



ムーンショット型研究開発事業

新たな目標検討のためのビジョン策定

「人類の分断を克服し調和を実現するための

科学技術に関する調査研究」

調査研究報告書

令和3年7月

目標検討チーム「科学技術による『人類の調和』検討チーム」

チームリーダー：佐久間 洋司（東京大学 大学院総合文化研究科 修士課程
／大阪大学 グローバルイニシアティブ機構 招へい研究員）

サブリーダー：井上 昂治（京都大学 大学院情報学研究科 助教）

チームメンバー：加藤 直人（クラスター株式会社 代表取締役）
小松 詩織（最高裁判所司法研修所第 74 期司法修習生）
スクリプタリウ落合 安奈（東京藝術大学 大学院美術研究科 博士後期課程）
溝口 力丸（株式会社早川書房 SF マガジン編集部）

『運命予報』：柴田勝家（SF 作家）
『環の平和』：津久井五月（SF 作家）
イラスト：カシワイ（漫画家、イラストレーター）

Contents (目次)

I. Concept (MS 目標案のコンセプト)

1. Proposed MS Goal (MS 目標案)1
1.1 Proposed MS Goal title (MS 目標案の名称)1
1.2 Vision for 2050 society (実現したい 2050 年の社会像)1
2. Targets (当該 MS 目標の達成シーン。2050 年 (及び 2030 年) に何が実現しているか)3
2.1 対人関係のレベル 「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」5
2.1.1 自己認知と共感能力5
2.1.1.1 送り手としての自己認知5
2.1.1.2 受け手としての共感能力6
2.1.2 他者からの情報のインプット (情報補完)7
2.1.3 他者への情報のアウトプット (思考転写)8
2.2 集団のレベル 「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」10
2.2.1 集団における自律的な自己10
2.2.1.1 集団に対する自律性10
2.2.1.2 技術に対する自律性11
2.2.2 集団としての合意形成12
2.2.3 集団への融和と多様性13
2.3 「人類の調和」と個人という主体15
2.4 身体性と「共同行為」15
3. Background (当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等)17
3.1 Why now? (当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが、今必要である理由)17
3.1.1 社会における要請17
3.1.2 科学技術的な要請18
3.2 Social significance (目標達成の社会的意義)20
3.3 Action outline (当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取組み概要)22
4. Benefits for industry and society (当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化)24

II. Analysis (統計・俯瞰的分析)

1. Essential scientific/social components26
(当該 MS 目標を達成するための課題 (科学技術的・社会的課題) や必要な取組)	
1.1 対人関係のレベル26
「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」	
1.1.1 自己認知と共感能力26
1.1.2 他者からの情報のインプット (情報補完)28
1.1.3 他者への情報のアウトプット (思考転写)29
1.2 集団のレベル31
「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」	
1.2.1 集団における自律的な自己31
1.2.2 集団としての合意形成32
1.2.3 集団への融和と多様性34
2. Science and technology map36
(当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰)	
3. Japan's position in overseas trends (当該目標に関連する研究開発の動向 (全体)、海外動向及び日本の強み)39

III. Plan for Realization (社会像実現に向けたシナリオ)

1. Area and field of challenging R&D, research subject for realization of the Goals (挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題)46
2. Direction of R&D for realization of Goals48
(2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標 (マイルストーン)、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果)	
2.1 2050 年の達成シーン (ムーンショット目標)49
2.2 2040 年の達成シーン49
2.3 2030 年の達成シーン51
2.4 マイルストーンの達成が社会にもたらす効果53
3. International cooperation (目標達成に向けた国際連携の在り方)54
4. Interdisciplinary cooperation55
(目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携の在り方)	
5. ELSI (Ethical, Legal, Social Issues) (目標達成に向けて取り組む上での倫理・法的・社会的課題及びその解決策)56

IV. Conclusion (結論)	
1. 結論59
2. 本調査研究のプロセス59
2.1 2050 年ビジョン検討会60
2.2 サイエンスフィクション実現構想60
2.3 学識者・有識者 100 人ヒアリング62
2.4 シンポジウム・ワークショップ等66
V. References (参考文献)68

I. Concept (提案する MS 目標案のコンセプト)

1. Proposed MS Goal (MS 目標案)

1.1 Proposed MS Goal title (MS 目標案の名称)

「2050 年までに、誰もが自律的な個人としての幸福を感じながらも、人類という集団としても調和に満ちた社会を実現」

1.2 Vision for 2050 society (実現したい 2050 年の社会像)

「どうして私は歌を歌いたいのだろう？」

その日、〔私〕のつぶやきに呼応して、自己認知のインターフェースが私の記憶や特性から無数の未来を提示してくれた。それらのシミュレーションを絞り込むなかで、私は人生の大きな分岐点を眺め、自分の幸せに考えを巡らせる。想像しうる音楽は全て自動生成されてしまう時代に、それでも誰かのための歌を歌いたい。そのために、私は新しい土地へ旅立つことにした。

同じ日の朝、身体化バーチャルリアリティで私の立場を追体験した〔友達〕は、私に共感する準備ができていた。私は友達に複雑な想いと決意を伝える。言葉だけではなく、頭に浮かんだ未来の情景も、自分の身体に音楽が駆け巡る感覚も伝えることができる。友達は五感をミラーリングしながら、私にとっての歌の意味を聞き入れてくれる。

この土地を離れるなら、皆の役割分担も変えないといけない。もしかしたら私が選択肢を決めた時から、システムは演算を始めていたのかも知れなかった。私と友達が合意形成システムに接続すると、私がこの土地を離れることに関わる、全ての人々の想いが細やかに調整された提案の数々が広がっていた。その最後の提案に、二人も同意する。

まだ踏み入れたことのない新しい土地のことも、私はすでに理解している。私たちは情報多様性プラットフォームによって異文化に触れることに慣れている。何よりも私は、大好きな曲と一緒に作ってくれる人たちが、これからそこに集まることを知っているのだ。

世界には一人一人の幸せのあり方が無限に存在し、それらは常に更新されていく。毎日の小さな意思決定も、今日の私のような重大な決断も、常に新しく行われている。ときに私の幸せと皆の幸せを可視化しながら、自分と誰かの気持ちに向き合って生きている。私と友達は空を飛ぶようにして、〔私たち〕の 2050 年の世界を見渡す。

それは、〔私〕と〔私たち〕の幸福が共存する「人類の調和」である。



図 1 実現したい 2050 年の社会像のイメージ

2. Targets (当該 MS 目標の達成シーン。2050 年 (及び 2030 年) に何が実現しているか)

当該 MS 目標によって、2050 年には「人類の調和」が実現している。人類の調和とは、対人関係において、互いの個性や能力を尊重しながら相互理解し、他者の幸福を毀損したりしない状態である。集団においては、異なる文化を理解しようと務め、共有可能な価値観を共創し、公正な資源の分配ができている状態である。これは全ての個人と、人類という集団の双方にとって幸福が両立している状態であり、誰もが自律的な個人としての幸福を感じながらも、人類という集団としても調和に満ちた社会が実現している。

この人類の調和は、私たちが「個でありながら全であり、全でありながら個である」という特性を獲得することによって実現される。これは、個人として自らの幸福を深く理解し、他者との相互作用の中で更新することができるとともに、価値観を共創する集団としての俯瞰した幸福のあり方も理解することができるという特性である（個でありながら全）。

ただし、集団としての幸福を理解することは、全体的であることは意味しない。したがって、人々の同一性を高め、分業化を推し進めたりして個人の自律性を奪うことは想定しない（全でありながら個）。この自らの幸福を認知・更新する「個」としての視座と、集団としての幸福を理解することができる「全」としての視座を自由に往復できることで、他者の個性や異なる文化を尊重しながら、有限な地球の資源を奪い合うことなく生きていくことができるようになる。

当該 MS 目標では、そのような個の視座と全の視座の往復ができる新しい人類の特性を「調和性」と呼ぶ。この調和性の構造は、意識することのできない内在的な自己を、自己の働きによって形成される場所を捉えることで限定し、初めて意識することができるという西田幾多郎らによる場所の哲学にも通じる考え方である [1]。また、当該 MS 目標における調査研究から調和性という概念を新たに設計（概念工学）することによって、人類の調和という目的を達成するための研究開発と社会実装を加速させることが可能になる [2]。

この調和性を私たちが獲得し、人類の調和を実現するため、対人関係のレベル(2.1)と集団のレベル(2.2)における二つの達成シーンを設定する。

(2.1) 対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」

2050 年までに、私たちは自己を認知・更新しながら、自己と他者との間で思考や感情を深く相互理解することができるようになる。

(2.2) 集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」

2050 年までに、私たちは集団のなかで自律的な自己を保ちながらも、多様性ある融和と価値観の共創をすることができるようになる。

対人関係のレベルでの深い相互理解や、集団のレベルでの価値観の共創が実現するなかで、個人という行為主体が「調和性」を獲得し、集団における共同行為を通じて社会全体をあらゆる側面から変えていく。そのように変化した社会で再び相互作用や自己組織化が可能になるという正のスパイラルが実現する。

複雑系科学の分野においては、内部状態をもった要素が分化することや、部分からなる全体の性質によって部分の状態が変わることなどに対する理論が研究されてきた。その複雑系の理論を人間や社会に適用して、人間の個体が増えることで分化が起こり、階層構造が生まれて社会規範が生まれていくという循環的な歴史を考えることも展望されていた [3]。

また、複雑系科学や社会システムの研究では、最初は無秩序であった非線形なシステム全体において、全体の状況を俯瞰することのできないはずの部分と部分の相互作用によって、結果として全体的な秩序が生じるという「自己組織化」のプロセスが注目されるようになった。この自己組織化になぞらえて、内在化された個人の秩序から社会の秩序を生成し、その生成された秩序の中で個人が共に生きていくという説明も試みられてきた [4]。

しかしながら、個人と社会という複雑系の振る舞いについての説明こそ試みられてきたが、実際に人間や社会に対して働きかける有効な解決策は存在せず、相互作用や自己組織化は個人の良心や成り行きに任せられてきた。その結果として、私たちは現在も様々な社会問題に直面している。これらの社会問題に対する解決策として、互いの個性を尊重し、他者の幸福を毀損したりしない相互作用を支援するインターフェース(2.1)と、価値観の共創や公正な資源の分配を行う自己組織化を支援するシステム(2.2)を実現することによって、根本的に状況を転換することが必要である。これらの過程によって人類は「個でありながら全であり、全でありながら個である」という特性（調和性）を獲得することができ、調和性によって実現する社会の中で再び相互作用や自己組織化を繰り返していくことが可能になる。

このような調和性を獲得した私たちは、その時代ごとにおける人類が望むあらゆる思想や主義を実装することが可能になっている。例えば、対人関係のレベルで実現される技術は、人類の言語コミュニケーションの限界を超越できる可能性があり、集団のレベルで実現される技術は、お金（貨幣経済）に変わる新しい価値観を共創することができる可能性がある。高次な情報まで最大限活用した相互理解や、多様性を担保した自己組織化は、人類の未来に対する主体的な選択と進化を可能にするプラットフォームとして機能する。ただし、当該MS目標はどのような思想や主義が実装されるかを内包せず、その時代を生きる世代ごとに、未来を選択することができるサステナビリティを実現している。詳細は（3.2）目標達成の社会的意義、（4）当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化で述べる。

以下では、それぞれの達成シーンについて、2050年にどのような技術が完成し、人々がどのようなことが実現できているかを、実現可能性の検討と併せて述べる。

2.1 対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」

対人関係のレベルで目指すのは、自己と他者の間での思考や感情の深い相互理解であり、その前提となる、自らの内面の理解や他者へ共感する能力の獲得である。ここでは、個人という主体に働きかける「自己認知と共感能力」という側面、他者との深い相互理解を促進するための「他者からの情報のインプット（情報補完）」と「他者への情報のアウトプット（思考転写）」という側面を内包する。

2.1.1 自己認知と共感能力

対人関係において相互理解ができる私たちになるために、個人という主体に働きかけるインターフェースが実現している。具体的には、情報をアウトプットする送り手として自己認知を深める技術、情報をインプットする受け手として共感能力を高める技術が実現している。

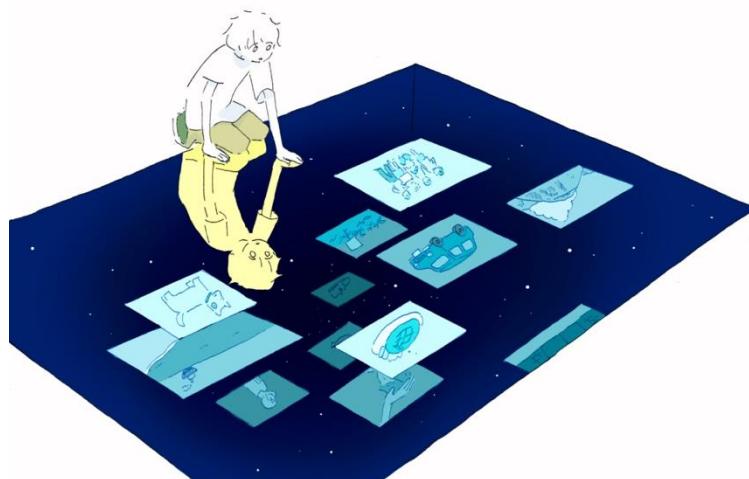


図 2 自己認知と共感能力のイメージ

2.1.1.1 送り手としての自己認知

そもそも情報の送り手は、自分のパーソナリティ、属性や能力などの心理的特性や、過去の経験の認知に基づいて状態が変わり、それによって伝える情報も変化することが知られており、それらを認知することが相互理解の基盤になる [5]。そこで、過去から現在までの自分のデータから、自らのパーソナリティや過去の経験を分析・可視化するインターフェースによって自己認知を助ける情報技術が実現している。

また、過去から現在の状態のみならず、身体的・精神的充足を感じる要因と作用について、生体情報を含む情報技術のセンシングおよび推定によって分析し、自らの主体的な感覚と組み合わせながら自己の幸福のあり方を深く理解することができている。それにより、自らの幸福を叶えるよう努力したり、それが叶ったかどうか判断したりすることができ、他者とのように相互理解したいかも明らかになっている。

さらに、自己認知は上記のような自らの振る舞いを知ることによる自己認知、自らの幸福の理解に加え、他者の視点から自分を推測すること（鏡映的自己の観察）によって自分が社会環境の中でどのような存在か知ることも必要とされる [6]。そこで、私たちが何かを体験している、思考しているときの脳活動を元に、自分の脳の予測モデルを正確に表現する技術が実現される。これらの脳の予測モデルのうち、多くの人に共通する部分が基盤となり、人によって異なる部分が個人の個性として捉えることができるようになっている。このような脳の予測モデルを直接的に判断に活用したり、鏡像的自己として観測したりすることにより、自分自身の振る舞いについて他者の視点から理解することも可能になる。

2.1.1.2 受け手としての共感能力

また、情報の受け手としては、他者ことを理解しようと努めるモチベーションをもち、相手の立場に身を置きながら自己と他者との違いに思いを馳せることができる能力（共感能力）が必要になる。この共感能力を高めるためのシミュレーションやバーチャルリアリティなどの科学技術が実現している。

他者とコミュニケーションする際の共感能力の重要性はウェルビーイングの研究からも指摘されている [7]。オンラインでのコミュニケーションに技術が支援できる内容には様々なものがある。可能な限り対面のコミュニケーションに近いオンラインでの体験を提供するよう努めるのみならず、踏み込んだグラフィックやストーリーを設計して提示することで、より自分ごととして捉えられることなども知られている。

さらに高度には、身体化を伴ったロールプレイによって共感能力を高めることできると言われている [8]。高度な身体化を伴ったバーチャルリアリティにより、短い時間で他者の人生を追体験することが可能になっており、高次にまとめられたストーリーを通じて、他者の幸福のあり方が存在することも理解できるようになっている。これらの技術はパートナリズム的に介入するのではなく、本人の選択による共感から、本人の意思によって思いやり、利他行動に繋がりうることが担保されている。

また、他者との相互作用のシミュレーション（人間行動を推定、モデリング）によって、共感や相互理解のトレーニングを重ねることで、他者に共感する／理解しようと努める基盤的能力を高めることも可能になる。シミュレーションだけではなく、日々のコミュニケーションにおいても、インタラクションの想像力を補う情報技術の強化や支援によるトレーニングが可能になっている。それにより、多様な情報がダイナミックにやり取りされるコミュニケーションにおいて、その状態を正しく理解し、その上で他者と相互理解して受け入れる能力を磨くことができるようになる。

2.1.2 他者からの情報のインプット（情報補完）

他者からの情報を受け取る（インプットする）ことを支援する技術のおかげで、特に一对一での自己と他者との関わりの中で、相互理解を最も促進するような形で知りたいことを知ることができるようになっている。



図 3 他者からの情報のインプットのイメージ

具体的には、相手が伝えようとしている情報の背景や文脈までを含む「概念」を翻訳するインターフェースが実現し、眞の相互理解に繋がっている。その場で伝える言葉の情報だけでは理解できないことであっても、相手が念頭に置いている文脈や文化の違いを翻訳して補助的に提示されることによって、相互理解を支援している。

加えて、アフェクティブコンピューティングの研究開発により、表情からモーションまでを認識・表現することが支援され、他者とインタラクションをする際の自分のセンシング能力が大きく拡充されている。これにより相手の感情や立場を踏まえて情報を受け取り、相互理解を促すコミュニケーションに繋げることが実現可能になる。

また、認知ミラーリングの研究開発により、他者の見えている・感じている世界を擬似的に提示してくれることで、相手にとっての世界の見え方を理解した上でコミュニケーションすることができるようになる [9]。例えば、自閉症スペクトラム症の患者が見る刺激に過敏な世界を主観的に経験することで、必ずしも目を合わせることをマナーとして押し付けずに、正解のないコミュニケーションを理解できることが既に知られている。

情報のアウトプットの技術によって自己表現の可能性が広がり、表現の選択性が増えることは、他者の理解に役に立つ部分もあれば阻害する部分もあると思われる。そこで、誹謗中傷から偏見・差別などのバイアスを含む情報までを検出し、モーフィングする技術が実現している。ただし、このようなフィルターは自分が関心を持たないものを見ないことを推奨するものではなく、あくまで自律的な個人としてこれらの技術を用いることが重要である。

2.1.3 他者への情報のアウトプット（思考転写）

他者へ情報を伝える（アウトプットする）ことを支援する技術により、考えていることや感じていること、相手に伝えることが難しい複雑な情報を読み出し、五感を活用したメディアの生成を通じて伝達することのできる科学技術が実現する。



図 4 他者への情報のアウトプットのイメージ

具体的には、高精度かつ高効率なブレインマシンインターフェース（BMI）の実現により、思考や感情、さらには思想・視座・経験までを含む、言葉で話すだけでは伝えるのが難しい情報も読み出すことができるようになっている。この際、異なる種類の BMI が研究開発されており、第一に、事前に侵襲型の BMI によって得られたデータとの対応を十分に学習させることで、推測を高度に行えるようになった「非侵襲型」の BMI が一般に普及している。また、侵襲型の BMI では特定の場面において特に複雑な情報を読み出すことができている。侵襲型 BMI はマイナスからゼロに近づける医療応用を中心に開発されるが、選択的にプラスにするために使用している場面も増えている。

情報を読み出した後には、本人の言語情報も組み合わせながら、最も相手に理解されやすいように映像や音声などが高次に組み合わせられたメディアを生成することができる科学技術が実現している。映像や音声が随時生成されるのみならず、触覚などを含む五感を活用したマルチモーダルな新しいメディアの生成によって、物理的・時間的な制約を受けない情報伝達が可能になる。これらのメディア生成はマルチモーダルな機械学習や生成モデルの研究開発により可能になっており、メディアの提示については、AR グラスやコンタクト、ホログラムなど様々なディスプレイデバイスによって可能になる。

これらの科学技術により、言葉だけでは伝えきれなかった思考や経験などの情報をより伝えられるようになるが、本人の同意なしに他者へ情報がアウトプット（伝達）されるわけではない。アウトプットの意図しない誤作動を未然に防ぐセキュリティ技術や、プライバシー保護といった倫理的側面も十分に議論され、技術的な解決がなされている。

これらの技術の 2050 年の目標達成に向けた中間時期（2030 年）における達成シーンや実現可能性については、(4) 当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化、III 章の (2) 2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標（マイルストーン）、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果において詳しく述べる。

2030 年の時点では、世界での普及に先立ち、主に日本を含む先進諸国でインターフェースが研究開発・社会実装されている。自分の特性などについての分析結果に基づいて、自らの幸福のあり方を理解することができたり、自分の主観的な認識だけでは気付かない場面でも、必要な助けを求められて鬱や自殺が予防されたりしている。この時点ではオンラインではなく主にリアル空間におけるコミュニケーションにおいてインターフェースが機能し、言葉や文脈の不理解が解消されている。限定的な身体感覚を反映した身体化バーチャルリアリティによって、他者に共感する能力が高められているため、相互理解と思いやりも推進されている。組織単位でインターフェースが導入されており、組織の内外での意思疎通にかかる時間が短縮されて業務効率が改善している。レストランから病院まであらゆるサービス提供者が、サービスを受ける者の希望や病状を理解したり、少ない労力でサービスを受けける者を不快にさせないよう努められたりするようになっていている。介護をする際、介護を受ける際に細やかな意思疎通ができたり、継続的に社会と関わることができたりしている。

