EAJ 報告書_2020-03

ナラティブものつくりの提案

-デジタル革命時代の日本の製造業のあり方-

令和 2 年（2020 年）11 月 13 日

公益社団法人日本工学アカデミー

未来の製造業プロジェクト

本報告は，公益社団法人日本工学アカデミー「未来の製造業プロジェクト」における調査研究結果を取りまとめて公表するものである。

日本工学アカデミー「未来の製造業プロジェクト」
ナラティブものつくりの提案-デジタル革命時代の日本の製造業のあり方-
検討体制

	氏名	所属(プロジェクト発足時)
リーダー	佐々木 直哉	日立製作所研究開発グループ 技師長（正会員）
幹事	善本 哲夫	立命館大経済学部教授
幹事	古川 英光	山形大学教授（正会員）
幹事	中谷 光男	MAKErsSENSE（株）代表，元パナソニック
	淺間 一	東京大学教授　（正会員）
	大江田 憲治	日本工学アカデミー 常務理事（正会員）
	岡島 博司	トヨタ自動車
	帯川 利之	東京電機大教授
	木村 文彦	東大名誉教授（正会員）
	佐藤 浩毅	伊藤忠商事 ビジネス開発・推進部 開発戦略室長
	城石 芳博	日立製作所研究開発グループ 技術顧問（正会員）
	長瀬 公一	東レ株式会社 研究本部 嘱託（正会員）
	中村 道治	科学技術振興機構　顧問（正会員）
	西岡 靖之	法政大学教授，IVI 理事長
	西村 豪生	横河電機（株）マーケティング本部
	持丸 正明	産総研 人間拡張研究センター 研究センター長
	村山 英樹	地球快適化インスティテュート 代表取締役（正会員）
	安永 裕幸	UNIDO 東京事務所所長（正会員）
	山中 俊治	東京大学教授
	和佐田 健二	NEDO ロボット・AI 部 主査 兼 World Robot Summit プロジェクトマネジャー

（五十音順）

本報告の作成にあたり，以下の方々にご協力いただいた。

中山 智弘	科学技術振興機構 研究開発戦略センター（CRDS） 企画運営室長・フェロー（正会員）
鈴木浩	日本経済大学大学院 メタエンジニアリング研究所所長 （正会員）

要　旨

18 世紀半ばに始まった産業革命以来近代的な製造業が発展した結果，人工物（もの）が社会にいきわたり，人びとの生活レベルが格段に向上した。これを支えてきたのは，合理性，効率性，統計性を判断基準とした社会的，経済的価値の追求や顧客満足度の向上に向けた努力である。しかし，20 世紀後半から，資源消費型の工業化に代わり，持続可能な社会の実現に向けた価値創造が追求されようとしている。50 回目の節目を迎えた今年のダボス会議では，株主のための利益優先の企業活動ではなく，社会や人類のための活動を率先して行おうとするステークホルダー資本主義がスローガンとして出されたことが，価値基準の変化を象徴している。

一方で，多発する自然災害や新型コロナウイルスによるパンデミック，気候変動などにみられるように，VUCA(Volatility〔不安定〕，Uncertainty〔不確実〕，Complexity〔複雑〕，Ambiguity〔曖昧〕）とも言われる，今まで経験したことがないような不確実で不透明な時代を迎えている。とりわけ，我が国では少子高齢化が急速に進展し，労働人口が減少している。この様な中で，未来の製造業をどのようにデザインするか問われている。

これに答えるために，Society5.0 や SDGs といった普遍的な中長期的目標を見据えながら，資源・環境に優しく，人々の幸せや喜びを与える，新たなものつくりの方法論を構築し，競争力を維持発展することが望まれる。このために，需要者である使い手の意識の奥に潜む，新たな幸せや喜びといった価値への想いを明らかにし，作り手の価値観や想いとぶつけ合って，使い手と作り手とが製品やサービスの価値を最大化，多様化する“和らかな場”の構築を提案したい。

医療現場では，従来のエビデンスに基づくアプローチだけでなく，患者が抱く情動，感情，想いなど，現時点で論理的に言い表せない（未論理的な）無形のもの，すなわち見えざる想いを顕在化して，医師がその解決策を提供する方法論として，先駆的に**ナラティブ（叙述）**[1〜5] アプローチが浸透し始めている。ここでは，患者と医師の対立した想いを排除するのではなく，妥協できる所を見つけ，双方の関係性から，患者の心の背景や気づき，自覚することを原動力として，その「間」（のりしろ）の部分から新しい治療法を生み出してきている。

この様な考え方は，未来の製造業のあり方に大きな示唆を与える。論理性が求められるものつくりにおいて，最新のデジタル技術の活用により使い手や作り手の未論理的な想いや様々で異なる価値観を新たな製品価値の源泉とする中に，未来の製造業への道が隠されていると考えられる。ここで，未論理性とはまだ論理性まで達しない状態を言う。

本手法では，一見非合理，未論理的ではあるが，より良い社会や暮らしの実現を希求する使い手の期待と，作り手のビジョン，野心，感受性，洞察，情熱といった未論理的な想いとの調和を図り，先端的デジタル技術との融合によって有形の人工物に具現化する。具体的には，デジタル技術を活用したナラティブ手法(叙述的方法)により，従来の無機質的なサイバーフィジカルシステム（Cyber-

Physical-System）では非合理的なものとして抜け落ちがちな使い手の多様な価値観や思想（見えざる想い）を抽出することで，設計者等の作り手には気づきが得られ，使い手は自らの無形の価値観や思想との調和を図り，新たな価値創造に積極的に活用する。ここでデジタル技術により抽出，統合された多様な価値や思想は，使い手と作り手の，“のりしろ”として機能し，分かり合えないもの同志の合意を基に，ものに付与される骨格としての本質的な魅力や意味を含んだ重要な概念で，本提案ではこれを**デジタルな魂**と呼ぶ。また，ナラティブなアプローチや設計手法により得られたデジタル魂を具現化するものつくりを**ナラティブものつくり**と呼ぶ。

すなわち，次世代 CPS 概念の一つとして，“使い手の物語や想いとそれに呼応した作り手の想いや気づきの相互作用から得られる深い発想を源に，先端デジタル技術による合意形成に基づく新しい意味（デジタルな魂）を具現化する絶妙なものづくり”をナラティブものつくりと定義する。

この考えを基に，深化するデジタル技術を活用することによって，ものつくりプロセスを未論理性に論理性を与えていくプロセスに変換し，人びとの未来創造能力をさらに引き出し，人間中心のものつくり論を構築することが可能となる。客観的なデータや情報の分析とは異なり，未論理的として捨象されがちな人の思考空間を広げる結果，社会デザインの視点を見据えた，設計プロセスにおいてより幅と奥行きのある仮説推論が可能となる。

合理性・効率性・統計性の価値判断基準によるアプローチに加え，ナラティブなアプローチを定着させることで予想される，2030 年～2050 年頃を想定した，社会や産業へのインパクトを以下にまとめる。

1）見逃され，あるいは捨象されがちな貴重な価値（使い手の多様で多義的，未論理的な見えざる想い）を，ナラティブなアプローチを活用することにより，作り手の気づきとして抽出し，個人，集団，地域などにおいて，使い手の多様な発想や関係するステークホルダーによる共創的なプロセスに基づいた，多様なデライト(喜びや驚き)製品やサービスを提案できる。

2）作り手と使い手の協働による新しいものつくりを通じて，お互い理解しえない，分かり合えないような者同志がつながり，人間中心の心豊かな社会の実現や持続可能で誰一人取り残さない社会の実現に貢献することができる。

3）統計的手法※では見いだせない課題や事故などの作り手には予め想定出来なかった使い手固有の課題，見逃されがちな地域固有の文化を抽出し，未論理的な情報を有効活用して，新たな価値の源泉を醸成することで，製造産業の設計技術に奥行きを与え，発想豊かな作り手の育成に貢献できる。

※統計的な手法では，対象を平均的，大局的に見るため，細かな特異的な事象を見逃してしまう事がある。

本調査研究の議論にもとづいて，以下を提言する。

提言（１）:“ナラティブものつくり”を成長戦略の一つに加える

ナラティブものつくりは，これまでの合理的・論理的・規模的な価値観の限界を超えるもので，個や集団，地域における作り手と使い手のナラティブな相互作用による新しい価値創出を，デジタル技術の活用によって実現する。未来の製造業へのアプローチとして国の施策になっている「つながる産業（Connected Industries)」を補強するものとして，骨太の科学技術・イノベーション戦略の一つとして提言する。

提言（２）:未論理的な知識を抽出しデジタルな魂として製品に具現化する人材育成の仕組みの構築

従来の量的イノベーションから質的イノベーションへの転換を促進するために，未論理的な価値や思想からなるデジタル魂を製品に具現化する人材を育成すべきである。このために，大学，学会等のアカデミアと産業界が取り組むべき新たな人材育成の仕組みを検討すべきである。具体的には，作り手としてのビジョン，野心，感受性，洞察，情熱をベースに，思考の可視化，発見的，アドホック的アプローチ，仮説推論，人文社会科学と自然科学の連携を推進する人材育成の仕組みの構築を提言する。

提言（３）:デジタル技術による逆問題的アプローチの強化

さまざまな課題が複雑に絡み合い，時間と共にその関係性が変化する不確定性が強い環境において，事前に実現すべき価値を的確に定めること自体が困難な場合が多い。そこで，複雑な環境にプロトタイプ（原理モデル）を置き，そこから得られる様々な人文社会学的観点からの不定形情報や人びとの感情や動作，物理データなどをセンシングと学習により解釈し，製品の構成要素としての部品やデバイス，ソフトウェア等にフィードバックする逆問題的アプローチを，大学，学会等のアカデミアと産業界が連携して強化することを提言する。

提言（４）:ナラティブものつくりのための分野横断的研究・学術体系の構築

ナラティブものつくりの場では，人文社会科学的な事象と科学技術的な事象を同じ土俵で扱う必要があり，情報科学や記号論，言語学等を取り込んだ設計システムの構築が必要である。そこには，人びとの推論能力を高めるAIの新たな活用方法も含まれる。今後，大学や学会が先端的に取り組むと共に，産学連携のもとで本設計システムを構築することを提言する。

目　　次

１．背景と概要

２．デジタル時代のものつくりにおける期待と課題

３．ナラティブものつくりの考え方と一体型 CPS

４．ナラティブものつくりの設計技術

　4.1　新しい設計技術

　4.2　逆問題的アプローチ

５．ナラティブものつくりにおける価値体系と新たな学術分野

６．ナラティブなアプローチの事例

７．社会的なインパクト

８．想定するナラティブものつくりのプロセス事例

９．ナラティブものつくりのエコシステム

１０．まとめ

＜参考資料＞

　審議経過

＜付録＞

１．新たな人間中心，人材育成に向けた，作り手のシンセシスとしての視点

２．新たなイノベーション創出の考え方

３．ナラティブものつくり全体システムのイメージ

４．EAJ 未来の製造業 PJ における委員アンケート概要

＜参考文献＞

＜用語の説明＞

１．背景と概要

18 世紀半ばに始まった産業革命以来近代的な製造業が発展した結果，人工物（もの）が社会にいきわたり，人びとの生活レベルが格段に向上した。これを支えてきたのは，合理性，効率性，規模を判断基準とした社会的，経済的価値の追求や顧客満足度の向上に向けた努力である。しかし，20 世紀後半から，資源消費型の工業化に代わり，持続可能な社会の実現に向けた価値創造が追求されようとしている。50 回目の節目を迎えた今年のダボス会議では，株主のための利益優先の企業活動ではなく，社会や人類のための活動を率先して行おうとするステークホルダー資本主義がスローガンとして出されたことが，価値基準の変化を象徴している。

一方で，多発する自然災害や新型コロナウイルスによるパンデミック，気候変動などにみられるように，今まで経験したことがないような不確実で不透明な時代を迎えている。とりわけ，我が国では少子高齢化が急速に進展し，労働人口が減少している。この様な中で，未来の製造業どのようにデザインするか問われている。一方，人文系（一般社会）と自然科学の交流が促進された面もある。

21 世紀に入って，デジタル・トランスフォーメーション（DX）への注目が世界的に高まってきた。我が国では，第 5 期科学技術基本計画において，Society 5.0 を旗印に情報化社会から社会を次の新たなフェーズへと変革する挑戦を唱え，その実現に向けた新しい産業の創造へと歩みを進めるに至っている。その潮流は，人間中心の立場で経済発展と課題解決の両立を目指す Society5.0 のモデル構築へと発展し，2015 年に国連サミットにおいて「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」で採択された 2030 年までの国際目標である SDGs 達成と深く結びつけられるようになっている。

