

リアル空間とサイバー空間の新結合により
サステナブルな社会をデザインする

Technology Foresight®

[2021]

Foresight in sight

UNISYS



エグゼクティブサマリー

2020年に発生したコロナパンデミックは、社会生活・経済活動を大きく揺さぶり、多くの社会課題を顕在化させた。私たちは、ウェルビーイング（幸福感）への意識が高まる社会に向け、人口や社会機能の集中と分散、グローバル経済危機への備えと対応、社会的弱者やデジタル弱者への支援、非常事態下における行政と個人の関係など、その在り方を問い直さなければならない。さらに、よりスケールの大きな観点から、ウイルスや地球そのものとの共生といったテーマも視野に入れる必要がある。

不確実性が増す社会において様々な課題に向き合うために求められるのが、羅針盤としてのForesightである。Foresightが示されることで目指すべき未来社会の解像度が上がり、「何を」「どのようにしていくべきか」を検討できるようになる。パンデミックに向き合う中で人々は改めて社会のサステナビリティ（持続可能性）に対する意識を高め、「ありたい未来= ToBe像」や「解決すべき課題= ToDo像」として認識するようになった。こうした情勢を踏まえて5～10年先を展望・洞察し、目指すべき未来社会の実現に向けた戦略を再設計することが求められる。その上で一つの課題をどうテクノロジーやエンジニアリングによって解決するのか、どうデジタル技術を活用して企業システムやビジネスをデザインするのかを考えていく必要がある。

Technology Foresight 2021は、サステナブルな社会の実現に向けた戦略設計のヒントとなることを意図し、「ワクワクする未来」の創造に寄与することを目指す。今後10年を視野に、第1章ではサステナビリティ実現に向けた社会のニーズやビジネスの様相、第2章ではサステナビリティを実現するためのデジタル技術の特徴やトレンドを紹介する。第3章ではリアル空間とサイバー空間の新たな役割・関係に着目し、両者の「つながり」を整理することで、サステナブルな社会のデザインに資することを試みる。

3章で述べるように、リアル空間とサイバー空間の関係・役割を見直すことにより、新しい「つながり」が生まれる。つながりから様々な可能性が芽生える。その中には上記のような社会課題解決への芽があるだろう。芽を育むのもまたビジネスエコシステム等を通じた「つながり」である。人や企業や産業がつながりながらしっかりと芽を育てていくことで、サステナブルな社会は実現するだろう。

CONTENTS

- エグゼクティブサマリー 2
- 1. サステナビリティを軸に進化する未来社会 4**
 - 人・コミュニティ×サステナビリティ 4
 - 社会・公共×サステナビリティ 6
 - 企業・産業×サステナビリティ 8
 - 地球・環境×サステナビリティ 10
 - サステナビリティ実現の基盤となる
トラストワージネス（信頼性）とレジリエンス（回復力） 12
- 2. サステナビリティを実現するためのデジタル技術 14**
 - 「つながる」社会を実現するためのデジタル技術 14
 - 「賢い」社会を実現するためのデジタル技術 18
 - 「誰一人取り残さない」社会を実現するためのデジタル技術 20
 - 「信頼できる」社会を実現するためのデジタル技術 22
 - Inside Foresight トラストワージネスの再定義 24
- 3. 新しい「つながり」でサステナブルな社会をデザインする 26**
 - テクノロジーによるリアル空間とサイバー空間の新結合 27
 - サステナブルな社会をデザインするための「場」 32

Technology Foresight® とは

社会の変化やテクノロジーの進化は、現在の延長線上にない未来をもたらします。Technology Foresightは、ICTをはじめとするテクノロジーの視点で、5～10年先の未来像とその実現可能性を示します。



1 サステナビリティを軸に 進化する未来社会

人・コミュニティ × サステナビリティ

取り上げるテーマは「ウェルビーイング」「パーソナライゼーション」である。ある研究結果によれば、幸福感の高いメンバーで構成される組織はそうでない組織に比べ30%以上生産性が高いという。ウェルビーイングは身体的・精神的・社会的健康のサステナビリティ指標として今後様々なビジネスの目的となり、一人一人に合わせてパーソナライズされたサービスが広がっていく。



1 ウェルビーイングを高める「個を理解する」テクノロジー

パーソナルデータ（行動・購買履歴、好み、属性、バイタルデータ、声の抑揚や表情といった感情データ等）が、暮らしの必要に応じてリアルタイムで把握できるようになる。センシング技術やマルチモーダルな認識・分析・学習技術の発達には、人の様々なパフォーマンスを定量化（可視化）するといったサービスに活用される。一人一人がより手軽に、より客観的に自分自身を把握できるようになることでウェルビーイングの向上が進む。またデジタルデータとして集積した個人データは、一人一人の特性と社会のニーズを高精度にマッチングするサービスに活用される。「夢中になれること」を見つけやすくなり、それが良好な心身状態の維持にもつながる社会になっていく。

2 個人データによる予防医療の進展

唾液の検査・分析を通して個人の遺伝子や体質を明らかにし、その結果を基にパーソナライズされた健康対策を提供するサービスが実現している。様々な病気の発生確率などが把握できれば、一人一人に合った健康法の発見や病気対策に役立てられる。日常の行動変容を促す契機にもなり、病気予防、健康寿命の延伸につながるだろう。また今後、パーソナルデータのデータベース化が進捗することで社会全体の健康向上も可能になる。住民の集団ビッグデータを分析して様々な疾患の発症リスクを予測する取組みでは、予測の理由や根拠まで示せる「説明可能なAI（XAI：Explainable AI）」なども適用して社会全体の健康寿命延伸に役立てる試みがなされている。

3 データ化される個人とプライバシー問題

ゲノムデータ、健康データ、症状履歴、ライフログ、位置情報、購買履歴など個人の様々な情報がデータ化され経済的な価値を持つようになった。社会全体の健康対策に役立てるため行政機関が提供を求める機会も増えるだろう。そうした情勢を背景にパーソナルデータの扱いをめぐる「データの主権」の在り方が検討されていく。また個人が安心して自分の情報を管理・利用できるための法整備や、情報銀行等のサービスの充実化も進むだろう。パーソナルデータをめぐる個人と公共機関の連携は、社会全体の健康ひいては個人の健康にも影響するため、今後市民側の意識変化も必要となってくる。政府のデータガバナンスやデジタル技術に対する不信など、市民の心理的障壁の解消に向けた信頼の醸成も急がれる。

