EAJ 報告書

新たな働き方、生き方、社会の在り方の実現に向けた提言
テレイグジスタンスの社会実装へ

平成３０年（２０１８年）４月１９日

公益社団法人日本工学アカデミー

ロボット・AI プロジェクト

本報告は、公益社団法人 日本工学アカデミー(EAJ) ロボット・AI プロジェクトの調査研究結果を取りまとめ公表するものである。

公益社団法人日本工学アカデミー ロボット・AI プロジェクト
（所属は 2018 年 4 月 1 日現在、委員・協力者五十音順）

リーダー	舘 暲	正会員、東京大学 名誉教授
PO	松本 洋一郎	正会員、東京理科大学 学長
委　員	大場 光太郎	産業技術総合研究所　ロボットイノベーション研究センター副研究センター長
	城石 芳博	正会員、(株)日立製作所 技術顧問
	西田 豊明	京都大学 大学院情報学研究科知能情報学専攻 教授
	福永 泰	正会員、日本電産株式会社 専務執行役員
アドバイザー	中村 道治	正会員、国立研究開発法人科学技術振興機構 顧問

本報告の作成にあたり、以下の方々にご協力いただいた。

江幡 智広	KDDI 株式会社 バリュー事業本部　バリュー事業企画本部 戦略推進部長
田所 諭	東北大学　大学院情報科学研究科　教授
津田　佳明	ANA ホールディングス株式会社　デジタル・デザイン・ラボ　チーフディレクター
富岡 仁	Telexistence 株式会社 代表取締役 CEO
新居 眞吾	KDDI 株式会社 理事 ライフデザイン事業本部　ライフデザイン事業企画本部長
西村 信治	(株)日立製作所 中央研究所 副所長兼エレクトロニクスセンタセンタ長
藤村　修一	全日本空輸株式会社 取締役専務執行役員　国際提携部担当

〈用語の説明〉

1. AR(Augmented Reality)：現実世界に、AI やコンピュータグラフィックス（CG）などを使って新たな情報を加える技術および体系。拡張現実とも呼ばれる。
2. クラウドソーシング：不特定多数の人が集まって新しい製品やサービスを作り上げていくこと。
3. Connected Industries:人と機械・システムが協調する新しいデジタル社会の実現、協力や協働を通じた課題解決、デジタル技術の進展に即した人材育成の積極推進等、我が国がめざすこれからの産業の在り方。
4. 限界費用：生産量増加分一単位あたりの総費用増加分。限界生産費とも呼ばれる。
5. ネットワーク効果：潜在的顧客にとっての物・サービスの価値が、その物・サービスを既に利用している顧客数に依存すること。顧客が増えるほど、ネットワークの価値が高まり、顧客便益が増す。
6. OT(Operational Technology)： さまざまな産業分野における装置のモニタリングや運用を制御する技術。運用技術とも呼ばれる。
7. PoC(Proof of Concept)：新しい概念や理論、原理などが実現可能であることを示すための簡易な試行。概念実証/コンセプト実証と訳される。
8. レギュラトリー・サンドボックス：規制の砂場とも呼ばれ、政府が革新的な新事業を育成する際、現行法の規制を一時的に停止する規制緩和策のこと。
9. SDGs(Sustainable Development Goals)：2015 年 9 月の国連サミットで採択されたもので、国連加盟 193 か国が、2016 年～2030 年の 15 年間で、持続可能な社会をつくるために世界が一致して取り組むべきビジョンや課題として、17 の目標と 169 のターゲットを網羅したもの。持続可能な開発目標の略称。
10. シェアリングエコノミー：物・サービス・場所などを、多くの人と共有・交換して利用する社会的な仕組み。
11. Society 5.0：日本政府による科学技術政策の基本指針のひとつで、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く 5 番目の社会として位置づけられ、サイバー空間と現実空間を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会課題解決の両立が実現される豊かで持続可能な社会。超スマート社会として説明されることもある。
12. テレイグジスタンス(Telexistence)：人が遠隔地にいる感覚でリアルタイムに操作などを行える環境を構築する技術および体系。複数の知能ロボットを、ネットワークを介して管理しながら、そのうちの任意のものへのテレイグジスタンスが可能である。舘 暲教授によって 1980 年 9 月 19 日に発想され、1982 年に最初の装置が発表された、我が国発の概念および技術。遠隔臨場、遠隔存在とも呼ばれる。
13. トランス・サイエンス(Trans Science)： 科学に問うことはできるが、科学だけでは答えることができない問題(科学を超えた問題)領域。
14. VR(Virtual Reality)：実物ではないが、機能としての本質は同じであるような環境を、ユーザの五感を含む感覚を刺激することによりコンピュータで作り出す技術およびその体系。コンピュータの創りだした世界を、あたかも現実世界のように体感できる。人工現実感もしくは仮想現実とも呼ばれる。

要　　旨

１　テレイグジスタンスが解決する社会課題

これまでの産業の革命的な進展により、労働生産性が高まり、豊かさが社会に行き渡ると共に、平均寿命も向上し、新たな働き方、生き方、社会の在り方を模索できるようになってきている。一方、陰の側面として、地球温暖化や資源問題などが顕在化するとともに、格差が広がり、社会が分断されるなどの社会課題が顕在化してきている。このため、2015 年に国連で決議された SDGs[1] では、社会の持続的発展に向けた活動が世界各国に期待されている。我が国では第 5 期科学技術基本計画のもとで、Society 5.0[2] の実現に向けた取り組みを通じて、これに応えようとしている。これらの変革を実現する科学技術の一つとして、人工知能(AI)、自律型知能ロボティクスなどへの期待が高い。しかし一般市民の漠然とした不安として、安全性やセキュリティ、説明責任などに関わる問題に加え、これらによる雇用への悪影響やその利活用に係る懸念もいろいろと指摘されている。