卒近代化ともいわれるこのような変革に我が国の製造業が積極的に対応し，新たな成長シナリオを実行するために，本プロジェクトでは，2030 年～2050 年頃を想定した，新たな人間中心の革新的設計製造方法を検討する。

本方法では，より良い社会や暮らしの実現を希求する使い手の期待や想いと，作り手のビジョン，野心，感受性，洞察，情熱との調和を図り，先端的デジタル技術との融合によって有形の人工物に具現化する。具体的には，デジタル技術を活用したナラティブ手法（叙述的手法，精しくは用語解説参照）により，従来の無機質的なサイバーフィジカルシステム（Cyber-Physical-System）では非合理的なものとして抜け落ちがちな使い手の多様な価値観や思想（見えざる想い）を抽出することで，設計者等の作り手に気づきを与える。作り手は自らの無形の価値観や思想との調和を図り，新たな価値創造に積極的に活用する。

この様なものつくりは，これまでの作り手主導のものつくりやストーリー型ものつくりと異なり，我が国の伝統的文化にも会うことから，製造業の今後の発展に貢献すると考えられる。

２．デジタル時代のものつくりにおける期待と課題

2010 年代になって，ビッグデータや AI，センシング技術を活用したサイバー

フィジカルシステム（CPS）の本格的な社会実装を目指すデータ社会の到来を迎えた。このような中で，ハートウェア，ソフトウェア，応用システムのそれぞれにおいて新しいスタートアップ企業が続々と生まれている。一方で，既存企業がCPSを使ったイノベーション創出で果たす役割は変わらず大きい。豊富な経営資源と知識，技術の蓄積を持つ大企業，中小企業の新たな展開として，従来の延長にない方向を打ち出すことが求められている。

デジタル革命を背景とするデータ駆動型ものつくりは，昨今の社会課題解決やニーズの充足に威力を発揮する。他方で，デジタル革命の恩恵は誰もが広く享受できるようにまで汎用化しつつあり，活用されるデータや考え方も，似かよったものを取り扱う傾向が強まることを否定できない。データ社会において，誰もが同じデータを使い，また考えたことが即座に共有できることが可能なため，過剰なつながり（Overconnected）により，創出されるものやサービスは差異性に乏しく，コモディティ化のスピードも加速する。また，IT 業界を席巻しているGAFA（Google，Amazon，Facebook，Apple）等は，大量のデータによるソリューションを提供する量的な戦略に対して質的に如何に対応できるが問われている。

しかしながら，これからの複雑で不確実な社会においては，量的メリットを追うのではなくではなく，個別の課題にも配慮したインクルーシブなモノづくりが必要と考えられる。特に，Society 5.0 や SDGs の達成においては，個人や集団，地域の期待や課題を臨床的に把握し，人びとの幸せや喜びに転嫁することが重要である。

一方，昨年暮れに発生してまたたく間に世界に広まった新型コロナウィルスの猛威の中で，製造業が容易に対応できないという無力感があった。人工呼吸器，マスク，手袋等の不足や，食品備蓄，輸入停止などに対して，本来日本のもの作りはどうあるべきか自問自答せざるをえない状況であった。身近に使える医療機器や新しい抗菌処理，局所的空気の流れ制御，見えないウィルス分布の計測と可視化，さらにはプライバシーの観点からもろ刃の剣でもあるが，人の動きセンシングなど様々な課題が顕在化してきた。人に寄り添う臨床的なものつくりの観点から，開発，設計，製造における先端デジタル技術の導入を加速する必要がある。

本プロジェクトでは，２０世紀から２１世紀の約四半世紀にかけて駆動してきたベクトルとは違う方向へとものつくりの舵を切り，社会や個人に驚き・喜び・感動をもたらす新たな価値の創出に向けて，社会変革を触発しイノベーションの創出をめざすものである。

３．ナラティブものつくりの考え方と一体型 CPS

これまでのサイバーフィジカルシステム（CPS）の概念は，物理空間のデータをサイバー空間に吸い上げて情報処理し，再び物理空間に戻してアクチュエーターを駆動するというフィードバックを中心とするメカニズムからなり，サイバー空間とフィジカル空間は離散的，無機質的な関係にある。本プロジェクトでは，CPS が持つ潜在能力を新たなステージへと移行させ，サイバー空間とフィジ

カル空間の一体化を意図する（図１）。

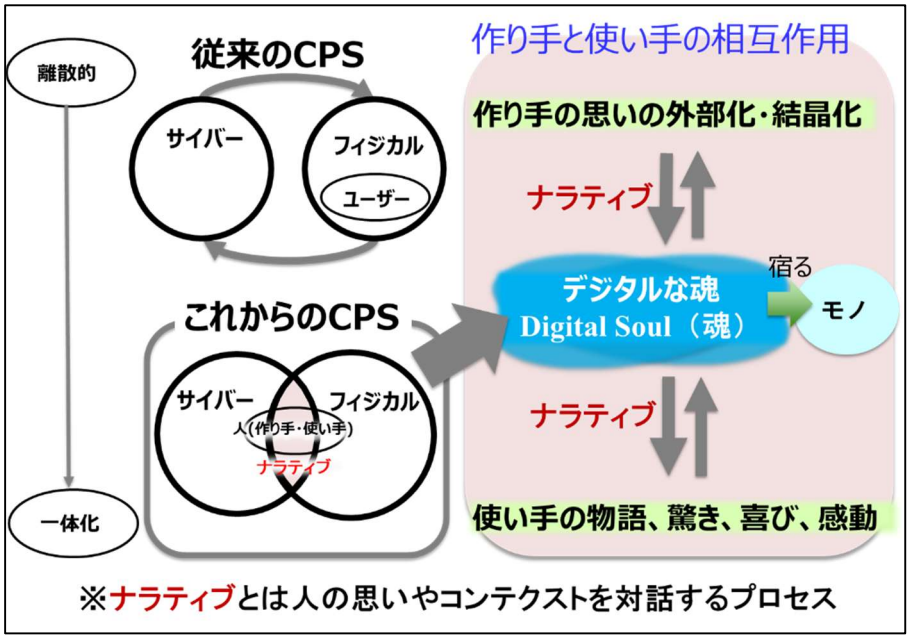

図１　従来の CPS とこれからの CPS

これは，センシングとそのデータを処理，分析する場所や人の関係性が数値的，合理的，離散的なこれまでの CPS 概念の拡張であり，統計的手法から洩れてしまう貴重な情報や価値を大切に扱い，作り手の設計空間を拡張する有機的な CPS の仕組みであるといえる。具体的には，デジタル技術を活用したナラティブ手法により，従来の無機質的な CPS では非合理的なものとして抜け落ちがちな使い手の多様な価値や思想を抽出することで，設計者等の作り手には気づきが得られ，作り手はこれを実現すべき価値として積極的に製品に実装することができる。

ここで，ナラティブ手法（叙述的手法）とは，人の想いやコンテクスト（文脈）についての時間的対話と気づきのプロセスとして，元々医療現場で活用され，最近では，デザインやマーケッティング手法の一つとして，徐々に広がりつつある。ナラティブ手法では，人の経験や夢などを意味づけることを重視する[5)]。本報告では，ナラティブな取り組みを，対話や対話に基づく合意形成を通じて，価値視点での未来への期待を意味づける協働行為と定義する。

既に述べたように，これにより抽出された多様な価値や思想は，従来は対立していた使い手と作り手の，“のりしろ”として，分かり合えないもの同志の合意を基に，ものに付与される骨格としての本質的な魅力や意味を含んだ重要な概念で，本報告では**デジタルな魂**と呼ぶことにする。また，ナラティブな手法を用いて構築されるデジタルな魂を製品に実装するもの作りを**ナラティブものつくり**と定義する。

従来のアプローチでは，デザイン思考的にユーザーのニーズや潜在価値をデータ等から類推して，課題を解決する手法が主流であった。しかしながら，これからの複雑で不確定性が強い社会では，事前にニーズや価値を的確に捉えるこ

とが難しくなる。また，ニーズの枯渇，飽和，価値のコモディティ化も心配される。これに対し，本報告では，作り手の製品への想いと使い手の無形の想いをもとにした最大価値や多様性を探索し，作り手と使い手の相互作用による後付けの新しい価値の再構成という視点を提案する。これにより，使い手の幸せや喜び，価値を求める意識の奥に潜む想いを明らかにし，それを作り手が満たし，従来対立していた作り手と使い手とが打ち解けてなごやかになる“和らかさ”を構築することが可能となる。

対立したものを排除するのではなく，妥協できる所を見つけ，双方の関係性から，気づき，自覚することを原動力として，その「間」（のりしろ）の部分から新しい価値を生み出だすことは，“足るを知る者は富む”といった日本の中空構造文化[6)]の光の部分とも言え，ナラティブなアプローチを受け入れやすい日本が，新たなものつくりシステムを早期に我が物とし，世界をリードできると期待される。

この実現ためには，気づきによる新たな価値創出を具現化する方法論を革新的設計生産手法としてシステム化し，中長期的時間軸を持つフィードフォワード及びフィードバックの組み合わせや，ナラティブの考え方から編成されるもの作りプロセスとして確立するための**一体型拡張 CPS** が重要になる(図 1)。

そこでは，デジタル技術と連携した新たな仕組みの構築が検討されることになる。つまり，一体型拡張 CPS の考え方は，デジタル技術の潜在力をさらに引き出し，生産側と消費側の対話を，具体的なものつくりプロセスで実現していくことを目指す。この一体型拡張 CPS の活用により，作り手の仮説推論能力が向上していく。さらに，ここで得られた多様な価値や思想がデジタルな魂に結実し，製品に宿らせることになる。

従来，現在のものつくりと，未来のナラティブものつくりの考え方を図 2 に模式的にまとめた。従来は，企業の技術者やアカデミアの発想によるシーズ志向のもの作りが主流であった。特に，日本の経済成長の中で，色々な製品が出現し，大量生産によるやり方で，新しいものが生み出されていた。この場合は，作り手からの一方的な価値の提供といえる。現在では，デザイン思考や AI，IoT，SNS 等のネットワークやデジタル技術の発展により，多様な使い手からの顕在的，潜在的ニーズを検知することで，データを基に新しい課題や価値を探索し，それに対応して，作り手が価値を提供するやり方が行われている。この方法はこれからも主流として行われていくと予想できるが，一方，今後増々複雑で不確定性な社会が訪れることや，新型コロナウィルスによるパンデミックで見られたように事前に新しいニーズや潜在価値を捉えることが難しくなってくることから，既存の経験を代表するデータの解析だけでは限界がある。また，ニーズの飽和や枯渇，価値のコモディティ化が進展する。したがって，未来の製造業としては，複雑な現象や社会状態をそのまま受け入れて，現場からの自己組織化的な価値創出をうまく活用する，後付けの価値再構成（ポストディクション）という考え方を提案する。

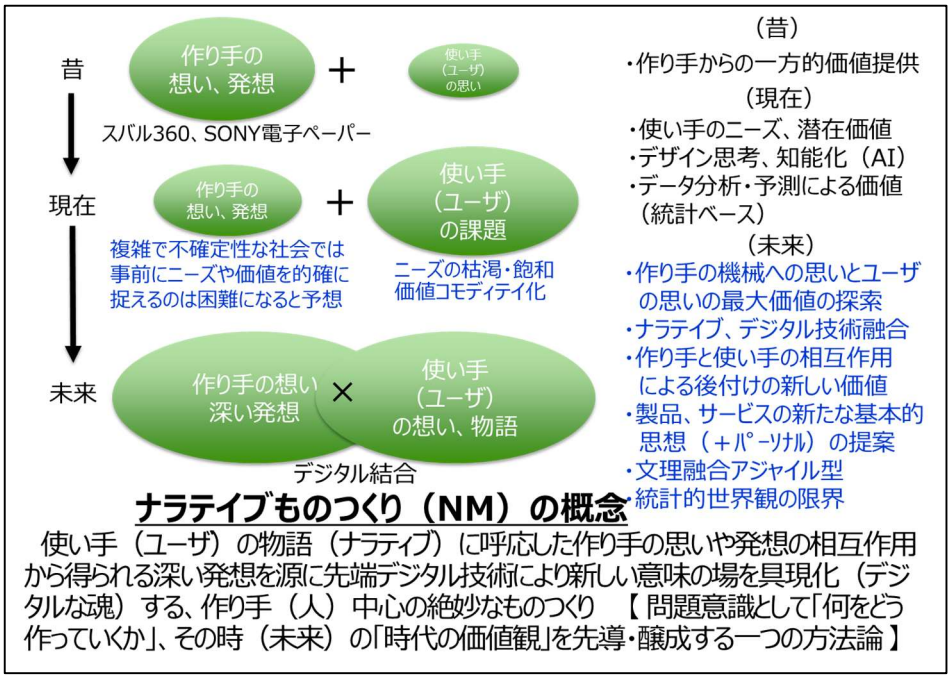

図２　ナラティブものつくりの考え方

すなわち，本提案のナラティブものつくりでは，次世代 CPS 概念の一つとして，“使い手の物語や想いとそれに呼応した作り手の想いや気づきの相互作用から得られる深い発想を源に，先端デジタル技術による合意形成に基づく新しい意味（デジタルな魂）を具現化する絶妙なものづくり”をナラティブものつくりと定義する。使い手と作り手の意識の深いレベルの相互作用を通じて，人

