

インダストリー 4.0に関する一考察

荒 井 義 則

アブストラクト

最近インダストリー 4.0が注目を浴びているが、本稿ではまずIoT及びインダストリー 4.0を考察し、その後オートポイエーシスおよび多主体複雑系の特徴を考え、インダストリー 4.0がオートポイエーシス・システムであり、多主体複雑系であることを示す。

キーワード インダストリー 4.0、IoT (物のインターネット)、オートポイエーシス、多主体複雑系

1. はじめに

情報通信技術の発達は人間社会のあらゆる面に多大な影響を及ぼしているが、最近新たな局面に入り、第4次産業革命と呼ばれている。その代表例がインダストリー 4.0である。インダストリー 4.0はドイツの国家目標の一つであり、産業の構造を根本的に変える可能性がある。本稿ではインダストリー 4.0も含む第4次産業革命の基盤の一つであるIoTについて考察し、それをもとにインダストリー 4.0の特徴を考える。さらに、インダストリー 4.0をシステム論的に解析する。ここでは、オートポイエーシスおよび多主体複雑系を用いる。オートポイエーシスおよび多主体複雑系を概観した後、インダストリー 4.0をオートポイエーシスおよび多主体複雑系の観点から捉えなおす。

2. IoT (物のインターネット)¹と人のインターネット

インターネットは、社会においては、人と人との通信、あるいは人と物との通信として発達してきており、その中心は人であった（人のイ

ンターネット）。その影響は社会のいたるところに及んだ。人々の生活は一変し、インターネットなしの生活は考えられない状況が生じた。また、グーグル、アマゾンなどインターネットを基盤とする企業が世界的な巨大企業に成長し、集合知の出現は知のあり方さえも変えようとしている。これらの現象は、今までの情報通信技術とは区別され、Web2.0と総称された。

さらに、最近のインターネットは物と物との情報通信の領域まで広がりを見せ始めていて、IoT (Internet of Things、物のインターネット) と呼ばれている。IoTとは物と物とをインターネットでつなげるという概念であり、インダストリー 4.0達成のための重要な要素の一つとなっている。物と物をつなげるという考え方はすでにM2Mなどで実現しており、IoTが初めてというわけではない。IoTとM2Mは同義語のように使用される場合もあるが、厳密には異なった概念である。M2Mは機械と機械を人を介さずネットワークでつなぎ、情報のやり取りや指示を伝えるもので、主として効率化を目指したものである。しかしながら、費用が安価ではなく、費用対効果の面で制約を受け、すべての物

を対象とするわけにはいかなかった。それに比べ、IoTは費用面では比較的安価となり、広範囲に使用できる環境が整った。安価の背景にはクラウドコンピューティングの発展などがあった。また、M2Mは機械を中心とした概念であるが、IoTは機械（物）のみならずそのネットワークに関連する人やビジネスモデルをも念頭に置いた概念である。

ただし、IoT（物のインターネット）も人のインターネットも「情報の双方向伝達」という点ではまったく同じであり、機能の面では本質的な変化は起きてない。また、IoT（物のインターネット）においても、情報の価値を認め、その情報を活用するのは人であるという点でも本質的な変化はおきてない。機能においても、情報の活用においても本質的には同じである。両者の違いをもたらしたものは急激で圧倒的な情報通信技術の進歩である。そのため本質的には同じであっても、その社会に及ぼす影響は異なり、非常に高度にシステム化された社会（インダストリー 4.0）が出現しつつある。

IoTの構成要素は以下の4項目である。

（1）物

物のインターネットであるから、まず第一に「物」である。ここで言う「物」はすべての物を意味している。人と人との通信も当然存在しているのだから、あえて人と物とを分けず

- ①人と人との通信
- ②人と物との通信
- ③物と物との通信

の3つを含めてIoTと考えるほうが合理的である。すなわち物の中には人も入ると考える。

（2）通信機能と回線

物のインターネットであるから、回線としてはインターネットを使用する。また、他の物との間で送信・受信する通信機能が必要になる。人の場合はスマートフォンやパソコンが通信端末となり送受信可能であるが、大量の物と接続