1 サステナビリティを軸に 進化する未来社会



社会・公共
×
サステナビリティ

取り上げるテーマは「ジェロントロジー」「インクルーシブシティ」「レジリエントシティ」である。多様性の包摂という価値観のもとで社会のサステナビリティが推進され、安全安心・公平の確保も促進される。災害等の非常事態に対して強靱な街がつけられていく。



1 ジェロントロジーの進展——若者も高齢者も元気で活躍できる社会の構築

人口における年齢構成の変化がもたらす労働力減少、医療費・介護費の増大、介護要員不足といった社会課題が議論される中、長寿社会の在り方そのものが見直されはじめている。例えばジェロントロジーは、高齢者も積極的に社会へ参画・貢献する主体と捉えた上で、若者から高齢者までの全世代がより健康で活躍できる社会にしていくことを目指す学問である。こうした価値観に基づき長寿社会に対する全世代視点での体系的な研究が進む。研究の成果は、社会制度の変革、多様なプラットフォームの構築、デジタル技術を活用した新たな市場形成などに反映され、歳を重ねても生き生きと暮らせる社会システムがつけられていく。

2 インクルーシブシティ——誰一人取り残さない街

サステナビリティの条件の1つである多様性の包摂が街づくりにも反映されていく。性別や国籍、社会的地位、障がいの有無等に関わらず全ての人が住みやすさ・過ごしやすさを実感できる街＝インクルーシブシティの実現に向けた取り組みが進む中で、デジタル技術への期待も高まる。例えば視覚にハンディキャップがある人の外出意欲の向上や自立した生活を支援する取り組みの1つとして、障害物検知、音声通知、健康管理、質問への音声回答などができる杖の開発が進んでいる。デジタルリテラシーが低い人でもサービスの利便性を受けやすいUI（ユーザーインターフェース）技術などもいっそう進化していくだろう。

3 レジリエントシティ——防災・減災に向けた対応力と回復力のある街

住民が快適に暮らせるためには、普段の生活の利便性が高く経済活動が最適化されていると共に、災害や犯罪等の外的ショックといった非常事態への備えが整った街（レジリエントシティ）であることが重要である。安全・安心を継続的に確保するためには、非常事態に際してその影響を最小化する対応力、自ら回復する力が求められる。そうしたレジリエンスの強化のため、災害時の被害予測、防災計画・初動対応・復興対策の策定等にAIが活用されはじめている。ある街では自然環境、人口、インフラに関するデータ、河川水位などのライブインシデントデータをAIが分析し、自然災害に対する脆弱性評価や被害予測を行っており、その結果をBCP（事業継続計画）や防災計画の策定などに役立てている。

1 サステナビリティを軸に 進化する未来社会



企業・産業
×
サステナビリティ

取り上げるテーマは「RegTech (レギュレーション×テクノロジー)」「生産性向上」「遠隔コミュニケーション」である。労働人口減少が続く中で、企業・産業はコンプライアンスにも対応しながら、デジタル技術を活用して生産性向上に取り組み、サステナビリティを追求していく。



1 デジタル時代のコンプライアンスと事業継続

環境問題や個人情報保護など社会課題の解決に向けた制度等の増加に伴い、経済活動に対する規制やルールも増えていく。そのため企業はコンプライアンス対応業務の効率化をいっそう推進する。複雑な規制への対応には金融/フィンテック分野で先行しているRegTechが応用され、多くの産業で浸透していく。製造分野では障害予知業務等にAIの適用が進んでいるが、この先サプライチェーン全体で業務規則が順守されていることを見守る仕組みなどにも広がっていく。またリリース文書・契約文書・企業内文書などを処理したり、SNS等の幅広い情報源を利用する上で自然言語のセマンティクスを扱えるAIが活用されるようになる。規制・ルールの増大だけでなく、自然災害など企業・ビジネス自体の存続に影響する様々なリスクに備えて、事業影響度分析や早期復旧計画などBCPの見直しも進められる。

2 作業プロセス全体の自動化による生産性向上

機械学習を主流とする現在のAIは、生産ラインでの不良品検査やスマートフォンの顔認証など、パターン認識技術による画像処理などが活かせる業務やサービスを中心に採用されている。今後はそうした人間の一部作業の代替から、作業プロセス全体の自動化・最適化へと適用が広がり、各業種・業界での生産性向上に大きく貢献していく。膨大な選択肢を網羅的に検証し最適解を抽出する能力や、リアルタイムにセンシングしたリアル空間のデータをシミュレーションする能力などが進化することで、創薬、新材料開発、電力需要に応じた供給力の細かな調整、熟練者によるプラント調整操作の自動化などが実現されていく。既に医療業界ではがんに影響があるとされる物質の分析で成果をあげており、診断精度の向上や患者負担の少ない検査の開発などが期待されている。

3 遠隔コミュニケーションや仮想現実による生産性向上

コロナ禍でのオンラインによる業務実行の普及を通して、人々は距離や時間に制約されないという利便性を改めて実感した。こうした遠隔コミュニケーションはxR (仮想現実、拡張現実、複合現実等) 技術と組み合わせられることでさらに進化し、様々な分野の生産性向上に貢献していく。医療や教育現場での活用が広がっているxR技術は、例えば複数の医師が患者の体内MRI画像を共有して手順を確認しながら手術に臨める状況を実現した。この先、遠隔地にいる熟練作業員と現場の新人作業員が、双方の仮想現実空間に故障設備の写真画像を表示して共同作業することも可能になるだろう。さらに、リアル空間に仮想現実を重ねて表示したり、それを手や体の動きで操作できるようになることで、より多くのビジネスに新たな体験価値がもたらされるだろう。