これに対し、センサ、バーチャルリアリティ(VR)、ロボティクス、AI、ネットワークなどの技術を統合し、感覚や身体機能をロボットと同期させ(義体化)、遠隔地にあるものがあたかも近くにあるように感じながら人間がリアルタイムに作業を行なうテレイグジスタンス(Telexistence:遠隔存在)は、多様な分野での産業応用が可能な、汎用的なヒューマンエンパワーメント(人間能力拡張)システムとして社会に好循環をもたらすと期待される。この人間と機械の共創により、高度なサービスや新たな就労形態が可能となる。また、テレイグジスタンスでは、人間が最終的に判断して作業を行なうため、説明責任、雇用問題などの懸念は比較的少ない。また、AI、クラウドソーシング、シェアリングエコノミーなどとの整合性も高く、さまざまな課題に対して義体操作者の行動データが得られるので、さらなる技術向上のための貴重な資源として、人間が高度な作業に集中するためのデータ基盤になると期待される。

今後、テレイグジスタンスをシステムとして広く展開するときの要となる、解決すべき技術的、社会的課題を明確にし、それらに集中して取り組むことで、長らく研究段階にあったテレイグジスタンスを実用化することができよう。しかし、産業化に向けては、システムとしてどう統合するか、どのようなビジネスモデルを構築するのが良いか、など課題も多い。そこで本報告書では、EAJ 会員を始めとする有志によりテレイグジスタンス社会に関わる調査研究を行い、提言として纏めることにした。産学官民で、より活き活きと豊かで持続可能な社会に向けた改革議論が深まれば幸いである。

２　テレイグジスタンスの社会実装を提言

近年、デジタル技術の急速な進歩で、テレイグジスタンスの社会実装に向けた

技術的障壁は低くなってきた。豊かで持続的な社会を実現するには、テレイグジスタンスの産業化が必須であり、コスト低減、信頼性向上やシステム統合などに係る技術の練磨、さらには産業モデルの検討や、人々の労働の在り方などの社会構造の再設計など、研究開発・社会実装のシナリオ検討や社会的視点からの考察が喫緊の課題であり、テレイグジスタンスの社会実装のための提言を以下のとおりまとめた。

（１）応用産業に対応したモデルとエコシステム

我が国が抱える長寿命化・大都市化・防災などの課題の解決や、働き方改革に向けて、テレイグジスタンスの社会実装、普及、産業化を進めるためには、経済効果、社会への波及効果の大きな遠隔就労分野において、以下の社会実験および研究開発の加速をめざす産学官民協創プロジェクトの構築検討と早期立ち上げを提言する。

①テレイグジスタンス遠隔就労を行う実際のシステムを幾つか作って運用し、産業化に向けた研究開発、実証実験を行なう産学官民協創プロジェクトの構築。
②システムプラットフォームの構築と運用データ利活用ガイドラインの策定、およびレギュラトリー・サンドボックス（革新的な新事業の育成のための一時的な規制緩和策）などを活用した生活の場での、その社会実験とビジネスモデルの検討。
③低コストで安全性が高く、遅延の少ないヒューマンエンパワーメントシステムの実現に向けた、センサ、AI、ロボット、ICT、ネットワーク統合化技術の開発。

（２）テレイグジスタンスの社会実装のために克服すべき社会的課題

過去数世紀にわたる産業の革命的な進展においては、技術の導入から労働生産性の向上まで、数年から数十年の時間差があった。これは、仕事のやり方や組織の在り方の変革など、補完的イノベーションの出現が必要なためである。そこで、テレイグジスタンスを社会に根付かせるため、雇用などに係る以下の社会制度見直しと人材育成策を提言する。

【雇用に係る提言】

①税制優遇策や規制改革を通じて、テレイグジスタンスによる社会革新を促進する。
②環境浄化、インフラ整備等、持続可能な社会の実現に向けた取り組みや作業を選定し、その実践者・テレイグジスタンスロボット所有者を表彰する。
③メイド・バイ・テレイグジスタンス表示を設け、企業を表彰する。

④テレイグジスタンス実施者において、機械に課税、労働者には奨励金を給付する。

【人材育成に係る提言】

①テレイグジスタンスを使いこなすための人材教育と資格制度を用意する。

（３）　我が国の先導的優位を活かし、早期に先進的な社会実装を

テレイグジスタンスは、1980 年に我が国で生まれた革新的なコンセプトであり、我が国が米国や欧州とともに研究開発を牽引してきた。最近、関連技術の進歩によって、サービス産業や極限状況下での作業などでの広い応用が視野に入ってきたことから、テレイグジスタンスの展開を指向した製品開発の動きが内外で関心を集めている。我が国では、科学技術振興機構の ACCEL 身体性メディアコンソーシアムに企業が 40 社以上集まるなど、新しい産業分野の形成に向けた動きも見え始めている。

本提案による、産業化をめざした産学官民協創プロジェクトが発足すれば、新たな働き方、生き方、社会の在り方を具現した、豊かで持続可能なテレイグジスタンス社会の早期実現が可能となり、我が国の抱える社会課題を解決し、更なる経済の発展が期待できよう。

目　次

１　テレイグジスタンスが解決する社会課題 3
２　応用産業に対応したモデルとエコシステム 7
(1)　サービス産業 8
(2)　遠隔就労に係る産業 10
(3)　極限・人の立ち入りが好まれない環境下での作業に係る産業 12
(4)　データ基盤の利活用産業 14
３　テレイグジスタンスの社会実装のために克服すべき技術的課題 15
(1)　テレイグジスタンスの特徴と技術的課題 15
(2) テレイグジスタンスの社会実装に向けたシナリオ 16
４　テレイグジスタンスの社会実装のために克服すべき社会的課題 18
(1)　安全性、セキュリティ、倫理など 18
(2)　雇用問題 18
(3)　人材育成 19
５　我が国の先導的優位を活かし、早期に先進的な社会実装を 20
６　今後の展望 22
＜参考資料＞審議経過 24
＜参考文献＞ 25