する場合は費用の面も無視できなくなるので、ネットワークが創造する価値を考慮して、通信の仕組みを選択する必要がある。

（3）センサー

温度、湿度、光、画像など物や人あるいはその環境の状態を収集するための装置で、物に組み込まれることが多い。収集した情報は電気信号として送信される。センサーの低価格化がIoTを進展させる1つの要因となっている。どのようなサービス・価値創造を行なうかによって、それに対応した適切なセンサーを選ぶ必要がある。

（4）プロセッサ

物においても情報処理能力が必要となる場合があるので、プロセッサはIoTには欠かせない要素の一つである。内蔵が容易な家電や事務機器のほかにも、プロセッサの小型化により搭載が可能になりつつある。ただし、物の側ではすべての処理をする必要はないので、実施するサービス・価値創造により、物の側でどこまで処理を行い、どのようなプロセッサが必要になるか考慮する必要がある。

3. 集合知からビッグデータへ

Web2.0では集合知が出現したが、IoTを基盤とするインダストリー 4.0では「ビッグデータ」が知の中心となる。ここでは「ビッグデータ」について概観する。

ビッグデータについて、海部は

人間の頭脳で扱える範囲を超えた膨大な量のデータを、処理・分析して活用する仕組み

と説明しており、「膨大なデータを扱う」という側面と「データを処理・分析して活用する」という二つの側面があることを指摘している²。

また、鈴木は「ビッグデータ」について

事業に役立つ知見を導出するためのデータ

と説明し、「ビッグデータビジネス」については

ビッグデータを用いて社会・経済の問題解決や、業務の付加価値向上を行う、あるいは支援する事業

と定義している³。

どちらの定義を見ても単に「巨大なデータ」という量的側面だけでなく、「解析・分析そして活用」という質的側面も含んでいる。この質的側面を含むというのがビッグデータの特徴である。量的側面については二つの定義とも数量的な定義はないが、『平成24年度版情報通信白書』では

ビッグデータは、典型的なデータベースソフトウェアが把握し、蓄積し、運用し、分析できる能力を超えたサイズのデータを指す。この定義は、意図的に主観的な定義であり、ビッグデータとされるためにどの程度大きいデータベースである必要があるかについて流動的な定義に立脚している。・・・(中略)・・・ビッグデータは、多くの部門において、数十テラバイトから数ペタバイトの範囲に及ぶだろう。

という見方を紹介している⁴。

数量的側面については、上記のように主観的な定義と数値的な定義が存在するが、どのような目的でデータを用いるかという面から数量を考えるべきであって、必ずしも数値的な定義にこだわる必要はない。なお、『ビッグデータの活用の在り方について』（情報通信審議会ICT基本戦略ボードビッグデータの活用に関するアドホックグループ取りまとめ、2012）では、ビッグデータを構成するデータの種類として以下のデータをあげている。

- ①ソーシャルメディアデータ
- ②マルチメディアデータ
- ③ウェブサイトデータ
- ④カスタマーデータ
- ⑤センサデータ
- ⑥オフィスデータ
- ⑦ログデータ
- ⑧オペレーションデータ

質的側面については、『ビッグデータの活用の在り方について』では「データを利用するものの視点からとらえた特徴」として

①高解像

事象を構成する個々の要素に分解し、把握・対応することを可能とするデータ

②高頻度

リアルタイムデータ等、取得・生成頻度の時間的な解像度が高いデータ

③多様性

各種センサーからのデータ等、非構造的なものも含む多種多様なデータをあげている。以上より、結果として、大きな量のデータが必要である（④多量性）としている。また、「データの利用を支援する者の視点から捉えた特徴」として

①多元性

複数のデータソースにも対応可能

②高速度

③多種別

構造化データに加え、非構造化データも対応可能

をあげている。

以上見てきたように今までのデータとは量も質も異なるデータが出現しており、その解析・分析・活用も従来と異なる手法が必要となる。その解析・分析・活用を担うものとして「データサイエンティスト」が注目を浴びている。「データサイエンティスト」とは