1 サステナビリティを軸に 進化する未来社会



地球・環境 × サステナビリティ

取り上げるテーマは「サーキュラーエコノミー」「電力エネルギー需給の最適化」である。化石燃料から発生する温室効果ガスが気候変動を起こすなど、地球資源の利用による環境ダメージが憂慮されている。地球環境と社会経済の両立に向けた様々な取組みを通して、地球全体のサステナビリティが目指される。



1 環境負荷低減と市場創出を同時に狙うサーキュラーエコノミー

従来の直線型経済モデルに欠けていたのは、消費したモノを潜在的な資源と捉え、「静脈」に乗せて再資源化し再度「動脈」に流すという発想である。今後、社会・経済システムは、資源や製品の価値をできるだけ長く維持して廃棄物を最小限に抑えることを目指す、循環型経済モデルへと転換していく。これまでは難しかった消費済み製品・部品の再資源化に向けた管理・流通、需要とのマッチング、あるいはシェアリング等による資源の利用最適化などにデジタル技術が活用され、「循環するバリューチェーン」を実現する新たな市場が創造される。

2 サークュラーエコノミー視点での未来社会に向けた戦略再構築

サブスクリプションモデルやシェアリングモデル等、「所有」よりも「使用」に着目したサービスが製造業を中心に広がっており、今後IoTやビジネスエコシステムのプラットフォームをベースにして進展する。食や農業の分野では、需給のミスマッチが生む食品廃棄・環境負荷の増大という課題に対し、直線型経済モデルで「捨てる」とされていた消費物を「使う」へシフトする動きが広がる。食品廃棄物や農業残渣を原料としたバイオマス製造、そこからさらにカーボンニュートラルな燃料や新素材を製造する新しい技術がこうした動きに貢献していく。全ての消費が別の新たな価値を生むというサステナビリティの実現に向け、サーキュラーエコノミーを前提としたビジネス戦略構築と新たなサービス創出への期待が高まっていく。

3 電力エネルギー需給の最適化

電力エネルギーの安定供給に向けた利用最適化を実現するため、P2P電力取引（電力会社以外の個人・法人による余剰電力取引）が促進される。電力メーターへのIoT機器導入（スマートメーター化）により、消費電力が自動計測・分析・可視化されることで、需要量の予測精度向上、安定供給計画の策定が可能になり、需給マッチングの効率化に役立つ。また、データ改ざん耐性やプログラムの自動実行機能を持つブロックチェーン技術の適用により、取引の信頼性・透明性が確保されるだけでなく、売り注文と買い注文を引き合わせる自動契約、各種方式（オークション、ザラバ、ダイナミックプライシング等）による価格決定、そして自動的な配電に至る一連の仕組みが実現できる。売買契約に基づいた電力量だけが取引されるようになれば、需給バランスの最適化に大きな効果が期待できる。今後は制度・ルール面をはじめサービスの本格化に向けた研究が活発化する。

1 サステナビリティを軸に 進化する未来社会

サステナビリティ実現の 基盤となる トラストワージネスと レジリエンス

サステナビリティを脅かす社会・環境リスクに備えた社会システムの構築にあたっては、トラストワージネス（適正なリスク認識と準備対応が生み出す信頼性）と、レジリエンス（想定外の事象に対応し迅速に回復できる力）が重視され、社会・経済の様々な仕組みづくりに反映される。



1 急がれるトラストワージネス基盤の構築

サステナブルな社会の実現に向けてデジタル技術が活用されるにあたり、通信データの改ざんや情報漏洩、自然災害によるシステム破壊、システム自体に内在する欠陥、人的ミス、サイバー攻撃等の幅広い脅威に対して十分に安全であるというトラストワージネスが求められる。米国立標準技術研究所（NIST）によれば、Trustworthiness（トラストワージネス）とは、Safety（安全性）、Security（セキュリティ）、Reliability（信頼性^{*}）、Privacy（プライバシー）、Resilience（レジリエンス）を必要十分なレベルで確保していることである。特にリアル空間とサイバー空間がつながる世界では、事業継続の観点からPrivacyや、異常事態への対応力・回復力を意味するResilienceが重視される。トラストワージネスの確保に向け、今後システム検証における共通基盤構築やセキュリティ対策の標準化、認定機関の立ち上げ、関係人材の育成など、制度・ルール面も合わせて議論していくことが必要となる。

* 「故障しない」など安定して機能発揮できるといった意味での信頼性

2 レジリエンスエンジニアリング——不確定な脅威に対処できるレジリエンスの確保

NISTが公開するサイバーセキュリティフレームワークにおいてもウイルス侵入後の迅速な検知・対応・復旧が取り上げられている通り、想定外の変化が起こった時の対応力や回復力であるレジリエンスの重要性が増す。レジリエンスエンジニアリングには、変化や脅威を「予見する能力」「監視する能力」「対処する能力」またインシデント対応や成功事例から「学習する能力」が求められる。4つの能力を活かし、どのような条件下でも安全に動作を継続できるシステムを適切なリソースで設計することが、サステナブルな社会の要件として今後いっそう重要となる。

3 つながるシステムでのセキュリティ設計と対応力

不特定多数のIoT機器等がつながるネットワークシステムの開発には、十分なセキュリティ診断と安全性確認に相当の期間が必要な一方で、経営環境の変化に対応したスピードも必須である。そのため機能やユーザビリティの設計にレジリエンスの視点（異常事態による被害の最小限化と、システム、業務、サービスの迅速な回復）を取り入れた上で、サービスをスタート・継続しながら同時にその内容とセキュリティの改善を繰り返すアプローチが取られるだろう。こうした柔軟でスピーディな取組みを効率的に進めるには、システムの開発側と運用側の緊密な連携・協力が必要となる。

2

サステナビリティを実現するための デジタル技術

「つながる」 社会を実現するための デジタル技術

デジタル技術は、人、モノ、データ、プロセスをつなぐことで新たな可能性を生み出す。様々な情報をデータ化してサイバー空間へ転送し、処理した結果をリアル空間へフィードバックすることにより、既存のつながりを進化させたり、新たなつながりをつくることことができる。



