

4. デジタル社会の進化

2050 年にかけて社会でデジタルデータを活用する領域がさらに広がる。通信インフラやデジタルテクノロジーの進化を背景に経済活動の中心は「デジタル経済」³⁶に移行し、一人一人の人間がデジタル空間で過ごす時間が増えていく。一方、デジタル経済をもたらす利便性や豊かさといった「光」が強くなるほど「影」もまた濃くなることに気を配る必要があるだろう。

(1) デジタル経済の拡大

◆アナログの制約を取り払う

デジタル経済における価値の源泉はデジタル化された情報である。主に1940年代以降にコンピューターや記録媒体が進化したことで、記録や記憶、認知といった面で人間の能力を超える新たな機能や価値が作り出されてきた。1990年代以降はインターネットを通じてデータが瞬時に世界中に流通するようになり、時間、距離、規模などの制約も取り払われた。

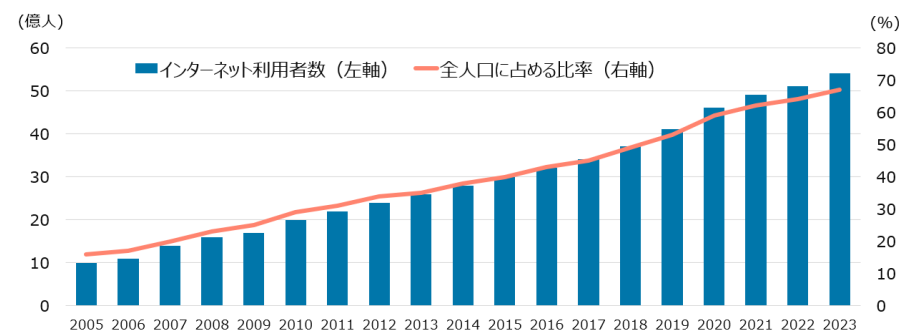
こうしたデジタル経済の拡張によって世界はかつてより切れ目なく滑らかにつながり、基本的には生活の利便性や安全性、経済的・精神的豊かさの向上に寄与してきた。例えばソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）は世界中の人との交流を可能にし、電子商取引（EC）によって店舗に赴かなくても商品を購入できるようになった。IoT（モノのインターネット）は製造工場などで生産性の向上や管理の効率化に寄与している。無料サービスが多いことなどからデジタル経済の規模を測るのは難しいとされるが、デジタル産業と既存産業のデジタル化によってもたらされた付加価値を算出した研究によると主要51か国におけるデジタル経済は2023年に41.4兆ドルの規模があり、対象国の国内総生産（GDP）の46.1%に相当する³⁷。

◆世界中どこでもネット接続が可能に

デジタル経済の成長を加速させる要因の1つは通信インフラの拡充だ。2020年代後半から大量の人工衛星を協調的に運用する「衛星コンステレーション」や、「HAPS（成層圏プラットフォーム）」と呼ばれる無人航空機を利用したワイヤレスの通信網が世界中に広がっていく。

同時に現行の通信規格5G（第5世代移動通信システム）の次の世代として、さらなる高速大容量の通信を可能にする「Beyond5G」の整備が2030年頃から世界各国で始まる。2030年代には山岳部や海上、空中も含む地球全域でブロードバンドを利用できるようになるだろう。世界でインターネットに接続できる人の数は2023年時点で54億人と全人口の67%にとどまり³⁸、発展途上国を中心に潜在的なユーザーは数十億人規模で存在する（図表1-34）。インターネット利用者の増加はデジタル経済の拡大に直結し、ECやSNS、動画配信、広告など既存のインターネット関連サービスはさらに成長すると見込まれる。

図表 1-34 世界人口の3割はまだインターネットを利用していない



(出典) International Telecommunication Union (ITU), “Facts and Figures 2023”
Nov. 2023.より当社作成

³⁶ 「デジタル経済」は多様に定義されているが、ここでは「デジタル化された財・サービス、情報・金銭などがインターネットを介して個人・企業間で流通する経済」（内閣府平成29年度年次経済財政報告）に倣う。

³⁷ 中国信息通信研究院「全球数字经济白皮书（2023年）」（2024年1月）

³⁸ International Telecommunication Union (ITU), “Facts and Figures 2023”, Nov. 2023.