統計解析や機械学習、分散処理技術などを用いて、大量のデータからビジネス上、

意味のある洞察を引き出し、意思決定者にわかりやすく伝え、データを用いた新たなサービスを作り出せる人材

であり⁵、ビッグデータの解析・分析・活用に大きな役割を果たすことが期待されている。しかしながら、欧米に比べて日本では、データサイエンティストの数が少なく、早急に養成する必要がある。

4. 人工知能⁶

IoTやインダストリー 4.0の進展には人工知能の進化も重要な要因となっている。特に機械学習の進歩は大きな影響を与えている。機械学習とはコンピュータが経験(処理)を通じて自らルールや知識を学習し、自身のパフォーマンスを高める技術である。さらに、最近注目を集めている深層学習は、多段階の情報抽出を実行することでより高い抽象化を行なえる技術であり、今まで人が入力していた特長も自身の力で把握できる。現在確実に適用できる範囲は画像認識や音声認識など限られた分野であるが、今後の発展により広範な分野に広がることが期待される。機械学習だけでなく、データマイニング、テキストマイニングなどの統計的手法の発達も人工知能の可能性を高めている。

また、いくら高度な処理が可能となっても、処理時間が長くなっては実用的ではない。この面でも以前に比べ処理能力が格段と速くなっており、リアルタイムでの応答もいろいろな分野で可能になりつつある。

ただ、人工知能といえども、人が設計したプログラムに沿って動くだけであり、「フレーム問題」も完全に解決したわけではない。人間のような意思や感情も持っていない。人工知能も人間にとっては道具の一つであるという視点は重要である。

5. インダストリー 4.0

インダストリー 4.0は2011年にドイツ政府が「High-Tech Strategy2020」行動計画の中

で採択されたのがはじまりで、その後推進組織として設立された「インダストリー 4.0プラットフォーム」では以下の8つの優先エリアが定められた⁷。

- ①ネットワークングの標準化とレファレンス・アーキテクチャー
- ②複雑化するシステムの管理
- ③産業向け総合ブロードバンド通信インフラの確立
- ④ユーザーの安全とセキュリティ
- ⑤企業組織と就労モデルの検討
- ⑥トレーニングと継続的な能力開発
- ⑦法規制のフレームワーク
- ⑧エネルギー効率の向上

上記の①～⑧のようにインダストリー 4.0はかなり広い範囲に及ぶが、IoTを用いたネットワークで工場をスマート化し、さらにスマート化した工場を連結し、各地域にある関連した企業群をネットワークで結び生産効率を大幅に向上させるという考え方は重要な概念の一つである。実際、インダストリー 4.0に関する定義(説明)はいくつかなされているが、その一つに以下のような定義(説明)がある⁸

インダストリー 4.0とは、ドイツの産学官が共同で取り組んでいる新しい製造業のコンセプトです。2011年にドイツ政府が策定した「ハイテク戦略2020行動計画」のひとつとして「インダストリー 4.0」が提唱されました。この内容を簡単にいうと、地域ごとに関係のあるメーカー群(これを産業クラスターといいま

す)のあいだをデジタル化・ネットワーク化することです。それにより産業クラスター単位で国際競争力をつけて、ドイツ製造製品の輸出拡大にとどまらず、デジタル化・ネットワーク化自体を輸出しようと目論んでいます。

また次のような定義（説明）もある⁹。

ITを使って製造業の競争力を高める取り組み。ドイツの国策で、産学官が連携して実現を目指す。「第4次産業革命」とも呼ばれる。

生産設備からセンサーでデータを収集し、生産性を高める「スマート工場」の実現を目指す。スマート工場同士を互いに連携させることでSCM（サプライチェーン管理）の効率化を図る。中長期的にはドイツ国内の製造業全体をあたかも一つの大きなスマート工場として機能させる構想を持つ。

上記の定義（説明）に共通しているのは、地域の工場群をネットワークで結びより効率的な生産体制を目指すことであるが、その際工場の内外を結ぶネットワークにIoTを用い、より生産性の高いシステムを目指すものである。