1 次世代通信ネットワーク

ローカル5Gは、企業や自治体などが固有の環境・目的に合わせて構築できる局所的な5Gネットワークである。通信事業者のトラブル等の影響を受けず、Wi-Fiよりも広い範囲で安定した通信を実現できることから、大規模な工場での業務効率化やエンターテインメント配信をはじめ様々なビジネス、サービスでの利用が進む。さらに2030年をめどに導入予定の6Gは、100Gbps以上のスピードでデータを伝送でき、通信カバーエリアも飛躍的に拡大する。リアルタイム処理が可能になり、現実と同等、もしくはそれ以上の新体感サービスがもたらされる。また、仕様の標準化によるRAN（Radio Access Network）のオープン化によって、利用可能なテクノロジーの多様化と選択の自由が広がる。

2 宇宙からのリモートセンシング

人工衛星がもたらすデータが、新たなビジネスとつながりを生んでいく。気温、海面温度、地表の水分含有量、植生状況などの衛星データをクラウド上で分析できるプラットフォームが提供されたことで、衛星データ利用のハードルが一挙に下がり、これまでにないビジネスやつながり創出への期待が高まっている。複数の衛星を使った多視点・同時撮影の技術は、地上の3D画像の大幅な精度向上を可能にする。デジタル技術の進化によるこうした衛星データの利用は、農林水産業など自然と直接関わる分野だけでなく、金融・保険業界でのプラン設計や、建設業界におけるインフラ点検など様々な分野で拡大していく。

2 サステナビリティを実現するためのデジタル技術

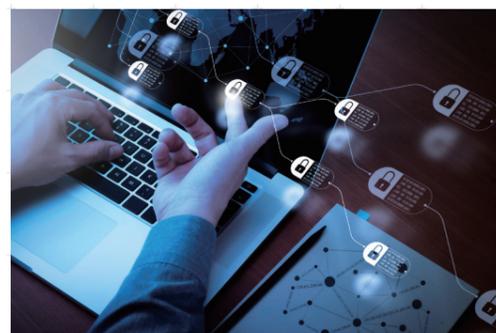
3 現実空間と仮想現実空間の融合

現実空間と仮想現実空間の連携がますます進展し、今後は両者を区別する必要がなくなっていく。MR（複合現実）は現実空間と仮想現実空間をつなぐ。例えば仮想現実空間内に表示されたボタンを操作することでアクチュエーターを通じて現実空間のボタンを動かせる。あるいはボタンよりもつまみの操作に快適さを感じている人は、現実空間のボタンによるテレビ音量操作を、仮想現実空間内でつまみ式に変えることができる。さらに仮想現実空間に表示する物体の立体感を高めていくことにより、あたかも現実空間で実物に接しているかのような感覚を実現できる。



4 企業間取引の自動化

企業間取引の自動化が進むことで、人は、ルールを守る立場から、ルールをつくる立場へと役割が変わっていく。ブロックチェーン上で契約の締結と実行等を自動的に実行する仕組みであるスマートコントラクトは、決済時間の短縮や不正防止、仲介者を必要としないことによるコスト削減を可能にする。そのため様々な業界で業務の効率化・自動化だけでなく、ビジネスモデル創出等への利用が進むだろう。スマートコントラクトを利用した分散型アプリケーションの開発が拡大しており、様々な契約・取引の自動化が進展する。



5 つながるためのプラットフォーム

資源を循環させる仕組みであるサーキュラーエコノミーの実現に、企業間、産業間の新しいつながりを生む情報連携プラットフォームが活用されていく。複数の企業や産業が集うプラットフォームには、高度なデータ処理を行うための計算資源を個々の企業や組織が抱えずに済むというメリットもある。プラットフォームには次のような機能が実装されると考えられる。

●データ交換

企業間連携などにおけるEDI（電子データ交換）に際して、データ形式の単純変換やコード等の読み替えでは対応できない場合、書類の意味処理ができるAIの適用が考えられる。

●取引記録

企業間の取引においては、その記録等を高い信頼性のもとで管理できる仕組みや技術に加えて、取引の履歴を正確に記録し続けられる機能が必要である。そこで取引記録を当事者である企業の間で共有でき、改ざんが困難で、取引や決済のプロセスを自動化できるブロックチェーン技術が活用されるだろう。

●組合せ最適化

経営リソースや遊休資産を稼働させる需給のマッチング、スピーディな新材料開発を目指すマテリアルズインフォマティクスなど、より良い解決法を得たい「組合せ最適化問題」の規模は大きくなっていく。大規模な問題に対しては量子計算が用いられるだろう。

サーキュラーエコノミーのプラットフォームには、上記に加えて、製品の状態や利用状況の監視、故障予知、部品の流通管理などの機能も装備されるだろう。



2 サステナビリティを実現するためのデジタル技術



「賢い」 社会を実現するための デジタル技術

データから検出した規則性（特徴量）を基に推論や予測を行う技術は目覚ましい進化を遂げ、AIの普及を加速させた。こうしたデジタル技術を通してリアル空間とサイバー空間とがつながることで、知覚や記憶といった人の能力が拡張されると共に、現実世界そのものがより洗練され、社会やビジネスのさらなる効率化・最適化が実現する。AIは今後も世界を「賢くする」技術として期待される。

1 自ら成長するAI

この先AIは、自ら試行錯誤しながら人の行動を学習し、人の作業を代替するようになっていく。例えば熟練者の動きの観察を通していわゆる「匠の技」まで再現するロボットも登場するだろう。AIに大量のデータを学習させる方法と、自らの試行錯誤を促す方法を組み合わせることで、例えば部屋の中を動き回る片付けロボットに間取りを理解させたり、効率よくモノをつかむ動作を学習させることができる。

2 リアルタイム制御にAIを適用

自動運転車や産業用ロボットなど高い即応性が必要とされる制御システムにも、AIが適用されるようになる。学習・推論処理を低消費電力・高速で行うAIチップの登場により、学習済みモデルをデバイスに実装する「エッジAI」が普及していく。必要な判断や制御を現場で実行できるエッジAIは、クラウドを利用したAIサービスの難点とされる反応の遅延、通信障害、機密データ流出等のリスクを低減できる。今後は、瞬時の判断が求められるデータ処理はエッジAI、膨大な計算処理が必要な場合はクラウド側のAIが行うといった連携が進む。