これらのインプットとアウトプットの技術を、身体性をもつ行為主体として実世界で継続的に使用し、自己と他者との相互作用のサイクルを体験していくことにより、自己と他者の双方が存在するが故に発生する「間主観性」の感覚も捉えることができるようになる。これらの技術および間主観的な視座から、相手の幸福を理解して自分の幸福も更新することができ、私たちは自己と他者の幸福を相互に理解・共創していくことが可能になる（対人関係における調和性）。これらの技術を継続的かつ循環的に利用することによって、即時的なインターフェースの利便性を超えて、他者とインタラクションをする自己の能力を育てる科学技術としての真価が發揮される。

2.2 集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」

集団のレベルで目指すのは、私たちの価値観を立ち昇らせてことで自己組織化を実現し、そのような中でも多様性を推進し、技術や集団に対して自律的な自己を保つということである。ここでも、個人という主体に対して働きかける「集団における自律的な自己」に加え、集団としての合意を共創する「集団としての合意形成」と「集団への融和と多様性」という側面を内包する。

2.2.1 集団における自律的な自己

集団における多様性のある融和、私たちの価値観や合意の形成を実現する中でも、集団に対する自律性と技術に対する自律性を確保することは必須である。ここでも、個人という主体に働きかける技術として、社会シミュレーションや影響力の可視化、システムに対して選択をするトレーニングなどの技術が実現している。

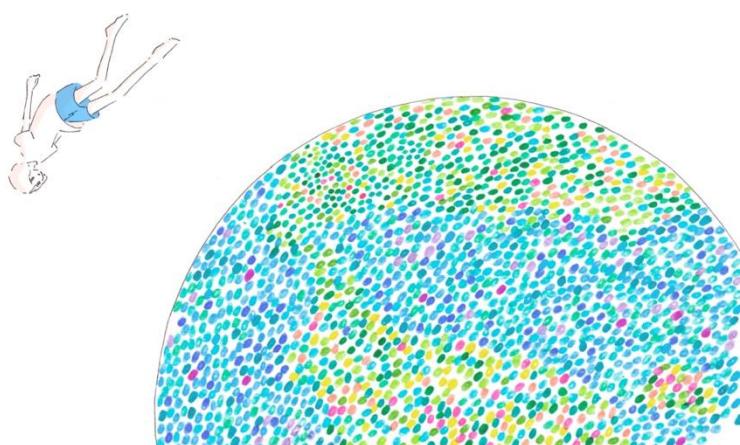


図 5 集団における自律的な自己のイメージ

2.2.1.1 集団に対する自律性

自らのアイデンティティを認識するとともに、「自らが自律的でありながらも集団の部分である」という自己の相対化の認知を獲得することができている。集団としての幸福のあり方を理解したり、社会的な集団における自己や他者の存在について深く認知したりすることが可能になっている。また、内集団バイアスを克服することができ、異なる価値観を持つ人々へバイアスを抱かずに接することができている。

具体的には、自己と集団のアイデンティティを認識する能力を高める情報技術による訓練（トレーニング）が社会実装されており、自らの人生に自信をもって生きていくことが実現可能になる。後述するような、集団と一体化したときに一人では行わないような暴力的な振る舞いをしてしまう没個性化や、集団の中での人々の同一性の強化を防ぐために、自らと他者、集団のアイデンティティを理解することは極めて重要である。

また、自己や他者が持っている社会における影響力や、情報伝播の過程のシミュレーションをすることも可能になっている。それらの社会シミュレーションや可視化によって、自己や他者の集団における相対化をすることが容易になる。これらについては、内部状態をもち、意思決定を行うようなエージェントを複数用意し、エージェント同士のミクロな相互作用によってどのようなマクロな秩序が得られるかを検討するエージェント・ベース・モデルや、ソーシャルメディアにおける情報拡散のシミュレーションの研究が基盤になる [10]。

ただし、内集団バイアスは、アイデンティティの獲得と認識、社会ネットワークの構築と協力などと並んで、集団に協力したいというモチベーションをもつための好意と一体であるとされている [11]。内集団バイアスの克服について、特定の解を押し付けることなく克服するためには、対立する集団間の上位の目標を設定することが必要であるとされる。当該 MS 目標においては、集団の定義を、問題に関係するステイクホルダーを選出することによって新たに定義するものとしているため（2.2.2 集団としての合意形成）、形成される合意は必ずアーフヘーベン的な上位の解になる。

2.2.1.2 技術に対する自律性

これらの技術について、あくまで私たちが自律的であり続けながら、納得感を保持した状態で科学技術を使うことができる情報リテラシーの強化が実現している。前述の技術のうち、集団の中で情報が伝播することおよびその影響を追体験できるシミュレーション、技術が提案する複数の選択肢を主体的に選ぶトレーニングなどにより、社会的能力（social skill）を獲得・強化することが可能になっている。

現代の私たちは情報環境の進化に適応できておらず、本来は便利な道具であるはずの技術に人間が使われ、かえって新たな社会問題を生み出している。例えば、スマートフォンやソーシャルネットワーキングサービス（SNS）への依存や、画面越しの相手への想像力の欠如による誹謗中傷といった問題が深刻化しており、これを解決するための情報リテラシーの強化が研究開発されている [12]。

具体的には、合意形成の結果や融和のシステムによって提案される全ての情報について、それらの提案がどのような過程で行われたのか、他の選択肢や情報の選択が可能などによって自律性が担保されている。例えば、次点で提案されるべき情報が常に組になって表示されるといった対応がなされている。単純なオプトイン・オプトアウトのみならず、各個人の主体的な選択を促し、技術に対する自律性を育てるようなシステムが全ての技術に対して実現している。

2.2.2 集団としての合意形成

集団としての自己組織化を支援するシステムとして、価値観や合意を形成する新しい方針に基づく合意形成支援システムが実現している。様々な場面で、見逃されがちな小さな主張までが反映された、全ての構成員によるアウフヘーベン的合意が形成され続けている。

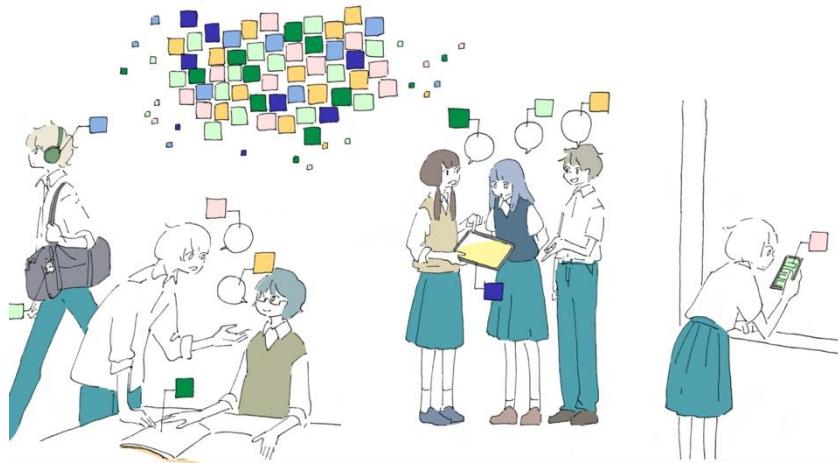


図 6 集団としての合意形成のイメージ

このシステムにおいては、まずステイクホルダーの選定と集団の形成が行われる。ここで集団は、合意を形成しなければいけない全てのステイクホルダーによって定義される。生存環境などを互いに脅かす、言い換えれば、目的関数が競合しうる関係がある人々をステイクホルダーとして選出する技術である。したがって、それらの内部で対立する可能性はあっても、企業や組織などのあらかじめ外部的に定義された既存の集団を採用しないため、外部すなわち集団間での対立がない状態で合意形成と提案が行われる。私たちは同時に異なるレイヤーの複数の集団に属しうる。

次に、見逃されてしまいそうなパワーレスな主張・意見であっても、多様な種類の情報がSNS や都市・建築と一体化したセンシングネットワークを通じて拾い上げられ（計測・データ収集）、適切にコーディネート（最適化）できる合意形成システムが実現している。このシステムは時間的にダイナミックであり、日々緩やかに動作するため、合意形成は定期的かつ明示的に行う必要がなくなる。ジェンダーや人種といった典型的な属性だけではなく、現在の私たちが問題を意識していない（表面化していない、言語化されていない）問題についても緩やかにシステムが感知して考慮される。

この合意形成システムの実現のため、個人や集団における目的関数となるものをモデル化して、擬似的に自分の代替となるエージェントを作ることなどによって合意形成を行なったり、あるいはそれらの意見をもっとも叶えることのできる最適化を直接的に計算したりすることが可能になっている。一人一人の幸福を様々な方法でセンシング・目的関数として構成し、他者のそれとコーディネートすることにより、集団としての最適化が可能になる。

これらの合意形成のプロセスによって、過度な比較・承認欲求に縛られず、互いを傷つけ合わない、健全な競争による資源の分配と進化が担保される。

さらに、悪意のあるユーザからの意見の書き換えや伝播を防ぐため、高いセキュリティ性能が必要になる。ここでは、全てのユーザに紐づいたブロックチェーンシステムが実現している。分散型ネットワークに参加する各ユーザに対する信頼性を確かめながら、改竄やデータのプライバシー保護を担保した意見データの管理と合意形成を可能にする [13]。

これらの過程における計算量は膨大で組合せ爆発となるが、スーパーコンピュータの研究開発やプロセッサの性能向上、量子コンピュータを含む計算機の飛躍的進展によって計算性能が向上していることなどから解決している。また、その時代ごとにおける計算機性能を鑑みて、計算可能な規模でのステイクホルダーと集団の形成サイズの可変化、最適化計算の近似により現実的なレベルでの計算が可能になっている。

2.2.3 集団への融和と多様性

幅広く多様性を認め、合意形成ができる私たちになるため、自分が属する集団のみならず、遠くの知らない集団や直接的に合意することができなかった集団内の構成員を含む、全ての集団（全人類）と多様性を保ちながら融和できるようになっている。

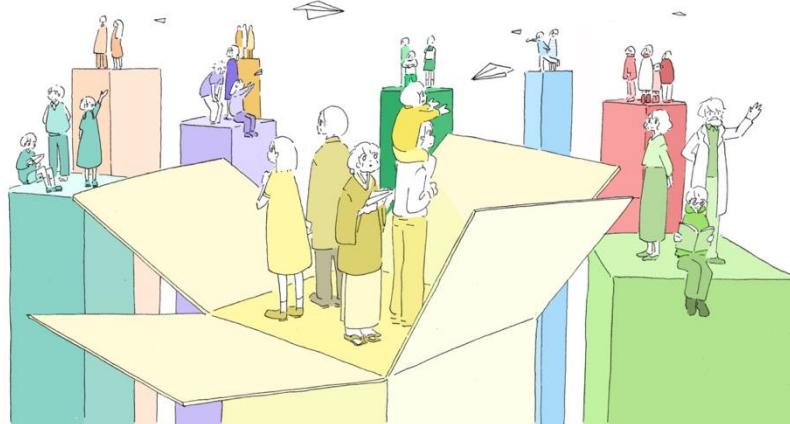


図 7 集団への融和と多様性のイメージ

まず、計算社会科学分野の技術の発展により、各ユーザが好む偏った情報を提供してしまうフィルターバブル、その偏った情報源の中で価値観が強化されてしまうエコーチェンバーなどの問題が克服されている。推薦システムは各々の価値観を強化するよう働くことがあり、共通の価値観を失っていく方向に作用してしまう。推薦システムによって形成されるフィルターバブルは合意形成しにくい私たちを作ってしまうため、それを未然に防ぎ、散逸させるようなプラットフォームの働きが社会実装されている。

つまり、情報の分布や社会ネットワーク構造の情報を活用して、多様性が担保される情報の伝播が実現しており、相互理解を最も促進するようなマッチングや情報流通制御が可能になっている。例えば、テキストや画像、映像まで様々なモダリティのデータを分析し、コミュニティの抽出と情報伝播の影響を調べることができるようになっている。また、ネットワークのベクトルによる分散表現も可能であり、この分散を元に多様性を叶えるように計算して情報を届けることも可能になる [14]。

このようなマッチングや情報流通の制御を担うシステムにおいては、その信頼性をどのように担保するかが問題になる。具体的な対策としては、悪意のある嘘や誤情報の伝播を防ぐことが技術的に可能になっている。この信用性については、情報の発信者に紐づいたブロックチェーンを活用し、複数のユーザ間の相互信頼性を実現する。

この融和を促進する技術についても、システムがパターナリズム (paternalism) 的に介入するのではなく、「集団における自律的な自己」を磨いた私たちが自律的に技術を使用することが重要である。また、マッチングや情報流通の制御に続く、実際に相互理解を深めるための情報表現の技術については、他者からの情報のインプットにおける、情報の背景や文脈を含む「概念」を翻訳する技術や、他者への情報のアウトプットなどで研究開発されるマルチモーダルな情報伝達技術を組み合わせることで実現される。

これらの技術の 2050 年の目標達成に向けた中間時期（2030 年）における達成シーンや実現可能性の詳細は後述 ((I.4)、(III.2)) するが、ここでも日本を含む先進諸国や組織単位での研究開発と社会実装が進んでいる。私たちは可視化された他者や情報の影響力などを認知して、技術に対して自律的な選択ができるようになっている。また、特定の地方自治体やコミュニティの運営、特定の企業・組織内において合意形成システムが役立てられている。具体的には、多くのステイクホルダーを巻き込んでアイデアや資本、労働力を繋いだり、パワーレスな意見も反映できるフェアな会議体で意思決定を行なったりできている。これから新たに誕生する情報流通プラットフォームでは、フィルターバブルやエコーチェンバーの問題が解消しているほか、企業や教育機関等においてはこれらのプラットフォームをダイバーシティへの配慮や異なる文化への理解を促進するツールとして導入している。

このように、合意形成と多様性ある融和を実現するシステムが相補的に作用し、私たちの多様な価値観を立ち昇らせるような自己組織化が実現されている（集団における調和性）。集団という概念は形成しなければいけない合意に対して生じるので、むしろ「場所」に近い概念あると言える。この場所の中での合意は古典的な集団の定義とは異なり、全てのステイクホルダーによって行われるため、必ずアウェーベンとしての合意が提案される。そして、それに対して折り合いがつかなかった構成員同士でも、相互理解が可能になるようなマッチングや情報流通の制御が可能になっている。そもそも合意しやすい私たちになるために融和のシステムが作用しているが、それは同一性や統合を図るのではなく、多様性を受け入れ

れることのできる主体になるために必要な情報が届くという仕組みである。このような時代でも没個性化や全体的な思考を強要することは許されず、技術に自律性を手放していくわけでもない。そこで集団や技術に対しての自律的な自己を支援する技術が重要になる。

2.3 「人類の調和」と個人という主体

さながら人類という全体が単一の生命かのように調和した社会のあり方については、これまで様々な小説や映画などの作品によって検討されてきた。その中では、『ギヴァー 記憶を注ぐ者』(ロイス・ローリー) や『すばらしい新世界』(オルダス・ハクスリー) などに代表される、人々の遺伝子や行動の同一性を強化することで個人性を喪失し、階級・管理社会を構築することによる調和が知られている [15] [16]。これに対して、『幼年期の終り』(アーサー・C・クラーク) に代表されるような、人々の意識が消失し、欲求が集団としての振る舞いに適応され、社会性昆虫のように最適な分業化によって超個体的に振る舞うような調和(オーバーマインド)のようなアイデアも提示されており [17]、日本のサイエンスフィクション作品においても『ハーモニー』(伊藤計画) やアニメーション作品の『エヴァンゲリオン』などにそれらのアイデアが含まれる [18] [19]。

しかしながら、当該 MS 目標における集団のレベルでの調和は、パーソナリティやアイデンティティを失うことを意図するものではない。むしろ、同一性の強化やオーバーマインドの思想を防ぎ、没個性化(deindividuation)を未然に防ぐ科学技術の研究開発を志している。深い自己認知を可能にした上で集団に対する自律的な自己を実現することにより、相互理解や融和を促進しながらも、私たちが個性的で多様性に満ちた集団であり続けることが可能になる。これは啓蒙主義においても理想とされていたことであり、個人のアイデンティティの独自性や価値を尊重するとともに、人間の普遍的な尊厳を相互に理解することが必要である。そこで、技術を利用する「個人という主体」の内面や能力を育てることが重要な側面として含まれている。当該 MS 目標のクリエイティブな点は、個人が自律的に判断して能動的に科学技術を使用するための要素を、研究開発目標そのものに含んだ構成になっていることである。

2.4 身体性と「共同行為」

ここまで述べた六つの技術の方向性では身体性も重要な意味を持っているが、六つの技術それ自体はどちらかと言えば認知や情報に近い部分で機能する。しかしながら、全ての技術は現実世界において身体をもった私たちが使っていくことが重要である。

これらの合意形成や多様性を実現する融和の技術は、「共同行為」を行う個人という主体として、実世界で継続的に使用していくことになる。人類という複雑系でのインターフェースとも言える対人関係のレベルにおける相互作用と相まって、身体性を持つ行為主体としての私たちは集団における共同行為によって実社会をよりよいものに創り変えていき、その社会においてまた身体性を反映させながら再び六つの技術を活用していく。

つまり、主に一対一での相互理解を最大化する対人関係に働きかける科学技術(2.1.2、2.1.3)と、集団における合意や融和を可能にする集団に働きかける科学技術(2.2.2、2.2.3)、いずれのターゲットにも含まれる「個人という主体」を成長させる科学技術(2.1.1、2.2.1)が重層的に相互作用しながら私たちに働きかける。そして、この個人という主体は身体性を持った行為主体として成長して、再び他者との相互作用を経験する。また、個人という主体は集団において共同行為を行うなかで集団としての視座を獲得し、新たに定義される集団における合意形成や融和に繋がる(図8)。これらの行為は認知的な情報のみを対象とするわけではなく、まさに実際の経済・社会を変えうる働きかけである。自己と他者との重なりを理解した上で行う行為と、自己としての集団・集団としての自己といった認知をもって行う「共同行為」によって、家族や企業、都市、国家、世界といった垣根を超えた人類の調和へのあらゆる変化を実現することができる。

この正のスパイラルは、個の視座と全の視座を往復する、利他を超えた相互主観的視座、すなわち「調和性」という概念を獲得する人類の進化である。



図8 二つの達成シーンと六つの研究開発の側面の構造

3. Background（当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等）

3.1 Why now?（当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが今必要である理由）

科学技術による「人類の調和」を 2050 年に向けた MS 目標として国内外の幅広い研究者が取り組む必要性がある理由は、社会における要請と科学技術的な要請の二つの側面から説明される。

3.1.1 社会における要請

新型コロナウイルス感染症の影響は、身近な人間関係からインターネット上の誹謗中傷、さらには国際社会・世界経済の新たな対立まで、様々なレベル・領域での「分断」を顕在化させた。このような分断はこれまで存在していたが、現代社会が経験したことのない感染症の経済・社会的影響によって、政治的分極化と経済的不平等が一層拡大し、Black Lives Matter 運動や女性差別の問題に挙げられるようにその深刻さは加速度的に増加している。

この人類の分断という根源的な課題を解決するために、啓蒙主義も再び注目されてきた。しかしながら、互いの個性を認め合う方法については、各々の「寛容さ」に期待する部分が大きかった。個人に寛容さを期待することで他者や異なる集団との相互理解を実現するのではなく、分断の溝が大きい場合には難しいことが明らかになりつつある。このような危機的な時代において、「分断を克服できる私たち」に変わるにはどうすればいいのかという問題は、人類共通の問題意識であるといえる。

また、上記のような問題を顕在化させた理由には情報技術の発展も含まれている。扇動的なフェイクニュースや陰謀論、荒らしや誹謗中傷などの有害な情報は世界中に行き届いた現代の情報ネットワークでは特に拡散しやすく、私たちの心を蝕んできた [20]。また、私たちが同時に安定的な社会関係を持つことができる人数の限界は 150 人程度(ダンバー数)ともされているが、人類はインターネットにより世界中の数十億人にオープンに接続された環境に適応できていないのだと考えさせられる。

前述の通り、資本主義社会でインターネットの利活用が進められてきたからこそ、可処分時間の資源を奪い合うために推薦システムが発展し、価値観の先鋭化が起こってしまうフィルターバブルなどの問題も発生している。このようなインターネットや SNS における問題が、内集団バイアスの強化につながり、私たちの分断を大きくする原因の一つとなってしまっている。しかしながら、本来の科学技術は人類を豊かにするために使うべきものであり、当該 MS 目標の提案する明確なビジョンに基づいた科学技術によって、より高度化していく情報社会における人類を支えていくことが必要であると考える。

もちろん、「調和性」の獲得が解決するのは精神的な側面での分断だけではない。例えば、人間の本能としての人口増加がもたらす資源の乱用からなる地球環境の悪化、それを促進する資本主義による経済格差の拡大などは無視することのできない身体的な課題である。これに対しては社会学や経済学を含む多様な分野から様々な解決策が提案されている。一

例を挙げれば、資本主義は気候変動を止めることはできないが、経済的豊かさと幸福はある域からは相関しないため、世界的なリソースのバランスを公正に取ることで脱成長的コミュニケーションを実現することでのみ解決しうるという指摘もある [21]。