インダストリー 4.0において重要なのは、現状の生産体制の改良ではなく、IoTを含むネットワークを基本とする新たな生産基盤を創造し、かつその基盤を世界標準とし、そのネットワーク基盤そのものを売り上げるという点である。日本は新しいネットワーク基盤を作り、世界標準にするという面では出遅れており、最優先の課題として産官学が一体となって取り組む必要がある。

6. 社会的オートポイエーシス

ここでは後の議論のためオートポイエーシスを概観しておく¹⁰。

オートポイエーシスはルーマンにより社会学に適用され、さらに法学、精神医学、教育などさまざまな分野に適用されてきた。しかしながら、オートポイエーシスの定義は研究者により微妙に異なっている。

マトウラーナとヴァレラの定義は

オートポイエティック・マシンとは、

構成素が構成素を産出するという産出過程のネットワークとして、有機的に構成された機械である。このとき構成素は、次のような特徴を持つ。（i）変換と相互作用を通じて、自己を産出するプロセスのネットワークを、絶えず再生産し実現する。（ii）ネットワークを空間に具体的な単位として構成し、またその空間内において構成素は、ネットワークが実現する位相的領域を特定することによって自らが存在する。

であり¹¹、ルーマンの定義は

オートポイエーシス・システムとは、その構成のみならず、システムがそれからなる構成素をも、まさにこの構成素自身のネットワークにおいて産出するシステムである。

である¹²。また、河本の定義は

オートポイエーシス・システムとは、反復的に要素を産出するという産出（変形および破壊）過程のネットワークとして、有機的に構成（単位として規定）されたシステムである。（i）反復的に産出された要素が変換と相互作用を通じて、要素そのものを産出するプロセス（関係）のネットワークをさらに作動させたとき、この要素をシステムの構成素という。構成素はシステムをさらに作動させることによって、システムの構成素であり、システムの作動をつうじてシステムの要素の範囲が定まる。（ii）構成素の系列が、産出的作動と構成素間の運動や物性をつうじて閉域をなしたとき、そのことによってネットワーク（システム）は具体的単位体となり、固有領域を形成し位相化する。このときに連続的に形成される閉域（Selbst）によって張り出された

空間が、システムの位相空間であり、システムにとっての空間である。

である¹³。

山下はこれらの定義を比較検討し、以下のようオートポイエーシス・システムを定義している¹⁴。

オートポイエーシス・システムとは、産出物による作動基礎づけ関係によって連鎖する産出プロセスのネットワーク状連鎖の自己完結的な閉域である。閉域形成に関与する産出物を構成素と呼ぶ。

本稿においては、主として山下の定義を参照してオートポイエーシスを

回帰的な「産出させる働き」の連鎖

と考える。この定義においても、オートポイエーシス・システムは「位相的空間の閉域」に存在し、システムの構成素・システムの構造は環境ではないが、システムには属さない。また、以下の①～④の4つの性質も成立する。

- ①個性
- ②単位体としての境界の自己決定
- ③自律性
- ④入力・出力の不在

オートポイエーシスは、すでに述べたように、「生命とは何か」という問に答えるために提唱されたモデルであり、それを他の分野、例えば「人間社会」を1つオートポイエーシス・システムとして扱えるかどうかについては賛否両論あるが、本稿では「生命システム」以外のシステムにも適用可能であるという立場に立って、インダストリー 4.0をオートポイエーシスの観点から考察する。

7. オートポイエーシス・システムとしてのインダストリー 4.0

社会システムは人により構成されていると考えられるので、マトウラーナやヴァレラは人(人はオートポイエーシス・システムである)の構造的カップリングで社会システムを構成しようとした。このような考え方は複雑適応系でも用いられている。ジョン・フォランドの複雑適応系はゲルマンの複雑適応系の集合体と考えられ、社会システムを人(人はゲルマンの複雑適応系である)の集合体(ジョン・フォランドの複雑適応系)として捕らえることが可能である。すなわち社会システムは人から構成される。