3 秘密を守りつつAIを成長させる

機密情報の保護とアルゴリズムの精度向上を同時に実現するAI開発手法として、フェデレーションラーニング（協調機械学習）が、プライバシー保護の求められる業務、サービス、研究等で普及していく。AI診断の精度向上を目的としたあるプロジェクトでは、フェデレーションラーニングを利用し、患者のパーソナルデータを保持する複数の病院が、それぞれ院内で構築した学習済みモデルを提供し合い、それらを統合した1つのモデルを共有するといった取組みが行われている。個人や社会がプライベート情報を保護されながら、同時にAIの恩恵を受けられるサイクルが実現していく。

4 量子計算

量子の振舞いを計算過程に利用する量子コンピューターは、現在主流のノイマン型コンピューターでは現実的な時間内で解けない問題を解くことができる。AIの深層学習や気象ビッグデータ解析、膨大な量の化合物評価が必要な創薬、さらには新材料の開発など幅広い分野での実用化が期待される。現在、量子コンピューターには、汎用的に計算を行うゲート方式と、組合せ最適化問題に特化したアニーリング方式の二大潮流がある。アニーリング方式の実用化が先行しているが、いずれはゲート方式の普及も見込まれる。量子コンピューターという「ハードウェア」が発展すると、次は「ソフトウェアエンジニアリング」に注目が集まるだろう。量子コンピューターの特性上、従来のソフトウェア開発におけるデバッグや検証手法は使えないため、数理論理学を基にプログラムを検証する形式手法が応用されると考えられる。量子コンピューターは、従来のノイマン型コンピューターに完全に取って代わるものではなく、特性や強みに合わせて両者の計算資源が適材適所で使われていくだろう。

2 サステナビリティを実現するためのデジタル技術



「誰一人取り残さない」 社会を実現するための デジタル技術

デジタル技術は、人と人のつながり、健康な生活、自己実現などに寄与することで、ウェルビーイングを高める。生命科学分野との融合によりさらなる進化が期待される。



1 もう一つの体で世界とつながる

どこにでも行ける自分の「分身」を通して、人とつながり、様々な世界を体験できる。それを実現するのがアバターロボットである。遠隔地にいながら自分の体のように操作できるアバターロボットは、人を身体的・空間的な制約から解放する。例えば病気で学校に行けない子供や介護を必要とする人でもアバターを通して外の環境とつながれる。今後、医療や教育をはじめ、新たなつながりを生む様々なサービスに活用されるだろう。

2 話さなくても通じる

人の思いを読み取れるコンピューターが実現すれば、いわゆるテレパシーコミュニケーションが可能になる。脳の活動状況を読み取り可視化する技術や、脳波を利用して脳と機械をつなぐBMI (Brain Machine Interface) 技術は、自分自身を客観的に理解する一助となったり、障がい者とのスムーズな意思疎通の支援に活用できるなど、コミュニケーションの可能性を広げるものとして期待される。脳波の解析技術が進化することで感情や集中力の推定精度も高まり、学習能力向上や行動変容に貢献するサービスの出現が見込まれる。

3 人の感情を大切に

デジタル技術によって人の気持ちを読み取ったり、感情にさりげなく働きかける「感情コンピューティング」が、人生の様々な場面でウェルビーイングを高めるサービスに利用されるようになる。AIによる感情認識には顔画像認識、音声解析、言語解析、生体情報センシングなど様々な技術が適用され、その精度を高めるために、表情、声、文章、心拍といった複数の入力情報を評価指標として組み合わせる手法が取られる。感情を認識するロボットが子供の友達となり、読み取った感情に応じた接し方をしながら学びをサポートするという実験では、子供たちが新しい言葉を覚えるといった学習効果だけでなく、ポジティブな感情の度合いが増加する傾向が確認されている。

4 デジタル技術で治療する

精神疾患や認知機能の治療において、今後アプリの利用が有力な選択肢になっていく。小児医療向けに開発された治療用アプリが米国食品医薬品局から承認されている。ゲームを通じて症状改善を目指せるなど、今後様々なアイデアを盛り込んだアプリが開発されていだろう。また、うつ病、認知症に対するデジタル治療の研究やソフトウェア開発も進んでおり、一人一人の患者に応じた新しい治療の形が生まれようとしている。

2 サステナビリティを実現するための デジタル技術



「信頼できる」 社会を実現するための デジタル技術

人、モノ、ビジネスなどが「つながる」世界では、信頼が重要である。デジタル技術は「つながる」世界をつくと同時に、その世界を信頼できるものにしていかなければならない。



1 AIの信頼性

「つながる」世界の実現に必要な不可欠なAIシステムは、機械学習に用いられる学習データの不備や偏りが原因で、開発者の意図に反する判断を下してしまうことがある（バイアス問題）。同問題の解決に向け、データ集合（学習データ全体の集合）の妥当性評価、テスト品質を計測・確保しながらの動作検証など、AI独自のエンジニアリング手法が発展するだろう。AIシステムの品質保証には、テスト手法の確立や、次項に述べる「説明可能なAI」の活用を含めた様々なアプローチを組み合わせていくことが求められるが、一方でAIコンポーネントが完全には保証されるものではないという認識のもとにシステム全体を設計することも重要である。

2 理解できるAI

AIが出力した結果の理由を人が理解できるようになることで、人とAIの協働による知識創出や問題解決が進む。数十億個にもなるパラメーター（AIの推論に影響する係数）を持つニューラルネットワークが、どのような根拠から答えを出力したのかを人が理解するのは難しい。いわゆるAIの「ブラックボックス問題」として知られるこの問題は、公平性や説明責任、透明性など、法や倫理の面からも重要なテーマである。欧州ではAIによる与信審査等を行った場合、企業が説明責任を負うことになる。人とAIの創造的な協働が促進されるためにも、ブラックボックス問題解決に向けた「説明可能なAI（XAI）」開発への期待が高まっている。XAIの実現には人の知能モデルのさらなる研究が必須であり、記号処理や意味処理などの研究成果を統合した説明モデルの開発が進められている。