前提として、当該 MS 目標は上記のような思想そのものは含まないが、もしそれぞれの時代における私たちがそれらの社会を望み、全としての集団がそれを望むのであれば、新たな主義を緩やかに実現することを可能にする。その意味で、調和性の獲得は私たちのあらゆる主義を更新しうる特性である。

科学技術の発展により、私たちは働くなくても一定レベルの生活ができるという時代が来るという楽観的な仮説もある。そのような時代でもなお幸福になれない理由である、比較欲求・承認欲求を解決する必要があるため、自己認知や集団における自律的な自己を実現する当該 MS 目標は重要である。さらに言えば、災害も克服され、エネルギーもあり、必ずしも全ての人間同士が協力しなくとも生きていける時代が訪れる可能性が未来に訪れるとしても、その時代に至るための中間過程である 2050 年には、資源を分配しながら叡智を最大限に活用するため、調和性を獲得した人類の発展が不可欠である。

3.1.2 科学技術的な要請

当該 MS 目標では、人のように考えることのできる「人工知能」の研究開発は想定せず、あくまで私たちが成長するための道具としての知能を想定する。これまで、人工知能や情報通信技術の研究開発、および産業界での製品・サービス開発においては、機械をより賢く高性能にすることに重きが置かれていた。一例を挙げれば、Alpha-Go（囲碁 AI）は人間の能力を超えることをわかりやすく示すべく開発されたものである。文章を生成する大規模な自然言語処理モデル OpenAI GPT-3 なども人間と同等の文章能力を実現することが主張されている。このような人工知能は、研究者から広く一般市民まで、人間を超える知能を開発するというイメージに帰着されがちである。

しかしながら当該 MS 目標は、テクノロジーや性能の改善よりも「どのように人が変わることができるのか」という根源的な価値を見据えた研究開発を提示している。現代の状況から想定される未来では、人間よりも賢くかつ効率的になった人工知能・機械を人間がただ受動的に使うことになるが、本来は、人間をエンハンスするような機械を人間自ら定義して、研究開発・社会実装していくことが重要である。例えば将棋 AI は良い例であり、人間の能力を超えるのみならず、次世代の棋士のトレーニングの相手となり、将棋界全体の能力を向上させることに役立っている。当該 MS 目標においても、現在広く研究がなされている人間とエージェントのインタラクション (HAI)、人間とコンピュータのインタラクション (HCI) だけではなく、人間と人間とのインタラクションを促進するシステムを開発するべきであるという新たな学術的視座を切り開いている。1999 年のブダペスト宣言でも、科学の役割は知識の創出だけでなく、平和や開発、社会のための役割が必要になるとと言われている。

また、人工知能、特に機械学習などの研究開発においては、ムーンショット的目標を掲げ

ずっとデータの取集とその実応用は進んでいくものと思われる。しかしながら、民間企業主導の開発、競争的研究資金を基盤とした研究は短期的な問題解決のために研究開発が進められていることも多く、それらの技術が最終的に人類にとって良い未来へ導いているかわからないままに取り組んでいることも事実である。例えば、推薦システムの発展によって、ユーザの求めるコンテンツが提案されることにより、自律的に判断する能力を失っている懸念がある。情報の選択や意思決定といった能力を外部化されていくことで、特に若者の自律性が失われつつあることが指摘されている。各々の提供者からすればより良い社会にするための善意であっても、特定の決定を後押しする「ナッジ」が積み重なっていくことは私たちの自律性を手放す方向に作用する [12]。

逆に、目標がわからないままであるからこそ、無闇な不安を煽って規制が強化され、研究開発が止まってしまうことも考えられる。例えばヨーロッパにおいては、欧州連合が人工知能の利用を制限する包括的な規制案を発表したが、当該分野の研究者や企業が想定する人工知能の研究開発の実情とは乖離していると言われている。当該 MS 目標では、このような状況に対して、真の人類のウェルビーイングに貢献するビジョンを提示しながらも、様々な分野の学識者・有識者のヒアリングによる学術的な検証も行った。このような MS 目標を研究者や広く市民が共通して認識することによって、初めて健全な研究開発が実現するものと考えられる。これは、欧州連合における責任ある研究・イノベーションの原則「Responsible Research & Innovation (RRI)」にも通じる考え方である。

当該 MS 目標には、後述する多数の科学技術的課題が内包されており、インターフェースから合意形成・融和システム、それらの基盤になる「個人という主体」の心理・社会性の原理に関する研究まで、分野横断的に行われるべきものである。これらは、独立した研究者一人一人の取り組みだけでは困難であることはもちろん、たとえ大規模であっても資本主義社会に位置する民間企業には困難な取り組みであり、国を挙げて遂行することによって初めて実現する。そして、上記のような多様な分野間の研究成果と、それらの社会実装が相互作用することが必要であり、短期的な研究開発プロジェクトだけでは解決し得ないものである。

以上のような社会における要請、科学技術的な要請により、当該 MS 目標は策定された。現代は人類がこれらの科学技術の方向性を明示的に選ぶことができる重要な分岐路にあり、この時代にこそ人類に調和をもたらすような研究開発の道筋を今こそ示していく必要がある。これらの化学技術の研究開発と社会実装によって、私たちは調和性を獲得し、調和性を持った私たちの共同行為によって社会が変わる。変化した社会の中でまた私たちは技術を用いていき、それらの正のスパイラルの中で社会と科学技術が組み合わさっていくことで、「分断」から「調和」への転換が実現する。

3.2 Social significance (目標達成の社会的意義)

当該 MS 目標は何か特定の思想や主義に立脚するものではないが、もしその時代ごとにおける私たちが望むのであれば、あらゆる思想や主義の実装を可能にするプラットフォームとして機能する。例えば、私たちの獲得した言語の限界を超越することや、お金以外の価値を共有して貨幣経済を脱却することができる可能性を持っている。

第一の例として、私たちホモ・サピエンスは、コミュニケーションを通じた社会の形成と共に、様々な文化を生み出して継承するために、言語という力を活用してきた。しかしながら、言語についても完全な形の言語（例えば、日本語）を覚えている人間はおらず、言語はコンテクストやコミュニケーションをする相手によって変わるものである。人類のコミュニケーションと継承については、この意味の世界をつくっている言語という発明によって深められてきたものであるが、インプットとアウトプットを支援するインターフェースはこの情報の伝達と保存をさらに高次にすることで、新しい次元での継承を可能にしうる。

もう一つの例として、人類の発明であるお金という価値観と貨幣経済についてあげることができる。貨幣経済を前提とする経済システムと自由市場メカニズムでは、人々の需要と供給の予測がコーディングされることにより、社会全体で最適計算が繰り返されている（神の見えざる手）と見なすこともできる。これはインターネットがない時代における価値観と合意の形成だったと考えることもできるが、合意形成と多様性ある融和のシステムは、お金以外のあらゆる価値観での共創を可能にしうる。

つまり、当該 MS 目標自体はこれらの主義や主張は含まないものの、その時代における使い手としての私たちが望むのであれば、あらゆる社会的変革を作り出すことができる。言語から情報補完・思考転写への拡張を相互理解のインターフェースによって実現し、貨幣経済から新たな価値観への移行を自己組織化のシステムによって実現することも可能になる。

また、当該 MS 目標を達成することによって、私たちは自分自身の幸福を他者のそれと相互理解しながら見つけていくことができる。この発見と相互作用という、自らがどのような身体的・精神的充足、他者や集団との社会的な関係を求めるのかを理解することは、幸福を手に入れる第一歩としての社会的意義がある。また、幸福とは一人の中で完結するものではなく、多様な他者との架け橋となりうる共創的なものである [22]。これを実現するのは文脈や概念までを補って、他者に共感する能力を底上げし、相互理解を促進するインターフェースである。これらによって私たちは社会的関係をもつ人類に進化することができるという大きな意義がある。

近年、かつてなく多様性（ダイバーシティ）や不平等の解消などの指摘がされるようになってきているが、その指摘に対する解決方法としては、私たち一人一人の寛容さの意識に呼びかける以上の抜本的な解決策がない状況であった。当該 MS 目標が提案する科学技術によって、個人や目の前の相手との対人関係のみならず、社会的な集団における自己や他者の存在について深く理解し、隣人から遠く離れた人々までの全ての集団の人々との合意形成

や融和が実現する。この社会的意義は、自らの幸福を追求する中でほかの誰かの幸福を毀損がすることなく、合意を共創し続けることが可能になるということである。

前述の通り、人類はインターネットやSNSなどの新しい情報環境に適応できておらず、広義の情報リテラシー（認知・理解・対応能力）が不足しているといえる。これに対し、「個人という主体」の内面や能力を育てる科学技術は、私たちの主体的な進化を促す重要な役割を担っている。これまで、個人という主体に働きかける科学技術については、扱うことのできるデータが限られていることや、倫理的な課題から多くは取り組まれてこなかった。当該MS目標ではこの倫理的観点からの研究開発を明示的に目標の側面に含むことで、科学技術の発展を法制度や教育によって追いかけて対応するのではない、新しい研究開発のあり方を示している。科学技術の発展に対して私たちが持っている手段で対応するのではなく、個人という主体の内面に働きかけることで、人類が初めて自らの能力を計画的・主体的に進化させることができるという歴史的な意義がある。

3.3 Action outline（当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取組み概要）

科学技術やその応用がどれだけ高度に発展しても、技術が能動的に社会実装されることを目指すのであれば、それを使う私たち利用者や社会が受け入れる準備がないと実際に社会を変えることはできない。当該 MS 目標を達成するためには、学術的な研究開発を推進するのみならず、公的セクター・ソーシャルセクターを含む「産・学・官・民」の連携による社会実装が不可欠である [23]。

第一に、当該 MS 目標の達成のために最も必要なことは、科学技術による「人類の調和」という抽象度の高い概念を多様な参加者とともに創り出すことである。それを様々なステイクホルダーとともに議論し、磨き上げ、広く共感・理解される概念として取りまとめ、推し広めていくことが必要である。当該 MS 目標の提案を行う検討チームや、研究開発・支援を実施する全ての関係者が、自らソーシャルセクターに参入して議論の場を主導する。具体的には、非営利なコンソーシアムを利用者・労働者・非営利団体を含む産学官民のステイクホルダーを招いて構成することが期待される。そこでは、概念を創出して提唱するのみならず、個人情報やプライバシー、データトラスト、倫理的課題を含むリスクの発生確率や予備・予防などをよく検討する。今回の調査研究において、インパクトのあるイニシアティブ・レポートを産学官民に広く理解される形で提示することはその第一歩に当たる。一貫性のある研究開発を支援するとともに、重要な社会課題を解決するバックキャスティングの理念を忘れずに、このようなコンソーシアムと常に連携しながら研究開発や社会実装の計画の修正が行われていくことが期待される。

当該 MS 目標には、既存の様々な業界（教育、医療、メディア、情報通信、ソーシャルネットワーキングサービスなど）のバックアップと共に創が必要になる。そのような前提に立ち、各業界を破壊するような社会実装ではなく、それぞれのステイクホルダーが当該 MS 目標の概念を共有し、科学技術を各々の事業において主体的に利活用してもらうことを目指すべきである。また、当該 MS 目標の達成は、特に集団における合意や融和を可能にする集団に働きかける科学技術(2.2.2、2.2.3)については、Amazon、Apple、Google、Facebook、Microsoft などのビッグテックカンパニーや、国内外の大手ベンダーであっても、単一の企業では実現し得ない。業界の破壊ではなく共創を目指すという観点に加えて、単一の企業・スタートアップだけでは社会を変えることができないことでも、大手ベンダーを含む業界団体や公的セクターとの連携することで初めて可能になる。

当該 MS 目標を実現するためには、前述の世界的なビッグテックカンパニーや、国内では、Preferred Networks (PFN、プリファードネットワークス) などの高度な技術シーズを有したスタートアップと連携することが必要である。掲げているビジョンは異なれども、本質的にはそれらの企業が目指すものは当該 MS 目標と重なる部分があると考える。具体的には、分散型のエッジ AI などがネットワーク化されたプラットフォームの構築、社会システムの実現などにおいて共通の技術などを示している。コンソーシアムをどのような企業

にも与しない中立的なものにするよう努め、それらのステークホルダーとも議論を重ねることが重要である。

次に、当該 MS 目標を達成するための公的セクターの重要性について述べる。科学技術を生み出した上で、社会の需要が高まるまで放置するという従来の方法では、社会実装されるまで数十年の時間がかかるどころか、普及する過程で既存の制度と競合して、社会実装が叶わないこともある。そこで、研究開発を実施する段階から、既存の制度との整合性を検討し、場合によっては規制改革を研究開発者の立場から求めることが必要である。そのために国会議員への提案・議論や、研究会・審議会などを通じた政治との関わりが重要になる。特に法律や業法は、テックカンパニーの最先端の技術が社会実装されることを妨げてきたことがあるが、これは日本の社会制度に問題があるのではなく、研究者やテック産業がオープンな議論と検討を怠ってきたことが原因の一つにあることを念頭に置く必要がある。

また、公的セクターには、非営利組織・社会起業への国からの金銭的・人的支援が期待される。前述の当該 MS 目標の関係者が主導する非営利なコンソーシアムはもちろん、社会実装の可能性を検証しながら研究開発を行うためのブルーフォブコンセプトやリビングラボなどの取り組みについても、それ単体では利益を生み出すことが難しい。これらの取り組みを絶やすことなく、目標達成まで支援を続けることが、巡って日本の経済・社会を支えることに繋がると考える。国内ではトヨタ自動車の実験都市「Woven City（ウーブン・シティ）」などが知られているが、当該 MS 目標もこのような取り組みと並立して切磋琢磨することを期待する。

最後に、国際連合や世界経済フォーラムなどの組織・機関とも連携しながら、世界に対しても「人類の調和」に寄与する科学技術のあり方や社会実装について、オープンに検討していくことが必要である。持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals; SDGs）が国際的に策定されたように、人類の分断という課題に対して、SDGs の次となるビジョンを、日本が先導的に提案することも必要である。こういった国際的な取り組みのあり方として、Time Well Spent（有意義な時間）構想なども知られている。当該 MS 目標の取り組みにおいては、2025 年に開催される日本国際博覧会（大阪・関西万博）の場を生かし、科学技術の社会実装を世界に向けて発信することも目指す。

以上のように、学術界に限らず、ソーシャルセクターから公的セクターまでが幅広く当該 MS 目標の概念を共有し、社会全体で取り組むことによって、当該 MS 目標が達成される。

4. Benefits for industry and society

(当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化)

当該目標の達成によりもたらされる社会・産業構造の変化は多岐に渡り、特に 2050 年について、前述の通り人類にとって抜本的な社会構造の変化も可能にする。行為主体たる私たちの意思が集団における合意の共創を通じて立ち上っていき、それに基づいて共同行為をすることによって、私たちはあらゆる社会的・経済的構造を変化させることができる。そして、集団の中でのインターミュニケーション（対人関係）でも相互理解が実現し、利他的な個人として未来を創る準備ができている。そのような時代において、経済的な不平等、教育・就労機会の提供、知識の偏在などが解消されていることは間違いない。ただし、それを支える理念や経緯がどのようなものであるべきか、当該 MS 目標自体は内包しないことが重要である。思いやりに満ちた新しい人類による共同行為として、その選択された未来ごとに決められるものである。2050 年までに実現可能な社会・産業構造の抜本的な変化の例として、前述のような言語を超越したインターフェースによるコミュニケーションと継承、新たなシステムによる貨幣経済から新たな価値観への変革などが挙げられる。

また、2030 年時点の研究開発と社会実装では、2050 年時点ほどの変革に至らずとも、少なくとも社会・産業構造に以下のような変化をもたらすと考えられる。

まず、自己認知に関わる技術(2.1.1)の発展により、自分の得意なことや好きなこと、自らの幸福のあり方に気がつく支援ができている。自分の主観的な認識だけでは気が付かない場面であっても、苦しいときに必要な助けを求めることができ、鬱や自殺の予防にもつながる。自己認知のみならず、他者に共感する能力も高められているので、家族や所属する組織の中などで相互理解と思いやりが実現している。

特にビジネスにおいては、あらゆる対人関係の場面において相互理解を支援するインターフェース(2.1.2、2.1.3)が役立っている。企業においては、あらゆる会議や営業、クリエイティブな意思疎通にかかる時間が削減され、業務効率の改善にも繋がる。企業等の内外における求める成果の認識合わせや相手の希望を理解し提案する営業、さらには工場等での作業員の意思疎通から現場改善まで、業務改善ソリューションとして提供されている。

サービスを受ける者（消費者）としての私たちと企業、サービス提供者との間でも様々な場面で社会実装されている。インプットを支援する技術により、レストランからショップ店員、保険販売員など、サービス提供者がサービスを受ける者の欲しいものを想像することを容易にし、不快な思いをさせないということも可能になっている。アウトプットを支援する技術により、細かい希望や相談を伝えることも可能になっている。例えば、医療に関して、医師や看護師に症状や細かな感覚について伝えることができる。高齢者が介護を受ける際に、認知的な問題を超えて希望を細やかに伝えたり、継続して社会と関わったりすることができるようになる。

集団や技術に対する自律的な私たちを保つ技術(2.2.1)により、メディアやフィルターバブルの影響に惑わされずに、一人一人が情報や選択をすることができるようになっている。自己と他者との相対化ができ、承認・比較欲求に左右されずに生きることができたり、技術の影響を可視化して捉えることで、様々な合意形成の支援、情報流通と提案の場面でオプトイン・オプトアウトを決定したりことが容易になっている。

合意形成を支援する技術(2.2.2)は、まずは地方自治体やコミュニティの運営において、あるいは、様々な企業などの組織単位で役立てられている。地縁・血縁の繋がりが失われ、空間としてのみ人々が共に暮らしている都市部や郊外については、困難になりつつある合意形成をスムーズに行い、提示してくれるようになっている。人口が減っている地方部についても、同じ場所に物理的に住まなくても合意形成ができ、国内外のアイデアと資本、労働力を繋いで、過疎地でのコラボレーションを可能にする。もちろん、企業等の内部においても、パワーレスな意見も反映できるフェアな会議を開催することが可能になっている。企業内外の過剰な競争まで、本来であれば失わずに済む富の喪失を防ぐことができている可能性もある。

多様性ある融和を支援する技術(2.2.3)では、特定の組織のレベルでは、ダイバーシティへの配慮や異なる文化、新たなビジネス領域の検討が容易になるツールとして活用されている。社会一般においても、多様なプラットフォーマーと社会実装する新しい情報流通の原則が実装されており、ダイバーシティを心から理解する寛容さをもち、多様な情報を受け取る準備もできている。これらは合意形成と相補的な関係であるとともに、人々が没個性化して間違った方向にいくことを防ぐこともでき、私たちの調和性の獲得につながる。

どのような時代でもその時代を生きる私たちが存在し、それを可能な限り望ましい社会にするために、絶滅を避けながら「調和性」を持った人類として進んでいかなければいけないという事実がある。インターフェースの支援によりお互い助け合うことのできる私たちは、システムの支援により有機的に集団が再定義される中で、個人でありながらも集団としての超越的な視座を得る。そのような視座の往復ができる私たちが、あらゆる未来の可能性の中で調和に満ちた社会創造をしていく。

II. Analysis（統計・俯瞰的分析）

1. Essential scientific/social components

（当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組み）

当該 MS 目標を達成するための科学技術的・社会的課題について、対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」と、集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」のそれぞれの整理に基づいて述べる。これらの整理は、2050 年ビジョン検討会や学識者・有識者 100 人ヒアリングを通じて行った。

1.1 対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」

当該 MS 目標における対人関係のレベルについてのターゲットは、「2050 年までに、私たちは自己を認知・更新しながら、自己と他者との間で思考や感情を深く相互理解することができるようになる。」というものであった。ここでは、このターゲットが包含する社会的課題と科学技術的課題について俯瞰的に述べる。

1.1.1 自己認知と共感能力

【社会的課題】

■自己認知や共感能力を深める技術の使用場面や教育への導入についての検討

→自己認知を深めるためのセンシングや共感能力を高めるためのシミュレーションといった技術を社会実装し、教育へ導入していくことは非やルールの検討がなされていない。

（必要な取り組み）産学官民の幅広いステークホルダーが規則について検討にあたるべきであり、利他的になることについての人文社会学的な調査を実施したり、実証実験の枠組みを検討したりする必要がある。

■個人情報の収集と分析結果の提示による人権侵害の恐れについての検討

→個人がなにに幸福を感じるのかは内心の自由により保障されているが、センシングと分析がなされることでその自由を萎縮させてしまう可能性の検討がなされていない。

（必要な取り組み）脳神経科学的・生体的情報のセンシング、およびそれに基づく幸福の分析結果を提示することについては、従来の個人情報を扱う以上の慎重な配慮が求められる。また、インフォームドコンセントを徹底する必要がある。

【科学技術的課題】

（送り手としての自己認知）

■自分の心理的属性や過去の経験をデータから分析・可視化する技術の実現

→誰かとコミュニケーションをする前提となる送り手としての自己認知に役立てるため、自分の心理的特性や過去の経験を認知することを支援する技術が実現していない。

（必要な取り組み）過去から現在までの自分のパーソナリティや属性、能力などに関するデ

ータを安全かつ効率的に収集・管理しながら、心理的属性を分析・可視化し、自己認知に役立つように提示する技術の研究開発が必要である。

■生体情報のセンシングに基づき身体的・精神的充足の要因や作用を提示する技術の実現
→ウェルビーイングの定義に倣い、自らが身体的、精神的、社会的充足を感じる要因やその作用をセンシングし、分析するためのシステムが実現していない。