１　テレイグジスタンスが解決する社会課題

過去数世紀にわたる産業の革命的な進展により、労働生産性が高まり、賃金の上昇とともに新たな消費者、新市場が創生される好循環が生まれた。これにより、人々の生活水準が向上し、社会の在り方、ルールが民主的なものに変わるなど、豊かな社会が実現されてきた。一方で、気候温暖化や資源問題が顕在化し、地球社会の持続的発展が危ぶまれている。さらに、デジタル技術、輸送技術の革新、グローバル化の急速な進展にともない、限界費用がゼロ[3]に近づき、ネットワーク効果により、他より僅かでも良いものが市場を独占し、勝者総取り化しつつある。このため、特に最近、格差が大きく広がり、社会が分断されるなど、社会課題が顕在化するようになった。

さらに、先進国ではベビーブーム世代が労働市場から退出(引退)し、人口動態上の要因で労働力の供給が逼迫すると懸念される一方で、平均寿命の向上とともに、新たな働き方、生き方、社会の在り方が模索され、社会が大きく変容しようとしている。

このような中で、2015 年に Sustainable DebvelopmentGoals(SDGs)[1]が国連で採択され、持続的で包摂的な発展や、生きがいのある労働がテーマに上がっている。我が国でも、第 5 期科学技術基本計画のもとで、Society 5.0[2]に向けて、地球的規模の課題解決や新しいサービスの実現、人々の生産性の向上に向けた取り組みが進行中である。

このような変革を実現する科学技術の一つとして、人工知能(AI)、自律型ロボティクスなど、ICT とりわけデジタル技術への期待が高い。しかし、一般市民の漠然とした不安として、その安全性やセキュリティ、利活用に係る倫理問題や軍事応用への懸念が根強くある。たとえば、欧米では、一般市民は自律的 AI からターミネータを連想するとされる。さらに、ロボット、AI により、雇用も脅かされるのではないかといった不安など、いろいろな懸念が指摘されている。このために、世界各国でその開発、利活用に向けた多様なガイドラインが検討されてきた。しかし、これらの問題は、科学に問うことはできるが、科学だけでは答えることができないトランス・サイエンス的な問題であり、多様な文化や喧々諤々の意見の中で、一朝一夕での解決は困難と懸念されている。

これに対して、センサ、VR(Virtual Reality)・AR(Augmented Reality)関連技術、ロボティクス、AI、ネットワーク等の技術を用い、異なる複数の場所に人間がロボットの身体を用いて存在し(義体化)、物理的に物をみて触ったり作業できるテレイグジスタンス(Telexistence：遠隔存在)と呼ばれる画期的な概念(図１、2)が、1980 年に我が国から提案された[4]。人間の能力を超えるセンシング、制御機能、パワーなどを有するテレイグジスタンス技術を開発できれば、AI、協調型知能ロボットが、倫理問題を含め、独自の能力では対処しえない困難な作業に直面したとき、ロボットからの要請、もしくは人為による、人間のその場での判断、対処が可能となる。このように、テレイグジスタンスは、最終的に人間が判断、作業するシステムであるため、複雑な倫理問題などが緩和され、早期社会実装が期待される。さらに人間が個性を活かして作業に関与し、勝者総取りともいわれる、べき乗分布の市場のなかでも付加価値を生み出せると考えられ、賃金の上昇とともに、新たな消費者、新市場が創生される好循環が生

まれると期待される。

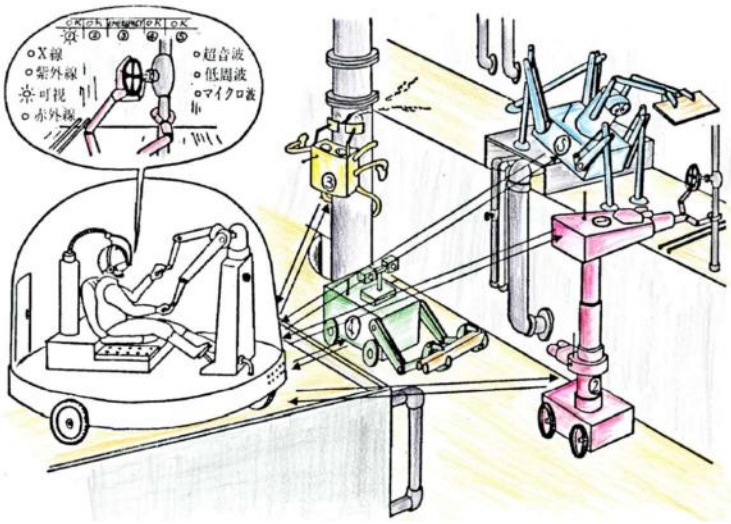

図１　テレイグジスタンスの概念図[5]