トラストワージネスの再定義

情報システムにまつわる信頼性確保の取組みは、従来はリアル空間とサイバー空間とが個別に検討されていたが、今後は両者の融合を前提としたトラストワージネスの確立（再定義）が課題となる。トラストワージネスを踏まえたシステム設計やテクノロジー適用にあたっての検討ポイントを以下に例示する。なお、多様なテクノロジーの選択肢が提供され、かつ選択の自由が保証されていることが、いっそう重要になってくるだろう。

Safety

- 真正判定 …………… ウェアラブルデバイスから得られる、場所、利用環境、プロセス等のコンテキスト情報を基にした、システムに関わる人・利用する人に対する真正性判断の強化。
- 未知の相手との取引 …………… シェアリングサービスをはじめ、未知の相手との取引における「なりすまし」行為等を防止できる設計（真正判定や信用スコアの活用など）。
- 信用スコア …………… 初めて取引を行う相手に対する行動履歴等の分析、信用度評価。
- 不正取引検知 …………… 取引パターンを学習したAIによる監視・不正検知。
- 作成元保証 …………… センサーデータ等の利用増加に対応した、データ作成元を保証する方法の設計。
- トレーサビリティ、改ざん防止 …………… 透明性が高いブロックチェーン技術の適用。

Security

- 本人確認 …………… 画像認識や生体認証等による、身元確認と本人確認の同時チェック。
- 暗号化 …………… 絶対に破られないとされる量子暗号通信の適用。
- サービス間連携 …………… ユーザーIDの連携や属性情報の受け渡し等をセキュアに行える設計。
- サイバー攻撃対策 …………… 高度化するサイバー攻撃に対する検知、防御、対応の常時最新化。
※復旧に関する検討ポイントは下記のResilienceと同様。
- Cyber-Physical Security …………… マルウェアによるIoTデバイスの乗っ取り、AIを使ったハッキング、不正データの混入等への対応を踏まえた設計。
- DevSecOps …………… DevOpsを導入した開発に、脆弱性コード診断の自動化、脆弱箇所の局所化、脅威シナリオ分析等を組み込んだ継続的な改善。

Reliability

- 接続先評価 …………… 多数化・複雑化する接続先のシステムに対する、信頼性を評価する仕組みの設計。
- サイバー攻撃対策 …………… 標的型攻撃による情報流出やランサムウェアによる被害等への対策、および感染経路の特定方法、遮断すべきネットワーク・ハードウェアの早期検知方法等の設計。
- AI品質保証 …………… 「説明可能なAI」の適用を含めた、AIシステムの品質保証方法の設計。

Privacy

- データ提供合意プラットフォームの構築 …………… データ所有者がデータ提供の合意や利用範囲を定義できるプラットフォームの構築。
- データ提供者への権利保護 …………… データ提供の取りやめやインシデント発生に際して、データ提供者への報告、パーソナルデータ保護、「無自覚のデータ流通」防止などを実行する仕組みの設計。
- データ漏洩防止 …………… 情報へのアクセス制限の厳格化。

Resilience

- 障害の自動検知 …………… AIによる障害状況のリアルタイムデータやログの解析。
- 障害回復 …………… 障害発生時における最小限の機能維持や、元の状態への迅速な回復を可能にする設計。
- 疎結合開発 …………… 障害の影響範囲の局所化、異常の早期検知による対応の容易化を図った設計。



新しい「つながり」で サステナブルな社会をデザインする



1章で見た通り、新しい未来社会に向かって様々な現実が変化しはじめている。これまで当たりまえとされていた旧来の垣根があらゆるセクター（人・コミュニティ／社会・公共／企業・産業／地球・環境）で取り払われつつあり、言わば世界は新たな「つながり」を通して新たな「可能性」を生む土壌として再造成されようとしている。この土壌を耕して可能性の芽を育むためのツール、それが2章で見てきたようなデジタル技術である。

本章では、「新たなつながりが新たな可能性を生む」という観点から、リアル空間とサイバー空間の役割・関係に着目し、その「つながり」の整理を試みる。また、サステナブルな社会を「デザインする場」の在り方についても考える。



テクノロジーによるリアル空間とサイバー空間の新結合

経済学者ヨーゼフ・シュンペーターは、「イノベーションとは既にあるものが新結合すること」であり、「企業家による革新と新結合の遂行こそが経済発展の原動力」だとしている。「つながり（＝新結合）」がサステナブルな未来社会への可能性を生み出すものとしても、それが無軌道・野放図なものであれば、社会課題に対するソリューションもピントの定まらない、精度の低いものとなってしまうかねない。このことはもう1つの「つながり」、すなわちテクノロジーによるリアル空間とサイバー空間の新結合にも当てはまる。

3 新しい「つながり」で サステナブルな社会をデザインする

1 拡大していくリアル空間とサイバー空間の役割

コロナパンデミックを機に加速するDX（デジタルトランスフォーメーション：デジタル技術により人々の生活をより良いものへ変革すること）は、言わばリアル空間とサイバー空間の新たな「つながり（＝新結合）」を生み出す取組みであり、これに携わる企業・組織はリアル空間とサイバー空間の役割を改めて整理・デザインし直していく必要がある。DXを象徴する概念であるCPS（サイバーフィジカルシステム）を例に取るなら、その役割はもはやリアル空間にある情報をデータとしてサイバー空間に取り込み、その分析結果を新たな価値としてフィードバックするという従来のそれにとどまらない。コロナ禍でのオンライン会議や遠隔医療がそうであるようにリアル空間の人や物事を代替する役割、あるいはオンライン化がどれほど進展してもやはりリアル空間でしか成立し得ない物事にどんな役割を果たせるのかも考える必要がある。サステナブルな未来社会を構成するリアル空間とサイバー空間の役割をどうデザインしていくか、そうした「新結合」の視点がこの先10年で重要性を増していく。