◆メタバースに暮らす

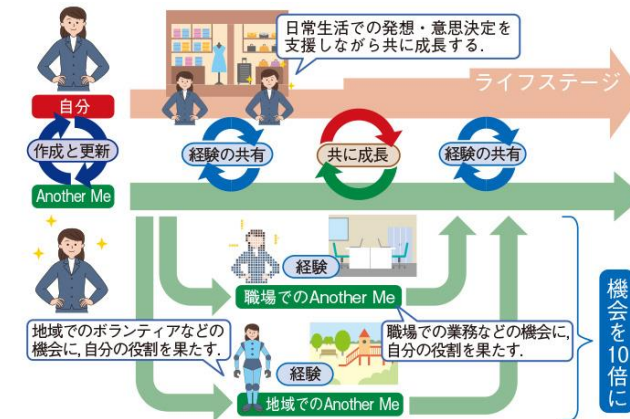
加えて量子コンピューターなどのコンピューティング、AI、ロボティクスといった関連技術の進화가、接続性と拡張性を増すインターネットと結びつくことにより、デジタル空間ではこれまでより格段に多様な活動が可能になる。既に仕事や買い物、教育など一部の活動はデジタル空間に移行しているが、身体的動作やコミュニケーション面の技術的制約から、あくまでフィジカル空間を中心としたデジタル経済の拡大であった。2050年にかけては五感をデジタルで再現する技術やVR（仮想現実）デバイスの進化、改ざんされにくいブロックチェーンを用いた暗号資産やNFT（非代替性トークン）の発展などによってこういった制約は解消に向かい、デジタル空間はフィジカル空間と同等の人間活動が可能になる。

この高度に拡張したデジタル空間は「メタバース」³⁹と呼ばれ、場合によっては現実空間よりも利便性が高く居心地の良い空間が実現し、多くの人が「暮らす」ようになる。メタバースの住民が増え、企業の進出が広がれば、デジタル製品が生産され、デジタル通貨による投資や所得が発生し、製品やサービスを消費するようになる。進化したメタバースではデジタル化されたヒト・モノ・カネが循環するようになり、デジタル上で経済活動が完結する「メタバース経済圏」が生まれる。

現実世界と違ってメタバースは1つである必要はなく、規模や特徴が異なる複数のメタバースが併存することになるだろう。ユーザーからすれば複数のメタバースに参加することで複数の人生を生きることができる。デジタル上に自身を再現したアバター（分身）を通じて複数のメタバースを同時体験し、後から自身にフィードバックするといったことも可能になるかもしれない。例えばNTTはアバターが複数のデジタル空間を経験し、その内容を自身にフィードバックする「Another Me」と呼ぶ構想を研究している<図表

1-35>。オンラインゲームなども含むメタバースへの参加者は2030年までに最大50億人、市場規模は最大13兆ドルに増えると予測される⁴⁰。

図表 1-35 アバターを通じて複数の世界を生きる研究が進む



（出典）NTT デジタルツインコンピューティング研究センタホームページ

企業も活動の比重をメタバースに移すようになり、相対的に現実の経済圏の規模は低下していく。現在は米 Google や Apple、Meta といった巨大 IT 企業が広告やアプリ、SNS といったネットサービスのプラットフォーマーとして大きな経済的利益と社会的な影響力を握っているが、将来はメタバースの基盤を提供する事業者が強い影響力を持つことになるだろう。既存の IT 大手がそのポジションを得られる保証はなく、2021年にMetaが社名を変更してまでメタバースシフトを決めたことはその危機感の表れだ。一方、経済の重心がメタバースに移ることは、国家にとっては通貨発行などに基づく権益が縮小することを意味する。現在でも欧州連合（EU）をはじめ IT プラットフォーマーを規制する動きが強まっており、メタバースを巡っても事業者と国家の間で対立が深まると予想される。

³⁹ meta（高次元、超越）と universe（宇宙、世界）を組み合わせた造語で、1992年発表のSF小説「スノウ・クラッシュ」（ニール・スティーヴンスン）が初出とされる。