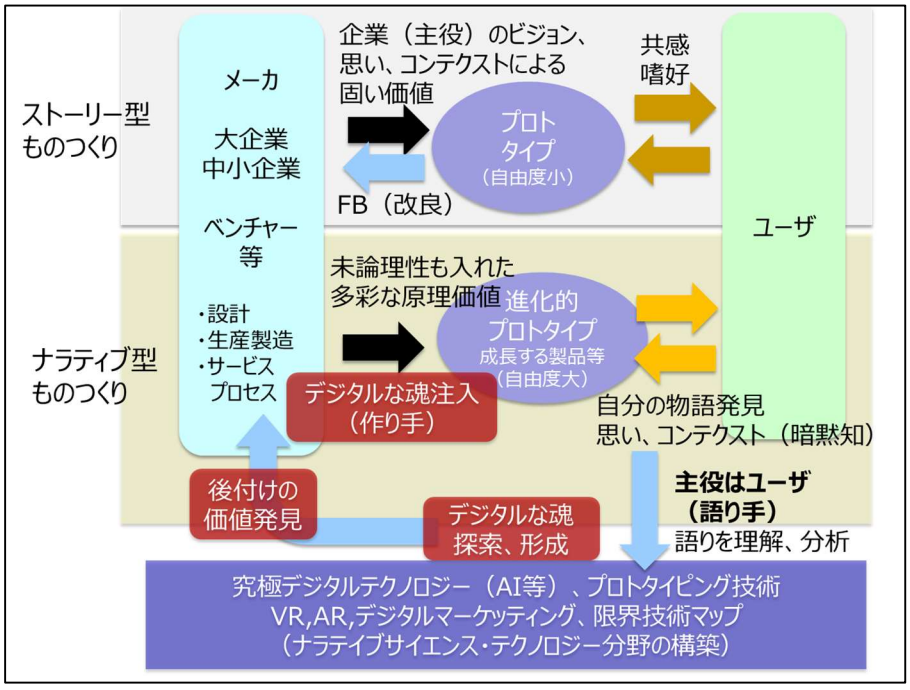

図３　ストーリー型ものつくりとナラティブものつくり

間中心の絶妙なものつくりをめざすことに大きな特徴があり，わが国発の製造業の新しいリーダーシップの形として期待される。

従来のストーリー型のものつくりと今回のナラティブ型のものつくりシステムの違いを図 3 に示す。ストーリー型ものつくりでは，作り手のビジョンや想い，文脈での物語やヒントが一方的に提示されてきた。ナラティブものつくりは，多様な使い手と作り手の主観情報や想い，データ等を共有し，新たなものつくり価値創出の原動力とする使い手と作り手が共同参加するものつくりである。

4．ナラティブものつくりの設計製造技術

4.1　新しい設計技術

使い手の想いを一体型拡張 CPS の活用によってデジタル魂として顕在化し，これらを具体的に製品やサービスの中に機能や形として外部化し，結晶化させるのは設計製造技術である。作り手を新しいもの作りに駆り立てるのは，ビジョン，野心，感受性，洞察，情熱であり，使い手の想いを顕在化して調和させるシステムが求められる。

自動車の例を用いて図 4 にデジタルな魂が今後どのように人工物に入って行くかを示す[7]。1960 年代の自動車にはハードウェアに電子制御機能が付き，1990 年代にはさらにソフトウェアによる制御が主流となる。最近では，AI を中心とする学習による制御に基づく，自動運転等の開発が進められている。2030 年以降は，詳細で高精度，ダイナミックなデータ群の解釈や，作り手や使い手の想いやこだわりを顕在化することにより，人と環境に優しく，社会変革や新しい文化を生み出すような成長する自動車が作られると考えられる。デジタルな魂とはこの「新しい価値」であり，これを実現する方法論や技術体系が新しい設計製造技術として求められる。

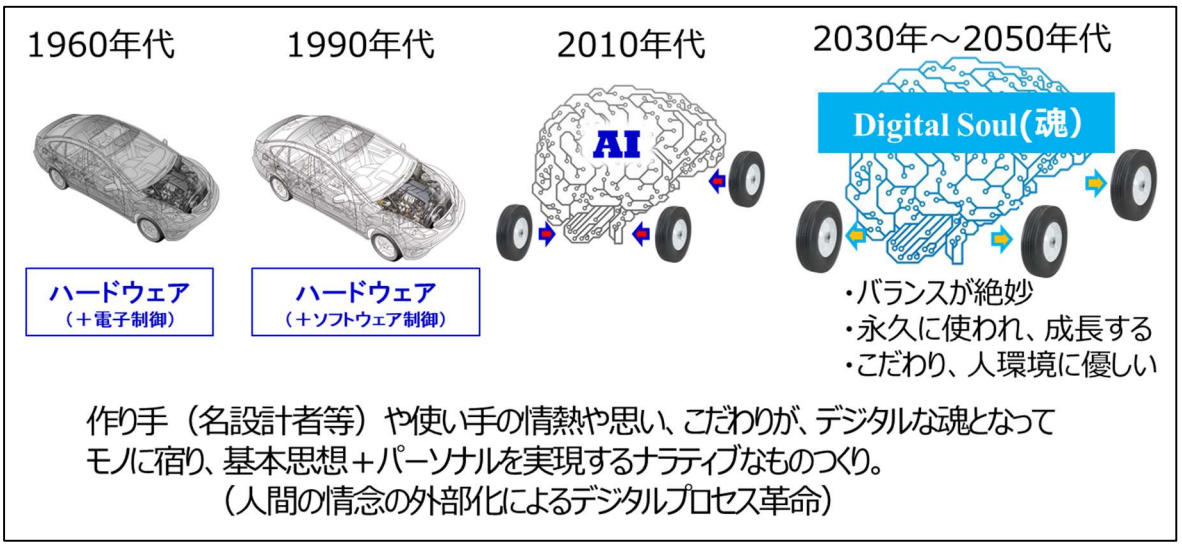

図 4　デジタルな魂の考え方

従来の知識蓄積の考え方では，これまでと異なるベクトルや領域から作り手の思考空間を拡張するために，データや情報を組み合わせ，またその関係性を検

討することは難しい。実世界へのフィードバックを目的に IoT 等で収集するデータ分析を中心とする従来の CPS は論理性が重視されている。これに対して，一見すると無関係なランダムデータや，使い手や作り手の未論理的な想いを活用することにより（この分野を「VASIP」と称す：付録 1,2 にて詳細を説明）[7) 8) 9)]，作り手の思考空間の拡張が期待できる。そのためには，サイバー世界とフィジカル世界を一体化させる新たなシステムの確立やこれらの技術を俯瞰，進化させる学問領域が必要になる。このためには，例えば，未論理的な情報をもとに CAD データを生成する変換処理技術や新たな言語技術，データ構造，ひらめきや気づきを視覚化，具現化する AR/VR，シミュレーション，AI，3D 造形等の高度化と活用が必須である。一体型拡張 CPS はランダムデータや未論理的な想いからの作り手のひらめきや感情の動きを可視化するツールであると同時に使い手の感情の動きを可視化，構造化する役割を果たす。

我が国の製造業は，作り手の想いをハードウェアとして具現化することで得意とする応用技術を価値に変えてきた。この系譜を引き継ぎ，進化するデジタル技術の潜在力と結合する考えがナラティブものつくりでありデジタルな魂である。過去，ハードウェアにおいてデジタル技術は制御の領域で実装されてきた。特に，2010 年代は AI が急速に進化し，ものつくりにおいても制御としてその活用が重要視され，実装が現実的になっている。しかしながら，本プロジェクトでは，ハードウェアへの AI 実装は「真のデジタル革命」に向けた過渡的な役割にあると考えている。デジタル技術の潜在力が制御だけでなく，作り手の想いや仮説推論と結びつき，驚き，喜び，感動を生み出す価値に結びつけるものつくりプロセスの実現によって，現在の踊り場的なデジタル革新が，真のデジタル革命に移行する。デジタル魂をものつくりの中核におく考え方は，作り手の仮説推論や未論理的要素の可視化・構造化・操作とともに，また，ナラティブな手法，すなわち生産側・消費側の対話を通じて，これまでの計量的な見方から，そこから逸脱してしまう大切な個の価値までも詳細に配慮することで，新たな価値として実装定着に向けた柔軟性を高めることになる。

デジタルな魂は新たな価値の源泉であると同時に，その創出プロセスを通じて，人材育成として作り手の推論能力も向上していく。デジタルな魂をコアとすることにより，使い手・作り手の想いの具現化や使い手の驚き・喜び・感動や価値を創出する「高次具現ものつくり」を実現する。そのために必要な論点は，日本の本来からの強みでもある人間中心の革新的設計製造技術を生み出すことにある。製造技術においては，従来以上の高い造形自由度と精度，高スピード，また新しい材料や異材接合技術を合わせ持った 3D プリンタや構造材-デバイス一体造形など，デジタルな魂を具現化するための制約条件のない設備や機械開発が求められる。また，使い手に呼応し製品が進化できるアーキテクチャも必要。

4.2　逆問題的アプローチ

これからの複雑で不確実な社会動向や SDGs の様に，さまざまな目標にシナジーとトレードオフの関係がある現実においては，個人，集団，組織，地域等の使

い手の想いや語りを作り手側が事前に予測することや，的確に価値を定めることは容易でない。そのために，デジタル技術を駆使して，複雑なままの環境にプロトタイプ（原理モデル）を置き，そこから得られる人びとの感情や動作，集団や組織の振る舞い，物理データ等のセンシングと学習，言語理解等により得られた新しい意味の発散的で多彩な情報を，自動的に製品やサービス等の構成要素としての部品やデバイス，ソフトウェア等に逆問題としてフィードバックして，設計，生産，製造プロセスとも連携する仕組みが重要になる。原理モデルは成長・進化するプロトタイプとして使い手個別の幸せや喜び，物語醸成を喚起して