(出典)舘暲「人工現実感」日刊工業新聞社（1992）に基づきロボット・AI プロジェクトが作成

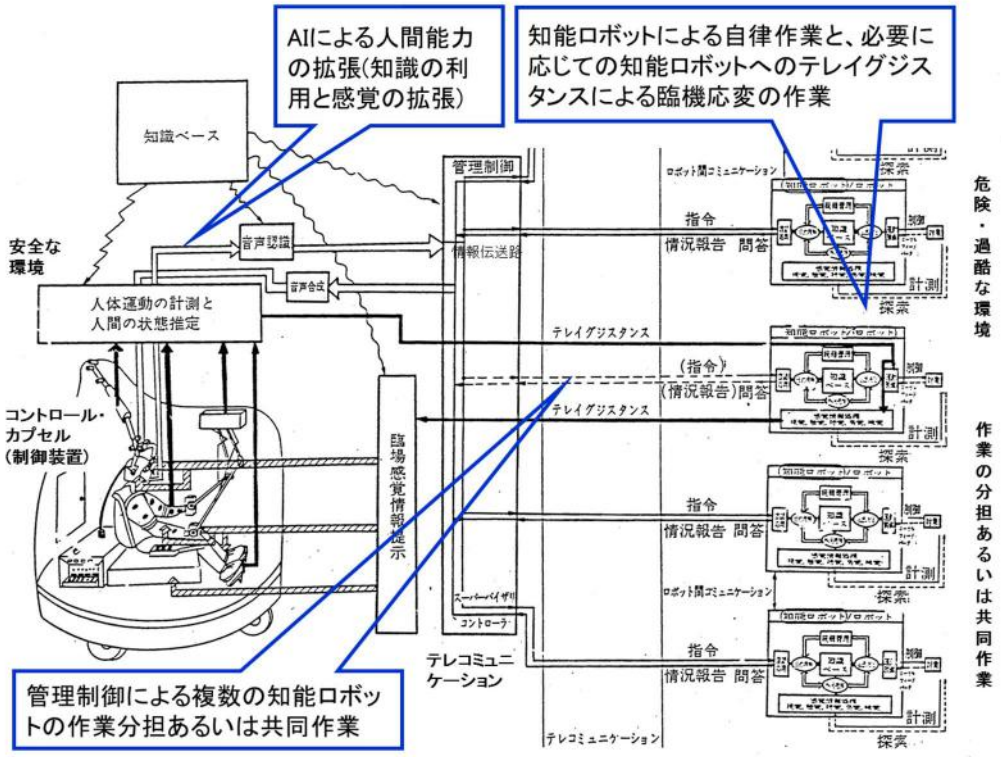

図２　テレイグジスタンスの構成例[5]

(出典)舘暲「人工現実感」日刊工業新聞社（1992）に基づきロボット・AI プロジェクトが作成

近年、VR、AR 関連の技術、市場の伸びは急で、利活用性の向上、低コスト化が急速に進み、テレイグジスタンスの社会実装に向けた事業的障壁は低くなってきた。たとえば、1～2 cm の小さな創から内視鏡カメラとロボットアームを挿入し、医師が 3D モ

ニタ画面を見ながら手術支援ロボットのアームを操作して高度な内視鏡手術を行なう、テレイグジスタンス医療ロボット[6]市場が医療分野に於いては既に立ち上がり、本概念の優位性が明らかにされてきた。今後、人間と機械との共創[7]を巧みに実現するテレイグジスタンスを、医療分野のみではなく、より多くの広範な分野においても展開してゆくことにより、社会課題解決のための切り札としての役割を果たすとの期待が高まってきたといえる(図 3)。

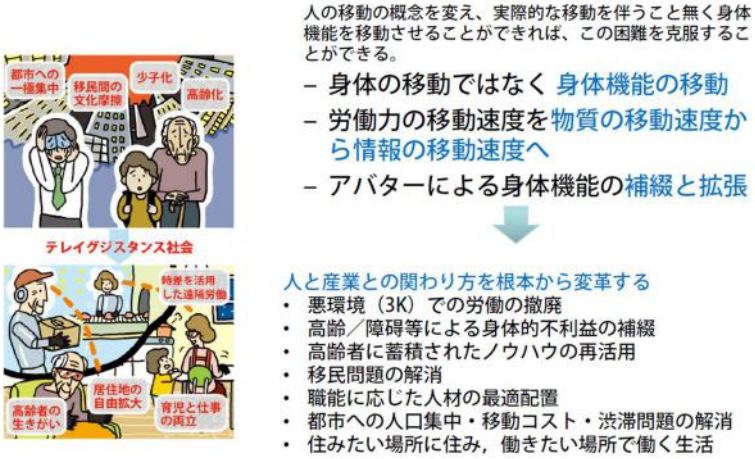

図 3　テレイグジスタンスによる社会課題の解決

(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

このために、産学官連携の下で、一層の低コスト化や信頼性の向上も含めた研究開発や社会実装を推進し、人々が社会に寄与しつつ、より活き活きと暮らせる社会の早期実現を図り、世界に貢献していくことが望まれる(図 4、5)。特に、我が国の文化・

図 4　テレイグジスタンス社会実装の例[4,5,8]

(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

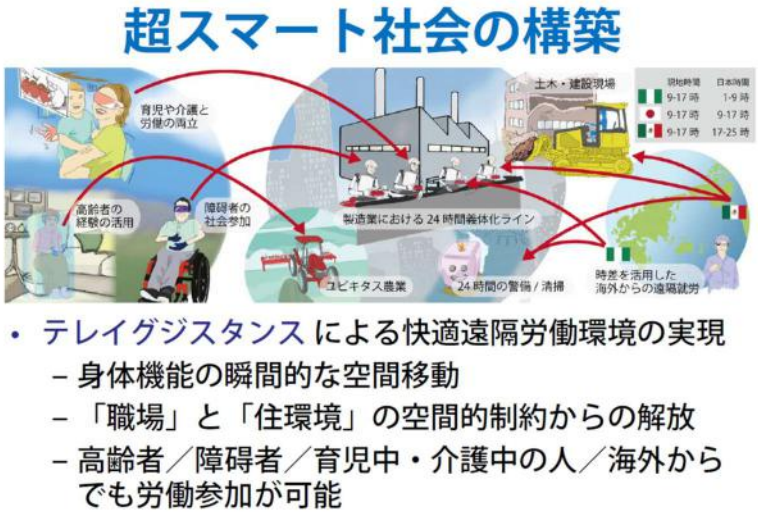

図 5　テレイグジスタンスによる超スマート社会の構築[8,9]

(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

社会的特徴、概念の先行性を活かし、知覚・触覚・身体能力などの高度化、高度遠隔臨場感、安全性が高く自己の身体を操る以上の高い操作性等を早期に実現することが重要である。この結果、たとえば悪環境での遠隔作業や難度の高い作業等が可能になる。