(必要な取り組み) 脳の神経系のデータの取得と脳機能の解明、および、人の内的な状態と計測可能な身体特性・生体反応データなどに現れる情報とが関連づけられたデータを蓄積・分析する技術が必要である。

■脳信号と思考や行動のデータから個人の脳の予測モデルをつくる技術の実現
→自らの振る舞いを他者の視点から推測（鏡像的自己の観察）するための、脳信号と思考や行動のデータの組み合わせから脳の予測モデルをつくる技術が実現していない。
(必要な取り組み) 意思決定の参考にしたり、他者の視点から自分を観察したりするため、個人の脳信号と振る舞いのデータを安全かつ効率的に収集・モデル化し、そのモデルの中でも共通部分を人類（あるいは集団）共通の基盤、異なる部分を個性として分離・抽出する技術が必要である。

(受け手としての共感能力)

■短い時間で他者の立場を体験することができる身体化バーチャルリアリティ、身体共有技術の実現
→他者にも幸福が存在することを理解した上で、コミュニケーション・相互理解を可能にするための他者への身体性を伴った共感を可能にする技術が実現していない。
(必要な取り組み) 相互理解を促進するため、短時間で擬似的に他者の人生を追体験する身体化を伴ったバーチャルリアリティや、他者の立場に立つことを可能にする身体共有技術の研究開発が必要である。

■他者とのコミュニケーションのトレーニングができるゲーミフィケーション技術の実現
→他者の振る舞いを模したゲーミフィケーションのシステムなど、他者への相互理解を助ける教育やトレーニングの技術が実現していない。
(必要な取り組み) 他者の振る舞いを学習したエージェントとコミュニケーションのシミュレーションができるシステムや、対人関係を模したゲーミフィケーションによるトレーニング技術の研究開発が必要である。

■日々の対人関係におけるコミュニケーションが成立しているかを可視化する技術の実現
→日常生活において他者とコミュニケーションをとる際に、相手とのコミュニケーション

がうまく成立しているかを理解することを支援する技術が実現していない。

(必要な取り組み) 実世界において日常的に他者とインタラクションする際に、コミュニケーションの状態（成立しているかなど）を提示することで、相手の立場を想像することを支援する認知的人間拡張技術・コミュニケーション支援の研究開発が必要である。

1.1.2 他者からの情報のインプット（情報補完）

【社会的課題】

■技術が高価なツールとして普及した場合の格差拡大の可能性についての検討

→技術によって相手の希望を細やかに汲み取り、交渉能力が拡張されることになった場合、そのツールの使用がさらなる格差拡大に繋がる懸念について検討がなされていない。

(必要な取り組み) いずれの技術においても、それ自体が一般に普及しづらい高価なツールとならないように産官で市場調整する必要があるとともに、ツールの利用による能力拡張が格差拡大に寄与しないような使用場面の限定についても検討する必要がある。

■情報の受け手が見たくないものを拒むことができる権利の検討

→相手の感情や立場を踏まえ、情報をセンシングする能力が高められた状況で、見たくないものを見ずに済むことができる権利の検討が十分でない。

(必要な取り組み) 他者からの情報をセンシングする際の、ユーザの主体的な権利を明確化するとともに、見たくないものを見ずに済むことが自己中心的な情報の取捨選択にならないようとするための検討が必要である。

■伝えたい自分と相手が知りたい自分との不一致が生じる危険性の検討

→他者に伝えたい自分の情報ひいてはペルソナと、相手が知りたい情報とが競合する可能性についての検討と対策が十分でない。

(必要な取り組み) 自分が見せたいものと相手が見たいものとが競合した際にどのように対応すべきかのルールづくりが必要であり、特に、伝えたくない情報については、他者から推測されない権利を保障し、ペルソナの暴露につながらないように配慮する必要がある。

【科学技術的課題】

■過去の情報や文脈、文化的背景を含む「概念」を翻訳・提示する技術の実現

→対人関係の相互理解を最も促進する形で、情報の背景や文脈、当事者の文化的背景までを含む概念を翻訳・提示する技術が実現していない。

(必要な取り組み) 各ユーザの背景にある情報を各デバイスやネットワーク上に安全かつ効率的に収集・保管するとともに、その場のコミュニケーションに合わせて概念をスタイルごと翻訳し、様々な行間を補完して提示する技術の研究開発が必要である。

■他者の感情や立場を推定することを支援する認知能力の拡張技術の実現

→相手の感情や立場を踏まえて情報を受け取るため、表情やモーションの認識、理解可能な形での提示などの認知能力を拡張する技術が実現していない。

(必要な取り組み) 目で見たり、耳で聞いたりしたものを言葉で合体させる視覚・聴覚のセンシングに始まり、表情やモーションの総合的なセンシングと分析・提示を行う、アフェクティブコンピューティング分野におけるさらなる研究開発が必要である。

■他者が認知する世界を擬似的に体験する認知ミラーリング技術の実現

→障害を持つ人々を含む、すべての人々の認知過程を体験することができる認知ミラーリングにより、他者の視点に立つことを支援する技術が実現していない。

(必要な取り組み) 人の感覚から運動に至るまでの認知過程を客観的に観測可能にするための身体と環境の関係の計測と定量化、その認知の体験を可能にするインターフェースの研究開発が必要である。

■偏見や差別を含む害のあるバイアスを検出し、モーフィング・除去する技術の実現

→誹謗中傷から偏見・差別などのバイアスを含んだ情報を検出し、見なくても良いものから距離を置くことができる技術が実現していない。

(必要な取り組み) 誹謗中傷や偏見、差別を含むバイアスを検出するためのデータの収集・分類が必要である。また、その根本となるバイアスについて理解する、およびユーザが自律的に利用することができながらも情報に触れる前に補完(変換)する技術の研究開発が必要である。

1.1.3 他者への情報のアウトプット（思考転写）

【社会的課題】

■アウトプットされるメディアを制御することができる能力についての検討

→技術による支援の一方で、自らの内面を整理する能力が減退し、アウトプットされるメディアを自律的に制御することができなくなる危険性についての対策がなされていない。

(必要な取り組み) ユーザがアウトプット技術を使いこなしながら、自分の内面に向かい、アウトプットの技術を活用して複雑な思考や感情を表現するという難しい営みが可能になるための教育プログラムを確立する必要がある。

■アウトプットされるメディアに対して負う責任についての検討

→インターフェースが生成するメディアが意図しないものであった場合、およびそれらに機密情報や誹謗中傷といった情報が含まれる場合の責任の所在についての検討がなされていない。

(必要な取り組み) 前述の制御能力が担保されるように教育や法制度を対応させていくと

ともに、問題が生じた場合の責任の所在を明らかにすることと問題解決のためのルール策定に取り組む必要がある。

【科学技術的課題】

■医療応用も可能な高精度・高次の脳情報の読み取りを可能にする技術の実現（侵襲型）
→感情や思考など、相手に伝えるのが難しい複雑な情報を読み出す、高精度かつ高効率なブレインマシンインターフェース（BMI）が実現していない

（必要な取り組み）医療応用が可能なレベルの脳情報を高精度かつ高効率に読み出すため、脳に小型の外部給電・無線接続のチップを埋め込む侵襲型のブレインマシンインターフェースの研究開発が必要である。

■非侵襲型でありながらも侵襲型とほぼ同等の脳情報を読み取る技術の実現

→様々な情報を活用してある程度高度な脳情報を読み出せる、ユーザが安心かつ気軽に使用することができる非侵襲型の BMI が実現していない。

（必要な取り組み）非侵襲型のパッチ式脳波計と侵襲型による計測データとのペアデータに基づく機械学習モデルの構築に関する研究開発が必要である。加えて、超音波エコー装置やナノロボットによる血流濃度計測などの新たな計測方式も検討していく必要がある。

■ダイナミックでマルチモーダルなメディアを生成する技術の実現

→脳情報などの相手へ伝達したい情報（入力）から、最も相手に理解されやすいように五感を含むモダリティを組み合わせた高次のメディアを生成する技術が実現していない。

（必要な取り組み）映像・音声・触覚を含む五感を活用したマルチモーダルな情報生成システム、時間的にダイナミックでインタラクティブなメディア媒体、そしてそれらをコミュニケーションの際にユーザに提示するためのデバイスの研究開発が必要である。

■個人のプライバシー情報を保護・活用するための分散協調機械学習やデータ管理の技術の実現

→脳情報の読み出しやマルチモーダルメディアの生成に必要な学習用データ、および実データのプライバシーを保護する技術が実現しておらず、貴重なデータ資源が活用できていない。

（必要な取り組み）プライバシーに関わるデータをユーザ側にのみ保存する、エッジ AI で学習することができる分散協調型機械学習システム、およびそれを可能にするエッジコンピューティングなどの研究開発が必要である。

■アウトプットの意図しない誤作動を未然に防ぐセキュリティ技術の実現

→相手に伝えるつもりのない主義や主張、個人の内面の情報が意図せず表現されてしまう

ことがないようにするセキュリティ技術が実現していない。

(必要な取り組み) アウトプットの意図しない誤作動を未然に防ぐセキュリティや、社会における「言わない方がよい」という判断過程（マナー）のモデル化、個人情報保護に関する法規制に対応したシステムの研究開発が必要である。

1.2 集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」

当該 MS 目標における集団のレベルについてのターゲットは、「2050 年までに、私たちは集団の中で自律的な自己を保ちながらも、多様性ある融和と価値観の共創をすることができるようになる。」というものであった。このターゲットが包含する社会的課題と科学技術的課題について俯瞰的に述べる。

1.2.1 集団における自律的な自己

【社会的課題】

■様々なシステムに対するユーザの選択権と利便性のバランスに関する検討

→オプトイン・オプトアウトの選択権が与えられることで利便性が低下する懸念や、ユーザの自律性を担保する技術を誰にどの程度提供すべきか検討がなされていない。

(必要な取り組み) 様々なシステムに対する選択権を全ての機会で与えることは、利便性を大きく損ねるだけでなく、自律性を保つことを強制的に支援することでかえって自律性を奪いかねない。システムやユーザごとに選択権を与える範囲を検討する必要がある。

■集団に対する個人の自律性を支援する技術の使用場面に関する検討

→自己や他者のアイデンティティを理解して相対化したり、自律性を獲得したりするような新しい技術を実装する場面の検討が十分でない。

(必要な取り組み) 集団に対する個人の自律性を支援するに際して、個人という主体に働きかける新しい技術群を初めて社会実装することになり、その使用範囲や技術の使い方を人文社会学、教育学などに関わるすべてのステークホルダーで検討する必要がある。

【科学技術的課題】

(集団に対する自律性)

■集団での自己のアイデンティティの相対化などの認知獲得支援技術の実現

→他者のアイデンティティを認識したり、自らが自律的でありながらも集団の部分であるという自己の相対化の認知を獲得したりするための技術が実現していない。

(必要な取り組み) 集団における自己や他者のアイデンティティや相対的位置を抽出して提示するような技術、他者や異なる集団への社会的バイアスを検出した上で、対比的に提示するようなトレーニングにより、新しい視座を提供する技術の研究開発が必要である。

■集団における自己や他者の影響力を計算・可視化して認知する技術の実現

→社会において私たちが持っている影響力を可視化して認知することにより、自己や他者の相対化を行い、没個性化して集団に従属することを防ぐ技術が実現していない。

(必要な取り組み) エージェント・ベース・モデルによる、あり得る意思決定のシミュレーション、集団の中で意思決定や意思決定が伝播することとその影響を追体験できるシミュレーション・トレーニング技術の研究開発が必要である。

(技術に対する自律性)

■合意を形成したステイクホルダーや情報の伝達経路を明示的に示す技術の実現

→プライバシーを保護しながら、形成された合意に関与したステイクホルダーや、情報の伝達経路が確認できるようにすることで自律性を支援する技術が実現していない。

(必要な取り組み) 急速に発展する情報環境や、当該 MS 目標におけるシステム群の計算過程を明示的に出力する技術や、ユーザの情報リテラシーを高める方法を考案し、自律的な技術の利用を支援するための研究開発が必要である。

■自律的に技術を使い続けるための社会的能力を磨くトレーニング技術の実現

→自らが自律的であり続けながら、納得感を保持した状態で科学技術を使用するための、社会的能力を獲得・強化するトレーニング技術が実現していない。

(必要な取り組み) 様々なシステムにおいて、オプトイン・オプトアウトが選択でき、提案される合意や情報についても第二・第三といった多様な選択肢から選べることを支援する技術と、それが煩雑になることなく使用することができるユーザビリティ向上に関する研究開発が必要である。

1.2.2 集団としての合意形成

【社会的課題】

■合意形成システムの主体的な普及を実現する「キラーアプリ」設計の検討

→大規模合意形成システムなどの科学技術を社会実装する際に、ユーザ自らが主体的に使いたいと感じられるようなインセンティブの設計が検討されていない。

(必要な取り組み) ユーザの主体的な使用（任意の使用）を前提として合意形成システムを世界に広げていく際のキラーアプリを、産学官連携によって設計し、日本のみならず世界での使用に耐えうるシステムのあり方を議論していく必要がある。

■合意形成に参加する意思と個人データのセンシングとの間のギャップの検討

→合意形成に参加することと意見を抽出するために個人のデータをセンシングすることを許可することとの間にはギャップがあるところ、システムの設計者がそのギャップを認識せずに個人の権利を侵害してしまう可能性についての検討が十分でない。

(必要な取り組み)自己認知の際に行う生体情報のセンシングなどと同様に、内心の自由を侵害する可能性があり、合意形成への参加の際のインフォームドコンセントを徹底とともに、同意が包含する範囲と方法を法学的観点からも議論していく必要がある。

■合意形成システムへの参加に対して同調圧力や強制力が働きかねないことへの対策

→合意形成システムが社会的に有益な結果をもたらすことが広く共有された場合に、このシステムに参加することに対して同調圧力を働かせないための対策がなされていない。

(必要な取り組み)合意形成システムの使用場面を産学官民のステイクホルダーが広く議論する必要があるとともに、全ての技術はあくまでユーザが任意に選択できるものであることを宣言・共有する必要がある。

■民主主義を前提とする各国の諸制度と相容れない結果をシステムが出力しかねない問題への対策

→大規模合意形成システムが自由に幅広く利用された場合、出力された合意が民主主義を前提とした諸制度と矛盾する可能性があることへの検討がなされていない。

(必要な取り組み)間接民主制の下で合意形成システムを導入していくにあたっては、その使用場面を限定するか、あるいは、現行の制度に適切に組み込んでいく方法を、立法・司法・行政機関から一般市民までが検討していく必要がある。

【科学技術的課題】

■形成しなければならない合意に対するステイクホルダーを抽出する技術の実現

→個人の目的関数の抽出と利害関係を有するステイクホルダーを選出し、合意形成システムの使用を推薦する技術が実現していない。

(必要な取り組み)複数のユーザが問題意識をもつ形成しなければならない合意について、それに関わるステイクホルダーを多様な情報源に基づき検出し、合意形成への参加を促すシステムの研究開発が必要である。

■次世代センシングネットワークによってパワーレスな意見までをも抽出する技術の実現

→見逃されてしまいかねないパワーレスな主張・意見をも、SNS や都市・建築と一体化したセンシングネットワークを通じて拾い上げる情報技術が実現していない。

(必要な取り組み)複合的センシングシステム、材料・デバイス、ユビキタスコンピューティング、Wi-Fi、5G・6G のセンシングネットワークを組み合わせたセンシングシステムと、それらの情報からユーザの意見を抽出するシステムの研究開発が必要である。

■意見から適切なコーディネートを行う合意形成システムの技術の実現

→センシングされた意見をもとに個人や集団にとっての目的関数となるものをモデル化し、

コーディネートまたは最適化する合意形成システムが実現していない。

(必要な取り組み) 個人や集団の目的関数のモデル化、超多変数の目的関数の直接的な最適化計算、またはそれらの目的関数に基づいて振る舞うエージェント・ベース・モデルによる合意形成支援、公平分割理論システムへの適用などの研究開発が必要である。

■意見の書き換えやそれらの伝播を防ぐためのブロックチェーンシステムの実現

→合意形成の結果を本来の出力とは異なるものにするために、意見の書き換えやそれらの伝播を試みるユーザに対するセキュリティを高める技術が実現していない。

(必要な取り組み) ユーザの信頼性と追跡性が担保され、悪意のある意見の書き換えとそれらの伝播を検出する技術が必要である。例えば、抽出された意見を発信し、合意形成に参加する全ての発信者が参加するブロックチェーンシステムのようなものが必要と想定される。

■組合せ爆発を解決するコンピューティングや計算モデルの実現

→任意のサイズの集団で時間的にダイナミックな合意形成を行う際に生じる、組合せ爆発による膨大な計算量を実時間で解決する科学技術が実現していない。

(必要な取り組み) 量子コンピュータを含む計算機の発展に対応したシステムの実装方法、計算可能な数理モデルの検討、集団の規模の可変化、合意形成システムの近似などの研究開発が必要である。

1.2.3 集団への融和と多様性

【社会的課題】

■融和の中でパーソナリティやアイデンティティを保つことについての議論と検討

→融和の科学技術を含む様々な技術が普及する中で、個性（パーソナリティとアイデンティティ）とは何かを検討し、どのように確立・維持すべきかといった議論が行われていない。

(必要な取り組み) 融和の過程で少なからず人々の差異が小さくなっていく中で、個性とは何かを再考するとともに、その個性をどのようにして確立・維持するかを検討した上で研究開発を行う必要がある。

■多様性のある融和のシステムを普及させる方策についての検討

→興味のある情報を推薦する技術のほうが、多様性のある情報を受け取ることよりも本能的に心地よいと考えられる。ユーザがそれでもなお多様性のある融和のシステムを選択するような仕掛けづくりが十分に検討されていない。

(必要な取り組み) 多様性のある情報を受け取ること、異文化に対する寛容さを身につけることが自分にとっても良いことだと理解できる社会を構築するようダイバーシティ教育に入れるとともに、職場や教育など多様性の尊重が望まれる環境での実際的な活用の方法を探っていく必要がある。

【科学技術的課題】

■最も相互理解を促すような情報流通の制御やマッチングの技術の実現

→各ユーザが好む偏った情報を提供してしまうフィルターバブルなどの問題に対して、むしろ多様性を担保するような情報伝達の技術が実現していない。

(必要な取り組み) マルチモーダルな情報に基づいたネットワークの分散表現、社会ネットワーク構造の情報を活用した情報流通の制御やマッチングに加えて、膨大な情報量の交換を助けるための情報圧縮・要約技術に関する研究開発が必要である。

■合意形成に至らなかった場合の歩み寄りを支援する技術の実現

→合意形成システムを活用したとしても、意見の対立が解決できない場合について、譲歩や歩み寄りを支援する技術が実現していない。

(必要な取り組み) 形成できなかった合意や意見の対立について、互いの立場を可視化したり、共通する部分と異なる部分を受け入れやすい形で提示したりすることで、相互に理解することを支援する技術の研究開発が必要である。

■フェイクニュースや煽動意図がある情報を検出・遮断する技術の実現

→悪意のある情報を検出して遮断するシステムや、悪意のあるユーザを特定するためのブロックチェーンシステムが実現していない。

(必要な取り組み) ユーザの故意や過失の違いを正しく認識したうえで、集団における悪意のある情報を検出・遮断して伝播を抑える技術や、そもそもブロックチェーンシステムで発信者や伝播の過程が明らかにできる技術の研究開発が必要である。

2. Science and technology map

(当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰)

前項のうち科学技術により克服すべき課題について、対人関係のレベルにおける「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」と、集団のレベルにおける「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」のそれぞれについて述べる。ここでは俯瞰と研究開発の整理を行い、取り組みの詳細は前項において紹介するものとする。

(1.1) 対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」

(1.1.1) 自己認知と共感能力

(送り手としての自己認知)

- 自分の心理的属性や過去の経験をデータから分析・可視化する技術の実現
 - 生体情報のセンシングに基づき身体的・精神的充足の要因や作用を提示する技術の実現
 - 脳信号と思考や行動のデータから個人の脳の予測モデルをつくる技術の実現
- (受け手としての共感能力)
- 短い時間で他者の立場を体験することができる身体化バーチャルリアリティ、身体共有技術の実現
 - 他者とのコミュニケーションのトレーニングができるゲーミフィケーション技術の実現
 - 日々の対人関係におけるコミュニケーションが成立しているかを可視化する技術の実現

(1.1.2) 他者からの情報のインプット（情報補完）

- 過去の情報や文脈、文化的背景を含む「概念」を翻訳・提示する技術の実現
- 他者の感情や立場を推定することを支援する認知能力の拡張技術の実現
- 他者が認知する世界を擬似的に体験する認知ミラーリング技術の実現
- 偏見や差別を含む害のあるバイアスを検出し、モーフィング・除去する技術の実現

(1.1.3) 他者への情報のアウトプット（思考転写）

- 医療応用も可能な高次の脳情報の読み取りを可能にする技術の実現（侵襲型）
- 非侵襲型でありながらも侵襲型とほぼ同等の脳情報を読み取る技術の実現
- 時間的にダイナミックでマルチモーダルなメディアを生成する技術の実現
- 個人のプライバシー情報を保護・活用するための分散協調機械学習やデータ管理の技術の実現
- アウトプットの意図しない誤作動を未然に防ぐセキュリティ技術の実現