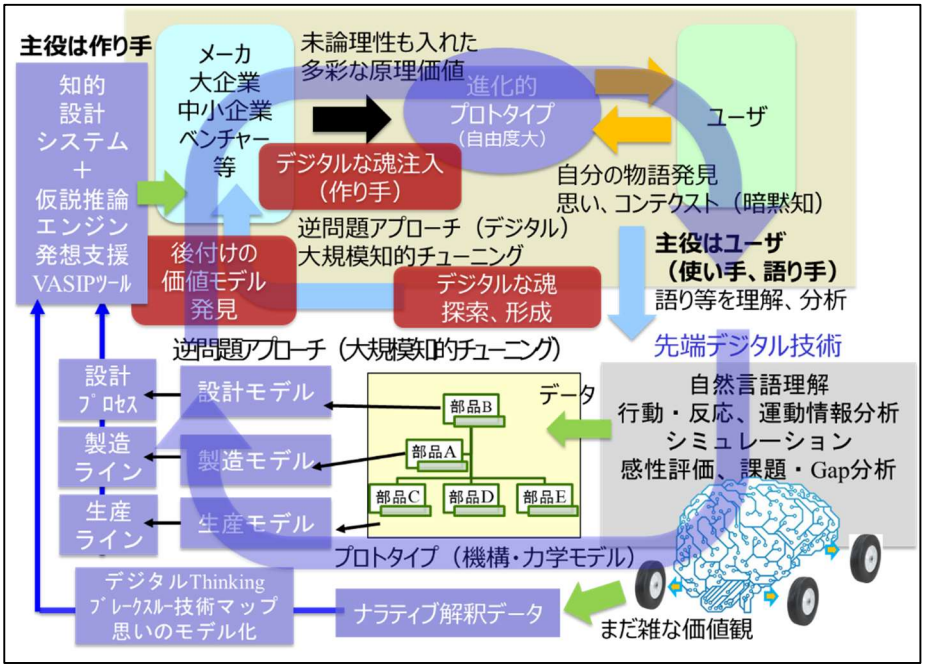

図５　ナラティブものつくりにおける逆問題的アプローチ

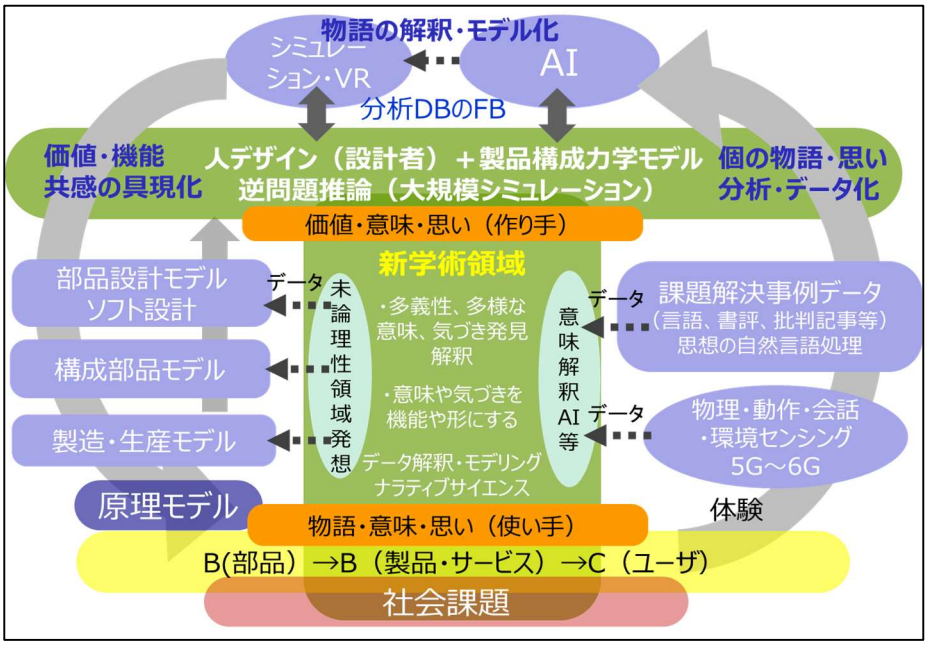

図６　ナラティブものつくりにおける設計体系

いく。具体的イメージを図 5 に示す。作り手は，この仕組みを活用することで，使い手の想いと共鳴することで，さらに価値あるものつくりを実現することが期待できる。このような研究分野の構築と推進が今後重要となる。

図 5 に示した逆問題的ナラティブ技術プラットフォームは，未論理性領域の発想を活用するための上流設計開発ドライバーに位置づけられ，多様な革新的生産技術へと設計情報(自己進化機能含む)がアウトプットされる。プラットフォームへのインプットであるナラティブ情報の質がアウトプットを左右する。

以上の議論をもとに，図 6 にナラティブものつくりの設計体系を示す。

特に，この体系において，従来の統計的なアプローチでは捉えられないような，様々な，発散的，非数値的で多義性，多様な意味を持つデータや情報を基に，合意形成プロセスとして，作り手の気づき誘発と AI 等の技術では把握が難しい使い手に共通する本質的な意味や価値，共感等(例えば，車の自由な改造，デザイン，使い方等の背景にある物語や想いなど)やを探索，モデリングするアプローチを議論するための異分野融合の新学術領域提案が新しい視点となる。

また，デジタル魂を核としたナラティブものつくりの全体システムの考え方は重要であり，詳細の説明はここでは割愛するが，想定される具体的な技術内容を含むシステム体系のイメージ図例を参考まで，付録 3 に掲載する。

５．ナラティブものつくりにおける価値生産と新たな学術分野

これまで述べてきた考え方を改めて整理すると，以下のようになる。これまでも暗黙知の活用は日本の強い方法論だったが，これからはデジタル技術の潜在能力をさらに活かして，シンセシスと第一原理的な科学技術をうまく活用しながら，ナラティブなプロセスの場において，使い手の物語や感動の情報を基に，逆問題的なアプローチにより人工物に対するデジタルな魂を形成していく。こ

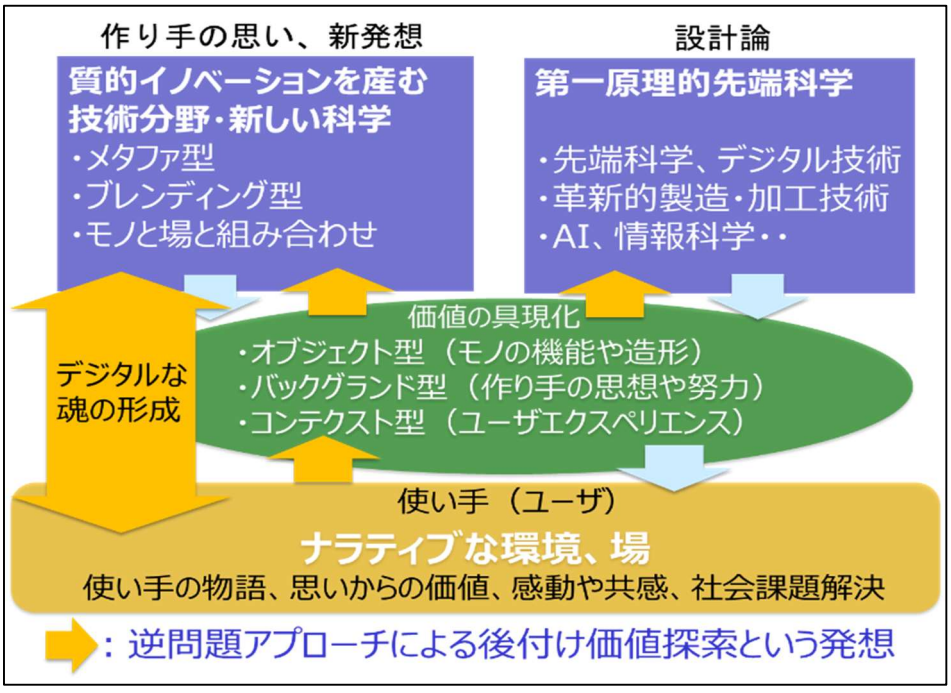

図 7　価値体系

こで使い手側が実感する製品やサービス等の感動にも 3 つのタイプがあり [8]，その内容も考慮しながら作り手が設計する価値体系の構築が望まれる（図 7)。

未論理的な情報も含めて，シンセシスを推進するためには，広い分野の学問とデジタル技術をうまく融合することが大切である。また，人文系と理系の言葉やデータの質や意味の違いを考慮した共通の見方の構築が必要である。これからの新しい学術分野として，思考の可視化，発見的・アドホック的アプローチ，人文社会科学等の連携を推進する仕組みが必要である（図 8)。直感，ひらめきによる新たな価値創造は，これまでも我が国の製造業で多くの先人が実践してきたことである。しかしながら，そうした新たな価値創造は個人の資質に依存する

図８　デジタル技術を介した新しい学術分野連携

ケースが多く，製造業全体で考える場合の価値生産性が高いものであったとは言い難い。

設計開発における仮説推論能力を高度化し，価値生産性を高めていく必要がある。そのためには自己啓発的，精神論的な個人の努力に頼るのではなく，未論理的な情報を蓄積して，それをうまく活用するための方法論やシステムが必要になる。例えば，イノベーション創出に向けて研究が進むメタエンジニアリングが着目するシミュラークルの発想のように，様々な要素群をデータベース化し，それらを組み替えることによって違ったナラティブを創出する等である [9]。

未論理的であるがゆえに，活用できないでいる使い手や作り手の想いは，製造業の遊休資源であり，それらをシステムとしてものつくりに結びつけて遊休状態を解消することが価値生産性を高めていくことに結実していく。

ここでいう価値生産性とは，新たな社会価値として実装定着する製品やサービスの効率性である。製品開発の考え方で述べれば，ヒットの打率をあげていくことに他ならない [10]。その打率を上げるためには，ハンドリングが非常に不安定であり，事前の合理的な事業性が乏しい未論理的要素や作り手の想い，情念を

含む仮説推論の精度を高める新しい設計生産システムの開発が欠かせない。これらは，作り手の推論能力の拡張の観点で人づくりに寄与する。また，仮説推論の精度を高め，開発に要する時間の短縮につながる。

未論理的な豊かなアイデアを論理的なアイデアにつなげるイメージを図 9 の氷山モデルに示した。氷山の水面下にある見えないアイデアの塊（宝庫）である未論理的な部分を豊かに育成，醸成することが大切である。

尚，本プロジェクトでは，委員各位に実施した「未論理的要素の活用」「気づき」を中心にイメージされる新たなものつくりのための分野として，「非デジタル」というキーワードに関するアンケート回答を得，これを参考にしている。。

参考までに，付録 4 に記載する。

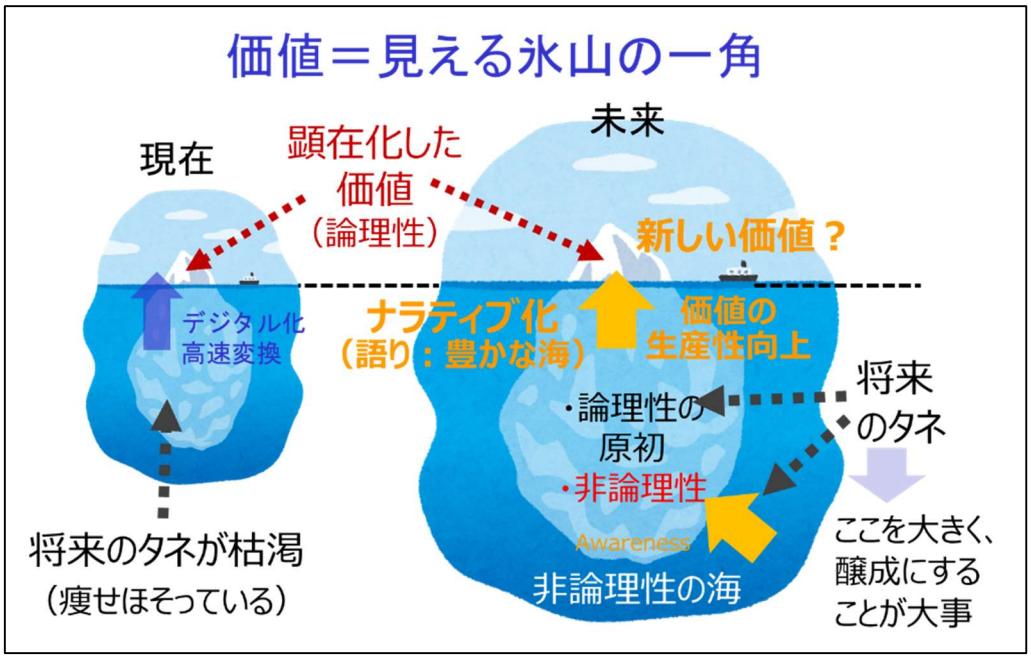

図９　氷山モデル

６．ナラティブなアプローチの事例

ナラティブ的なアプローチの実践の場としては，すでに心理医学の臨床の場，社会学や文化人類学，キャリアコンサルティング，司法領域がある。また，ナラティブな場を想定した場合，それに柔軟に対応できるソフトウェア活用の考え方やナラティブを実現するためのベースとなる技術基盤としての高精度なデジタル技術が報告されている。以下にいくつか紹介する。

１）ナラティブ的な考え方，土台となる技術の例

（１）NBM（Narrative-based Medicine）－物語と対話による医療 [11)]

近年，医療は EBM（Evidence-based Medicine　エビデンスベイストメディスン根拠に基づいた医療）という新しい診療理念が重視されるようになった。最新の臨床研究に基づいて統計学的に有効性が証明された

治療を選択することにより，より効果的な質の高い医療を提供することを目的としている。

しかし，EBM は全ての患者に有効であるわけではない。その有効率は 60～90％とされ，有効でない患者が１０～４０%存在することになる。また，根拠になるデータが十分そろっていない疾患，治療が困難な疾患，高齢者のケア，死に至る病気，あるいは精神に関わる病気など EBM を適用できない場合もある。そのために，EBM で有効とされる医療技術を患者に応用するか否かは，患者の病状や副作用を考慮し，患者の価値観や意向を取り入れ，医師の経験を活かして決めることが望ましい。こうした考え方から，英国開業医から提唱されたのが NBM（Narrative-based Medicine ナラティブベイストメディスン　物語に基づいた医療）である。

「ナラティブ」は「物語」と訳され，患者が対話を通じて語る病気になった理由や経緯，病気についていまどのように考えているかなどの「物語」から医師は病気の背景や人間関係を理解し，患者の抱えている問題に対して全人的（身体的，精神・心理的，社会的）にアプローチしていこうとする臨床手法である。