人間の寿命は大きく延び、特に先進国では“人生 100 年時代”を迎えている[21]。この人生 100 年時代の多様なステージにおいて、全ての人々がその個性を活かし、住みたい場所に住み，働きたい場所で、それぞれに応じた付加価値の高い労働に参加できるなど、豊かで創造的な生活を実現できるようになる。テレイグジスタンスは、このように労働のあり方や人々の生活様式を変え、社会そのものをより豊かで持続可能なものに変革できると期待される。

２　応用産業に対応したモデルとエコシステム

テレイグジスタンスには、人間が得意な総合認識・判断・身体制御性のアシスト、拡張が可能であるという特徴がある。さらに、社会潮流となりつつあるシェアリングエコノミー、不特定多数の有志が仕事を請け負うクラウドソーシングとの相性がよく、原理的に低コストで資源を有効に活用できる優れたシステムでもある。このため、多様な産業分野において、複雑な社会課題を抱えた時代の要請にあった社会実装が期待される。

たとえば、課題先進国である我が国において、その課題解決が強く望まれる産業分野として、(1)放送、スポーツ産業、臨場感ある娯楽産業、代替旅行・ショッピングなど、産業の生産性の向上とともに豊かな暮らしの実現が期待されるサービス産業分野、(2)ぬくもりのある遠隔介護、世界的に一流の医療技術を有する専門家による遠隔診断、救急医療、ヘルスケアなどの健康医療産業分野、(3)建設現場や発電用原子炉施設の廃炉現場など、過酷、危険な環境下での安全安心な作業、さらには多様な環境からの労働参加を可能とする遠隔労働産業分野、(4)モバイル/ウェアラブル分野、などが挙げられる(図６)。

このように多様な産業分野においてテレイグジスタンスを産業化するには、そのエコシステム構築を図ることが必要である。これについては、テレイグジスタンス発祥の地である我が国では、科学技術振興機構(JST)の ACCEL プロジェクト[29]が幸い発足している。現在、本プロジェクトにより、一体型触覚伝送モジュールの開発、開発キットの公開により、コンソーシアム、オープンイノベーション拠点を構築するとともに、身体性コンテンツおよび身体性テレイグジスタンスプラットフォームによる実機デモンストレーションなどを通じて、ベンチャービジネス、企業連携による新産業分野を創出すべく、多様な産業界を巻き込んだ研究開発が推進されている(図６)。

そこで本章では、特に社会的影響の大きな(1)～(4)の産業モデルについて、具体例を細かく検討することにした。以下に、その検討結果をまとめる。

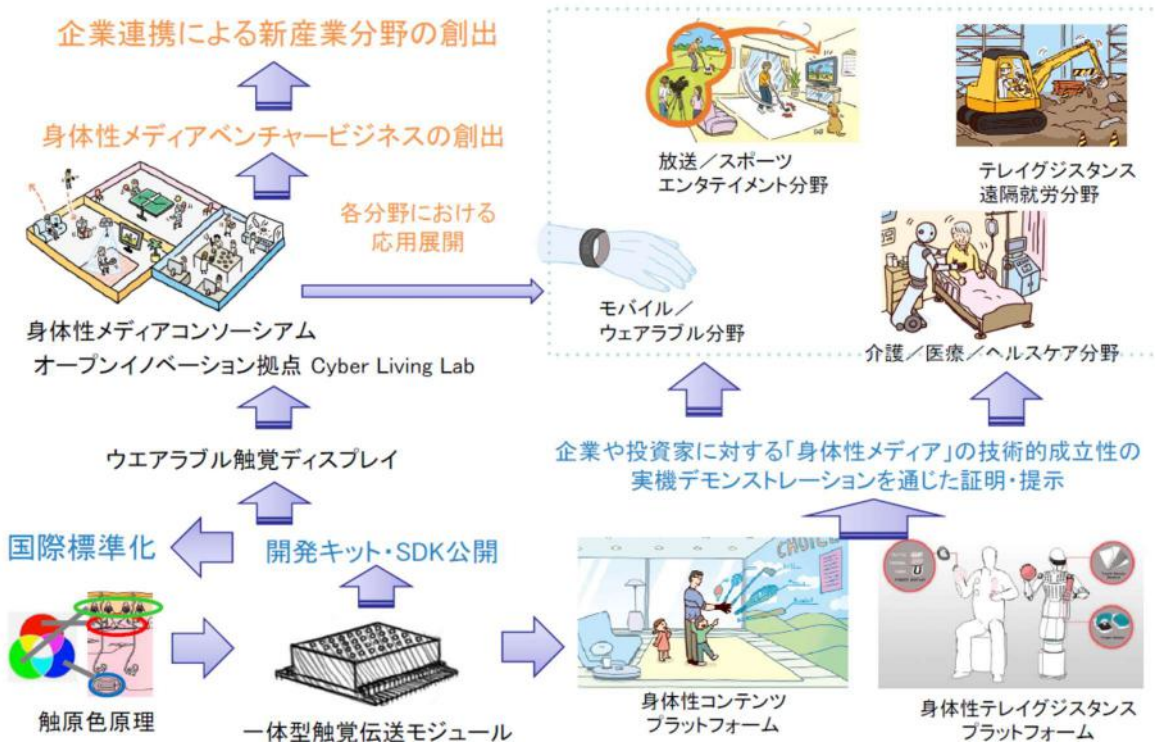

図 6 テレイグジスタンスの産業モデル

(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

(1) サービス産業

日米産業別労働生産性水準比較[10]によれば、我が国の労働生産性(就業 1 時間当たり付加価値額/'10～'12 平均) は、製造業全体で米国の 7 割、サービス産業全体で 5 割となっている。我が国は、製造業の中では、化学(143 %)、機械(110 %)で米国を上回り、輸送機械(93 %)も遜色はないが、情報通信業は 3/4 にとどまる。サービス産業では、運輸(44 %)、卸売・小売業(38 %)、飲食宿泊(34 %)などの主要分野で格差が大きく、90 年代後半からその差が 0.9 ポイント拡大している。また、電子商取引の急速な進展により、物流や宅配での人員不足が喫緊の課題となっており、最近ではコンビニなどでの宅配ボックス設置を後押しするために、補助金配布が決定された。サービス業は我が国の GDP の 60-70 %を占めており、特に中間層が多く従事する。代表的なものとして、放送、運輸、卸売・小売業、飲食宿泊業や、身体障害者の行動支援、スポーツ産業(図 7)、臨場感ある娯楽産業(図 8)、代替旅行・ショッピングなど豊かな暮らしを支える産業(図 9)があり、テレイグジスタンスシステムによる生産性の抜本的向上は、経済発展と社会問題解決の両立に大きく貢献することが期待される。