しかしながら、オートポイエーシス・システムにおいては状況が異なる。社会システムをオートポイエーシス・システムとすると、人が社会システムを構成するとした場合、人は社会システムの部品となり自律性が損なわれる。このような難点が生じるので、人をもとに社会システムを構成することは、オートポイエーシス理論では不可能となる。この点を解決したのがルーマンの社会システム理論である。ルーマンは構成素をコミュニケーションとして社会システムを構成した。人が構成しているシステムを考察するときには、この点に注意する必要がある。

インダストリー 4.0をオートポイエーシスの観点から考えるとき、本稿では、情報が情報を生産すると考え、「情報のコミュニケーション」を構成素とする。この場合、オートポイエーシス・システムとなるのは「情報のコミュニケーションの連鎖を生じさせる働き」であり、位相空間の閉域に存在する。システムの構造となるのは情報通信機器である。この場合前述した①～④の性質は成立する。個々のインダストリー 4.0システム(一連の工場群)は当然識別できるので、①は成立する。境界の設定も当然自然なうので②も明らかである。自律性も当然成立し、③は明らかである。④は説明が必要である。システムは「働き」であり、位相空間の閉

域に存在する。システムの構成素(情報のコミュニケーション)や構造(一連の情報通信機器)はシステムとは不可分の関係にあるが、システムではなく、位相空間には存在しない。したがって、これらはシステムの出力ではない(出力の不在)。また、外部の影響(新しい情報通信機器の導入による通信機器の変化)は受けないわけではないが、システムの作動にとっての意味に従って、システムに内部化されるので、システムの作動が変化してもシステム内の変化となる。すなわち入力も存在していない。

以上の考察で、インダストリー 4.0システムがオートポイエシス・システムであることが証明された。

8. 多主体複雑系

オートポイエシスにおいては、インダストリー 4.0システムを構成する構成要素を人とすることはできないので、一般的なシステム論とは異なり、その扱いも直感的にはわかりにくいものとなる。そのため、本稿では、人を構成要素(エージェント)とみなすことが可能な多主体複雑系を用いてインダストリー 4.0システムを解析することも考える。この立場では、インダストリー 4.0システムを人あるいは「人と情報通信システムの組合せ」¹⁵が構成するシステムとみなすことが可能となる。ここでは、多主体複雑系について概観する¹⁶。

(1) 多主体複雑系の定義

多主体複雑系はエージェントとよばれる自律した意思決定主体が多数集まり、それらのエージェントが相互作用した結果生じてくる現象を扱う新しいシステム観である。エージェントの代表例は人や人により構成される組織や社会である。高木、木嶋、出口、畝見、奥田、寺野、松尾はエージェントを次のように定義している¹⁷。

エージェントとは、環境の中で自律的に活動する主体のことで、自らの中に主観的な内部モデルとして「環境や自己につ

いての解釈を与えてくれる枠組み」を持ち、そして、エージェントは相互にそれぞれの内部モデルを認識し、自らのものを修正しながら活動する。さらに、エージェントは複数集まってひとまとまりの高次の主体として活動する組織も形成する。これもまたエージェントと見なされる。

また、多主体複雑系を次のように説明している。

エージェントが複数集まると、それらの間の相互作用やエージェントと環境との間の相互作用の中からより上位の活動パターンが形成され、消滅し、再構成される。これこそが社会システムの示す自己組織性であり、このシステムを「多主体複雑系」とよぶ。

(2) 多主体複雑系の特質

多主体複雑系を理解する上で重要な点は以下の3点である。

- ①システムと環境の融合
- ②主観的内部モデル
- ③ネットワーク

①と②は多主体複雑系が示すミクロ的特徴であり、③はマクロの特長である。以下では、この3点について考察する。

①システムと環境の融合¹⁸

従来のシステム観においては、対象としての「システム」と、そのまわりをとりまく「環境」を明確に区別し、両者間の物質・エネルギー・情報の流れに注目するというシステムと環境の二項対立で議論されることが多かった。このような議論では、環境は己の外にある客観的なメカニズムを持ったものとして認識される。