NBM は患者との対話と信頼関係を重視し，サイエンスとしての医学と人間同士の触れあいのギャップを埋めることが期待されている。 サイエンスとしての医学を支えるのは客観的なデータである。最近は医療機械や検査が次々と開発されて，医師も患者もそれに頼るあまり，両者の対話やスキンシップともなる診察が軽視されがちである。その結果，患者はいきなり検査を希望する。医師は検査に異常がなければ病気と考えない。そして患者の悩みや苦しみは癒されないことになる。NBM の立場からは，従来の問診と身体診察の重要性を再認識する必要がある。

EBM と NBM は対立するものではない。むしろ，互いに補完するものといえる。知と技をいかに患者にタッチするかという適応の技と態度がアートである。その意味で医師には人間性とか感性が求められる。まさに EBM と NBM はサイエンスとアートの両輪として，真に患者の満足度が高い“患者中心の医療”には不可欠のものといえる。

（２）「SUBARU の CM「Your story with」」[12)]

SUBARU の「Your story with」は，ナラティブなアプローチをマーケティングにうまく応用した例と言える。公式サイトでは，様々なドラマを CM として配信したり小説にまで公開している。いずれもキャッチコピーは「あなたとクルマの物語」。CM についても「あなたとクルマ，どんな物語がありますか？」と，ユーザーに考えさせるようなナレーションからスタート。思わず自分が初めて買ったクルマの思い出を振り返ってしまうような仕掛けが施されている。そこに SUBARU の理念や創業物語などは入っておらず，ユーザーが主人公として設定されている。

（３）成長する製品やサービス「Device as a Service」(DaaS) [13)]

IT 業界でもその傾向は顕著でさまざまな“as a Service”が登場している。その１つが「Device as a Service」(DaaS) である。PC などのデバイスを販売するのではなく，サービス化し，サブスクリプション型契約で利用できるようにする。多くの企業にとって，これまでは従業員用の PC を購入するか，あるいはリース企業から借りて使用可能な状態にし，社内の情報システム部門がソフトウェアの更新やセキュリティ管理などを担う形が一般的だった。一方，DaaS の場合は，手元に届いた PC をユーザーが開けばそのまま使える状態になっていて，ソフトウェアの更新や運用管理もサービス提供元が引き受けるケースが多い。

DaaS は１社によるサービスではなく，PC メーカーやソフトウェアベンダー，運用管理などを手掛けるサービスプロバイダーなど，複数の企業がエコシステムを形成することで提供している。別の見方をすれば，これまで PC のライフサイクルの各フェーズで個別にビジネスを展開してきた彼らが主体的に集まって始めたサービスといえる。この先，DaaS を日本に普及させるには１社ではなく複数社がまとまった取り組みが必要になるだろう。

（４）次世代通信によるきめ細かなユーザー体験の抽出 [14)]

5G 以降，ユーザー企業は通信事業者との共創や自ら 5G ネットワークを構築することによってこれまでにない経験とビジネスを生み出せる。例えば，街中にセンサーネットワークを実装し，人びとのあらゆるゆる活動を匿名化した上で把握できるようになる。

通信事業者が提供する情報の解像度が大幅に上がり，5G を利用したセンサーネットワークを使わなければ商売にならない，競争にならないような世界になる。これにより，世界の隅々まで高精度で細かな情報が得られる。

（５）ソフトウェアのサブスクリプションによるサービスビジネス [15)]

製造業にとってソフトウェアはもはやハードウェアの付録ではなく，既に主要な事業戦略の柱となっていて，製品に付加価値を与えることを可能にする。世界的自動車メーカーの 1 つであるフォルクスワーゲングループの CEO ヘルベルト・ディース氏が，2019 年に開催されたモーターショーでの衝撃的な発言が波紋を呼んでいる。

『自動車はインターネットに接続され，徐々にインターネットデバイスとなりつつあるのは IoT において想像の範囲内ではあるだろう。これからの自動車のイノベーションにはソフトウェアが重要になってくる，だからフォルクスワーゲンはソフトウェア企業になる』というのだ。次世代のクルマはソフトウェアが中心となる時代であり，それはもうすぐそこまで来ている。

ソフトウェア事業において，サブスクリプションモデルに多くの企業が取り組んでおり大きな成果を上げている。この新しいライセンスモデルによって，多くのハードウェアメーカーはビジネスモデルの転換を進めている。

シスコシステムズはかつてハードウェアメーカーだったが，従来のハードウェアの売り切り型ビジネスからソフトウェアのサブスクリプションビジネスに移行している。

また，フィリップスは医療機器メーカーから総合ヘルスケアカンパニーへと大きな転換を図っている。その中心的な役割を担っているのは間違いなくソフトウェアであり，医療機器に搭載されているソフトウェアとライセンスモデルは目覚ましい進化を遂げている。

例えば，サービスビジネスを導入している外資系の医療機器部門の営業利益率は17%前後であるのに対し,日本の医療機器メーカーの営業利益率は4%程度だ。この圧倒的な収益力の違いは従来の売り切り型のハードウェアビジネスのままなのか，それともソフトウェアなどを活用したサービスビジネスに注力しているかの違いである。

サブスクリプションモデルは,ビジネスとしての売上予測が容易で,安定した収益基盤を構築できるのがメリットだ。アドビ（Adobe）やマイクロソフト（Microsoft）が導入したことによって，ソフトウェア製品では既に中心的な収益モデルとなっている。そのサブスクリプションモデルはソフトウェアだけではなく今ではあらゆるビジネスでの導入が進んでいる。

（６）2023 年，空飛ぶ携帯基地局「HAPS」実現へ[16)]

世界中のあらゆる人々，あらゆる場所での通信を可能にする。その壮大な夢の実現に向けて動き出した会社がある。ソフトバンクの子会社である HAPS モバイルだ。成層圏を飛ぶ無人航空機から地上に電波を届ける。これにより人里離れた山間部でも通信が可能になるほか，モノの通信による IoT サービスの可能性も大きく広がる。

世界には電力供給の問題，治安の問題など様々な事情により，インターネット環境の整備が後れている国や地域が多くある。HAPS は低コストで広範なエリアに通信サービスを提供できるため離島，山，岳地帯，砂漠など未開拓の場所でも，インターネットを利用できるようになる。私たちの「当たり前」が世界共通の「当たり前」になる。情報格差の是正が進み，より良い社会づくりにつながると考えられる。IoT は人の住んでいないエリアでもモノの通信が発生するため，今のカバー率では対応できない。HAPS はこの面積カバー率を飛躍的に向上させる。

例えば，農業や酪農ではセンサーを用いて様々なデータを収集し，科学的に生育管理や製品管理を行っている。HAPS を利用すれば，この取り組みをより広範囲に展開できる。また物流や設備点検・測量をドローンで行うなど，新しいサービスも始まりつつある。未来の乗り物と思われていた空飛ぶクルマも，2025 年ごろには実用化される見込み。地上の基地局より高いところで通信するものは，より上空から電波を受けた方が通信も安定する。HAPS はドローンや空飛ぶクルマを支える新しい通信インフラになる。そこから新しいサービスや産業が生まれ，ビジネスチャンスが大きく広がる。また，寸断されずに通

信できれば，大切な人の安否もすぐに確認できるし，最新の被災状況や支援サービスも知ることができる。東日本大震災の時は，各避難所にどれだけの被災者がいて，どのような救援物資が必要なのかが分からず，混乱を極めた部分があった。近年の自然災害は激甚化し，展開が早いため予測がつかない事態が発生している。こうした災害時に情報から孤立せずに済む。

（７）クラウドファウンディングサービス“Makuake”[17)]

これまでにない新しいクラウドファウンディングとして，新しい商品をそこで披露し，いいと思ったユーザーが購入を希望するというサイトが生まれている。全く新しいものでないとそのサイトにエントリーできないというルールがあり，ナラティブの場としてのベースとなる可能性がある

２）具体的なナラティブな製品の特徴イメージ

これまでの考え方との比較で，ナラティブなものつくりによる製品の特徴を概念的に下図に示す。

図１０　従来の製品とナラティブ製品の特徴の比較

７．社会的なインパクト

これまで述べてきたナラティブものつくりの実現により考えられる，社会的なインパクトは以下のとおりである。

1）見逃され，あるいは捨象されがちな貴重な価値（使い手の多様で多義的，未論理的な見えざる想い）を，ナラティブなアプローチを活用することにより，作り手の気づきとして抽出し，個人，集団，地域などにおいて，使い手の多様な発想や関係するステークホルダーによる共創的なプロセスに基づいた，多様なデライト（喜びや驚き）製品やサービスを提案できる。

2）作り手と使い手の協働による新しいものつくりを通じて，お互い理解しえない，分かり合えないような者同志がつながり，人間中心の心豊かな社会の実現や持続可能で誰一人取り残さない社会の実現に貢献することができる。

3）統計的手法では見いだせない課題や，事故などの作り手には予め想定出来なかった使い手固有の課題，見逃されがちな地域固有の文化を抽出し，未論理的な情報を有効活用して，新たな価値の源泉を醸成することで，製造産業の設計技術に奥行きを与え，発想豊かな作り手の育成に貢献できる。

８．想定するナラティブものつくりのプロセス事例(図 11)

従来のプロセスは設計者がアイデアを元にプロトタイプを幾つかつくり，最終製品ができていたが，“ナラティブものつくり”では，従来プロセスとは大きく異なる。今回提案するシステムは，初めに設計者のアイデアから始まるのではなく，ユーザーの思いや物語など，発散されているものを拾い上げる形（探索プロセスにより）で，新しい物語や重要だと思うものを“発見”する。この“発見”には重要だが小さな思いや無意識な意味など，統計的に抽出できない情報を含む。AI などと今回提案するシステムが連携し，後付けで設計者に初めて開発すべき方向性や問題点が示され，設計者の専門的な知識と熱い想い，物語によって新たなプロトタイプが設計可能となる。これらのプロトタイプはユーザーに体験してもらうことで，さらに改良が加えられる。また，このプロセスからの派生として，重要なパラメータを抽出し“新しいアーキテクチャ”を蓄積していく。ここからの情報は，次の最終製品にインテグレートする（図 11)。

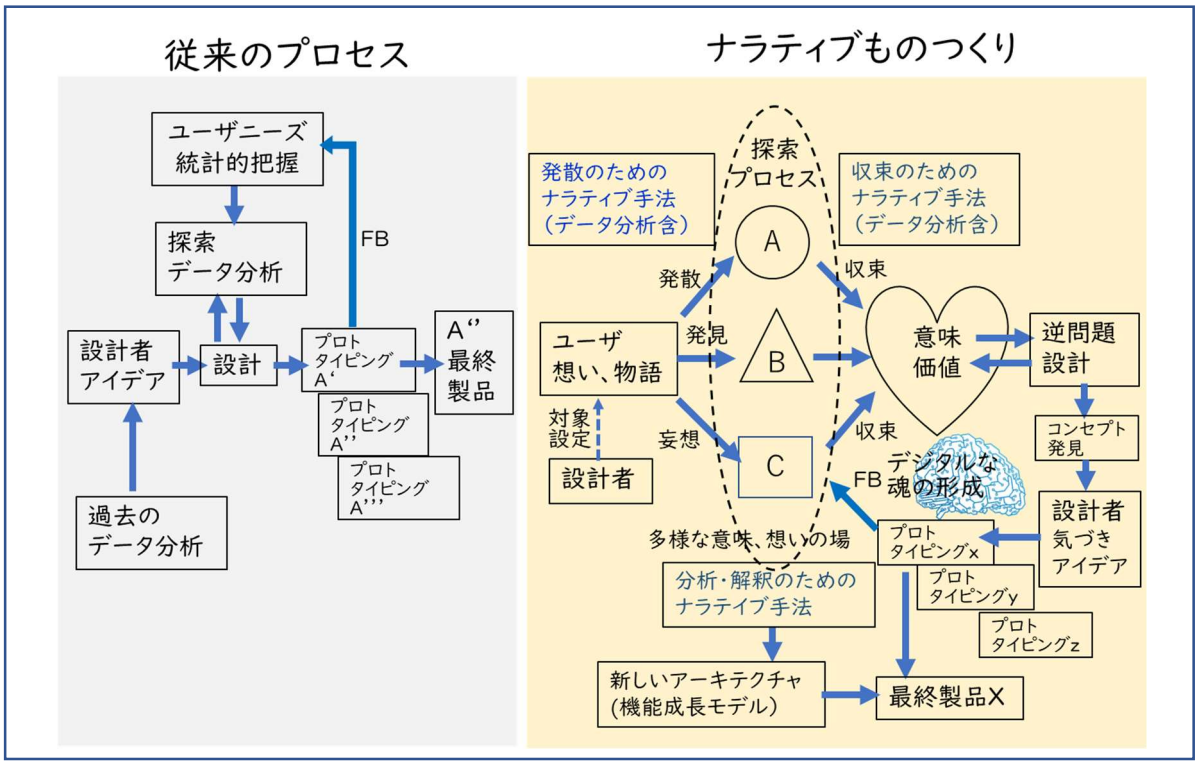

図１１　従来との比較によるナラティブものつくりのプロセス

９．ナラティブものつくりのエコシステム

仮説推論を具現化し，未来創造に寄与するナラティブものつくりを実現するためには，社会や使い手との共鳴を組み込み，多層的，重層的な価値判断基準を創成するエコシステムの形成が重要な論点となる。間（はざま）中心の革新的設計製造技術から生み出されるデジタル魂を既存の大企業，中小・中堅企業，スタートアップ企業，潜在的企業家を問わず活用できる枠組みを構築することが鍵となる。