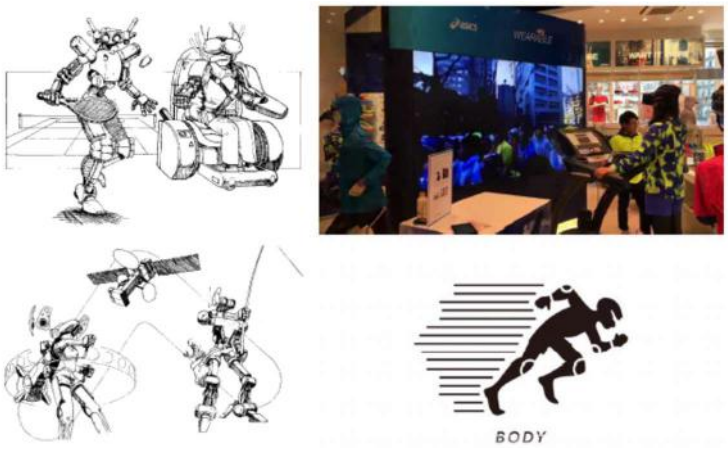

図 7　身体障害者の行動支援やスポーツ産業への社会実装 [5,22,23]
（出典）JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

図 8　臨場感ある娯楽産業への社会実装 [5,22,23]
(出展)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

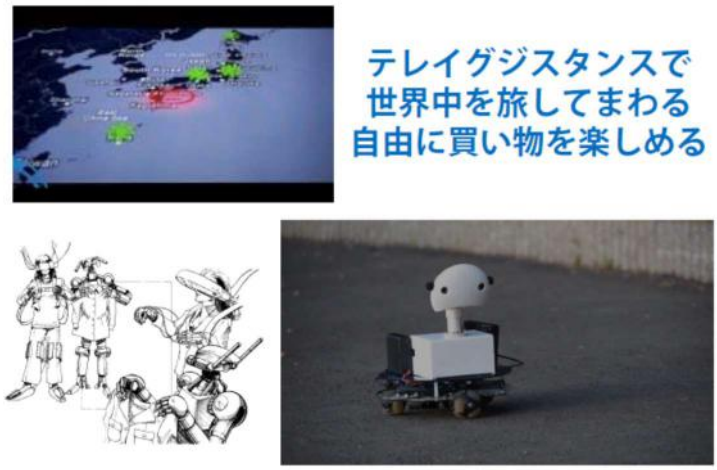

図 9　代替旅行・ショッピングなど豊かな暮らしへの社会実装 [5,22,23]
(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

(2)　遠隔就労に係る産業

人間と、人間の身体能力を超える協調型知能ロボットをネットワークで結び、実際的な移動を伴うことなく人間の感覚や身体機能をロボットに移動、伝達、同期させ、ロボットを自在に遠隔操作することで(義体化)、人の移動の概念を変え、ロボットの拡張機能をフルに活かすことができる。このため、以下のようなテレイグジスタンス遠隔就労は、経済発展と社会課題解決を両立できる豊かな働き方として期待される。

① テレイグジスタンスを活用すれば、通勤に時間がとられることなく、地方にいながら若者、女性、就労意欲のある高齢者は自分にあった仕事に従事することができ、業務のグローバル化も可能となる。逆に都市部にいながら地方で働くことも可能となり、地方での工場や施設の立地が容易になる(図 10)。

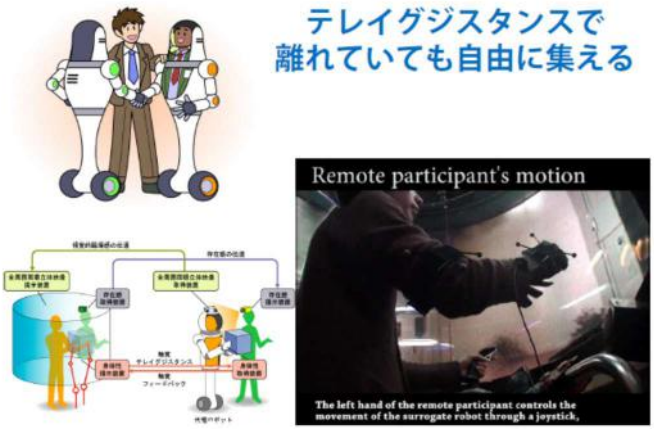

図 10　自由に集える暮らしなどへの社会実装[4,5,8]
(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

② ぬくもりのある遠隔介護が可能となり(図 11)、また高齢者の身体的不利益を義体化技術で補い、豊富な経験を積極的に活用し、労働者不足を解消すると共に生きがいを提供する(図 12)。一例として、男女問わず育児しながらの労働参加が可能となり、子育てをしやすい社会となる。

「分身ロボット」を介してテレイグジスタンスすることで距離と身体の制約を解消.
触覚を含む双方向の身体的コミュニケーションによる「ぬくもり」のある介護を実現.
これによって老老介護・育児をしながらの介護なども可能となり,
少子高齢化時代においても持続可能な介護が実現できる.