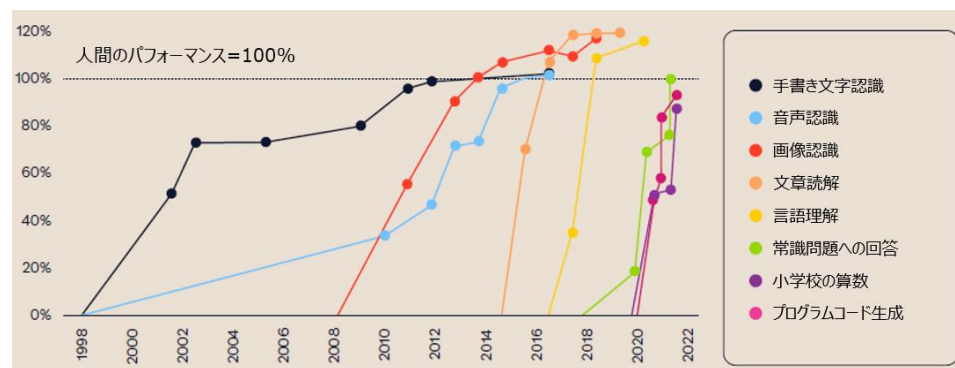
⁴⁰ Citi GPS “METAVERSE AND MONEY Decrypting the Future”, Mar. 2022.

（2）デジタル化を加速する技術革新

◆汎用AIが多様なタスクを自律的に実行

次に社会のデジタル化を加速させる技術革新の動向を見ていく。人間の知能を人工的に再現するAIは2050年にかけて加速度的に進化していくだろう。AIは1950年頃から構想があったが、本格的に性能が向上したのは2000年代からだ。ビッグデータの活用で「機械学習」や「深層学習」といった膨大な情報の分析が可能になり、2020年頃からは集積したデータを基に文章や画像を作り出す生成AIが急速に進化している。例えば米OpenAIの生成AI「ChatGPT」のパラメータ数⁴¹は2023年公開の「GPT-4」で推定2兆⁴²と、2018年の「GPT-1」（1.2億）から約1万7000倍に増えた。＜図表 1-36＞のとおり、既に一部領域では人間を上回る能力を持つAIが登場している。

図表 1-36 AIが人間の能力を上回り始めている



（注）AIモデルの成長と人間のパフォーマンスの比較

（出典）Citi GPS “What Machines Can’t Master”, May.2024.より当社作成

従来のAIは人間が与えた指示に基づいて特定のタスクを実行する仕組みだが、2035年頃には人間と同じように自律的に判断して多様なタスクを実行する汎用人工知能（AGI）が実現し⁴³、2050年までには人間の能力を上回る人工超知能（ASI）が登場する可能性がある⁴⁴。高度なAIを育てるには膨大な電力消費量や学習データの不足といった課題があるが、画像処理半導体（GPU）などハードの省エネやAIモデルの効率化、再生可能エネルギーの活用、AIによるAI用学習データの作成などといった対策が進むだろう。

多様なタスクを自律的にこなすAIはデジタル社会の主要なファクターとして多様な場面で実装が進む。現在人間が担っているタスクのうちデジタル上で完結するものは比較的早い段階でAIに置き換わり、その後ロボティクスなど機械の進化と結びつくことで物理的なタスクも担う場面が増えていく。AI自ら学習、行動、修正していくことで人間だけでは難しかった技術革新や課題解決が可能となり、社会変革のスピードは速まっていくだろう。

◆量子コンピューターが生む8500億ドル

量子が持つ性質を利用して計算する量子コンピューターは2030年前後から本格的な社会実装が始まるだろう。量子コンピューターの研究開発は2010年代から活発化し、米IBMや同GoogleといったIT大手のほか米PsiQuantumなどスタートアップの参入も増えている。量子コンピューターはハードを構成する基本素子「量子ビット」の数を増やすことで計算能力を高められる一方、量子ビットはエラーが発生しやすい特徴があり、量子ビットを増やすとエラーのパターンや回数も増えていく。これを検出、訂正するためにも量子ビットを使うため、エラー修正機能を搭載するには大量の量子

Podcast”, Mar.21, 2024.)

