み出され、進化することを期待したい。

澁谷 宗隆（日産自動車株式会社）S/C WG サブリーダー

2040年の未来を見据え真剣に考えた結果あつという間の2年半でした。モノづくりに関する「強い思い」を持ったメンバーと出会えたことで、最大のアウトプットと自身の視野を大きく広げることが出来ました。感謝申し上げます。今後は描いたものを少しでも具現化出来るような機会があればと思います。

20年後ぜひこのメンバーで、振り返りをやりましょう！そして2060年を描きますか。。。

根井 正洋（株式会社ニコン）S/C WG グループ

2040年の世界という課題は、目の前の問題解決から新たな方向へと思いをはせる機会を与えてくれました。さらに楽しかったのは、スマートマシン・サプライチェーン・ヒューマンセントリックという3つの分野を別々に考えるのではなく、時に刺激し合い、時に横串を通しながら検討を進めていったことです。20年後に読み返したら、どんな感じがするでしょうか。

近藤 伸亮（国立研究開発法人産業技術総合研究所）S/M WG サブリーダー

様々なバックグラウンドを持つ人たちと、真剣な議論をする貴重な機会を与えていただき、本当にありがとうございました。今後も、このような機会がありましたら、ぜひお声がけください（神楽坂はとても魅力的な場所でした）。

向井 康晴（株式会社ジェイテクト）S/M ワーキンググループ

本研究会にはさまざまな業種でご活躍されているスペシャリストが集まっており、非常に広い知見と視野を得ることができ大変勉強になりました。2040年という20年以上先の未来を考えると非常に難しい命題を、あらゆる方向から、あらゆる場面を想定し、時には発散したりメンバー同士で意見がぶつかることもありましたが、本当に真摯に未来を考えようという姿勢では、みな同じ同士であったなと思っています。（ちなみに、毎回開催される懇親会が一番、収穫がありました（笑））。本当にありがとうございました。

田村 康訓（株式会社デンソー）H/C WG サブリーダー

近年、深層学習によるAIの進化が著しく、人間の活動を代替する話をよく耳にするが、人間の価値創出活動は様々な知識、経験等に加え、何かを良くしたい、つきつめたい、という想いがあってはじめて成立するものに思う。この想いを支える、あるべきCPPS技術が本研究会のように企業の枠を超え議論され、進化していくことを期待したい。

杉本 隆（パナソニック株式会社）H/C WG グループ

モノづくりを生業としてきたが、昨今の製造現場に漠然とした危機感を抱いていたところ、同じ想いをを持った仲間が集い活動する事を知り、その機会を得た。この活動参加に快諾頂いた日比野先生、中村氏、榎原氏、他メンバーの方々に感謝致します。今後、更なる研究の進化、事例の出現を期待いたします。

中野 信一（川崎重工業株式会社）H/C ワーキンググループ

同じ製造業でも多様な人材が集まり、2040年の未来を議論しあった。各自の知見から様々な未来像が描かれ、議論は尽きなかったが、可能性の豊かな未来像が描けたかと感じている。メンバーの皆さんに助けられ、私自身も知見を広げることができ、大変感謝しております。

森永 栄二（国立大学法人大阪大学）H/C WG グループ

デジタル化・システム化・ICT/AI化が格段に進んでいるであろう、20年後のモノづくりにおいて、ヒトというアナログな存在がどのような役割を担い、どのような全体システムが構築されているのか、産学官の専門家と活発に議論でき、私自身も良い刺激を受けることができました。有難うございました。

渡邊 嘉彦（矢崎総業株式会社）H/C WG グループ

「モノづくり」の未来が、どのように変化していくのかを、業界の垣根を越えて多くの方々と議論し「CPPS」を示せたことは、とても有意義でした。今後も「ヒト」の仕事、の意義を考えていきたいと思えます。本件に携わった皆様に感謝します。ありがとうございました。

*

最後にこのような場を提供頂いた日本機械学会生産システム部門の運営員の皆様には厚く御礼を申し上げます。

ここまで日本経済を支えてきたモノづくりが、今後も日本を支え、世界をリードしていくための、少しながらもご参考になれば幸である。

2019年5月31日

**一般社団法人日本機械学会生産システム部門
つながるサイバー工場 CPPS 研究分科会一同**