図 11　ぬくもりのある介護ができる暮らしへの社会実装
(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

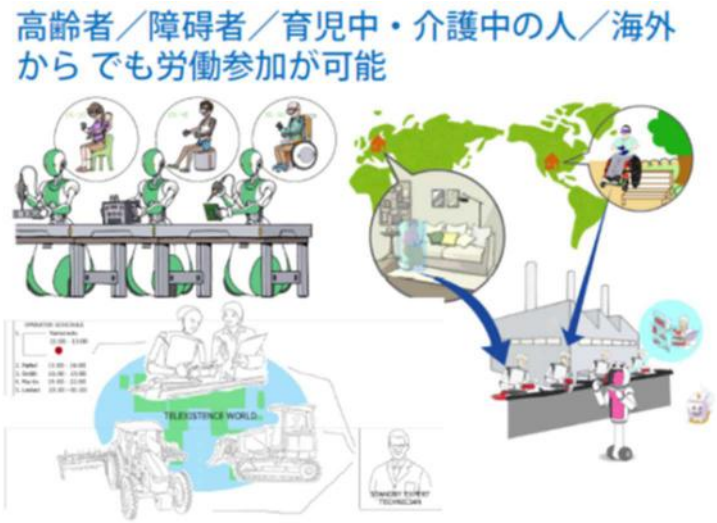

図 12　多様な環境からの労働参加ができる社会への社会実装

(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

③ グローバルなビジネスにおいて、移動による時間的コストを解消する。国外の労働者も遠隔から就労でき、時差を利用することで 24 時間の労働力を複数の国外拠点から確保でき、労使共に利便性、効率が飛躍的に向上する。さらに職住近接が必ずしも必要ではなくなり、都市への人口集中が緩和され、ワーク・ライフ・バランスを改善し、本人が住みたい場所に住んで、生きがいのある生活を行えるようになる(図 12)。

④ 世界的に一流の技能を有する技術者・医師等の専門家の招聘も容易になり、遠隔診断(図 13)、救急車救急医療などで、社会実装職能に応じた人材の最適配置、いつでも、どこでも、誰でもが、より高度な技術の提供が受けられるようになる。

図 13　遠隔診断を支える社会実装 [4,5,8]

(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

⑤ テレイグジスタンスを農業トラクター、地拵え(植栽、下刈、除伐、枝打、間伐主伐)支援機、ハイテク大型漁船などに導入すれば、潜在性の高い我が国の農林水産業の生産性向上と復活、さらには持続可能社会の実現に貢献できる。

(3) 極限・人の立ち入りが好まれない環境下での作業に係る産業

危険、有害、過酷な極限環境、たとえば、発電用原子炉施設の廃炉 (図 14)や、過酷な作業現場(図 15)、危険な環境・状況(図 16)、さらには、人の立ち入りが好まれない環境(図 17)などでの多様な作業を、安全かつ快適な場所から、高度な技能と判断を駆使して実行する。このとき、必要に応じて、人間は、その知覚能力や身体能力を超える繊細さ、力強さ、器用さでリアルタイムに作業することができる。さらにテレイグジスタンスでは、紫外線、赤外線、超音波、超低周波などの超五感情報も必要に応じて活用できるので、より高度な作業が可能となる(これらの概念は、テレイグジスタンスの応用例として、1980 年代に提唱された[9])。

http://www1.city.matsue.shimane.jp/shisei/jyouhoukoukai/shingikai/H27/7/270728dai1_genshiryokuanzentaisaku.data/shiryo2.pdf

図 14 発電用原子炉施設の廃炉措置の状況

(出典) 平成 27 年度第 1 回松江市原子力発電所環境安全対策協議会(H27.7.28)

(http://www1.city.matsue.shimane.jp/shisei/jyouhoukoukai/shingikai/H27/7/)資料 2 から引用

図 15　過酷な建設現場での作業を支える社会実装
(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

-Even at the time of disasters, search and rescue operations would be possible without any concerns for ensuing disasters.

図 16　危険な環境・状況での作業を支える社会実装[4,5,8]
(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトに基づきロボット・AI プロジェクトが作成

Telexistence provides a method by which a person's desire to be involved in activities performed by robots and machines may be satisfied in a manner that does not infringe upon safety and social considerations.

図 17　人の立ち入りが好まれない環境での作業を可能とする社会実装[4,5,8]
(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

(4) データ基盤の利活用産業

これまで述べてきたような多様な産業分野でテレイグジスタンスを運用すれば、さまざまな遠隔就労や作業に対して、多数の操作者の行動データや義体運用データが蓄積されると期待される。これらは、新たな価値を生み出すとともに、さらなる技術向上のための貴重な資源として活用でき、人間が高度な作業に集中するためのデータ基盤となる。さらに、運用データを多様な分野に利活用できるようにシステムをプラットフォーム化し、社会問題化しつつある多様な分野に展開することで、我が国の産業競争力の強化と、少子高齢化・格差などの社会課題解決の両立、および、我が国ひいては世界の、豊かで持続可能な社会の実現に大きく貢献できると考えられる。そこで、テレイグジスタンスを産業化して我が国の産業競争力を高めるためには、多様な分野に利活用できるビジネスモデルやプラットフォームの構築についても検討することが望まれる。

３　テレイグジスタンスの社会実装のために克服すべき技術的課題

(1)　テレイグジスタンスの特徴と技術的課題

脳は意志と同期して動作する道具を身体の一部として認識する性質がある(身体性)[11]。的確な感覚情報を脳に遅延なく伝達できれば、道具はどれだけ離れていようとも身体の一部として認識される。さらに、赤外線、紫外線、超音波、超触覚など人間の五感を超える領域の信号を検知し、脳に伝達できるセンサが提供できれば、人間の知覚能力を超えた環境での作業も可能となる。また、人間の身体能力を超えた身体機能も有するロボットと同期すれば、感覚のみならず人間の身体機能の拡張も可能となる。