既存企業においては社内の熱量高き作り手を刺激し，スタートアップ・中小・中堅企業においては機動力の高さを活かして大企業と協働する新たなもの作りチェーンを形作るなど，各事業体が自らの経営資源を見極め，成長エンジンの獲得に向けた新たな関係性の構築を意識していく必要がある。

今世紀に入って，オープンイノベーションが一般化し，異なる業種の連携が常態化するようになったが，そのような中で，ナラティブものつくりを触媒とする健全なエコシステム形成が，我が国製造業を新たな進化ステージに導く。

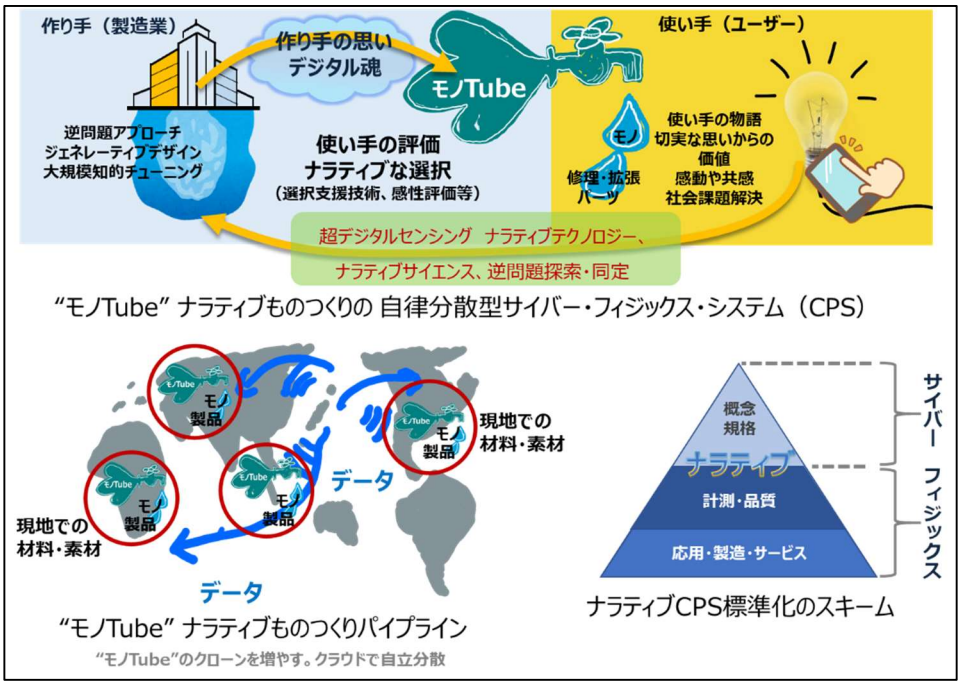

図１２　ナラティブものつくりパイプライン

図 12 にポストコロナに対応すると考えられる，できるだけオンラインでのものつくりを可能とする，パイプライン方式の例として，バーチャルに設計と生産がつながる“モノ Tube”（YouTube のものつくり版）という考え方を示す。これは VR での検証や 3D プリンタ等を駆使したものつくりシステムの概念，社会実装の一例である。ここでは，たとえば，バーチャルな材料や部品データとものつくりシミュレーションの連携，未論性モデルからのアイデアデータ，サイバー空間とフィジカル空間のつなぎ方，逆問題探索からのデータ等の多様なデータとオンラインにおける参加者デザインレビューを可能とする仕組みが必要となり，

今後検討すべきテーマと思われる。

図 13 には最終的には日本の強いものつくりを再構築するためのエンジニアリング体系として，ナラティブエンジニアリングを俯瞰したシステムの考え方を示す。このシステムを活用して，デライト（喜びや驚き等）を生み出すものつくりを実現することが大切である。

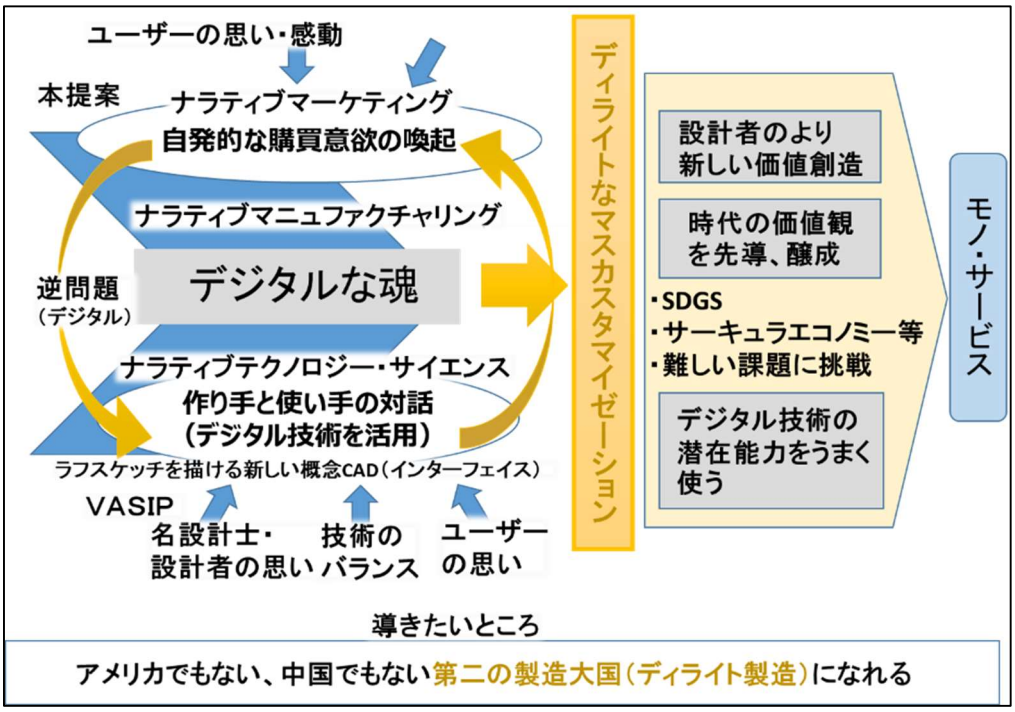

図１３　日本の新たな強み　―デジタル連携ナラティブエンジニアリング―

１０．まとめ

以上のように，社会変革・産業変革を先導する質的イノベーションの創出に向けて，一体型拡張 CPS による「デジタル魂を作り出し，製品に具現化するナラティブなアプローチを本プロジェクトで提起した。以下に，それを実現するための提言を纏め手示す。

提言（１）：“ナラティブものつくり”を成長戦略の一つに加える

ナラティブものつくりは，これまでの合理的・論理的・規模的な価値観の限界を超えるもので，個や集団，地域における作り手と使い手のナラティブな相互作用による新しい価値創出を，デジタル技術の活用によって実現する。未来の製造業へのアプローチとして国の施策になっている「つながる産業（Connected Industries)」を補強するものとして，骨太の科学技術・イノベーション戦略の一つとして提言する。

提言（２）：未論理的な知識を抽出しデジタルな魂として製品に具現化する人材育成の仕組みの構築

従来の量的イノベーションから質的イノベーションへの転換を促進するために，未論理的な価値や思想からなるデジタル魂を製品に具現化する人材を育成すべきである。このために，大学，学会等のアカデミアと産業界が取り組むべき新たな人材育成の仕組みを検討すべきである。具体的には，作り手としてのビジョン，野心，感受性，洞察，情熱をベースに，思考の可視化，発見的，アドホック的アプローチ，仮説推論，人文社会科学と自然科学の連携を推進する人材育成の仕組みの構築を提言する。

提言（３）：デジタル技術による逆問題的アプローチの強化

さまざまな課題が複雑に絡み合い，時間と共にその関係性が変化する不確定性が強い環境において，事前に実現すべき価値を的確に定めること自体が困難な場合が多い。そこで，複雑な環境にプロトタイプ（原理モデル）を置き，そこから得られる様々な人文社会学的観点からの不定形情報や人びとの感情や動作，物理データなどをセンシングと学習により解釈し，製品の構成要素としての部品やデバイス，ソフトウェア等にフィードバックする逆問題的アプローチを，大学，学会等のアカデミアと産業界が連携して強化することを提言する。

提言（４）：ナラティブものつくりのための分野横断的研究・学術体系の構築

ナラティブものつくりの場では，人文社会科学的な事象と科学技術的な事象を同じ土俵で扱う必要があり，情報科学や記号論，言語学等を取り込んだ設計システムの構築が必要である。そこには，人びとの推論能力を高めるAIの新たな活用方法も含まれる。今後，大学や学会が先端的に取り組むと共に，産学連携のもとで本設計システムを構築することを提言する。

以上

＜参考資料＞　審議経過

2020年

8月31日　日本工学アカデミー政策提言委員会

提言書（案）の報告を実施。内容において理解が難しい表現の週ｊ製，具体的な実施例等を検討することが指摘された。次回の委員会にて再審議となった。

10月30日　日本工学アカデミー政策提言委員会

前回の指摘に対して修正を行った内容で報告を実施。正式書式への修正，シンポジウム等の検討のアドバイスをいただき，審議了を確認，企画運営会議にてその趣旨を報告することを決定。

11月4日　日本工学アカデミー企画運営会議　承認

11月13日 日本工学アカデミー理事会　承認

付録

１．新たな人間中心，人材育成に向けた，作り手のシンセシスとしての視点

ここでは，「論理性の追求で実現する価値」とはベクトルを変え，質的に異なる新たなベクトルとして「気づき学（awareness)」に着目する。「awareness」とは，ここでは主に，VASIP（Vision ，Ambition， Sensibility， Serendipity，Insight，Passion，Art 等）の積極的活用を示すものである（下図)。

客観的なデータ・情報の分析や解析とは異なり，主観・価値観・セレンデピティ等に焦点を当て，一見すると「未論理的」として捨象されがちな人（作る側）の思考空間を広げることで，新たな製品やシステム，サービスを生み出す原動力となる仮説推論（アブダクション）能力の育成を目指す。進歩するデジタル技術を合理性や効率といった価値化だけではなく，ファンタジア（自由な連想）[18)]等の未論理性から新たな社会価値を生み出す仕組みを構築することで，デジタル技術を論理的世界観と未論理的世界観でフル活用する。人づくりを起点とするものつくり論は，我が国製造業が強みとする応用技術に目を向け，仮説推論を通じてそれらを再構築する仕組みに位置づける。当該仕組みを通じて，未来の製造業として社会変革・産業変革を先導する基盤を形作るための提言とすべく，以下にイノベーションに関する論究を参照する。

新たな価値判断基準の提示を意図するものつくりのありよう及びイノベーション創出を具体的に検討するにあたって，一つの考え方として，量的イノベーションと質的イノベーションで整理される考え方に着目する。

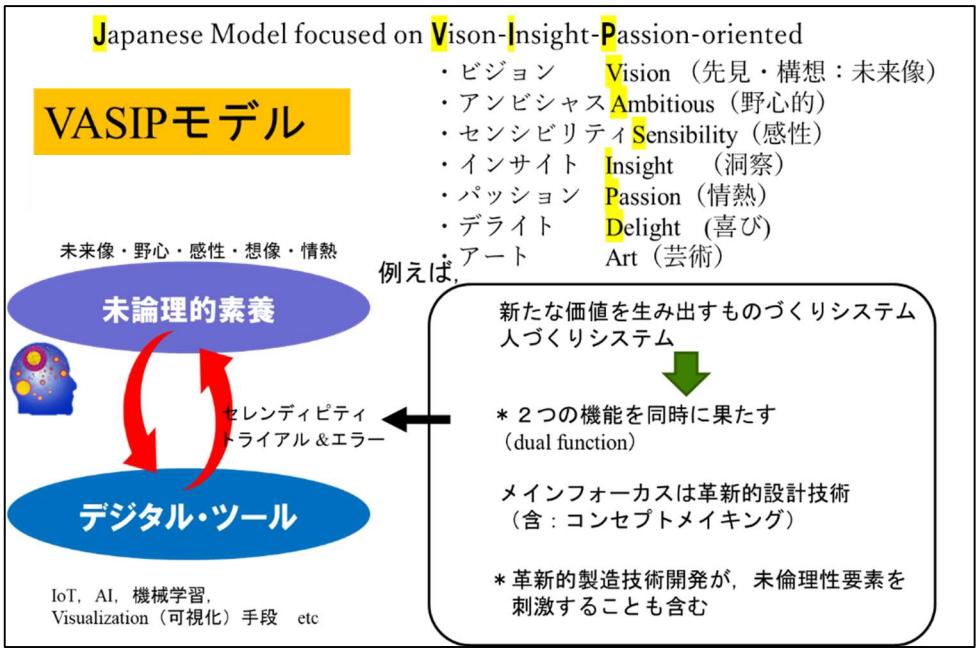

図　ＶＡＳＩＰモデル

２.新たなイノベーション創出の考え方

これまで述べてきた仕組みを通じて，未来の製造業として社会変革や産業変革を先導する基盤を形作るために，以下にイノベーションに関する論究を参照する。

１）イノベーションのタイプ

新たな価値判断基準に基づくものつくりとこれによるイノベーション創出を具体的に検討するにあたって，量的イノベーションと質的イノベーションで整理される考え方に着目する。