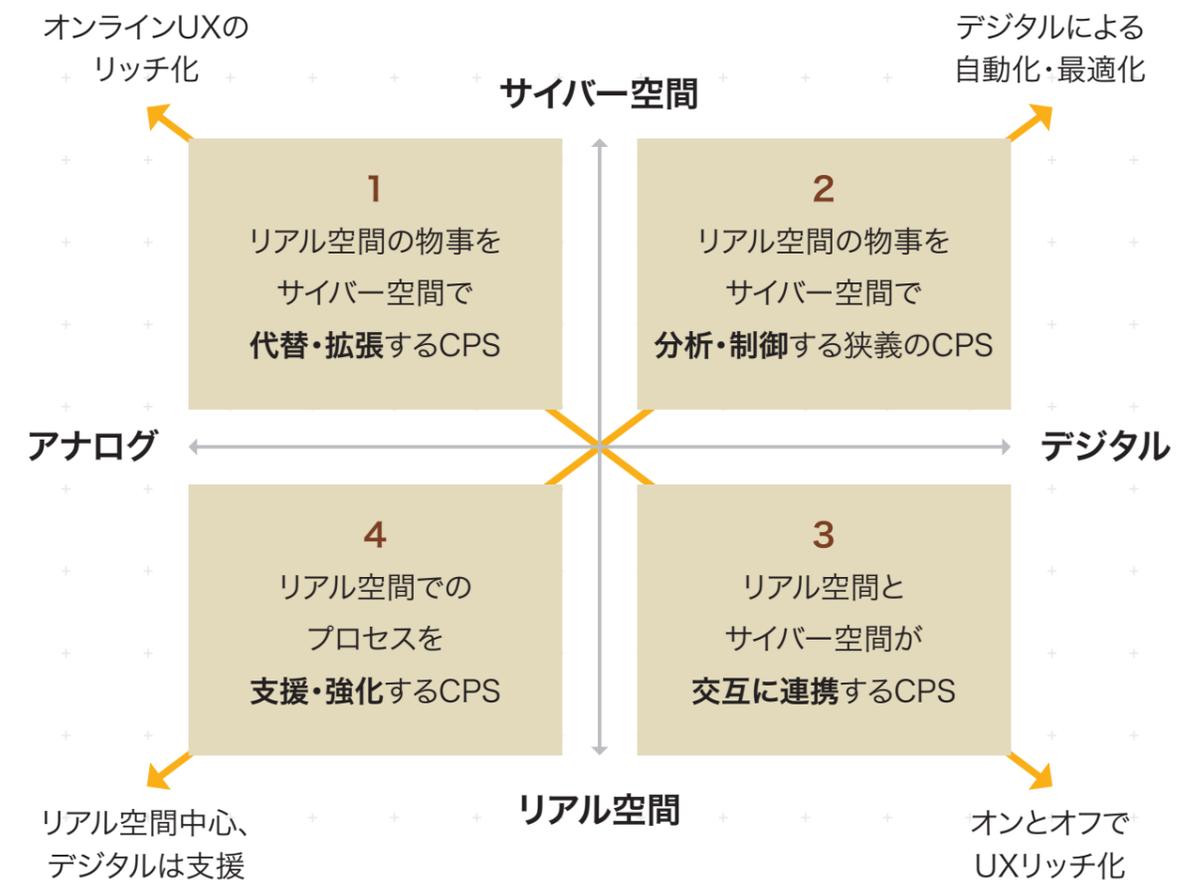
2 4つのCPSでリアル空間とサイバー空間の役割をデザインする

オンライン化できるサービスとリアル空間でしか提供できないものがあるように、リアル空間での物事はデジタル化できるものとできないもの（ここではアナログと表現する）とに分けられる。未来社会への課題解決に向けたCPSは、リアル空間とサイバー空間の関係を基に4つの形態（下記及び右図の**1234**）として設定できる。また、あるサービスにデジタル技術を適用する目的は、UX（体験価値）のリッチ化（向上）と、作業の自動化・最適化の二方向がある。右図の左上と右下を結ぶ矢印は「UXリッチ化の方向性」を表し、それぞれ「オンラインUX」と「オン+オフラインUX」のリッチ化へ向かう。一方、右上と左下を結ぶ矢印は、それぞれ「作業の自動化・最適化」と「リアル空間での作業の強化・支援」へ向かう。形態**4**（図左下）のCPSを例に取ると、デジタル技術の進化に伴い作業の「支援・強化」から「自動化」へと役割が変化していくが、完全な自動化（形態**2**）には至らず、あくまでもリアル空間での作業が中心であるという形態にとどまる。社会課題の解決に向けた「リアル空間とサイバー空間の新結合」とは、すなわち両者の役割をどうデザインし、4つのCPSをどう結合させるかということである。



リアル空間とサイバー空間の「役割デザイン」を、小売業界を例に考えてみる。例えばリアル空間の店舗を「商品を手にとったり試着したりするショールーム」と位置づけ、支払いはスマートフォン決済、商品受取りは宅配利用とする（形態**3**）。VR等によるオンライン体験（形態**1**）と、形態**3**とを組み合わせるUXのリッチ化をデザインする。あるいはロボットによる作業の省人化（形態**2**）を進めつつ、人による接客時間を増やして接客の向上を図る（形態**4**）といったデザインもあるだろう。さらに、店舗内にいるアバターが撮影する商品画像を、顧客が自宅で仮想現実空間に表示し、購入は店員とのインタラクションを通して決定できるというサービス（形態**1**）は、リッチ化したUXと来店不要の利便性から顧客拡大にもつながるだろう。

リアル空間中心（形態**4**）の業界の例として、医療・介護においては、IoT機器による要介護者の安全監視やバイタル監視など、人間の作業支援を中心としたCPSとなる。