それに対して、多主体複雑系は、システムと環境の明確な識別よりも、環境とシステムの一体性と融合性を強調するものであり、システム

と環境の二項対立による説明を放棄するものである。さらにこの立場では、環境はシステムの外側に客観的に存在するのではなく、意思決定主体の中に認識されるのであるが、この点については「主観的内部モデル」に関連して、事項で解説する。

②主観的内部モデル¹⁸

内部モデルとは意思決定主体が自らとの関係を含む周囲の状況を知覚し解釈して自らの内部に反映して持つ像（モデル）を意味する。意思決定主体は、意思決定し行動する際にこの内部モデルを参照する。すなわち、意思決定主体は、自らのおかれている状況を自分で認識し、良くも悪くもそれにもとづいて考え、行動するということである。従って、複数の意思決定主体が一つの状況に関与していても、その状況に付与する意味と解釈は主体ごとに異なるので、各主体が持った意味や解釈にもとづいて行なわれる決定ないし行動は当然異なったものとなる。

①と②で扱った2つの重要な概念はシステムの自己組織性を論じる時に不可欠な概念である。自己組織性とはシステムが自らの手で自らの組織と構造を変える性質をさす。言い換えれば、自己組織性とは自己が自己のメカニズムによって自己を変化させることであり、理論的には外からの影響がなくても自らを変化させうることを意味している。従って、自己組織性は単に環境決定的でもなければ環境適応的でもなく、文字どおり自己決定的な性質である。人が構成する組織や社会は自己組織性を持っている。組織や社会が変化するのは、それを構成する人の活動以外にありえないからである。

③ネットワーク¹⁹

従来、システム論ではネットワーク的な見方よりも階層的な見方がとられることが多かったが、多主体複雑系ではネットワーク的な観点を取り入れる。社会を構成する人は、相互に関係を持ちつつ自らネットワークをかたち作っている、この事実を前提とする考え方が必要で

ある。現代の企業はその理念、文化、そして体質の変革を通じて進化していくことが求められており、異質の価値との遭遇による古い価値秩序の「ゆらぎ」の強化を通じてこそ企業の自己組織化を成し遂げることができる²⁰。これらの変革は、組織を階層として見なすのではなく、人の生きるネットワークとして見たときに起こすことができるのである。

(3) アコモデーション²¹

現代社会においては、さまざまな価値観が共存し、共生し、不安定な中での安定が達成されている。様々な価値観が成立しながら、それぞれが他を受け入れている状況を「アコモデーション」とよぶ。アコモデーションは、利害や価値観が一点に収束するという意味での合意達成の状況とは異なり、他者の価値観が自らのそれとは違っていることを認め理解した上での共存であり、いわば「異越同舟」、「同床異夢」といった状況である。言い換えれば、人が関与する事柄に常にまわりつく対立はそのまま存在するとしても、異なる見解を持つ人々がその対立を「ともに事に当たろう」とする状態の一部として取り込んでしまう状況である。

意思決定主体の複雑な相互作用を見るときには、アコモデーションの側面に注目したほうが現実的であり、多主体複雑系を考察するさいにも重要な概念となる。

9. 多主体複雑系としてのインダストリー 4.0

インダストリー 4.0システムは一連の工場群から成り立っており、さらに工場（企業）は人により構成されている。従って、インダストリー 4.0システムは人が1次的なエージェントとなる多主体複雑系である。情報通信機器や工場の生産設備はそれ自身では意思決定主体とはなれないが、人との組合せを考えればエージェントとなりうる。人を含む工場（企業）は人というエージェントが集まって構成する2次的な（高次の）エージェントとなる。インダストリー 4.0

システムは人を含む工場(企業)をエージェントとする多主体複雑系と見なすことも可能である。

(1) システムと環境の融合

1次的なエージェントである人にとってのインダストリー 4.0に関連した環境とはIoT(物のインターネット)やIoTを可能にする情報通信機器・センサー・ビッグデータの処理方法・インダストリー 4.0を前提とする経営・生産システムの概念などであり、これらを自身の内部のモデルとして環境と一体化する。