両イノベーションの違いは田浦他〔2018 a〕，田浦〔2018 〕[19) 20)]によれば，下記の通りである。

(1)『量的イノベーション』＝「利便性の向上」と「生産性の向上」を指向したイノベーション

(2)『質的イノベーション』 ＝「社会の質的な変化」に資するイノベーション

本プロジェクトでは，質的イノベーションの創出に向けた革新的な製品を持続的に生み出すための思考として，同じく田浦〔2018 〕の類型（2 タイプ）に目を向ける

▸思考タイプ

『固執開放型」＝先入観からいかに解放されるか，fixation（固執，固定観念）の問題として議論，分析を中心とする考え方（＊いわゆる，「常識を疑え」）

『シンセシス型』＝性質の異なるいくつかの要素的な知識や技術を結びつける考え方，質的イノベーションに寄与する思考は，シンセシス型であり，さらに 3 タイプに分類されている。

▸シンセシスタイプ

『メタファ型』＝ある概念の性質を，それとは異なる概念に重ね合わせるプロセス（属性転写）

『ブレンディング型』＝それぞれの概念の異なる性質を組み合わせて新しい概念を生成する

『場との組み合わせ型』＝プロダクトの置かれている場が変わることで，新たな機能が発現する（潜在機能の顕在化）

２）質的イノベーションを実現する新しいものつくりの視点

質的イノベーションを実現する上で，シンセシス型かつブレンディング型の発想は，概念や物事の差異性に注目し，新たな概念を生み出すことを重視し，「直感」，「直観」の重要性に言及する。直感とは，感性にもとづいて物事のありようないし関連を感じ取り，自由に連想することを可能とし，シンセシス型の創造的思考は，直感から誘起されるとする。本プロジェクトはデジタル技術の可能性を引き出しながら，「直感」によるひらめきを導く新たなシステムの構築の必要性を提言する。シンセシス型・ブレンディング型は昨今のデジタルデータ活用の文脈と比較すると，人びとの気づきやひらめきといった未論理的な領域に目

を向けることに他ならない。こうした未論理的な情報をデジタルもの作りに活用することにより，質的イノベーションを実現することが可能になる。人の経験やノウハウに紐つく，質的イノベーションで重視される「直感」,「直観」,「ひらめき」，いわばこうした未論理的な要素までを包括した気づきを作り手が設計開発段階に活用する仕組みづくりを新たなマン・マシンインタフェースとして確立することができれば，新たなもの作りが可能になると考える。

我々が目指すのは，合理性や効率性とは異なるベクトルで価値創造を駆動させようとする作り手のマインドセットを刺激すべく，作り手側のビジョン，感性，野心，洞察，情熱から導かれる「気づき」を仮説推論（アブダクション）に結びつけ，創発的な概念の結合による新たな価値基準を提起することが可能なものつくりシステムである。

３.ナラティブものつくり全体システムのイメージ(参考)

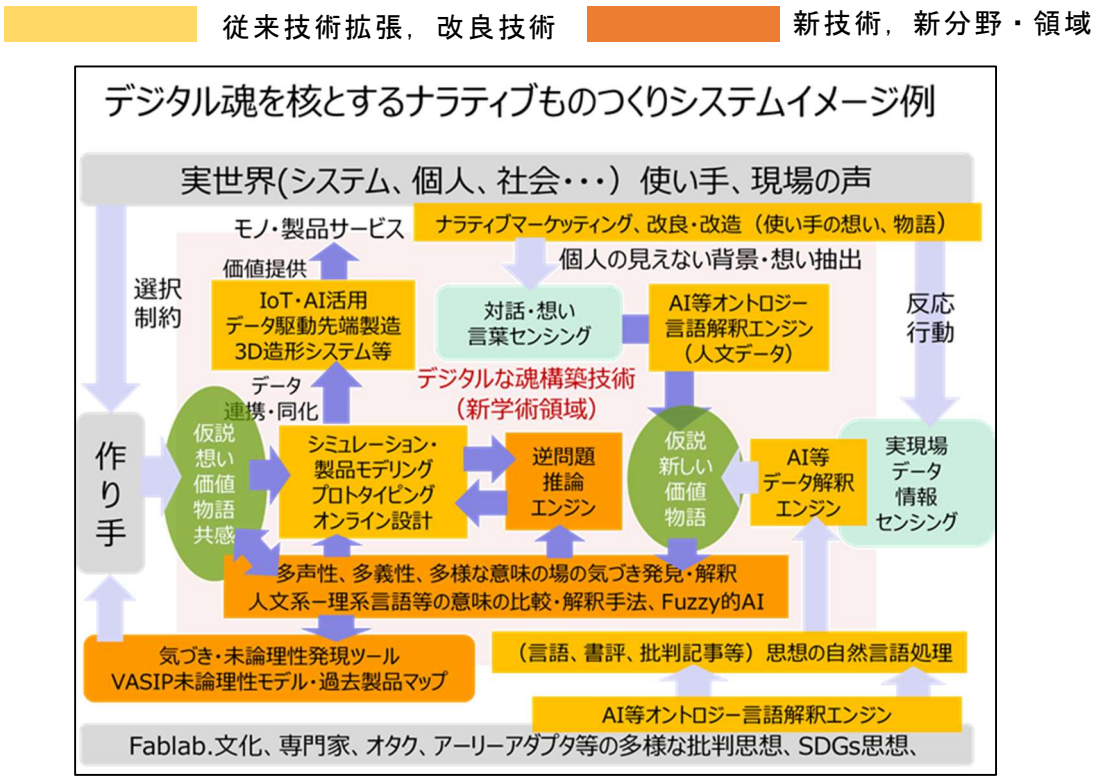

図　ナラティブものつくり全体システムイメージ

本システムでは，従来の AI 系技術や IoT 関連，設計生産技術だけでなく，見えない価値の合意形成，気づき，共感を理解するための人文，理系データの比較，解釈手法やシミュレーション，進化 VR/AR，人間拡張，曖昧情報を扱える，例えばファジー的な AI 等の新しい技術やモデル，間主観的 [21] な対話・コミュニケーション分析技術等，文理・異分野融合の社会デザイン視点，言語ゲーム理解を基に，本質的な意味や価値を具現化するものつくりにつなげる学術分野が必要になる。また，製品やシステムが自己進化的に成長，変化できる新たな設計生産技術の考え方や手法を考慮した永久使用製品などの設計思想も重要となる。

４．EAJ未来の製造業PJにおける各委員アンケート概要

1. 未論理性を「非デジタル化」と見なしてにフォーカスする「人づくりを起点としたものづくり論」のコンセプトの内実を豊富化し，社会への推奨・提言につながる解説や事例紹介

・現時点における一般の「デジタル経済」の捉え方が軽佻浮薄すぎる。そもそも世の中の現象は「全てアナログ」なのであり，要は「アナログ→デジタル→アナログ」というプロセスを経ることによって，モノやサービスが「より高度に，より迅速に，より無駄なく」提供され，消費されるのが「デジタル経済」の良さ（要するに数値化され，演算処理できるから）であり，「アナログ無きデジタル」は製造業の根幹を成しえない。

・かつて半導体の Texas Instruments (TI)社が DSP (Digital Signal Processor)に経営資源を集中させた際も，実は「アナログ→デジタル（高速オペアンプ，高速 AD コンバータ等)」や「デジタル→アナログ（高速 DA コンバータ，モータドライバ制御 IC 等)」の「両端部分」も併せて強化している。また TI 社もそれを会社の戦略として公表していた。その上で，「真ん中部分」は third party によるソフト提供を可能としてデファクト化を推進した。

・デジタル化を補完する形での非デジタルを議論することは重要だと思いますが，“非デジタル”＝“デジタルでない”というためには，デジタルの本質をまず議論すべきだと思っています。デジタルというキーワードは複数の意味や視点，側面があるとおもいますので，それをまずは真正面からとらえたい。世の中はまちがいなくデジタル化に向かっているので，その現実の背後にある本質をまずは共有することからスタートすべきです。

・「人づくりを起点としてものづくり論」は賛同します。ただし，これは，過去から脈々と引き継がれてきた日本的なアドバンテージで，おそらく事例には事欠かないのではないでしょうか。職人芸とか，おもいやりとか，いろいろありそうですが，それらをここで議論するのはナンセンスです。ポイントは，これらをデジタルの文脈でとらえなおすことであり，“非”デジタルをデジタルと分けて議論することには意味がありません。

・とはいえ，世の中すべてがデジタルになるわけではなく，結局，リアルな世界のほんのわずかな部分（しかしインパクトは莫大ですが）しかデジタル化できないのも事実であり，むしろその部分に独自性や競争優位性をもってくることは戦略的に正しいともいえます。したがって，１０年後，２０年後のデジタル社会の中で，“非デジタル”をどうデザインするかはとても重要だと思います。これは設計論であり，ある種，オープン＆クローズ戦略とも共通する部分もあります。

・デジタルと非デジタル（アナログ）の境界のデザイン，また競争領域（クローズ）と協調領域（オープン）の境界のデザインは，ＩＶＩの設立当初からの基本コンセプトであり，いくつも具体的な活動事例があります。

・World Robot Summit　ものづくりカテゴリ（ロボット競技会）のようなチャレンジ方式

1）World Robot Summit では，日本が得意とするものづくり分野で，高品質な「少品種少量生産」，「多品種変量生産」の自動化（ロボット化≒デジタル化）を世界に先駆けて達成し，リードすることを目指している（世界中から参加させて）。

2）究極的には「一品ものづくりの自動化」を Vision・理想像として，これを達成するためには，これまでに我が国製造業が蓄積した「非デジタル」要素とデジタル化（DX）

の活用が不可欠。

3）競技会・競技ルールという範囲が限定される中で，多種多様な試行錯誤ができる（失敗を許容する）環境を設定し，世界中から（流動性）今までにないアイデアを集め（外挿性），競い合い（情熱），切磋琢磨し（やりがい），勝利と社会実装（喜び）を達成する。

・JST で推進してきた COI は，いずれもサービス，ものづくりにつながるもので，VISIP モデルの好事例がいくつもあるように思う。例えば，弘前大学の健康社会づくり，広島大学の感性イノベーション，信州大学の水，名古屋大学のモビリティ等など。https://www.jst.go.jp/coi/

・そもそも，VASIP モデルは，戦前～高度成長期に，松下やホンダ，ソニーのように，いくらも見られたもの？　それが，今忘れかけているのをもう一度思い出して，デジタル技術もうまく活用しながら，とがったものづくりを進めるということでしょうか。昔の戻るというだけでは弱いので，このあたりもう新鮮みを出したい。

・データへの違和感で発明された京セラ 3 面鏡メタマテリアル新小型アンテナ Amcenna
・π型人間によるイノベーション
・折る刃式カッター（OLFA）
・UnBRELLA
・鹿島カットアンドダウン工法
・坂あり，階段あり，ギャンブル推奨の老人デイケア施設
・まとめ買いの「コストコ」
・広告費用にほとんどお金を掛けない ZARA

２.「非デジタル性(未論理性)」を駆使した方策（政策，考え方），仕組み，新しい分野

・日本として(産・官・学)は,明確に「Digital-assisted Manufacturing」,「Digital-assisted Service」に注力する，と言い切ってしまった方がいいのではないか？
・つまり,「具体的なモノ・サービスの高度化」のために「手を汚す」のが日本流のやり方で，そのためにはデジタルだろうがアナログだろうが何でもチャレンジする，という方が「小賢しくデジタルだけで勝負する」というより日本的，かつ「人の踏み込まない山奥に花も実もある」ということではないだろうか？
・産業革命以降，資本主義の下で合理性・効率性を追求してきた「ものづくり」が，デジタル革命によってどのように変わるのかを考えると次のシナリオが想定される。