(1.2) 集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」

(1.2.1) 集団における自律的な自己

(集団に対する自律性)

- 集団での自己のアイデンティティの相対化などの認知獲得支援技術の実現
- 集団における自己や他者の影響力を計算・可視化して認知する技術の実現
(技術に対する自律性)
- 合意を形成したステイクホルダーや情報の伝達経路を明示的に示す技術の実現
- 自律的に技術を使い続けるための社会的能力を磨くトレーニング技術の実現

(1.2.2) 集団としての合意形成

- 形成しなければならない合意に対するステイクホルダーを抽出する技術の実現
- 次世代センシングネットワークによってパワーレスな意見までをも抽出する技術の実現
- 意見から適切なコーディネートを行う合意形成システムの技術の実現
- 意見の書き換えやそれらの伝播を防ぐためのブロックチェーンシステムの実現
- 組合せ爆発を解決するコンピューティングや計算モデルの実現

(1.2.3) 集団への融和と多様性

- 最も相互理解を促すような情報流通の制御やマッチングの技術の実現
- 合意形成に至らなかった場合の歩み寄りを支援する技術の実現
- フェイクニュースや煽動意図など悪意のある情報を検出・遮断する技術の実現

これらの科学技術によって克服すべき課題については、以上のように俯瞰される。これらの研究開発に関わる分野横断的な取り組みのあり方、分野・技術群の構造を整理すると、主には知能処理、センシング、インターフェースの三つの分野と数十個の技術群にまとめられる。そして、三つの分野と表裏一体な関係として心理と社会性が挙げられる（図9）。

このような新しいインターフェースやシステムがもたらすコミュニケーションや社会システムの変化については、『展望現代の社会心理学 2 コミュニケーションと対人関係』（相川充、高井次郎）でも検討されている [24]。新しい科学技術の良し悪しを短期的に判断するのではなく、社会的・非言語的手がかりの質の違いや、物理・時間的な共有を必要とするなどの特徴とメカニズムを探求しながら、良い心理と社会性のために役立てていく必要がある。

そのため、心理と社会性については、前述の「調和性」の実装にかかる科学技術の研究開発のみならず、人文社会学が一体となった「調和性」の探究が重要になると考えられ、全ての科学技術の研究開発の裏に人文社会科学が表裏一体で進められることが期待される。

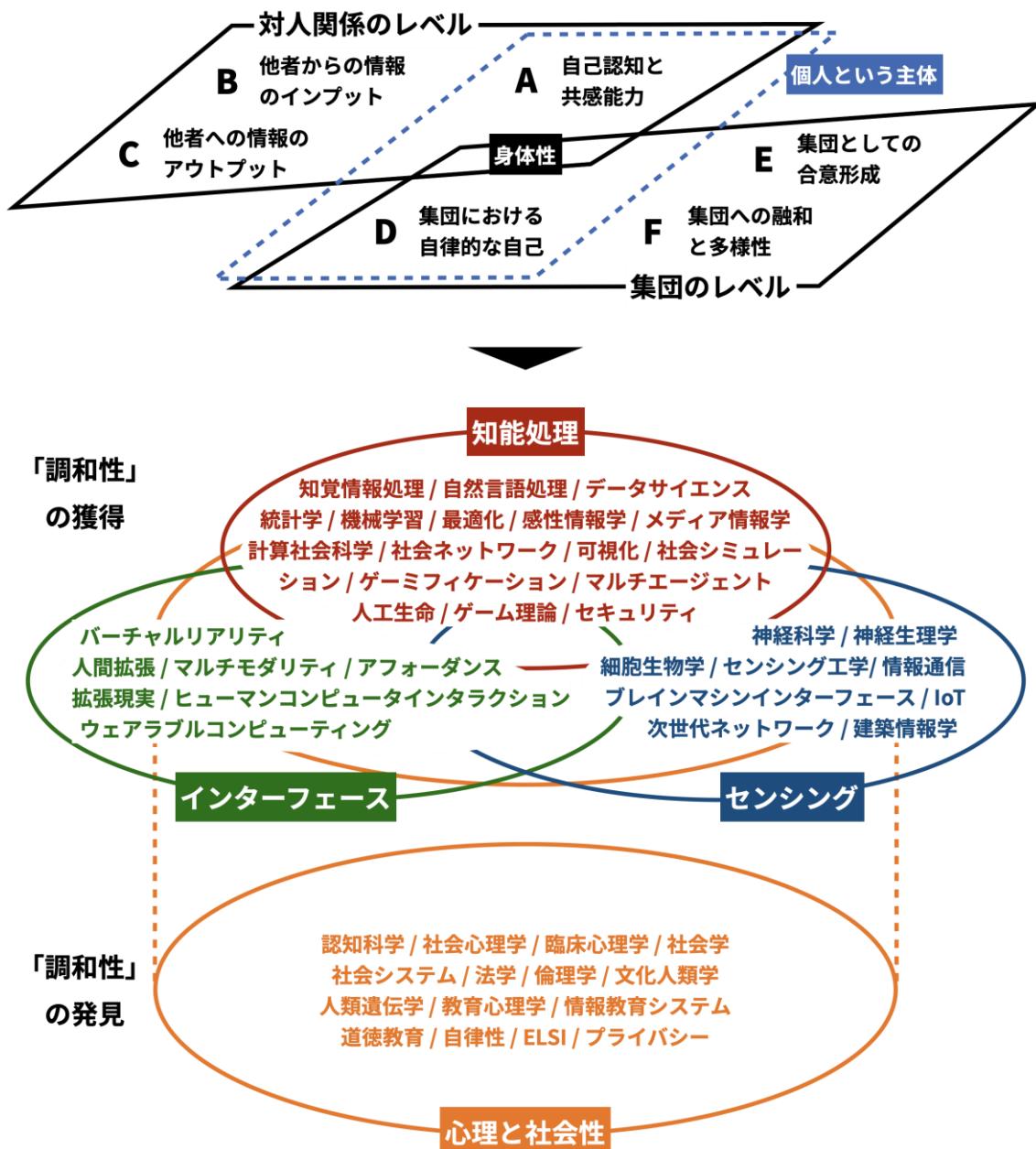


図 9 当該 MS 目標の俯瞰と分野・技術群の整理

3. Japan's position in overseas trends

(当該目標に関する研究開発の動向（全体）、海外動向及び日本の強み）

当該目標に関する国内外の研究開発の動向、および研究開発において中核をなす研究開発領域における各国の論文数（1990～2020年の総論分数の上位5カ国）を比較したものについて、対人関係のレベルを図10に、集団のレベルを図11にそれぞれ示す。

学識者・有識者100人ヒアリングを経て明らかにした重要な研究開発分野・領域の俯瞰に基づいて、対人関係のレベルではバーチャルリアリティ、インタラクティブコンピュータグラフィックス、アフェクティブコンピューティング・感性工学、ヒューマンコンピュータインターフェース、ブレインマシンインターフェース、オーギュメンテッドリアリティを領域として選出した（図10）。また、集団のレベルについては可視化、人工生命、社会シミュレーション、ウェアラブルコンピューティング、組合せ最適化、進化ゲーム理論を選出し（図11）、それぞれで主要国と日本の論文数を比較した（Scopusのデータを元に作成、検索キーワードは図中に記載した）。

全ての国を対象としたScopusでの論文検索において、日本は上記の12の研究開発領域の全てで上位5位以内に位置し、当該MS目標の遂行にあたって高いポテンシャルを秘めていることが明らかになった。また、特にインタラクティブコンピュータグラフィックスは米国に次いで2位にランクインし、自己認知や共感能力を高めるためのインターフェースや、アウトプットされるマルチモーダルなメディアの生成において高い研究開発能力を有する。アフェクティブコンピューティングと感性工学の総合論文数は1位、人工生命的総合論文数は2位に位置し、特に2010年前後は世界トップの研究開発を行なっている。

以下では、2050年ビジョン検討会や学識者・有識者100人ヒアリングで注目すべき事例として取り上げられた国内外の技術動向について概要を述べる。

■プロテウス効果と没入型バーチャルリアリティ

没入感の高いオンラインゲームやバーチャルリアリティ空間でアバターを操作する際に、自分が操作するアバターの外見がユーザの心理や態度、振る舞いに影響を及ぼすプロテウス効果[25]が知られている。この際、アバターが自分の身体であると感じさせる身体感覚転移が働いていることや、他者が視認する自分のアバターの外見を認知することなどが必要である。特に、全身の身体感覚を再現した没入型バーチャルリアリティ（Immersive Virtual Reality）を活用した研究では、黒人の外見のアバターを身につけた白人ユーザの、黒人に対する差別的偏見が軽減することも明らかになっている[26]。このような体験を発展させることにより、他者への共感能力を高めることにも役立つ可能性がある。

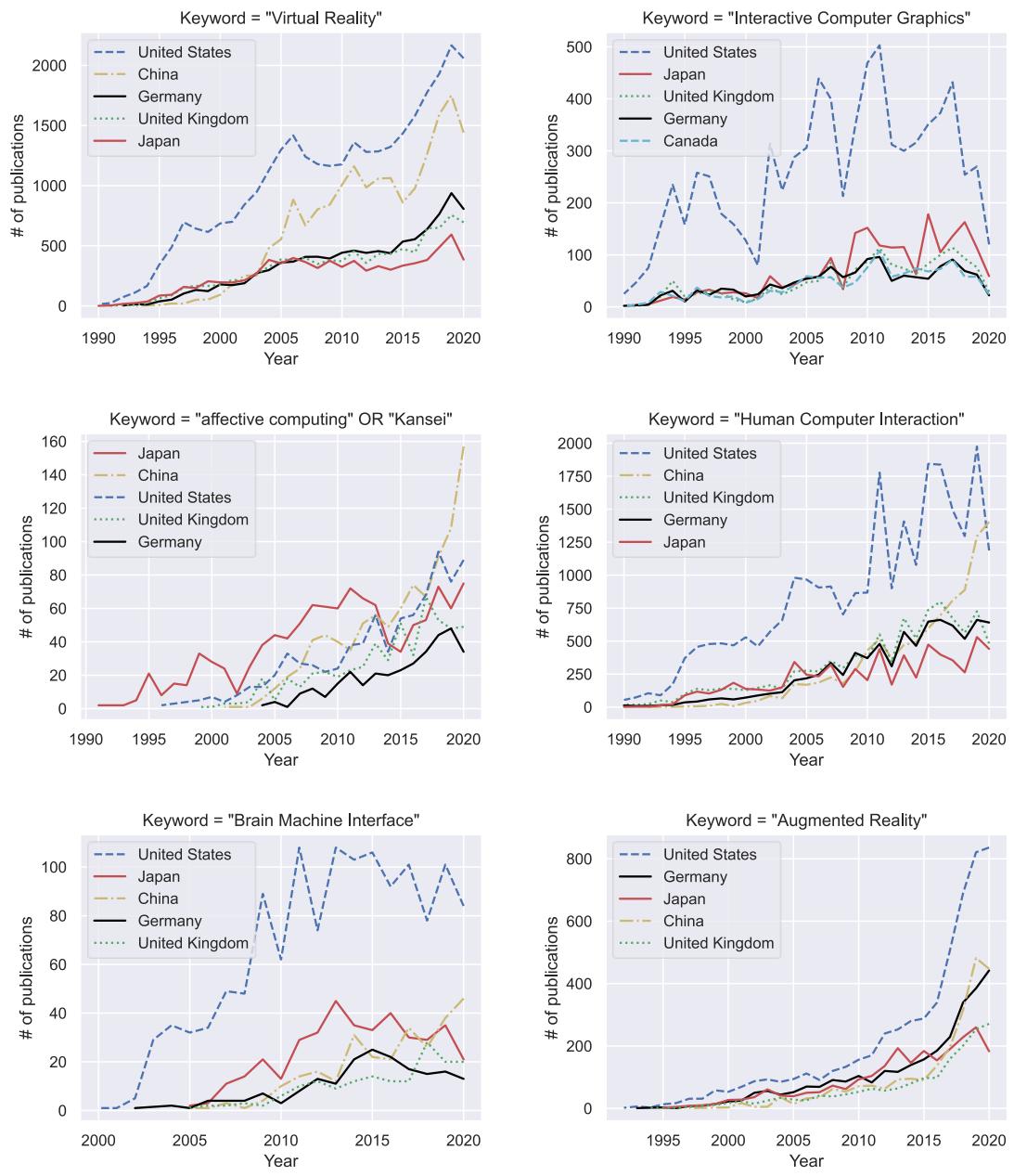


図 10 対人関係のレベルにおける主要研究開発領域毎の論文数動向
(1990～2020 年の総論分数上位 5 カ国)

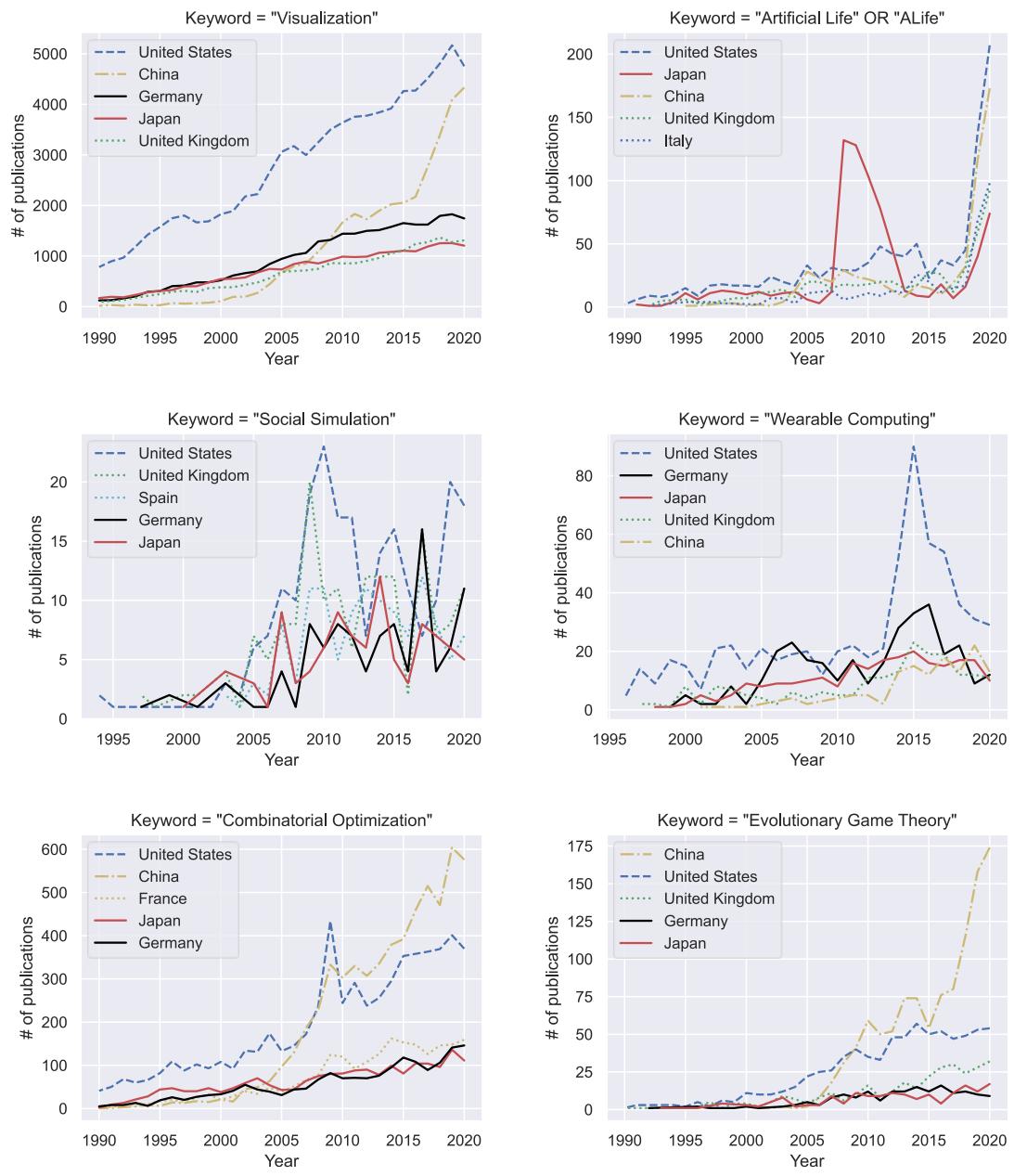


図 11 集団のレベルにおける主要研究開発領域毎の論文数動向
(1990～2020 年の総論分数上位 5 カ国)

■共有身体アバター、身体共有（Body Sharing）

日本では共有身体アバターや身体共有の研究が盛んに行われている。身体トラッキングとヘッドマウントディスプレイを活用し、二人のユーザーの動きを平均した動きをするアバターを二人が共同で操作するシステムが考案されている [27]。この共有身体を用いると、ランダムな位置に手を伸ばす動きが、一人で操作を行うよりも滑らかになることが知られている。また、感覚器レベルから他者と身体を共有する研究として、あるユーザが筋肉を動かす信号と類似した電気刺激を別のユーザの腕の筋肉に与えて、手指の動きを制御する「PossessedHand」が日本で発明され [28]、それをコア技術とした支援ツールの研究開発と社会実装を行う H2L 株式会社が創業されている。

■ソーシャル VR プラットフォーム、バーチャル SNS

身体トラッキングとヘッドマウントディスプレイを活用した没入型のバーチャルリアリティ（VR）プラットフォームが実現しており、米国のソーシャル VR プラットフォームの「VRChat」や日本のバーチャル SNS の「cluster」が知られている [29]。デスクトップ PC や VR 機器を活用したアバターを通じたコミュニケーションと、ユーザ自らが投稿した 3DCG 空間（ワールド）を体験する仕組みで、今後はバーチャル空間上で経済活動まで行えるメタバースの構築が目指されている。日本はこれらのプラットフォームのユーザが多い国の一であり、渋谷区公認の「バーチャル渋谷」が cluster にオープンされ、新型コロナウィルス感染症影響下でのイベント開催や交流などを可能にした [30]。

■アフェクティブコンピューティング（Affective Computing）

コンピュータが人間の感情を推測したり、表現したり、それらを元にユーザの感情に寄り添ってサポートすることを目指して「アフェクティブコンピューティング」という分野が提唱された [31]。アフェクティブコンピューティングの分野では画像や映像、音声のみならず、多様な情報のセンシングと分析を通じてユーザの感情を推測する研究開発が行われている [32]。深刻なストレスを抱える人々の自殺や鬱の予防、自閉症患者の支援となりうるツールの提供など、幅広い応用研究も行われている。類似する分野・キーワードとして、日本では感性工学が知られており、感性や感情をセンシング、解析、応用する学際的な研究開発が進められている。

■侵襲型ブレインマシンインターフェース（BMI）

脳内に小型のチップを埋め込む侵襲型ブレインマシンインターフェース（BMI）の研究開発では、米国の Neuralink の取り組みが最も知られている。麻痺のある患者が脳神経活動を用いてコンピュータを迅速かつ容易に操作できるようにすることを目指している。既に、電極を頭に埋め込んだサルのゲーム行動を脳波から予測する実験が実施されている [33]。また別の研究機関では、喋る能力を失った患者が念じるだけで思い浮かべている単語や画像

を伝えることができる実験が実施されている。日本国内でも、ムーンショット型研究開発事業のムーンショット目標1の研究開発プロジェクト「身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」でも侵襲型 BMI の研究が始動している。

■脳情報のデコーディング、非侵襲型 BMI

脳情報のデコーディングの研究については、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) で計測した脳活動から刺激の向きの知覚を予測できる研究や [34]、睡眠中のイメージの脳情報のデコーディングの研究など [35]、京都大学を中心とするチームによる研究が世界的な注目を集めている。また、非侵襲型の BMI として、超薄型のエレクトロニクス素材を活用したパッチ式脳波計が日本で開発されており（大阪大学産業科学研究所・PGV 株式会社）、計測脳波のビッグデータ解析が認知症や睡眠の質の判定などへ応用されている [36]。今後は侵襲型 BMI で取得可能なデータとの組を元に、非侵襲型のデータから侵襲型に相当するデータへと変換する技術の研究開発が期待されている。これにより、非侵襲型 BMI のみであっても高精度な脳情報のデコーディングが実現される。

■機械翻訳、マルチモーダルキャプション生成

機械翻訳 (Machine translation) について、自然言語処理における深層学習の発展により翻訳精度が向上し、DeepL 翻訳や Google 翻訳のようなサービスが実用化されている [37]。ただし、翻訳と相互理解については文化人類学者などの有識者から指摘があり、異なる文化的国々や地域の人々のことを理解するには、背景知識（地理的・歴史的・政治的背景、人口動態など）や、ステレオタイプでは表すことのできない概念まで認知することが必要であり、言語だけが翻訳されても相互理解には至らない可能性があるという。そこで、翻訳と併せて画像から文章、文章から画像を生成するようなマルチモーダルキャプション生成の研究などを発展させ [38]、他者の背景や文化などの「概念」も翻訳できる技術が期待される。

■トランスフォーマー (Transformer) モデル

近年でも深層学習の研究開発は著しく発展している。機械翻訳の性能向上には Google が発表したトランスフォーマーモデルが寄与している [39]。トランスフォーマーモデルでは、自己アテンション機構を導入することにより時系列データを逐次的に処理する必要がなく、学習時間が短く済むなどのメリットがある特に自然言語処理では再帰型ニューラルネットワークや畳み込みニューラルネットワークの使用場面を全て塗り替えた。トランスフォーマーモデルであれば並列的な処理や大規模なデータの学習が可能であることから、ラベルなしのデータで事前学習を行なうことで汎用性の高い言語モデルを獲得した BERT や Open AI GPT-3 などの応用が知られている [40]。