(2) 主観的内部モデル

1次エージェントである人は(1)で述べた環境を書籍(学術書・専門書・一般用解説書・学術雑誌・専門雑誌・一般用解説雑誌など)、インターネット、展示会、IT企業からの情報(パンフレット・メールマガジンなど)および提案などから得た情報を主観的内部モデルとして取り入れる(環境との一体化)が、企業を構成する1次エージェントとしての人は一人とは限らないので、一企業内でも主観的内部モデルが異なる人が存在する。それらのアコモデーション的調整は各種の会議によりなされるが、取締役会(株式会社などの場合)でアコモデーション的に決定されたものが最終的なものとなる。取締役会の決定は2次エージェントとしての企業(工場)の主観的内部モデルとなる。重要事項の決定は外部環境に属する株主が構成する株主総会による承認が必要であるが、取締役会は株主の意向を考慮して主観的内部モデル化しており、環境との一体化となる。株主総会で否決された場合には、主観的内部モデルを変更し、再度承認を求める。このような形で取締役会の(企業)主観的内部モデルが変更される場合もある。

(3) ネットワーク

インダストリー 4.0システムは2次エージェントとしての工場(企業)のネットワークを基盤にしており、IoTを用いたネットワークはインダストリー 4.0システムの本質的な部分である。

インダストリー 4.0システムを構成する2次エージェントとしての企業(工場)はそれぞれ異なる主観的内部モデルを持っているので、ネットワークを構成する際に利害や価値観が100%一致することは少ない。従って企業間の結合は大部分がアコモデーション的な合意と考えられる。

10. おわりに

本稿では、まずIoTを考察し、人のインターネットと本質面では同じであるが、情報通信機器とそれに関係するセンサー、人工知能などの急激な進歩がIoTを可能にしたということを指摘した。さらにオートポイエシス・多主体複雑系を概観し、この二つのシステムからインダストリー 4.0システムを考察し、その特性を考えた。ただし、本稿で解析したのは膨大な内容を有する二つのシステム理論の一部分しか用いていないので、更なるシステム論的な研究が望まれる。

注

- 1 IoTについては参考文献1～6を参照した。
- 2 参考文献7、12頁。
- 3 参考文献8、14頁。
- 4 この見方は以下の資料を基にしている。
McKinsey Global Institute (2011) "Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity".
http://www.mckinsey.com/insights/mgi/research/technology_and_innovation/big_data_the_next_frontier_for_innovation
- 5 参考文献24、14頁。
- 6 人工知能については参考文献9を参照した。
- 7 参考文献10、46頁。
- 8 参考文献1、68頁。
- 9 参考文献5、9頁。
- 10 オートポイエシスについては参考文献11～22を参照した。
- 11 参考文献11、70頁。