1）さらに合理性・効率性の追求に拍車をかけ，ICT による管理社会の下にあるデストピアな社会へ向かう。

2）デジタル革命により，従来の「ものづくり」の合理性・効率性といった制約が緩和され，多様な価値観に基づいた新しい「ものづくり」が始まる。

・報告案は 2 番目のシナリオに関する提案と思いますが，次のような懸念点があります。

1）価値観が，嗜好に陥る可能性が高い。例えばインターネットによって情報の発信の制約が取れて，確度の低い情報が溢れ，何でもありといった状況が生じる恐れがある。自然淘汰が外れた場合に，カンブリアの大爆発のような現象(面白いが，カオス的様相)生じるかも知れない。

2）とはいえ，価値観も注意が必要で，強固な価値観は他の価値観を排斥する傾向にあることは，宗教対立等に見ることができる。「ものづくり」で言えば，極端な環境主義

による動きが該当するかもしれない。

3)「ものづくり」の方向性を決める価値観としては，SDGｓが指標になると思われる。地球規模でのコンセンサスが得られていることから妥当性がある。

・他に思い付いたこと

1）多様な価値観に基づいた「ものづくり」の例として，洋服のオーダーメード，既製服の状況も参考になるのではないか？デジタル革命によってオーダーメードと,既製服の値段の差が小さくなってどの程度購買傾向が変わるのか？購入する価値観の強さに依存するのか？

2）江戸時代は，空間的閉鎖という意味で，現在の地球の限られた空間と同じように捉えられる。その中で環境問題，また社会全体としての拡大，発展性の展望が無い状況の中で生まれた文化といったものも参考になるかもしれない。趣味的な世界,遊びの世界。

・設問の主旨を理解していないかもしれませんが，しくみ，分野としては，ミクロ経済学的，経営組織論的，および生物化学的，あるいは臨床医学的なアプローチを統合した新たなシステム理論をベースとしたものとなると思います。その理論，手法，あるいは哲学がどのようなものであるかを，同時並行して学術側がしっかり探求することが肝要かと思います。

・上記の World Robot Summit の手法（チャレンジ方式）は他分野にも応用可能であると考えられる。また，チャレンジ方式に技術の競い合いのみならず，社会実装までのシナリオアイデアを取り入れることで,「デジタルと非デジタルをつなぎ，社会的な新しい価値を生み出す，人づくりを基点としたものづくりシステム」ができると思料。

・「未来」の製造業が目指すべき姿としては，これらの論点は当然包含しつつ，研究開発を方向付ける大きなモデルが必要ではないでしょうか？

例えば，これもよく議論されていることと思いますが，下図のようなことです。

・可能不可能は棚上げして，大きなビジョンに貢献する「具体的」な目標を設定したいと思います。そうでないと，結局，手法を仮想的な例題で説明することになり，インパクトが小さいと思います。

・単なる例ですが，SDGs を踏まえて,「永久家電」などは，現実とのギャップを分析し，多くの課題を明示化できると思います。

・国際バカロレアといった資格やアフォーダンス理論と結びつけた学理を創設推進する。

・COI の様に，大学を核にした非デジタル性ものづくりの拠点作りが有効・・・これまでの COI と何が違うか？これからのムーンショットは，VASIP モデルか？中国深圳で何が起こっているか調査してはどうでしょう？　彼らの方が「実践」していないか？

・対話を通じた合理性の獲得（ナラティブ）を進めるためのエコシステム作り

・異分野のエキスパートや，市場が口を出したくなるモチベーション・仕組みの設計

・自身のフィードバックによって不完全な製品が成長していく実感

・自身のフィードバックが反映されていく様をタイムリーに感じられる

・異分野の暗黙知を移転できる「共同体験」の場を用意（c.f., SECI モデル）

・Art Thinking

・コンシャス・イノベーション

・常識に囚われない逆転の発想の科学(w/AI)

・身体性認知科学

・身体性システム科学（embodied-brain systems science）

・20%ルール

主要参考文献

1) https://note.com/k181/n/nf4a99c3a0f03

2) https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-15K00690/

3) https://clicktime.symantec.com/3MhETcsi569AXLHgtuBZF1n7Vc?u=https%3A%2F%2Fwired.jp%2F2019%2F09%2F13%2Fvol34-editors-letter%2F

4)https://clicktime.symantec.com/34m1kpPhSWLtTF3TD96MdkB7Vc?u=https%3A%2F%2Fwww.technologyreview.jp%2Fs%2F62016%2Fevery-spreadsheet-has-a-narrative-to-tell-just-add-some-ai%2F

5)サトウタツヤ〔2018〕「ナラティブの意義と可能性」『言語文化教育研究』第 16 巻。

6) 河合隼雄［1982］: 中空構造日本の深層, 中公叢書 ISBN:4122033322

7) エリック・シェイファー, デビッド・ソビー〔2019〕『モノづくり「超」革命』日経 BP（河野真一郎監訳, Eric Schaeffe, David Sovi〔2019〕*Reinventing the Product: How to Transform your Business and Create Value in the Digital Age., Kogan Page*)。

8)朝日新聞, 意見卓見 2020/1/26 記事　慶応大学　松岡正剛

9)鈴木浩他〔2013〕「根本的エンジニアリング（MECI）の提唱」『国立科学博物館研究報告 E 類（理工学)』第 36 巻。

10) 藤本隆宏, 安本雅典編〔2000〕『成功する製品開発』有斐閣。

11)http://www.c-mei.jp/BackNum/015r.htm

12)https://ferret-plus.com/14018

13)https://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/2004/03/news107.html

14)https://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/7307/Default.aspx

15)https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1907/09/news003.html

16)https://special.nikkeibp.co.jp/atclh/NXT/20/softbank0214/p4/

17)https://www.makuake.com/event/online_toukiichi_2020?from=hero_image_1

18)ブルーノ・ムナーリ〔2006〕『ファンタジア』みすず書房(萱野有美訳,Bruno Munari〔1977〕Fantasia,Gius.Laterza&Figli S.p.a.)。

19)田浦俊春他〔2018〕「イノベーションのためのデザインの新機軸-科学技術と社会をつなぐシンセシスの役割」『マーケティングジャーナル』Vol. 38 No. 1。

20)田浦俊春〔2018〕『質的イノベーション時代の思考力』勁草書房。

21)竹田青嗣〔2020〕「哲学とは何か」NHK 出版

主な専門用語の説明

・サイバーフィジカルシステム（CPS）

(CPS：Cyber-Physical System)とは，現実世界(フィジカル空間)でのセンサーネットワークが生みだす膨大な観測データなどの情報について，サイバー空間の強力なコンピューティング能力と結びつけ数値化し定量的に分析することで，これまで「経験と勘」に頼っていた事象を効率化し，より高度な社会を実現するために,「あらゆる社会システムの効率化」「新産業の創出」「知的生産性の向上」などを目指すサービスおよびシステム。

・ナラティブ

「ナラティブ」とは「語ること」を意味するが，ストーリーテリングのように出来上がった物語を語るのではなく，広義の言語によって経験を「意味づける行為」として，より自由に一人ひとりが主体となって語るイメージを持つ言葉。

・アブダクション

「アブダクション」とは演繹法や帰納法と並ぶ推論方法で，ある結論がどうして出たのかわからないときにそれが正しいのかを論じるための方法。

アメリカの哲学者パースによって提唱されて，後にデューイに継承されています。哲学の分野では「アブダクション」とは，理解できない物事を理解するために仮説を立てて推論する考え方のこと。仮設形成や仮設的推論とも呼ばれている。「アブダクション」とほかの推論法である「帰納法」と「演繹法」との違いは，推論するアプローチの違い。「帰納法」と「演繹法」はある事象または複数の事象から結論を導き出しますが，「アブダクション」は結論が先にあり，その結論を理解するために仮定を使って新たな結論を導き出す推論法です。

また「帰納法」と「演繹法」では推定していく過程においては論理的に思考を展開するのに対して，「アブダクション」は推論過程で使わエれる仮定をひらめきや想像力という人の感性を必要として推論を進めていくという違いがある。

・サーキュラーエコノミー

産業革命の時代から続く大量生産・大量廃棄に取って代わる新しい経済の仕組みとして，これまで「廃棄物」とされていたものを「資源」と捉え，廃棄を出さない経済循環の仕組みのこと。

・ポストディクション

プレディクション（予言，予測）の逆を意味する用語。 後付けで事柄や行動や認識の意味を書き換え，再構成すること。

・逆問題

ある現象に着目し，結果や応答（出力）から原因（入力）を推定する解析方法。

部分的・間接的に得られた情報や境界条件，誤差を含む観測値から，その現象を支配する方程式や数理モデルを決定することを指す。非破壊検査，重力探査，各種 CT をはじめ，工学・理学・医療などの分野で応用されている

・ファンタジア

ブルーノ・ムナーリ（Bruno Munari，1907-1998）が提唱した考え。彼は，イタリアの美術家で，グラフィック・デザイナー，プロダクト・デザイナーであり，また，美術教育者であり絵本作家。

- **ファンタジア**：これまでになかった新しいことを考えださせる人間の能力。実現可能か機能面はどうかは考えなくていい。
- **発明**：ファンタジアとおなじ技術，認識している事柄同士がもつ関係を利用してこれまでになかったもの考え出すが，最終的にこの関係を実用性に向かわせる。美的問題は含まない。
- **創造力**：ファンタジアのイメージ面と発明の機能面の両方を多角的な方法で利用するもの。企画設計する手段であるデザインの分野で活用され，ひとつの問題のあらゆる側面を内包する手段。
- **想像力**：視覚化の手段。ファンタジア，発明，創造力によって考え出されたことを目に見えるようにする手段。

・メタエンジニアリング

メタエンジニアリング（根本的エンジニアリング)は，イノベーションを継続的に生み出すプロセスを動的かつスパイラルに推進してゆくエンジニアリングと定義される。従来の工学を意味するエンジニアリングではなく，より広義な視点でとらえている。そのプロセスを４つにわけ，潜在課題抽出(Mining)，解決策の俯瞰的展開(Exploring)，これらの統合(Converging)，解決策の実装(Implementing)と定義し，MECI（メキ）プロセスと名付けた。

・シュミラークル

・シミュラークルとは「見せかけ」「模像」「幻影」を意味する言葉。フランスの思想家ボードリヤールの用語。複製としてのみ存在し，実体をもたない記号のこと。記号がひとり歩きして現実を喪失する状態をいう。個別要素的なストーリーの集積をデータベースとして捉え，その複製（シミュラークル）を通じて別のストーリーが生成されるデータベース消費の考え方に着目し，上記，メタエンジニアリングにおいては，物語の各要素を組み替えることによる違った物語の創出によってイノベーションを生み出す手法に活用している。

・エコシステム

エコシステムは「Ecosystem」であり，もともとは自然界における生物と，それを取り巻く環境が相互作用しながら存続する，生産・消費・分解による循環から成り立つ，バランスのとれたモデル全体を表現している。ビジネスにおいて

は，協業・分業・連携・イノベーションをキーワードとした，関係するステークホルダーや環境，情報の関係性のモデルを意味する。

・デジタル・トランスフォーメーション（DX）

ICT の浸透が人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる，という概念。

・インクルーシブ

もとは「全てを含んだ，包括的な」を意味する言葉であり，人間の多様性を尊重する視点から，社会を構成するすべての人が分け隔てられることのない「社会的包括」を意味する用語として使われる。

・過剰結合（Overconnected）

Davidow William H.（ウィリアム・H・ダビドウ）人やモノ，情報が互いに強く結びついた状況が社会の不安定で脆弱な状況を招くとして，「過剰結合（overconnected)」の用語で提唱した概念。本プロジェクトでは，ダビドウが過剰結合状態において陥る，思考感染に目を向けている。過剰結合状態の社会では，人の思考は多数意見へと方向付けられ，少数意見はかき消されていき，その結果，他人が考えたことや意見を，あたかも自分の意見のように捉えてしまうようになる。

・間主観性

二人以上の人間において同意を成り立っていること。人々の認知的な視点間の関係性を示す。他人も同じものを見ているという確信。

本資料の内容の転載を希望される場合は、（公社）日本工学アカデミー事務局までご相談ください。

編集発行
（公社）日本工学アカデミー
〒101-0064
東京都千代田区神田猿楽町二丁目 7 番 3 号ＨＫパークビルIII 2F
Tel: 03-6811-0586 Fax: 03-6811-0587
E-mail：academy@eaj.or.jp