3 新しい「つながり」で
サステナブルな社会をデザインする

つながりを生む4つのCPS

4つのCPSは、リアル空間とサイバー空間の「つながり」を拡大・深化させ、人の能力を拡張し、体験を豊かにする。

オンラインUXの
リッチ化

デジタルによる
自動化・最適化

アナログ

デジタル

サイバー空間

リアル空間

1

リアル空間の物事をサイバー空間で代替・拡張するCPS

「コミュニケーションのオンライン化」「エクスペリエンスの拡張」

例 オンライン営業
 リアル空間 = 対面説明
 サイバー空間 = オンライン説明

他例 テレワーク、オンライン授業、VR旅行・美術館、遠隔医療、遠隔操作



2

リアル空間の物事をサイバー空間で分析・制御する狭義のCPS

「データ化したリアル空間での物事をサイバー空間で分析、リアル空間にフィードバックして自動化・最適化」「データ駆動型システム」「従来からのCPS」

例 つながる工場
 リアル空間 = 稼働機器・製造プロセス
 サイバー空間 = センシングデータ、分析、制御、予知

他例 デジタルツイン、都市OS、スマートシティ、自動運転、渋滞回避交通システム



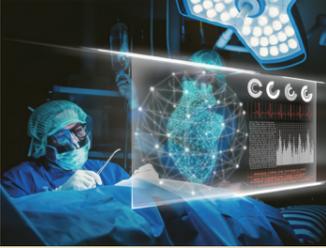
4

リアル空間でのプロセスを支援・強化するCPS

「リアル空間中心」「アナログ⇒デジタル変換不可」「デジタル技術はリアル空間でのプロセスを支援・強化」

例 介護サービス
 リアル空間 = 食事、排泄、入浴介助
 サイバー空間 = IoT監視で介護士支援

他例 医療サービス、接客サービス、匠技術



3

リアル空間とサイバー空間が交互に連携するCPS

「リアル空間とサイバー空間が役割分担して高度に連携」「デジタルデータでリアル空間の物事をつなげてビジネスエコシステムを形成」

例 スーパーでのスマートフォン決済と配達サービス
 リアル空間 = 買い物・QRコード
 サイバー空間 = スマートフォン決済、配達指示

他例 宅配、他業種連携、小売等でのカスタマージャーニー



リアル空間中心、
デジタルは支援

オンとオフで
UXリッチ化

3 新しい「つながり」で サステナブルな社会をデザインする



サステナブルな社会をデザインするための「場」

社会をサステナブルにする仕組みやシステムのデザインにおいて難しいのは、社会の変化を先取りして組み入れること、実際に稼働した時の様々な影響を見通すこと、何よりそこに生み出される複雑かつ多種多様なつながりを想像して読み解くことである。優れたデザインを生み出すには、デザインを進めていく「場」が重要になってくる。



1 よいデザインを生み出す対話の充実

よいデザインは、よい「問い」から始まる。よい問いや仮説を立てるには、学びをベースにした対話の充実が欠かせない。そのためよいデザインを考える場の中心には常に対話があり、その外側で意思決定が行われるという構造になる。

対話の「主人公」は人である。社会の運営に関わるデザインであるため、その対話には関連分野の専門家や、社会学、経済学、心理学、倫理などの有識者が加わるだろう。宗教家や芸術家の視点は深い示唆を与える。そしてデザインの恩恵や影響を受ける当事者として、多様な背景を持つ人々が社会を代表して参加する。また、時には専門家や当事者でない人の参加がよい問いを生むこともある。

対話のベースとなる学びには、参加者が持つ知識・知恵だけでなく、史実や社会的経緯、そこから得られた教訓なども含まれる。対話が扱うテーマや類似の問題に対する過去の取組みとその結果、反省、あるいは一見して関係ないと思えるような他分野での政策やソリューションもよいデザインのための貴重なヒントになる。全く異なるテーマを扱うデザイン現場の対話や考察も大いに参考にできるだろう。時には対話を止めて実地体験・疑似体験に臨むことも効果的である。



2 対話に求められる安心と創造性

よいデザインを生み出すために、対話を有効に機能させる考慮がなされていく。第一に、参加者が安心して情報を提供でき、考えを述べられる環境が用意される。対話の場は、所有している情報の権利が保証され、発言内容を含めて秘密が洩れないことが確実にされている。所有者だけが知るものから、範囲を限定して共有可能とするもの、制限なく公開可能なものまで、扱われる全ての情報へのアクセスがコントロールされた状態である。閲覧可能な文書においてもプライベート情報だけは隠されているといった細やかな配慮がなされるだろう。

第二に、対話の創造性を高める工夫が増えていく。発言内容はもちろん対話内で扱われた全ての情報は、記録・保管され、次の対話のために参照できる状態になっている。記録にあたっては、閲覧する人の視野や発想を狭めてしまわないよう、ありのままの形で残されるだけでなく、求める情報を必要に応じた観点から見つけやすくする工夫もなされるだろう。また、参加者によって知識や経験、受け取り方が異なるため、一人一人に応じた表現の変換（言い換え等）、疑問点への説明、関連情報の提示などが行われる。

収集・記録した情報は、対話が目指している社会にとってだけでなく、未来社会全体への財産（知識アセット）になることを認識しておきたい。対話の結論や核心的な内容にとどまらず、結論に至るまでの流れ・成り行き、枝葉、採用されなかった些細なアイデアまでもが参照できれば、新たな発想を生む発散的思考の促進、あるいは対話を的確に収斂させていくノウハウの蓄積にも役立てられる。適切な管理のもとで知識アセットを共有・公開することで、サステナブルな社会を目指す他のプロジェクトにも貢献できるだろう。デザインする場と場、対話と対話がつながっていくことにより、サステナブルな社会に向けたよりよいデザインの創出が促進される。



Technology Foresight® 2021

BIPROGY株式会社



本社 東京都江東区豊洲 1-1-1 〒135-8560

電話 03-5546-4111 (大代表)

https://www.biprogy.com/com/tech/technology_foresight/

Copyright©2022 BIPROGY Inc. All rights reserved.

Foresight in sight、Technology Foresight は、BIPROGY株式会社の登録商標です。
本リーフレットに掲載されている文章、写真、イラスト、画像およびこれらを組み合わせた編集物は著作権法による保護を受けており、これらの著作権は、BIPROGY株式会社に帰属するほか、第三者の著作によるものである場合は当該第三者に帰属しています。

日本ユニシス株式会社は、2022年4月1日に「BIPROGY株式会社」となりました。
本資料は、2021年6月に日本ユニシス株式会社（当時）が作成したものです