- 12 参考文献22、65頁。
- 13 参考文献13、25頁。
- 14 参考文献21、18頁。
- 15 人と情報通信システムそれぞれが構成要素となるのではなく、「人と情報通信システムの組合せ」が1つの構成要素（エージェント）となりうる。「人と工場の組合せ」あるいは「工場(人を含む)」を考えても構成要素(エージェント) となりうる。
- 16 多主体複雑系については参考文献23に詳しい。
- 17 参考文献23、12頁。
- 18 この部分の解説は参考文献23の10～18頁をもとにしている。
- 19 この部分の解説は参考文献23の19～21頁をもとにしている。
- 20 この部分は以下の文献を参考にした
野中郁次郎『企業進化論』（1985）日本経済新聞社。
- 21 この部分の解説は参考文献23の74～80頁をもとにしている。なお、アコモデーションについては以下の文献に詳しい。
木嶋恭一『交渉とアコモデーション』（1996）日科技連出版社。
- （2013）講談社。
- 8 鈴木良介『ビッグデータビジネスの時代』（2011）。
- 9 『DIAMONDハーバード・ビジネス・レビュー 2015年11月号』。
- 10 尾木蔵人『決定版インダストリー 4.0』（2015）東洋経済新報社。
- 11 H.R.マトウラーナ、F.J.ヴァレラ（著）河本英夫（訳）『オートポイエーシス』（1991）国文社。
- 12 河本英夫『オートポイエーシス—第三世代システム』（1995）青土社。
- 13 河本英夫『オートポイエーシスの拡張』（2000）青土社。
- 14 河本英夫『オートポイエーシス2001』（2000）新曜社。
- 15 河本英夫『メタモルフォーゼ オートポイエーシスの核心』（2002）青土社。
- 16 河本英夫『システム現象学 オートポイエーシスの第四領域』（2006）新曜社。
- 17 山下和也『オートポイエーシス入門』（2010）ミネルヴァ書房。
- 18 ニクラス・ルーマン（著）佐藤勉（監訳）『社会システム理論（上・下）』（1993、1995）恒星社厚生閣。
- 19 G.トイプナー（著）土方透、野崎和義（訳）（1994）『オートポイエーシス・シテムとしての法』未来社。
- 20 河本英夫、L.チオンピ、花村誠一、W.ブランケンブルク『精神医学』（1998）青土社。
- 21 山下和也『オートポイエーシスの教育』（2007）近代文芸社。
- 22 Niklas Luhmann Die Gesellschaft der Gesellschaft, (1997) Frankfurt am Main .
- 23 高木晴夫、木嶋恭一、出口弘、畝見辰夫、奥田栄、寺野隆雄、松尾和洋『マルチメディア時代の人間と社会』（1995）日科技連出版社。
- 24 野村総合研究所基盤ソリューション企画部『ITロードマップ2015年版』（2015）東洋経済新報社。

参考文献

- 1 三菱総合研究所（編）『IoTまるわかり』（2015）日本経済新聞社。
- 2 小林啓倫『IoTビジネスモデル革命』（2015）朝日新聞出版。
- 3 日経コミュニケーション（編）『成功するIoT』（2016）日経BP社。
- 4 根来龍之・浜屋敏（編著）早稲田大学根来研究室（著）『IoT時代の競争分析フレームワーク』（2016）中央経済社。
- 5 日経コンピュータ（編）『すぐわかるIoT200』（2016）日経BP社。
- 6 加藤和彦『IoT時代のプラットフォーム競争戦略』（2016）中央経済社。
- 7 海部美知『ビッグデータの覇者たち』（2013）講談社。
- 8 鈴木良介『ビッグデータビジネスの時代』（2011）。
- 9 『DIAMONDハーバード・ビジネス・レビュー 2015年11月号』。
- 10 尾木蔵人『決定版インダストリー 4.0』（2015）東洋経済新報社。
- 11 H.R.マトウラーナ、F.J.ヴァレラ（著）河本英夫（訳）『オートポイエーシス』（1991）国文社。
- 12 河本英夫『オートポイエーシス—第三世代システム』（1995）青土社。
- 13 河本英夫『オートポイエーシスの拡張』（2000）青土社。
- 14 河本英夫『オートポイエーシス2001』（2000）新曜社。
- 15 河本英夫『メタモルフォーゼ オートポイエーシスの核心』（2002）青土社。
- 16 河本英夫『システム現象学 オートポイエーシスの第四領域』（2006）新曜社。
- 17 山下和也『オートポイエーシス入門』（2010）ミネルヴァ書房。
- 18 ニクラス・ルーマン（著）佐藤勉（監訳）『社会システム理論（上・下）』（1993、1995）恒星社厚生閣。
- 19 G.トイプナー（著）土方透、野崎和義（訳）（1994）『オートポイエーシス・シテムとしての法』未来社。
- 20 河本英夫、L.チオンピ、花村誠一、W.ブランケンブルク『精神医学』（1998）青土社。
- 21 山下和也『オートポイエーシスの教育』（2007）近代文芸社。
- 22 Niklas Luhmann Die Gesellschaft der Gesellschaft, (1997) Frankfurt am Main .
- 23 高木晴夫、木嶋恭一、出口弘、畝見辰夫、奥田栄、寺野隆雄、松尾和洋『マルチメディア時代の人間と社会』（1995）日科技連出版社。
- 24 野村総合研究所基盤ソリューション企画部『ITロードマップ2015年版』（2015）東洋経済新報社。