■深層生成モデルとその応用

深層学習を元にした生成モデルで最も知られているものが敵対的生成ネットワーク(Generative Adversarial Networks; GAN)である [41]。入力から出力を生成する生成ネットワークの出力について、それが正解データに近いかどうかを判別する識別ネットワークを併せて学習させる。それにより、従来の生成モデルでは難しかった精度の高いデータの生成が行える。近年では、テキストから低解像度の画像を出力する第一段階の GAN と、低解像度の出力画像の欠損を修復し高解像度化する第二段階の GAN を組み合わせて学習させる「StackGAN」が提案されており、テキストからリアルな画像を生成することも可能になりつつある [42]。

■個人データの活用と保護

個人データを用いた大規模な機械学習システムを構築する際には、ユーザが理解できる形でのインフォームドコンセントの徹底と、個人情報の保護が課題となる。近年では、EU の一般データ保護規則 (General Data Protection Regulation; GDPR) や G20 JAPAN 2019 で議論されたデータフリーウィズフローなどが知られているが、いずれも個人情報を保護することと有用なモデルの学習を行うことのトレードオフが問題になる [43]。近年では、それらの両立を目指した分散協調機械学習、連合学習 (Federated Learning) などの研究が行われている [44]。ユーザのデバイスにのみ個人データが保存され、学習されたパラメータのみがサーバへと送信される仕組みである。

■人工知能における公正性・公平性

実社会のデータを用いて機械学習モデルの学習やシステムの構築を行う場合には、そもそも実社会でデータが記録された過程にバイアスが生じていたり、既存の社会構造がデータに反映されることで差別が再生産されたりする問題が指摘されている。データのバイアスにどのように対応するか、そもそもデータに現れないマイノリティをどのように保護するかが課題になる。特にジェンダーの問題については、UNESCO が人工知能とジェンダー平等についてのレポートを発表している [45]。また、そのようなデータの収集に参加できない、ひいては学習されたモデルや様々なツールを利用する経済力がない貧困層や後進国とのデジタルディバイドの問題もある。

■合意形成支援システム

マルチエージェントシステムの国際的な研究で知られている京都大学を中心とする研究チームが、意見集約・合意形成の SaaS サービス「D-Agree」を発表している。D-Agree では議論の合意構造の可視化、エージェントによる問い合わせの介入などが行われる [46]。また、海外ではスペイン・バルセロナ市を中心に欧州で幅広く利用されているデジタルプラットフォーム「Decidim」が知られている。述べ 4 万人以上が参加し、1 万件以上の提案がさ

れ、約 1,500 件が政策として採択されており、日本でも横浜市で実証実験が実施されている [47]。今後は、明示的な問題に対して投稿された意見の集約を行うだけではなく、暗黙的な意見の抽出やステイクホルダーの選出まで行えることが期待される。

■計算社会科学（Computational Social Sciences）

Science 誌に「Computational Social Science」が掲載されて以来、社会科学においてデータの利活用を推進したり、コンピュータサイエンスの知見を役立てたりする計算社会科学の分野が確立しつつある [48]。日本では Twitter での情報発信が盛んであることから、これらのデータを活用した計算社会科学の研究が発展している。2021 年には計算社会科学研究会を前身とする計算社会学会が設立された。当該分野において注目されている研究として、悪質な投稿やフェイクニュースを検出する方法、エージェント・ベース・モデルを活用した社会シミュレーションなどが挙げられている。また、テキスト情報をもとに言論空間をマッピングしたエコーチェンバーのシミュレーションについても日本の研究グループが中心となって取り組んでいる [49]。

III. Plan for Realization (社会像実現に向けたシナリオ)

1. Area and field of challenging R&D, research subject for realization of the Goals (挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題)

本章では、提案する MS 目標案のコンセプトにて述べた二つの達成シーン、統計・俯瞰的分析で抽出・整理した科学技術的課題とそれに対する取り組みに基づき、当該 MS 目標における挑戦的研究開発の設計と研究課題を述べる。

①挑戦的研究開発を推進すべき分野・領域 (Area and field to promote challenging R&D)

当該 MS 目標に関わる研究開発は二つの達成シーンと六つの側面（領域）に整理されるが、それぞれの領域における科学技術は密接に関わりあっており、独立した研究開発ではなく学際的な取り組みが必要になる。そのため、それらの領域と関わり合う分野の整理として、前述の知能処理、センシング、インターフェースという三つの分野、およびそれと表裏一体な関係にある心理と社会性の分野を設定し、これら挑戦的研究開発を推進すべき分野の整理とする。これらの分野における科学技術は六つの領域と全結合的に関連しており、それぞれの領域における研究課題が分野の発展と拡がりを参照しながら推進していく。

二つの達成シーンと六つの研究開発の側面（領域）

対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」

2050 年までに、私たちは自己を認知・更新しながら、自己と他者との間で思考や感情を深く相互理解することができるようになる。

- A. 自己認知と共感能力（送り手としての自己認知+受け手としての共感能力）
- B. 他者からの情報のインプット（情報補完）
- C. 他者への情報のアウトプット（思考転写）

集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」

2050 年までに、私たちは集団のなかで自律的な自己を保ちながらも、多様性ある融和と価値観の共創ができるようになる。

- D. 集団における自律的な自己（集団に対する自律性+技術に対する自律性）
- E. 集団としての合意形成
- F. 集団への融和と多様性

②目標達成に当たっての研究課題 (Research subject for realization of MS Goal)

前述の科学技術的課題とそれに対する取り組みに基づき、A～F の研究開発領域に対応して、2050 年に向けて下記の研究課題を想定する（図 12）。

対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」

A. 自己認知と共感能力（送り手としての自己認知+受け手としての共感能力）

A1：自分の心理的特性を俯瞰して分析、身体的・精神的充足の要因や作用を併せて提示し、自己の認知を深める科学技術の研究開発

A2・(B2)：短時間で身体化・身体共有を伴ったゲーミフィケーションで他者の立場を体験し、他者への共感能力を高める科学技術の研究開発

B. 他者からの情報のインプット（情報補完）

B1：ビッグデータプラットフォームから文化的背景などのスタイルを抽出し、「概念」を翻訳して補助的に提示する科学技術の研究開発

B2：他者の感情や立場を推測することを支援する感覚拡張、他者が認知する世界をミラーリングする科学技術の研究開発

B3・(F2)：偏見や差別を含む害のある情報を検出し、現実世界のインターフェースでモーフィング・除去する科学技術の研究開発

C. 他者への情報のアウトプット（思考転写）

C1：安全な侵襲型または高精度な非侵襲型のブレインマシンインターフェース (BMI) により、複雑な脳情報を読み出すことができる科学技術の研究開発

C2：個人データのプライバシーを担保しながらも、複雑な思考や感情をマルチモーダルなメディアとして生成することができる科学技術の研究開発

集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」

D. 集団における自律的な自己（集団に対する自律性+技術に対する自律性）

D1：自己や他者のアイデンティティを抽出して認知することを補助し、また、影響力をシミュレーションして体験できる科学技術の研究開発

D2：形成される合意の計算過程や伝播する情報の伝達経路を明示的に示したり、主体的に選択したりすることを支援する科学技術の研究開発

E. 集団としての合意形成

E1：次世代センシングネットワークによりパワーレスな意見までも抽出し、形成される合意に対するステイクホルダーを選出する科学技術の研究開発

E2：組合せ爆発を開発するコンピューティングとモデルの構築により、多様な意見をコ

一ディネートして提案する科学技術の研究開発

F. 集団への融和と多様性

- F1：最も多様性が担保される情報流通や相互理解を促すようなマッチングを可能にし、対立する意見の歩み寄りも支援する科学技術の研究開発
- F2：情報の流通経路を把握し、フェイクニュースや煽動意図など悪意のある情報を検出・遮断する科学技術の研究開発

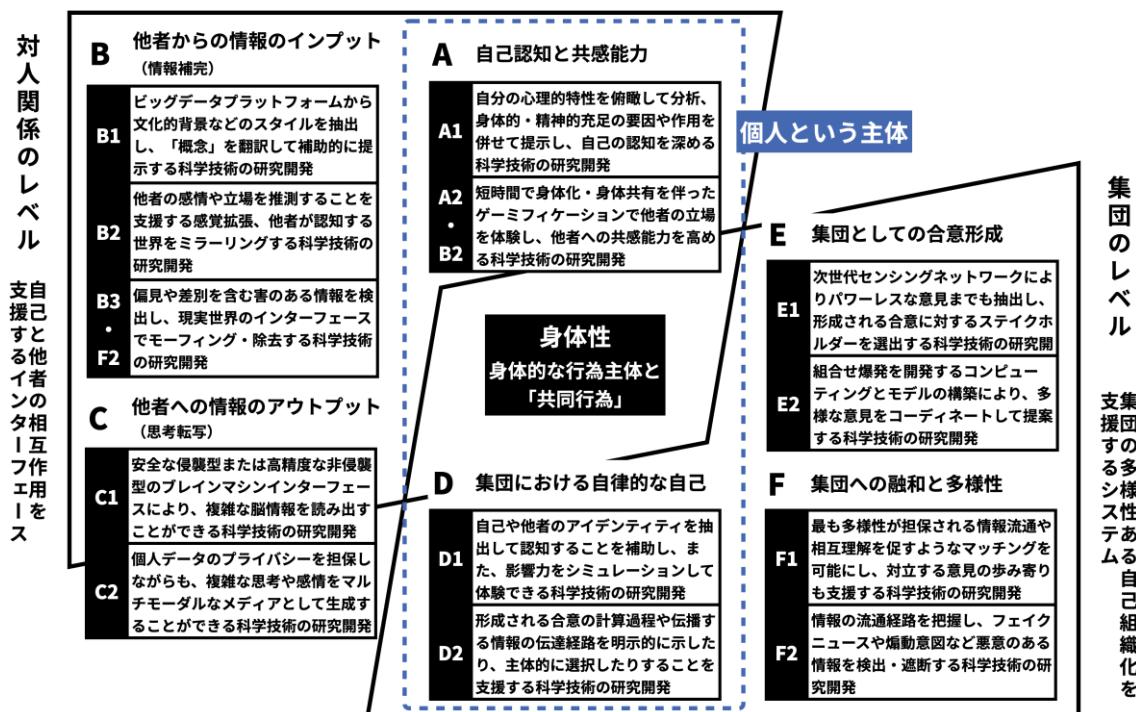


図 12 研究開発領域と研究課題の俯瞰

2. Direction of R&D for realization of goals

(2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標 (マイルストーン)、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果)

ここでは、前述した二つの達成シーンと A から F までの六つの領域と研究課題について、2030 年から 2050 年の期間において達成される具体的な目標 (マイルストーン)、マイルストーンの達成に向けて取り組むべき具体的な研究開発テーマを述べる。また、それらのマイルストーンの達成が社会にもたらす経済・産業の波及効果についても述べる。

なお、それぞれの時代における達成シーンの詳細、社会・産業構造の変化の詳細、研究開発テーマに係る取り組みの詳細は、それぞれ(I.2) 当該 MS 目標の達成シーン、(I.4) 当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化、(II.1) 当該 MS 目標を達成するための課題 (科学技術的・社会的課題) や必要な取組で述べる。

2.1 2050 年の達成シーン（ムーンショット目標）

■2050 年のマイルストーン

2050 年には、世界中の全ての人類に対して以下が達成される。

- ・後述する 2040 年のマイルストーンで達成された全てのマイルストーン（A～F）
- ・個としての視座と全としての視座を往復する「調和性」を獲得し、教育・就労機会の提供や知識偏在の解消、貨幣経済に変わる新たな価値観の共創まで、あらゆる社会的・経済的構造を変革することができている ((I.3.2)目標達成の社会的意義)。

ただし、当該 MS 目標では、2050 年へ向けて私たちが選択する特定の理念や経緯を包含せず、その時代ごとに私たちが望む未来を選択できる基盤を提供する。

■2050 年の研究開発テーマ

- ・挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題(1)における A～F の全ての研究課題

2.2 2040 年の達成シーン

■2040 年のマイルストーン

2040 年の時点では、世界中の多くの国々で以下が達成されている。

- ・後述する 2030 年のマイルストーンで達成された全てのマイルストーン（A～F）
- ・全てのインターフェース利用者が、他者との相互作用の中で自己を更新しながら、自分の幸福のあり方を実現した人生を過ごすことができている（A1・D1）
- ・リアル空間、バーチャル空間のいずれにおいても、国籍を問わず、多様な媒体と表現により、多言語や文脈を相互理解したコミュニケーションができている（A2・B1・B2・B3）
- ・システムが提示する全ての選択について、ユーザが自律的に選択できている（D1・D2）
- ・合意形成システムが特定の組織内、規定された集団でなくても利用可能になり、明示的な問題解決の場面以外でも用いられている（E1・E2）

→形成すべき合意に対するステイクホルダーを選出して利用を提案できている

→暗黙的な意見であっても抽出できる次世代センシングネットワークが実現している

→利用者が 150 人を超える大規模な集団においても計算可能になっている

- ・インターフェースやシステムが幅広く普及する中で、集団に対して自律的な自己を維持できている（D1）

- ・ビックテックカンパニーを含む全ての既存の情報流通プラットフォームで、多様性の原理が導入され、フィルターバブルやエコーチェンバーの問題が解消している（D1・F1・F2）

■2040 年の研究開発テーマ（一例）

- ・後述する 2030 年の研究開発テーマの適用範囲や精度を発展させたもの（A～F）
- ・身体的・精神的充足の要因や作用にかかる脳の神経系のデータの取得と幸福に関する

脳機能の解明についての研究（A1）

- ・個人の脳信号と振る舞いのデータを安全かつ効率的に収集・モデル化し、人類共通のモデルと個性を理解する研究（A1）
- ・自らの振る舞いを他者の視点から推測（鏡像的自己の観察）するためのVR/ARのインターフェースの研究（A1）
- ・他者の振る舞いを学習したエージェントとコミュニケーションのシミュレーションができるシステムの研究（A2）
- ・その場に合わせて文脈などの概念をスタイルごと翻訳する学習モデルを構築し、様々な行間を補完して提示する研究（B1）
- ・ユーザが自律的に利用することができながらも、有害な情報に触れる前に補完・変換する技術の研究（B3）
- ・超音波エコー装置やナノロボットによる血流濃度計測などの新たな計測方式のBMIの研究（C1）
- ・BMIからのメディア生成においてアウトプットの意図しない誤作動を未然に防ぐセキュリティの研究（C2）
- ・プライバシーに関わるデータをユーザ側にのみ保存し、エッジAIで学習することができる分散協調型機械学習システムの研究（C2）
- ・社会における判断過程（マナー）のモデル化、個人情報保護に関する法規制に対応したシステムの研究（C2）
- ・エージェント・ベース・モデルによって意思決定のシミュレーションを行ない提示する研究（D1）
- ・集団の中での意思決定や意思決定が伝播することとその影響を追体験できるシステムの研究（D1）
- ・当該MS目標におけるシステム群の計算過程を明示的に出力・提示する研究（D2）
- ・複数のユーザが問題意識をもつ問題に関わるステイクホルダーを多様な情報源に基づき抽出する研究（E1）
- ・個人や集団の目的関数をモデル化し、超多変数の目的関数の直接的な最適化計算を行う研究（E1）
- ・人の脳の社会的な報酬系の仕組みを明らかにし、社会システムのデザインに役立てる研究（E1）
- ・ユーザの信頼性と追跡性が担保され、悪意のある意見の書き換えとそれらの伝播を検出する技術の研究（E2）
- ・量子コンピュータを含む計算機の発展に対応したシステムの実装方法の研究（E2）
- ・膨大な情報量の交換を助けるための情報圧縮・要約技術に関する研究（F1）
- ・発信者の情報に紐づいたブロックチェーンシステムで発信者や伝播の過程を明らかにすることができる技術の研究（F2）

2.3 2030 年の達成シーン

■2030 年のマイルストーン

2030 年の時点では、主には日本を含む先進諸国で以下が達成されている。

- ・自分の得意なことや好きなこと、自らの幸福のあり方を理解することができている (A1)
- ・自分の主観的な認識だけでは気付かない場面でも、苦しいときに必要な助けを求められ、鬱や自殺が予防される (A1)
- ・リアル空間におけるコミュニケーションで言葉や文脈の不理解が解消される (B1・B3)
- ・他者に共感する能力が高められ、家族やコミュニティ、所属する組織の中で相互理解と思いやりが実現している (A2・B2・B3)
- ・組織の内外での会議や営業、クリエイティブな意思疎通にかかる時間が短縮され、相互理解や業務効率が改善している (B1・C1・C2)
- ・スマートフォンなど広く普及したデバイスで、絵文字やスタンプに付随する新しいツールとしてアウトプットの技術が選択できるようになっている (C1・C2)
- ・レストランから病院までのあらゆるサービス提供者が、サービスを受ける者の希望や病状を理解したり、少ない労力でサービスを受ける者を不快にさせないように努められたりする (A2・B1・C1・C2)
- ・介護をする際、介護を受ける際に細やかな意思疎通ができたり、継続的に社会を関わることができたりしている (B1・B2・C1・C2)
- ・可視化された技術の影響などを認知して、技術に対して自律的な選択ができる (D2)
- ・特定の地方自治体やコミュニティの運営、特定の企業・組織内において合意形成システムが役立てられている (E1・E2)
 - 多くのステークホルダーを巻き込み、アイデアや資本、労働力を繋ぐことができる
 - パワーレスな意見も反映できるフェアな会議体によって意思決定、合意形成を行える
 - 本来なら失わずに済む過剰な競争による富の喪失を防ぐことができている
- ・新たに誕生する一般向けの情報流通プラットフォームでは、フィルターバブルやエコーチェンバーの問題が解消している (D1・F1)
- ・企業や教育機関等において、ダイバーシティへの配慮や異なる文化への理解を促進するツールとして情報流通プラットフォームが導入されている (F1・F2)

■2030 年の研究開発テーマ（一例）

- ・個人のパーソナリティや属性、能力に関するデータを効率的に収集・安全に管理し、心理的属性を分析・可視化・提示する研究 (A1)
- ・人の内的な状態と計測可能な身体特性や生体反応データなどに現れる情報を関連付けたデータを収集・分析する研究 (A1)
- ・短時間で擬似的に他者の人生を追体験できる、身体化を伴ったバーチャルリアリティ

の研究 (A2)

- ・体性感覚等の共有により他者の立場に立つことを可能にする身体共有の研究 (A2)
- ・日常的に他者とインタラクションする際の状態を提示し、コミュニケーション能力を高める技術の研究 (A2)
- ・各ユーザの背景にある情報を各デバイスやネットワーク上に安全かつ効率的に収集・保管する研究 (B1)
- ・目で見たり、耳で聞いたりした情報を、テキストを介して併せて提示する視覚・聴覚のセンシングの拡張の研究 (B2)
- ・表情やモーションの総合的なセンシングと認知しやすい形での分析・提示を行う Affective Computing の研究 (B2)
- ・人の感覚から運動に至るまでの認知過程を客観的に観測可能にする、身体と環境の関係の計測と定量化の研究 (B2)
- ・他者の認知過程を体験すること（認知ミラーリング）を可能にするインターフェースの研究 (B2)
- ・誹謗中傷や偏見、差別を含むバイアスを検出するためのデータの収集と分類、および検出の研究 (B3)
- ・外部給電・無線接続の小型チップを埋め込む侵襲型の BMI の研究 (C1)
- ・非侵襲型のパッチ式脳波計と侵襲型による計測データとのペアデータに基づく機械学習モデルの構築に関する研究 (C1)
- ・映像・音声・触覚を含む五感を活用したマルチモーダルなメディアをインタラクティブに生成する研究 (C2)
- ・分散型の学習や動作 (C1～C2) を可能にするエッジ AI、エッジコンピューティングなどの研究 (C2)
- ・集団における自己や他者のアイデンティティや相対的位置を抽出して提示する研究 (D1)
- ・他者や異なる集団への社会的バイアスを検出した上で、対比的に提示するようなトレーニング技術の研究 (D1)
- ・様々なシステムにおいて、オプトイン・オプトアウトが選択できることを支援する技術の研究 (D2)
- ・オプトイン・オプトアウトを煩雑になることなく使用することができるユーザビリティの研究 (D2)
- ・複合的センシングシステム、材料・デバイス、ユビキタスコンピューティング、Wi-Fi、5G・6G 通信を組み合わせたセンシングネットワークの研究 (E1)
- ・センシングされた多様な情報源からユーザの意見を抽出するシステムの研究 (E1)
- ・目的関数に基づいて振る舞うエージェント・ベース・モデルによる合意形成支援の研究、公平分割理論システムの研究 (E1)

- ・計算可能な合意形成システムの数理モデルの検討、集団の規模の可変化、合意形成システムの近似などの研究（E2）
- ・マルチモーダルな情報に基づいたネットワークの分散表現、社会ネットワーク構造の情報を活用した情報流通の制御やマッチングの研究（F1）
- ・意見を可視化したり、共通する部分と異なる部分を抽象化して提示したりすることで、歩み寄りを支援する技術の研究（F1）
- ・ユーザの故意や過失の違いを正しく認識したうえで、集団における悪意のある情報を検出・遮断して伝播を抑える技術の研究（F2）