⁴⁴ 研究者2778人に聞いた調査で「人間の手を借りずに人間より優れたタスクを達成するAI」の実現可能性は2027年までに10%、2047年までに50%と予想された。（Katja Grace et al., “THOUSANDS OF AI AUTHORS ON THE FUTURE OF AI”, Jan. 2024.）

⁴¹ 生成AIの一種である大規模言語モデルなどの挙動に使われる係数で、基本的には多いほどたくさんの情報を扱うことができ、性能が向上する。

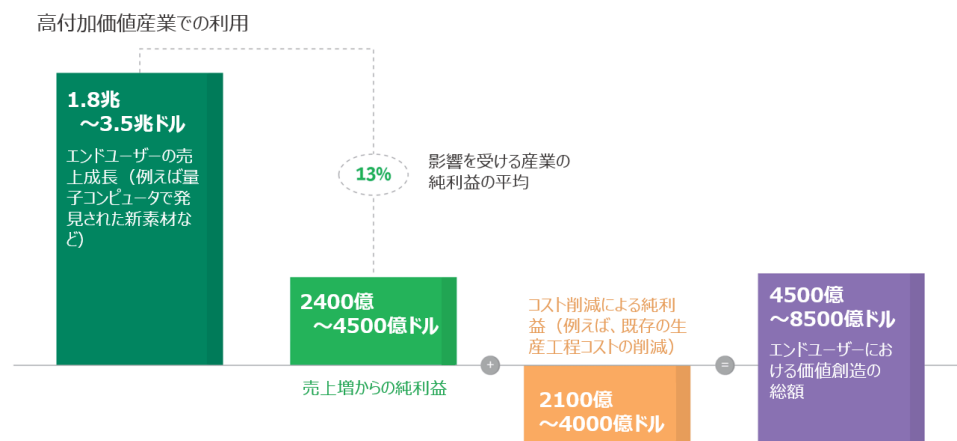
⁴² 松尾豊「生成AIと日本の戦略」（2023年11月、自民党AIPT提出資料）

⁴³ 開発の当事者であるOpenAIのサム・アルトマンCEOは10年以内にAGIが実現すると述べている（“Lex Clips Sam Altman on when AGI will be created (Lex Fridman

ビットを集める必要がある。これまでに実現している量子ビット数は 1000 程度だが、2030 年前後には 1 万程度の搭載が可能になり、用途限定で誤り耐性機能を持つ量子コンピューターが実現する⁴⁵。2050 年にかけては量子ビットを数百万個使う汎用型の量子コンピューターが登場する可能性がある⁴⁶。

量子コンピューターは従来のコンピューターでは対処が難しかった複雑な問題を解決できるとの期待が高いが⁴⁷、その特性上、得意とする領域が限られる。膨大なデータ分析に基づくシミュレーションや最適解の導出、AI の機械学習などで、具体的には創薬における高機能な分子配列の発見、化学産業

図表 1-37 量子コンピューターが産業にもたらす価値



（出典）Boston Consulting Group “Quantum Computing Is Becoming Business Ready”, May.2023.より当社作成

における新機能材料の開発、金融商品のポートフォリオ最適化、物流における配送網の最適化などといった場面で活用が進む⁴⁸。新製品の創造や研究開発の効率化などによって、量子コンピューターは 2035 年頃には一部の高付加価値産業で 4500 億～8500 億ドルの価値を生み出すと予想される（図表 1-37）⁴⁹。

◆陸海空の超カバレッジを実現する Beyond5G

拡張するデジタル経済を支える通信インフラは、2030 年頃から世界各国で「Beyond5G」として大幅にアップデートする。Beyond5G では現行の 5G に比べ同時接続数 10 倍、遅延 10 分の 1、通信速度は 10 倍といった機能面の高度化に加え、カバー範囲が空や海に大きく広がる。カバー範囲の拡大においては衛星コンステレーションが大きな役割を果たす⁵⁰。加えて地上ネットワークと人工衛星のカバー範囲の間を埋める HAPS⁵¹が 2020 年代後半から実用化され、地球上のあらゆる領域で高速大容量通信が可能になる。

Beyond5G はメタバースをはじめとしたデジタル経済拡張の基盤となるだけでなく、フィジカル空間の利便性向上にも大きな役割を果たす。例えばロボットを遠隔地から正確に操作できるようになり、農林水産業や資源採掘、インフラ管理などにおける効率化や生産性向上に寄与する。医療では高解像度の映像や遅延のない通信によって遠隔地から高度な手術を実施することが可能になる。クラウド上の AI もいつでもどこからでも使えるようになり、人間の意思決定やコミュニケーションの活性化などに役立つだろう。

May.5.2023.

⁵⁰ 米 SpaceX は 2024 年 5 月時点で約 6000 機の衛星を運用し、世界約 100 か国に 300 万件超の顧客を持つ（Starlink 公式 X, “Starlink is connecting more than 3M people with high-speed internet across nearly 100 countries, territories and many other markets.”, May.21, 2024.）

⁵¹ High Altitude Platform Station（高高度基盤ステーション）の略で、高度 20km 程度に小型の飛行体を飛ばして空中に基地局を設ける技術。

⁴⁵ IBM や Google、複数のスタートアップがロードマップで提示している。

⁴⁶ 内閣府ムーンショット型研究開発事業 目標 6「2050 年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」

⁴⁷ Google の研究チームはスーパーコンピューターで解くのに 1 万年かかる問題を 200 秒で解いたと発表した（Frank Arute et al., “Quantum supremacy using a programmable superconducting processor”, Nature, Vol. 574, Oct.23, 2019.）

⁴⁸ 内閣府「量子未来社会ビジョン」（2022 年）

⁴⁹ Boston Consulting Group “Quantum Computing Is Becoming Business Ready”,

◆五感のデジタル化がフィジカルの壁を壊す

デジタル空間でフィジカル空間と同等の体験をしたり遠隔地に体験を伝送したりするには、人間の五感や動作をデジタルデータに変換して再現する必要がある。視覚や聴覚では既にデジタル映像や音声が実現しているが、より現実に近い感覚を得るにはVR（仮想現実）、AR（拡張現実）などのデバイスの性能向上がカギになる。具体的にはサイズ、重量、解像度、奥行き感、輝度などだ。現在主流のVRゴーグルである米Metaの「Meta Quest3」は515gと長時間の装着は難しい重量だが、改善に向けた技術開発が進むだろう。例えばシャープが2023年に米テック見本市「CES」で発表したVRゴーグルは175gだった。

触覚はデジタル化した感覚を機械の動作によって振動や力として伝える「ハプティクス」が進化する。制御チップなど電子部品の進化や新たな材料の導入⁵²によって再現性が高まっていくだろう。味覚については、センシングによってデジタルデータ化した味に基づいて舌を電気刺激したり、液体を調合したりして再現する⁵³。明治大学の宮下芳明研究室が開発した調味装置は1那由他（10の60乗）通りの組み合わせの味を液体によって再現する。

現実空間で同じ場所にいながらメタバース上で自由に歩いたり走ったりできる技術も実現するだろう。例えば米Walt Disney Imagineeringが開発した「Holo Tile」は床に敷き詰めた小さなディスクが動作を検知して回転し、載っている人は自由に動き回る感覚を味わえる。

センサーで計測した脳活動データを解析してコンピューターなどの機械を動かす「ブレイン・マシン・インターフェース」が進化し、外部から脳にデータを送り込む双方向型も実現する可能性がある。実際、米Neuralinkは双

方向型ブレイン・マシン・インターフェースを目指している。デバイスを使うことなくデジタル化した五感を脳に直接送り込むことができ、映画「マトリックス」に描かれたようなメタバース世界が登場するかもしれない。

（3）テクノロジーの影

技術革新は社会を豊かにする「光」の影響と、混乱や損失を引き起こす「影」の影響を同時にもたらす。複製・拡張が容易なデジタルテクノロジーは過去のアナログ技術より変化のスピードが速いうえ、今後進化が見込まれる領域はある時点を超えると指数関数的に発展する「エクスポネンシャル・テクノロジー」⁵⁴であることが多い。2050年にかけては技術革新そのもののスピードが上がると共に、社会に影響が広がるペースも速まっていくだろう。

◆生成AIの悪用が脅威をもたらす

デジタルテクノロジーの進化によってもたらされる「影」の1つは、「データプライバシー」の問題だ。デジタル経済の拡大に伴ってインターネット上などに蓄積されるデジタルデータは拡大を続けており、データの本来の所有者が意図しない用途で利用されるケースが発生しやすくなる。代表例はウェブサイトの訪問履歴や消費、健康状況といったパーソナルデータが消費者の行動監視や制限に使われるもので、既に国内でも問題化した事例がある⁵⁵。中国では治安維持やパンデミック対応などを目的に、監視カメラなどのデータを収集して国民の行動を把握するシステムの導入を進めている。