2.4 マイルストーンの達成が社会にもたらす効果

ここでは、前述した 2030 年から 2050 年にかけてのマイルストーンの達成が社会にもたらす波及効果について述べる。

2030 年のマイルストーンでは多様な社会・経済的影響について検討したが、ここでは特に鬱と自殺の予防がなされていること、企業を含む組織において業務を遂行するために必要な意思疎通の時間が短縮されることによる、業務改善が見込まれることに注目して、日本経済への波及効果を推計する。

鬱の予防については、どの年代においても自殺者の約 53%が鬱であると推計されていることから [50]、鬱の予防のみでも自殺の約半数を予防することができるとする。その場合、2030 年における鬱による自殺がもたらす社会経済的損失を推計すると、約 1.3 兆円～2.1 兆円となる [51]。仮に当該 MS 目標の技術により鬱が緩和され、鬱による自殺者の数が半減する効果が得られるのであれば、この社会経済的損失も半減することが期待される。

また、労働生産性が経済協力開発機構（Organization for Economic Co-operation and Development; OECD）諸国と比較しても低い日本においては、意思疎通にかかる業務時間の短縮の効果だけでも大きな意義がある。多様な人材間のクリエイティブな意思疎通が促進されると、少なくとも 1～3% の収益の向上を見込むことができるとされる [52]。したがって、ダイバーシティや異文化への理解を促進する技術により、3 兆～8.5 兆円の波及効果が得られる可能性がある。

これらの六つの技術が社会・経済に組み込まれていくにつれて、2050 年にかけて企業における付加価値がさらに向上することが期待できる。日本総研のダイバーシティに関する ESG 評価の推計によると、2030 年から引き続きダイバーシティへの配慮や相互理解などが進み、付加価値創出の機会を捉えられることで付加価値が 8～15% 向上すると考えられる。日本の 2016 年の付加価値額の合計は 289 兆 5355 億円であり [53]、2020 年の推計を約 331 兆円とすると、2020 年の推計額に付加価値の向上が見込めるだけでも約 26～49 兆円の民間セクターでの付加価値が創出される（社会インパクト評価で適用される割引率 15% を適用しても 22～42 兆円と推計される）。

ただし、調和性を獲得した 2050 年の私たちが、現在の貨幣経済を脱却している可能性も考慮する必要がある（I 章（3.3）目標達成の社会的意義）。あるいは、部分的に異なる経済システムを採用している可能性もあり、経済波及効果を金額で推計することは妥当ではない可能性すらある。あくまで一例として、六つの技術がなくしては経済活動や日常生活が成立しない、電力や水道のようなインフラに相当するような経済インフラとして組み込まれたことを想定して概算を行う。水道インフラに相当する経済・産業的な効果を持つと仮定して概算すると、少なくとも 300 兆円程度の経済・産業波及効果を想定することができる [54]。これは経済インフラ上でさらに生み出される経済効果を含まない中での推計である。

3. International cooperation

（目標達成に向けた国際連携の在り方）

当該 MS 目標を達成するためには、当該 MS 目標の社会像を理解し、ビジョンを共有する国内外の研究者（イノベーター）による研究開発のリードが何よりも重要である。ただし、研究開発の国内外の動向でも述べたように、当該 MS 目標は日本が強みをもっている分野だけで全てが構成されているわけではない。したがって、世界中の研究者が自ら興味を持って参画してもらうことが必要になる。世界中に要素技術の種が存在しながらも、それらを統合的に捉えることのできるビジョンがなかったということを鑑み、まだかつて世界になかったビジョンを策定・実行していくことを通じて共同研究の可能性を拡げていくことが期待される。

第一に、国内外の研究者が部分的なエフォートを割いて研究に取り組むのみならず、世界中から若手 PI の公募を行い、当該 MS 目標にかかる研究機関やセンターを創設することによって高い研究開発能力を確保するべきである。世界からの研究者の参画や、共同研究がしやすい枠組みの構築に当たっては、2025 年に開催される日本国際博覧会（大阪・関西万博）での中間研究成果の発信や、さまざまな国際会議での発表を通じて世界からの参画を促していくことが考えられる。共同研究を促すより具体的な方策としては、海外研究者のサバティカルイヤー（研究休暇、在外研究）中の国内大学への滞在の誘致や、学生や若手の世代に向けた国内でのサマースクール開催なども重要である。

また、共同研究等のみならず国際連携は必要である。例えば、インターネットの利活用は可処分時間の奪い合い、その前提となる個別最適化とフィルターバブルの構成につながりかねない。これは根源的には資本主義社会における広告の表示時間の最大化や、購買意欲の向上を図る上でやむをえないが、このような課題に対応するため、世界中の主要プラットフォームと連携しながら、るべき社会の姿を策定していくことが必要である。国際連合や世界経済フォーラムなどと連携しながら、SDGs に相当するような調和性に関する目標設定を目指すことも考えられる。

4. Interdisciplinary cooperation

(目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携の在り方)

当該 MS 目標の達成に向けてはこれまでに述べたような多様な観点からの取り組みが必要である。特に、産学官民が一体となって主宰するコンソーシアムの提案、包括的な宣言やルール、ビジョンを提唱するための枠組みの設定、多様な分野にまたがる要素技術をつなぐムーンショット型研究開発事業としてのプログラムの構築について紹介する。

まず、研究開発の推進を持つ学術界および産業界の全てのステイクホルダーには、その技術がもたらしうる社会実装のあり方について十分な検討が求められる。ユーザ自身も、自らがどのような社会に生きたいと思うのか、最先端の技術を知るとともに主体的に未来を選択する権利を有している。そして、それらの社会実装を促すルール等は、技術の発展を見越して立法、司法、行政機関が慎重かつ十分に検討・対応していくことが望ましい。これらのステイクホルダーによって非営利なコンソーシアムを構成し、後述の目標達成に向けて取り組むうえでの倫理的・法的・社会的課題およびその解決策を実行する主体的な役割を担う。また、常に更新される社会課題に対して適切に向き合い、研究開発の方向性を日々修正していくべきである。

また、前述の通り、当該 MS 目標が包含する技術は様々な業界に適応可能であり、教育、医療、メディア、情報通信、ソーシャルネットワーキングサービスなどの業界と共創可能な関係を保つべきである。革新的なイノベーションによって業界を破壊すること、スタートアップの創出によって新たな業界を席巻することを目指すのではなく、全ての業界・企業が当該 MS 目標の技術的な方向性、創出されたイノベーションを主体的に社会実装していくことが望ましいと考える。したがって、ビッグテックカンパニーや大手ベンダーからスタートアップまで、産業界のステイクホルダーに対して中立的なコンソーシアムを（場合によっては複数）提供することが重要である。

これらのコンソーシアムなどの取り組みに加えて、公的セクターからの支援も不可欠である。研究開発の後追いではなく、最先端の研究開発と並走しながら既存の制度との整合性を検討し、規制改革を遂行していくことが必要である。それらの過程では研究者にも、研究会や審議会を通じた政治へのアプローチや、コンソーシアムでの幅広い検討を通じて明らかにしていくことが期待される。それ単体では利益を生み出すことが難しいが、社会実装のあり方を明らかにするために不可欠なプルーフオブコンセプトやリビングラボなどの取り組みについても、公的セクターからの資金的・制度的支援が必要である。

最後に、知能処理やセンシング、インターフェースから心理と社会性に至るまで、多様な分野にまたがる要素技術を一つの研究開発目標のもとに集結させるためには、ムーンショット型研究開発事業だからこそ可能なプログラムの構築が求められる。多様な分野にまたがる技術をムーンショット型研究開発事業の名の下で「統合」するわけではなく、「総合」的な知的基盤の形成を行なっていく。そのような多様な分野を跨ぐ研究開発のあり方についてはその他の項でも述べているが、「調和性」の発見と実装という概念を明らかにし、前

述のコンソーシアムなどを通じて広く研究者の注目を集めながら、当該 MS 目標の実現に向けて取り組んでいく必要がある。

5. ELSI (Ethical, Legal, Social Issues)

(目標達成に向けて取り組むうえでの倫理・法的・社会的課題及びその解決策)

倫理・法的課題を含む社会的課題について、対人関係のレベルにおける「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」と、集団のレベルにおける「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」のそれぞれについて述べる。ここでは俯瞰と解決策について整理し、取り組みの詳細は「当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組み」の項において紹介する。

対人関係のレベル「自己と他者の相互作用を支援するインターフェース」

A. 自己認知と共感能力

- 自己認知や共感能力を深める技術の使用場面や教育への導入についての検討
- 個人情報の収集と分析結果の提示による人権侵害の恐れについての検討

B. 他者からの情報のインプット（情報補完）

- 技術が高価なツールとして普及した場合の格差拡大の可能性についての検討
- 情報の受け手が見たくないものを拒むことができる権利の検討
- 伝えたい自分と相手が知りたい自分との不一致が生じる危険性の検討

C. 他者への情報のアウトプット（思考転写）

- アウトプットされるメディアを制御することができる能力についての検討
- アウトプットされるメディアに対して負う責任についての検討

集団のレベル「集団の多様性ある自己組織化を支援するシステム」

D. 集団における自律的な自己

- 様々なシステムに対するユーザの選択権が煩雑になることについての検討と対策
- 集団に対する個人の自律性を支援する技術の使用場面に関する検討

E. 集団としての合意形成

- 合意形成システムの主体的な普及を実現する「キラーアプリ」設計の検討
- 合意形成に参加する意思と個人データのセンシングとの間のギャップの検討
- 合意形成システムへの参加に対して同調圧力や強制力が働きかねないことへの対策
- 民主主義を前提とする各国の諸制度と相容れない結果をシステムが出力しかねない問題への対策

F. 集団への融和と多様性

- 融和の中でパーソナリティやアイデンティティを保つことについての議論と検討
- 多様性のある融和のシステムを普及させる方策についての検討

倫理的・法的・社会的課題については、以上のように俯瞰される。ここでは、これらに対する社会全体の取り組みや解決策を整理する。

対人関係のレベルにおいては、インターフェースの使用に係る権利と責任についての法的対策、インターフェースの使用場面に関する検討・インターフェースの普及に伴う理解・表現能力の減退に関する対策、インターフェースの使用機会の平等化に関する対策が必要になる。

インターフェースの使用に当たっては、自らの内心や内面にかかる情報をセンシングし、分析することから、内心の自由を萎縮させてしまう可能性があり、憲法学的観点からも検討を続ける必要がある。また、アウトプットで相手に伝えたい自分の情報と、インプットで相手が知りたい自分の情報が競合するような場面における権利のあり方と、実際のルールおよび技術的対応も詳細に検討する必要がある。責任については、機密や誹謗中傷など、意図しないアウトプットがなされた場合の責任についての法的な検討と法整備が必要になる。

また、インプットとアウトプットを支援するインターフェースが普及するに伴い、それらの技術を駆使して複雑な思考を表現する能力、相手の情報を適切に受信しながら理解する能力が、ユーザの特性や世代によっては減衰してしまう可能性がある。インターフェースの使用場面については、慎重に検討しながら社会実装を進めていくことが重要である。このような中長期的な影響についても検討と対策、場合によっては教育における対策を進めていく必要がある。このようなインターフェースの使用機会については、デバイスが高価であるために普及機会にはらつきが生じる可能性、それがコミュニケーション・交渉能力に関わることで格差の拡大に繋がってしまう可能性を検討し、産官によってルールを検討していく必要がある。

集団のレベルにおいては、個人のデータとプライバシーに関する使用場面に関する検討と対策、利便性と自律性のバランスに関する検討と対策、主体的かつ任意な使用を推奨する中でのキラーアプリの提案、同調圧力の回避に関する対策が必要になる。

集団に対する自律的な自己を支援するシステムについて、自己や他者のアイデンティティを捉えるためには個人のデータを活用することになる。このデータの収集や活用に係るプライバシーへの対策やインフォームドコンセントを徹底する必要がある。

また、技術に対する自律的な自己を担保するために、システムの利用に際して第二・第三の選択肢を提案するように設計した場合、選択が煩雑になって利便性を大きく損なう可能

性がある。また、ナッジ的に一律に選択性を与えることは強制的に選択を支援することでかえって自律性を奪うことになると考えることもでき、これらのシステムの社会実装のあり方については検討を続け、対策を講じる必要である。当該 MS 目標が創るユーザの自律性を叶える技術は、内閣府による「人間中心の AI 社会原則」や国際会議による「アシロマ AI 二十三原則」のような人工知能の研究開発に関する原則を検証・更新・発展するものとなることが期待される。

合意形成や多様性がある融和システムの社会実装の前提として、ユーザの主体的かつ任意な使用を推奨するということが挙げられる。そのような前提では、誰もが使いたくなる世界的なキラーアプリまたはそのようなインセンティブをどのように設計するのかが鍵となり、学術界と産業界の連携のみならず、産学官民での幅広い検討と提唱が必要になる。融和については、職場から教育までの場面でどの程度導入を支援することができるのかも検討の余地がある。

ただし、合意形成システムがその集団にとって有益な提案をする傾向があるからといって、個人に対して合意形成への参加を強制する同調圧力は回避しなければならない。したがって、それに対する多様な対策と、場合によっては自治体・国家レベルでの宣言が必要になる。併せて、立法・司法・行政機関による諸制度との対応は常に議論していくことが重要である。

「自己認知と共感能力」と「集団における自律的な自己」については、個人という主体の内面に係る情報をセンシングしたり、働きかけたりする可能性があることから、産学官民の多様なステイクホルダーによって構成されるコンソーシアムで慎重に議論を進める必要がある。当該 MS 目標が掲げる研究開発に限らず、私たちの内面に働きかける可能性のある技術は存在し、従前のようにそれらの技術を追いかけるように倫理・法的・社会的対応を行うのではなく、コンソーシアムに参画するような未来志向を有するステイクホルダーたちにより、技術の実現に先立って上記の検討と対応を行うことこそが重要となる。

IV. Conclusion (結論)

1. 結論

当チームでは「人類の調和」が実現された 2050 年の社会像を鮮明化し、どのような研究開発と社会実装によりその社会像が実現され得るのかについて調査研究を実施した。国内外の技術的・社会的動向を分析しながら、2050 年の社会像の鮮明化と科学技術的・社会的課題の抽出、およびそれらに基づく研究開発や目標の策定に取り組んできた。

後述の調査研究プロセスにより、対人関係において互いの個性や能力を尊重しながら、他者の幸福を毀損せず理解し合うこと、集団において価値観を共創し、公正な資源の分配ができる状態が実現可能であると結論づけた。それは、2050 年には自己と他者の相互作用を支援するインターフェースによって、自己の認知を深め、思考や感情のような深いレベルでの相互理解が実現しているからであり、集団の多様性ある自己組織化を支援するシステムによって、自律的な自己を保ちながらも多様性のある融和、価値観の共創が実現しているからである。

具体的には、知能処理やセンシング、インターフェース、心理と社会性を含む多様な分野における「調和性」の発見と実装によって、(A) 自己認知と共感能力、(B) 他者からの情報のインプット（情報補完）、(C) 他者への情報のアウトプット（思考転写）、(D) 集団における自律的な自己、(E) 集団としての合意形成、(F) 集団への融和と多様性の科学技術の研究開発と社会実装が可能になることを調査研究によって明らかにした。これらの研究開発の中核分野では日本が存在感を發揮しており、研究開発を主導できると考えられる。

上記を経て提案するムーンショット目標により、私たちは「個」としての視座と「全」としての視座を往復すること、すなわち「調和性」を獲得することが可能になる。調和性を獲得した私たちは、あらゆる未来の可能性を主体的に選択し続けることができる。その先に、私たちは「2050 年までに、誰もが自律的な個人としての幸福を感じながらも、人類という集団としても調和に満ちた社会を実現」することができると結論する。

2. 本調査研究のプロセス

本調査研究は、ムーンショット型研究開発事業「新たな目標検討のためのビジョン策定（ミレニア・プログラム）」に採択された、科学技術による「人類の調和」検討チームによって実施・策定された。当該検討チームは、2050 年をつくり、2100 年を生きる世代を中心として構成し、ジェンダー・多様な分野・アイデンティティ、産学官民の視点を広く反映した立場を担保しながら調査研究を実施した。以下ではその検討の経緯を記す。

2.1 2050 年ビジョン検討会

調査研究においてはチームリーダー、サブリーダーを中心に、人工知能、バーチャルリアリティ、複雑系科学、芸術、法学、サイエンスフィクションなど様々な分野のメンバーによる検討チームを編成した。研究者のみならず、起業家や芸術家までも含んだダイバーシティに富んだメンバーによる検討を実施するとともに、社会像の鮮明化にあたっては SF 作家との共創を、研究開発テーマや動向、実現可能性の検討に当たっては 100 人の学識者・有識者との議論を通じて明らかにしてきた。この検討は「2050 年ビジョン検討会」として毎週月曜日の 19 時～20 時を目安に開催した。

【出席者】

佐久間 洋司	東京大学 大学院総合文化研究科 修士課程 大阪大学 グローバルイニシアティブ機構 招へい研究員
井上 昂治	京都大学 大学院情報学研究科 助教
加藤 直人	クラスター株式会社 代表取締役
小松 詩織	最高裁判所司法研修所第 74 期司法修習生
スクリプカリウ落合 安奈	東京藝術大学 大学院美術研究科 博士後期課程
溝口 力丸	株式会社早川書房 SF マガジン編集部

当該 MS 目標の達成が社会にもたらす社会・経済的波及効果の検討とその算出にあたっては、渡辺 珠子（株式会社 日本総合研究所 創発戦略センター スペシャリスト）に多大に協力いただいた。ウェブサイトを通じたインタラクティブな意見の収集と反映の取り組みについては、株式会社ソニックジャムに制作いただいた。ミレニア・プログラムへの当該 MS 目標の提案にあたっては、志村 侑紀（株式会社 Empath Chief Growth Officer）、矢嶋 花菜（トロント大学 公共政策・情報学・近代都市開発専攻 学部学生）に協力いただいた。

2.2 サイエンスフィクション実現構想

サイエンスフィクション実現構想においては、SF 作家の柴田勝家氏、津久井五月氏に参画を依頼した。本調査研究を通じて明らかにしたい 2050 年の社会像について、想定する達成シーンや研究開発を伝え、SF プロットを執筆いただいた。断片的な達成シーンや科学技術のアイデアだけでは、一貫性を持ったストーリーラインを描くことができず、また主体的な視点で科学技術的・社会的課題を捉えることができない。そのため、SF 作家の参画によって鮮明化された SF プロットを議論の種として 2050 年ビジョン検討会を開催するとともに、学識者・有識者 100 人ヒアリングを実施した。自らが SF プロットの登場人物であるつもりで主体的に議論に参加することで、本調査研究における社会像の鮮明化と科学技術的・社会的課題の抽出を具体的なレベルで行うことが可能になった。

さらに、調査研究の中間成果物は両氏に隨時共有することにより、SF プロットから SF 小説として執筆を進める過程に調査研究の内容を反映していただいた。このような調査研究報告書と SF 小説の共創関係は、検討チームが生み出した新しい形の SF プロトタイピングであるとも言える [55]。

柴田勝家氏によって執筆された掌編小説『運命予報』は、高度なセンシングと量子コンピュータによる予測・最適化によって、人々が互いにスムーズに生きることができる運命予報が届くようになった未来での人々の物語を複数描いたものである。不幸な運命を変えようと予報を変えるボーイミーツガール、自らの人気を疑いつつ予報に抗うアーティスト、予報を俯瞰して受け入れることで勝負の楽しみを見出す棋士の物語が含まれる。それらの掌編小説からのフィードバックについて一例を挙げると、届いた予報によって人々の振る舞いが変わることによって再計算が発生するとカオスになってしまうという科学技術的課題や、予報に従うことでの幸福になれる場合に多くの人が自律性を手放してしまう危険性についての問題意識が挙げられる。達成シーンを検討する際の参考となっただけでなく、「集団における自律的な自己」を当該ムーンショット目標に追加するきっかけにもなった。

一方、津久井五月氏によって執筆された短編小説『環の平和』は、當時接続型のテレパシー技術が脳内に埋め込まれた実験対象の子どもたちが成人していく過程を描いたものである。油断すると思いがけない思考までが伝わってしまうことによる登場人物たちの苦しみと、世界各国に散らばった実験対象の登場人物らが実際には隠していた秘密、それが成人して働くなかで一つの紛争を防ぐにまで至るストーリーが表現されている。ここでは、簡易的なテレパシーであれば、スマートフォンやインターネットによって既に実現しているのではないかという示唆から、當時接続と抽象的な情報伝達という思考実験を試みていただいた。同作を通じて社会的課題が多く導かれたほか、科学技術だけではなく最後には理想を互いに共有することが重要であることがフィードバックされた。これにより、使い手の内面に触れる「自己認知と共感能力」を当該ムーンショット目標に追加したほか、哲学的・倫理的な側面からも調査研究を進めるきっかけとなった。

また、それぞれの小説において、柴田氏が取り組んだ合意形成や融和のシステムは対人関係、津久井氏が取り組んだテレパシーは集団をテーマとして執筆いただいた。これは検討チームが想定していた、集団における合意形成や融和のシステム、対人関係におけるテレパシーのインターフェースという想定する使用場面とは逆のものであった。このように逆の使用場面において物語を展開してもらったことにより、対人関係と集団は独立したレベルではなく、対人関係と集団のレベルが折り重なるところに身体性を持った「個人という主体」があるという当該ムーンショット目標候補全体の核となる項目の着想を得た。以上の通り、本調査研究における学識者・有識者 100 人ヒアリングを進める際の重要なヒントやきっかけの多くをサイエンスフィクション実現構想が与えたとともに、ヒアリング等の調査研究結果は執筆へのフィードバックや作品の再解釈・検討にも役立ったという共創関係を実現することができた。

国内外のSF作家によって100年後の世界を予測する会議の中では、無理解や疑惑、敵対を解決するためのテレパシーのような相互理解を支援する技術や、オンラインで常時接続している社会が議論に挙げられたことがある。成熟した社会では、集団で努力をすることに理解を示せるようになることを念頭においているといい、これらの社会像とそれに対する課題意識の議論は本調査研究によって取り組んできた科学技術と社会実装のビジョンとも整合している[56]。

2.3 学識者・有識者100人ヒアリング

本調査研究報告書の策定にあたって、社会像の実現可能性、研究開発やその動向などについて広く意見を収集するため、各分野についての専門的な知見や経験を持つ学識者・有識者100人以上にヒアリングを実施した(50音順、所属はヒアリング実施時のもの)。チームリーダーは全てのヒアリングに、サブリーダーもほぼ全てのヒアリングに出席し、並列に同じ質問項目で調査を行うのではなく、ヒアリングごとに調査研究の内容を更新しながら直列的な調査を実施した。

学術界においては、理工系、情報系研究者を中心としながらも、人文社会学を含む多様な分野の研究者にヒアリングを実施した。ノーベル賞受賞者や大学総長・学長経験者を複数含む、大学や国立研究所で数十年以上にわたり研究開発に従事してきたベテラン研究者から、現在の研究開発を自らの手で推進する若手研究者まで幅広く世代からの意見を伺った。産業界においては、大手通信会社、メーカー(電機、分析・計測、空調機、電機電子部品、半導体、化学製品ほか)、総合建設会社、広告代理店、総合商社、教育・出版企業など幅広い業界から、代表取締役経験者を複数含む多くの経営者に主に社会実装についてのヒアリングを実施した。

相澤 彰子	国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授・副所長
青野 史寛	ソフトバンク株式会社 専務執行役員、最高人事責任者
浅田 稔	大阪国際工科専門職大学 副学長、大阪大学 先導的学際研究機構 共生知能システム研究センター 特任教授(名誉教授)
天野 浩	名古屋大学 未来材料・システム研究所 附属未来エレクトロニクス集積研究センター 教授
五十嵐 歩美	国立情報学研究所 情報学プリンシブル研究系 助教
池上 高志	東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 教授
諫山 滋	三井化学株式会社 常勤監査役
石黒 浩	大阪大学 大学院基礎工学研究科 システム創成専攻 教授(名誉教授)、 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 客員所長
石田 亨	早稲田大学 理工学術院 教授
伊藤 貴之	お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科・理学部情報科学科 教授、文理融合AI・データサイエンスセンター センター長

伊藤 孝行	京都大学 大学院情報学研究科 社会情報学専攻 教授
稻見 昌彦	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
宇佐見 典正	KDDI 株式会社 経営戦略本部副本部長（関西総支社長）
牛久 祥孝	オムロン サイニックス株式会社 Principal Investigator 株式会社 Ridge-i 取締役 Chief Research Officer
ウスピ・サコ	京都精華大学 学長・人文学部 教授
江間 有沙	東京大学 未来ビジョン研究センター 准教授
大川 昌男	株式会社堀場製作所 常務取締役
大澤 博隆	筑波大学 システム情報系 助教
太田 博樹	東京大学 大学院理学系研究科 教授
岡 瑞起	筑波大学 システム情報系 准教授
岡田 美智男	豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 教授、 人間・ロボット共生リサーチセンター長
押切 正浩	パナソニック株式会社 イノベーション戦略室 技術渉外部 担当部長
海部 陽介	東京大学総合研究博物館 教授
覧 康明	東京大学 大学院情報学環・学際情報学府 准教授
梶丸 岳	京都大学 大学院人間・環境学研究科 共生文明学専攻 助教
桂井 麻里衣	同志社大学 理工学部 インテリジェント情報工学科 准教授
神里 達博	千葉大学 大学院国際学術研究院 教授
神谷 之康	京都大学 大学院情報学研究科 知能情報学専攻 教授、 ATR 脳情報研究所 客員室長 (ATR フェロー)
河原 克己	ダイキン工業株式会社 執行役員 テクノロジー・イノベーションセンター 副センター長
川原 圭博	東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻 教授
喜多 千草	京都大学 大学院文学研究科 教授
北川 勝浩	大阪大学 大学院基礎工学研究科 システム創成専攻 教授
清田 陽司	株式会社 LIFULL AI 戦略室 主席研究員、 株式会社メディンプル 代表取締役
九津見 洋	パナソニック株式会社 テクノロジー本部 デジタル・AI 技術センター 所長
隈 研吾	隈研吾建築都市設計事務所、東京大学特別教授・名誉教授
紺野 大地	東京大学 大学院薬学系研究科 薬品作用学教室 外部研究生
斎藤 康弘	公益社団法人 2025 年日本国際博覧会協会 企画局 審議役
三枝 亮	神奈川工科大学 創造工学部 ロボット・メカトロニクス学科 准教授
榎 剛史	株式会社ホットリンク 開発本部 R&D 部長、 東京大学 未来ビジョン研究センター 客員研究員

佐山 弘樹	ニューヨーク州立大学ビンガムトン校 システム科学・産業工学科教授、複雑系集団動態学研究センター長
宍戸 常寿	東京大学 大学院法学政治学研究科 教授
島田 敬士	九州大学 大学院システム情報科学研究院 教授
白松 俊	名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻情報工学系プログラム 教授
杉山 将	理化学研究所 革新知能統合研究センター センター長、東京大学 大学院新領域創成科学研究院 複理工学専攻 教授
スプツニ子！	東京藝術大学 大学院美術研究科デザイン専攻 准教授
閔 総一郎	公益社団法人 関西経済連合会 専務理事
関谷 毅	大阪大学 産業科学研究所 教授（総長補佐・荣誉称号）
高津 尚志	IMD 北東アジア代表
高野 雅典	株式会社サイバーエージェント 技術本部 データマイニングエンジニア
高橋 利枝	早稲田大学 文学学術院 文化構想学部 教授
高橋 英之	大阪大学 大学院基礎工学研究科 特任准教授
辰巳砂 昌弘	大阪府立大学 学長、大学院工学研究科 物質・化学系専攻 応用化学分野 教授（荣誉称号）
谷口 忠大	立命館大学 情報理工学部 教授
玉城 絵美	琉球大学工学部 知能情報コース 教授
土屋 由香	京都大学 大学院人間・環境学研究科 教授
出口 康夫	京都大学 大学院文学研究科 教授
土井 美和子	奈良先端科学技術大学院大学 理事、情報通信研究機構 監事
銅谷 賢治	沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット 教授
ドミニク・チェン	早稲田大学 文学学術院 文化構想学部 准教授
鳥海 不二夫	東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授
豊田 啓介	建築家、noiz パートナー、gluon パートナー、 東京大学 生産技術研究所 客員教授
長井 志江	東京大学 国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構 特任教授
中尾 類	パナソニック株式会社 アプライアンス社 常務、 カンパニー戦略本部人事戦略センター所長
仲川 彰一	京セラ株式会社 執行役員 研究開発本部長
永田 曜彦	株式会社ユーグレナ 取締役副社長、リアルテックファンド 代表
中野 有紀子	成蹊大学 理工学部 情報科学科 教授
中村 泰	理化学研究所 情報統合本部ガーディアンロボットプロジェクト チームリーダー、大阪大学大学院基礎工学研究科 招へい教授
永吉 希久子	東京大学 社会科学研究所 比較現代社会部門 准教授

鳴海 拓志	東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授
西尾 理志	東京工業大学 工学院 准教授
西田 真也	京都大学 大学院情報学研究科 知能情報学専攻 教授
西田 豊明	福知山公立大学 教授
西本 伸志	大阪大学 大学院生命機能研究科 教授
芳賀 道匡	静岡福祉大学 社会福祉学部 福祉心理学科 講師
萩田 紀博	大阪芸術大学 アートサイエンス学科 教授・学科長、 国際電気通信基礎技術研究所 萩田紀博特別研究所 所長
畠中 章宏	民俗学者
土方 嘉徳	関西学院大学 商学部 教授
平田 雅之	大阪大学 大学院医学系研究科 特任教授（常勤）、 国際医工情報センター 特任教授
福島 俊一	国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
藤井 光	美術家・映画監督
藤川 敏行	株式会社竹中工務店 開発計画本部 部長
藤川 博章	株式会社博報堂 執行役員（関西支社長）
古田 克哉	三菱電機株式会社 常務執行役営業本部長
廣瀬 茂夫	一般社団法人関西経済同友会 事務局長
ホーランド マシュー ジェームズ	大阪大学 産業科学研究所 助教
増田 豊	名古屋大学 大学院情報学研究科附属組込みシステム研究センター 助教
的場 一成	株式会社ベネッセホールディングス 執行役員、 校外学習カンパニー指導開発セクター長
水口 哲也	米国法人エンハンス代表、シナスタジアラボ主宰
水野 貴之	慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科 特任教授
宮田 裕章	国立情報学研究所 情報社会相関研究系 准教授
本村 陽一	慶應義塾大学 医学部 教授
本村 陽一	産業技術総合研究所 人工知能研究センター 首席研究員、 確率モデリング研究チーム長
山際 邦明	豊田通商株式会社 シニアエグゼクティブアドバイザー
山極 壽一	総合地球環境学研究所 所長、京都大学前総長
山口 真美	中央大学 文学部 教授
山田 誠二	国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授
山中 伸弥	京都大学 iPS 細胞研究所 所長
山本 龍彦	慶應義塾大学 法務研究科（法科大学院） 教授
湯田 恵美	東北大学 東北大学データ駆動科学・AI教育研究センター 助教
吉田 壮	関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科 助教

吉田 光男 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 助教
吉村 有司 東京大学 先端科学技術研究センター 特任准教授
米谷 竜 オムロンサイニックス株式会社
プリンシパルインベスティゲーター
若宮 翔子 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 情報科学領域 准教授

2.4 シンポジウム・ワークショップ等

本調査研究報告書の策定にあたっては、下記の通りシンポジウムやワークショップを主催・共催したほか、経済団体や新聞社等の主催する会議やシンポジウム、2025年日本国際博覧会にかかるセミナー、大手企業等でも講演を行い、参加者との詳細な議論を通じてフィードバックを受けた。

また、ウルトラダイバーシティ社会実現チーム（チームリーダー：岡田 志麻）が第60回日本生体医工学会大会で主催したシンポジウム「知人・知面・知心 分野を越えた融合研究による Human-well being を支える技術」でも発表を行った。

■未来思考学会 佐久間我塾

「Turning Fiction into Reality: Harmony」

【開催日時】2021年3月21日（日）14時～17時

【開催場所】Zoomによるオンライン開催

【出席者・人数】大学教員、学生等・約20名

■中学生・高校生 対象プログラム

SpringX 超学校×ムーンショット型研究開発事業 ミレニア・プログラム

科学技術による「人類の調和」検討チーム

「Z世代の研究者と一緒に2050年の社会を考えよう！」

【開催日時】2021年5月29日（土）15時～17時

【開催場所】Zoomによるオンライン開催

【出席者・人数】中学生、高校生・約30名

■トビタテ！留学 JAPAN 学習プラットフォーム

「100人の専門家と創る2050年の予言」

【開催日時】2021年6月15日（火）19時30分～21時30分

【開催場所】Zoomによるオンライン開催

【出席者・人数】トビタテ！留学 JAPAN 奨学生・約70名

■オンラインプレスセミナー

2050 年の社会像を SF で可視化し科学技術で実現させる Z 世代の挑戦

『人類の調和』の実現に向けた調査研究発表

【開催日時】2021 年 6 月 18 日（金）11 時 30 分～12 時 30 分

【開催場所】Zoom によるオンライン開催

【出席者・人数】報道関係者・約 20 名

■ムーンショット型研究開発事業 ミレニア・プログラム×ナレッジキャピタル

若き研究者たちが描く 2050 年へのロードマップ

科学技術による「人類の調和」シンポジウム

【開催日時】2021 年 6 月 26 日 19 時～21 時

【開催場所】YouTube Live によるオンライン開催

【出席者・人数】一般・約 500 名

V. References (参考文献)

- [1] 西田幾多郎, 西田幾多郎論文選 意識と意志, 書肆心水, 2012.
- [2] 戸田山和久, 唐沢かおり, 橋本剛明, 鈴木貴之, 渡辺匠, 太田紘史, 遠藤由美, 島村修平, 〈概念工学〉宣言! 哲学×心理学による知のエンジニアリング, 名古屋大学出版会, 2019.
- [3] 金子邦彦, 生命とは何か 第2版, 東京大学出版会, 2009.
- [4] 清水博, 〈いのち〉の自己組織 共に生きていく原理に向かって, 東京大学出版会, 2016.
- [5] 深田博己, インターパーソナル・コミュニケーション 対人コミュニケーションの心理学, 北大路書房, 1998.
- [6] 唐沢かおり, 社会的認知 現状と展望, ナカニシヤ出版, 2020.
- [7] ラファエル・A・カルヴォ, ドリアン・ピーターズ, ウェルビーイングの設計論 人がよりよく生きるために情報技術, ビー・エヌ・エヌ新社, 2017.
- [8] ジェレミー・ペイレンソン, VRは脳をどう変えるか? 仮想現実の心理学, 文藝春秋, 2018.
- [9] 長井志江, "認知ミラーリング—認知過程の自己理解と社会的共有による発達障害者支援," 生体の科学, vol. 69, no. 1, pp. 63-67, 2018.
- [10] 横幹 〈知の統合〉シリーズ編集委員会, 社会シミュレーション 世界を「見える化」する, 東京電機大学出版局, 2017.
- [11] ニコラス・クリスタキス, ブループリント 「よい未来」を築くための進化論と人類史, ニューズピックス, 2020.
- [12] 岡嶋裕史, 思考からの逃走, 日経BP 日本経済新聞出版本部, 2021.
- [13] 楊保華, 陳昌, ブロックチェーン 理論と実践, マイナビ出版, 2021.
- [14] 鳥海不二夫, 計算社会科学入門, 丸善出版, 2021.
- [15] ロイス・ローリー, ギヴァー 記憶を注ぐ者, 新評論, 2010.
- [16] オルダス・ハクスリー, すばらしい新世界〔新訳版〕, 早川書房, 2017.
- [17] アーサー・C・クラーク, 幼年期の終り, 早川書房, 1979.
- [18] 伊藤計画, ハーモニー〔新版〕, 早川書房, 2014.
- [19] 庵野秀明, 監督, エヴァンゲリヲン新劇場版. [録画物]. カラー, 2007.
- [20] オリバー・ラケット, マイケル・ケシー, ソーシャルメディアの生態系, 東洋経済新報社, 2019.
- [21] 斎藤幸平, 人新世の「資本論」, 集英社, 2020.

- [22] 渡邊淳司, ドミニク・チェン, 安藤英由樹, 坂倉杏介, 村田藍子, わたしたちのウェルビーイングをつくりあうために その思想、実践、技術, ビー・エヌ・エヌ新社, 2020.
- [23] 馬田隆明, 未来を実装する テクノロジーで社会を変革する 4つの原則, 英治出版, 2021.
- [24] 相川充, 高井次郎, 展望現代の社会心理学 2 コミュニケーションと対人関係, 誠信書房, 2010.
- [25] N. Yee and J. Bailenson, "The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior," *Human communication research*, vol. 33, no. 3, pp. 271-290, 2007.
- [26] T. C. Peck, S. Seinfeld, S. M. Aglioti and M. Slater, "Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias," *Consciousness and cognition*, vol. 22, no. 3, pp. 779-787, 2013.
- [27] T. Hagiwara, G. Ganesh, M. Sugimoto, M. Inami and M. Kitazaki, "Individuals Prioritize the Reach Straightness and Hand Jerk of a Shared Avatar over Their Own," *Iscience*, vol. 23, no. 12, p. 101732, 2020.
- [28] E. Tamaki, T. Miyaki and J. Rekimoto, "PossessedHand: techniques for controlling human hands using electrical muscles stimuli," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2011.
- [29] 株式会社往来, 未来ビジネス図解 仮想空間と VR, エムディエヌコーポレーション, 2021.
- [30] "バーチャル渋谷 | バーチャル SNS cluster (クラスター) ," [Online]. Available: <https://cluster.mu/w/79347fb9-05f5-429e-ab5f-8951ee8cd966>. [Accessed 6 7 2021].
- [31] R. W. Picard, *Affective computing*, MIT press, 2000.
- [32] S. Poria, E. Cambria, R. Bajpai and A. Hussain, "A review of affective computing: From unimodal analysis to multimodal fusion," *Information Fusion*, vol. 37, pp. 98-125, 2017.
- [33] "The first fully-implanted 1000+ channel brain-machine interface - Neuralink," [Online]. Available: <https://neuralink.com/blog/>. [Accessed 6 7 2021].
- [34] Y. Kamitani and F. Tong, "Decoding the visual and subjective contents of the human brain," *Nature neuroscience*, vol. 8, no. 5, pp. 679-685, 2005.
- [35] T. Horikawa, M. Tamaki, Y. Miyawaki and Y. Kamitani, "Neural decoding of visual imagery during sleep," *Science*, vol. 340, no. 6132, pp. 639-642, 2013.
- [36] "PGV 株式会社," [Online]. Available: <https://www.pgv.co.jp>. [Accessed 7 6 2021].
- [37] "DeepL Translate: The world's most accurate translator," [Online]. Available:

<https://www.deepl.com/>. [Accessed 6 7 2021].

- [38] S. Uppal, S. Bhagat, D. Hazarika, N. Majumdar, S. Poria, R. Zimmermann , A. Zadeh, "Multimodal Research in Vision and Language: A Review of Current and Emerging Trends," *arXiv preprint arXiv:2010.09522*, 2020.
- [39] M. Jaderberg, K. Simonyan, A. Zisserman and others, "Spatial transformer networks," *Advances in neural information processing systems*, vol. 28, pp. 2017-2025, 2015.
- [40] T. B. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. Kaplan, P. Dhariwal, A. Neelakantan, P. Shyam, G. Sastry, A. Askell and others, "Language models are few-shot learners," *arXiv preprint arXiv:2005.14165*, 2020.
- [41] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville and Y. Bengio, "Generative adversarial nets," *Advances in neural information processing systems*, vol. 27, 2014.
- [42] H. Zhang, T. Xu, H. Li, S. Zhang, X. Wang, X. Huang and D. N. Metaxas, "Stackgan: Text to photo-realistic image synthesis with stacked generative adversarial networks," in *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, 2017.
- [43] "General Data Protection Regulation (GDPR) Compliance Guidelines," [Online]. Available: <https://gdpr.eu>. [Accessed 6 7 2021].
- [44] T. Li, A. K. Sahu, A. Talwalkar and V. Smith, "Federated learning: Challenges, methods, and future directions," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 37, no. 3, pp. 50-60.
- [45] UNESCO, "Artificial Intelligence and Gender Equality," 2020.
- [46] T. Ito, S. Suzuki, N. Yamaguchi, T. Nishida, K. Hiraishi and K. Yoshino, "D-Agree: Crowd Discussion Support System Based on Automated Facilitation Agent," in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2020.
- [47] "Decidim," [Online]. Available: <https://decidim.org>. [Accessed 6 7 2021].
- [48] D. Lazer, A. Pentland, L. Adamic, S. Aral, A.-L. Barabasi, D. Brewer, N. Christakis, N. Contractor, J. Fowler, M. Gutmann and others, "Social science. Computational social science.," *Science (New York, NY)*, vol. 323, no. 5915, pp. 721-723, 2009.
- [49] "言論マッププロジェクト 東北大大学 乾・岡崎研究室," [Online]. Available: <http://www.cl.ecei.tohoku.ac.jp/stmap/>. [Accessed 6 7 2021].
- [50] 佐渡充洋, "うつ病による社会的損失はど の程度になるのか?ーうつ病の疾病費用研究ー," *精神神経学雑誌*, vol. 116, no. 2, pp. 107-115, 2014.
- [51] 厚生労働省, "患者調査," [Online]. Available: <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/10-20.html>. [Accessed 6 7 2021].

- [52] R. Lorenzo and M. Reeves, "How and where diversity drives financial performance," *Harvard Business Review*, vol. 30, pp. 1-5, 2018.
- [53] 総務省統計局, "平成 28 年経済センサス活動調査," [Online]. Available: <https://www.stat.go.jp/data/e-census/2016/index.html>. [Accessed 6 7 2021].
- [54] "第 21 回原子力委員会定例会議 (参考事例) 世界の水ビジネス展開の動向," [Online]. Available: <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2010/siryo21/siryo1-2.pdf>.
- [55] 宮本道人, 難波優輝 , 大澤博隆, S F プロトタイピング S F からイノベーションを生み出す新戦略, 早川書房, 2021.
- [56] 株式会社フジテレビジョン , 早川書房編集部, 世界 S F 作家会議, 早川書房, 2021.