「データセキュリティ」に関する脅威も増していくだろう。デジタル経済の拡大に伴ってデジタル上の富を狙ったサイバー攻撃は増加を続けており、

⁵² 栗本鉄工所は磁気を通すことで硬さが変わるハプティクス向けの流体を開発した。

⁵³ 明治大学「AIに味を推定させ、産地の違いも再現する調味装置「TTTV3」を明治大学 総合数理学部 宮下芳明研究室が発表」（2023年8月31日）

⁵⁴ 急激な非連続的進化により既存事業にデジタル・ディスラプションをもたらす技術。

具体例としてバイオテクノロジーやAI、ロボティクスなどがあげられる（総務省「情報通信白書 令和元年版」（2019年7月））。

⁵⁵ 就活情報サイト「リクナビ」では2019年に就活生の閲覧履歴などを基にAIに内定辞退率を予測させ、データを企業に販売していたことが明らかになった。

これにデジタル技術の進化が拍車をかける。特に生成 AI で作った画像や音声は人間では真偽を見抜くことが難しくなり、メールでのやり取りや、本物と見分けがつかないほど精巧な「ディープフェイク」を用いた詐欺電話などを通じて情報や金銭を盗み出す攻撃が増える⁵⁶。英 Onfido 社のデジタル個人認証サービスにディープフェイクを用いて詐欺を試みた事例は 2022 年から 2023 年にかけて 3,000%増えた。

生成 AI などを用いて偽造した情報「フェイクニュース」が SNS を通じて拡散され、有名人の評価を傷つけたり、株価操作や選挙戦の工作に使ったりといった事案も増えるだろう<図表 1-3 8>⁵⁷。生成 AI を開発する米 OpenAI によると、既にロシアや中国を拠点とする複数の組織が生成 AI を使って世論操作を試みる動きが確認されている⁵⁸。

図表 1-3 8 著名人のディープフェイクが拡散されている



(出典) CBS News “Creating a “lie detector” for deepfakes”, Jan.29,2023.

⁵⁶ Onfido, “Identity Fraud Report 2024”, Nov.15, 2023.

⁵⁷ 2023 年 5 月には米国防総省付近で爆発が起きたような虚偽の画像が拡散され、ニューヨーク株式市場で株価が急落した。2024 年 1 月には米歌手テイラー・スウィフトさんの虚偽画像が SNS 上で拡散されて問題となった。

⁵⁸ OpenAI “Disrupting deceptive uses of AI by covert influence operations”, May.30, 2024.

⁵⁹ 米連邦通信委員会 (FCC) は AI で生成し音声通話は違法であることを確認し、各州

政府や企業が対策に乗り出しているほか⁵⁹、AI によってディープフェイクを見抜く技術などの開発が進むが、生成 AI が急速に進化する中では、攻撃と対策はたちごっこになると予想される。

◆デジタル空間への没入と健康への影響

デジタル経済の拡大によってデジタル空間に滞在する時間が長くなると、これまで想定されていなかったような人体への悪影響がもたらされる可能性がある。既に SNS を巡って長時間利用とうつ病の関連を示唆する調査は複数公表されており、例えば保健福祉省は 2023 年に出した勧告書で「SNS を 1 日 3 時間以上使う若者はうつ病のリスクが倍増する」との研究結果を示したうえで「SNS にはメンタルヘルスに悪影響を及ぼす重大なリスクがある」と指摘した⁶⁰。ほかにも米ペンシルベニア大などから複数の研究が発表されている。特に米国ではメンタルヘルスへの悪影響を懸念する声が高まっており、フロリダ州やアーカンソー州などでは子どもの SNS 利用を規制する法律が制定されている。

メタバースが普及するとデジタル空間への没入度合いは現在の SNS を上回ることになると考えられ、メンタルへの影響も大きくなる可能性がある。メタバースで過ごす時間が増えると実際に体を動かす時間が減るなどして、フィジカル面の健康問題も発生するかもしれない。国による規制だけでなく、デジタルサービスを提供する企業にも負の影響を抑える技術開発や仕組みづくりが求められるだろう。

の司法長官などに厳罰を提案している (Federal Communications Commission, “FCC Proposes \$6 Million Fine for Deepfake Robocalls Around NH Primary”, May.23, 2024. 米 Microsoft や同 OpenAI など 20 社がディープフェイク対策で協力することに合意した。(Microsoft, “Technology industry to combat deceptive use of AI in 2024 elections”, Feb.16,2024.)。

⁶⁰ The U.S.Surgeon General’s Advisory “Social Media and Youth Mental Health”, May.24, 2023.