人間の動きと同期するテレイグジスタンスを可能にするための技術的課題の一つは、触覚のテレイグジスタンスであった[12]。これに対し、人間の触覚情報は、“振動・力・温度”でおおむね提示でき、光の三原色になぞらえたこの“触原色（しょくげんしょく）”で数値化できることが発見され、それら触原色を感知、数値化するセンサをロボット側に、再現するデバイスを人間側に装備して、ロボットと操縦者の感覚を“同期”させることができるようになった。これにより、視覚と聴覚だけから始まったテレイグジスタンスロボットは、大きく発展した。

現在、人間は、視覚の通信遅延に対しては 20　ms 程度まで許容するのに対して、触覚は、その許容遅延が 1 ms 程度と厳しく、さまざまな細かい作業の感覚を伝達するうえで“低遅延性”の確保が課題となっていた。しかし、これについては 5G 技術で解決される見通しがたち、その意味でも機が熟しつつある。このように、センサ、ロボット、VR、通信技術を含めた今後のテレイグジスタンス技術の産業化に向け、(1)人間の五感、身体性機能、性能のさらなる拡張を可能とする技術の開発、(2)誰でも自在に使いこなせる低遅延制御インターフェースの開発、(3)身体全体をテレイグジスタンスできる技術の開発、(4)低コスト、高信頼な部品(モータなど)、装置、統合システムの量産化技術の開発、などの加速が望まれる。表 1 に本テレイグジスタンスロボットと従来の遠隔ロボットの特徴、テレイグジスタンスの技術課題などをまとめた。

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="3">人間制御ロボット</td><td colspan="2" rowspan="2">無人ロボット</td></tr>
<tr><td colspan="2">遠隔制御</td><td>同乗制御</td></tr>
<tr><td>方式</td><td>テレイグジスタンス</td><td colspan="2">操縦</td><td>機械</td><td>自律ロボット</td></tr>
<tr><td>視点</td><td>ロボット内</td><td>ロボット外</td><td colspan="3">ロボット内</td></tr>
<tr><td rowspan="3">特徴</td><td colspan="3">人間が指令</td><td colspan="2">ソフトウェアが指令</td></tr>
<tr><td>人間が憑依</td><td colspan="2">人間が操縦</td><td>アルゴリズム</td><td>AI</td></tr>
<tr><td colspan="3">ロボットは人間の一部(五感、身体性共有)</td><td colspan="2">ロボットは人間の身体とは独立</td></tr>
<tr><td>データ基盤</td><td colspan="3">運用、事後学習による蓄積、データ基盤構築可能</td><td colspan="2">事前学習要</td></tr>
<tr><td>テレイグジスタンスの主な技術課題の例</td><td colspan="5">(1)人間の五感、身体性機能、性能のさらなる拡張を可能とする、要素・統合技術の開発
(2)誰でも自在に使いこなせる、低遅延の制御インターフェース技術の開発
(3)身体全体をテレイグジスタンスできる技術の開発
(4)低コスト、高信頼な部品、装置、統合システムの量産化技術の開発</td></tr>
</table>

表１　テレイグジスタンス技術の特徴と主な技術課題

(出典)ロボット・AI プロジェクトが作成

ネットワークを介して人間の身体を等価的に遠隔に存在させ、そこでの自在な行動を可能とするテレイグジスタンス技術は、人間の身体をメディア化して、いわばユビキタスにする。このため、労働のあり方と人の生活様式そのものを、その開発段階に応じて順次抜本的に変革し、我が国が課題先進国として抱える長寿命化・大都市化・防災などの課題の解決や、働き方改革に向けた汎用技術になるものと期待される。

これまで、蒸気機関、内燃機関、電気技術、情報通信技術(ICT)などの汎用技術は、それぞれが牽引した産業革命において、多くの産業分野に広く浸透し、継続的に向上し、新たなイノベーションを生み出すことで、労働生産性など、価値の産出拡大、経済の発展に貢献してきた。しかし、技術の導入から労働生産性の向上まで数年から数十年の時間差があった。これは、汎用技術が威力を発揮するには、仕事のやり方や組織の在り方の変革など、補完的イノベーションの出現が必要なためである[7]。

このように、我が国発のテレイグジスタンスを、多くの産業分野に広く浸透させ、豊かな社会を実現するためには、多様で複雑な課題を解決する必要がある。このため、社会課題として解決すべき優先度の高い産業分野を選び、その有効性の実証や、仕事のやり方、組織の在り方の変革などの検討が可能な、多くのステークホルダ(利害関係者)を巻き込んだイノベーションの場を構築し、産業競争力の強化と社会課題解決の両立を図っていくことが必要であろう。具体的な例としては、東京オリンピック・パラリンピックなどでの実証実験や、米国の XPRIZE[13]に相当する我が国に適した賞金を掲げた開発競争、レギュラトリー・サンドボックス政策(革新的な新事業の育成のための一時的な規制緩和策)などを組み合わせて、テレイグジスタンス遠隔就労を行う特設ネットを敷設した地域モデル地区を設けることなどがあげられる。たとえば、物流(倉庫)、コンビニ、宅配、スマート漁林水産業、極限環境下での作業、代替旅行など、遠隔就労に係る産業分野における応用を、グランドチャレンジとして取り上げ、ユーザの利便性を飛躍的に高めると共に、高い社会的・経済的な価値が生み出されることを実証して、社会認知度を高め、普及を加速することが望まれる。

(2) テレイグジスタンスの社会実装に向けたシナリオ

前節で検討したように、テレイグジスタンスの研究開発と産業化を加速するためには、優先度の高い産業分野を選んで、多くのステークホルダ(利害関係者)を巻き込んだイノベーションの場を構築し、センサ、ロボット、VR、通信技術や、低コスト、高信頼統合技術、量産化技術から、プラットフォーム、データ基盤、その利活用の仕組み(ビジネスモデル)の構築まで、産学官民の叡智を集めて幅広く検討を進めることが求められる。優先的に取組むべき産業モデルとしては、2 章で検討したように多様なケースが考えられるが、汎用性、経済効果、社会へのインパクトの大きさを考えると、多くのステークホルダからなる産学官民協創体制により、テレイグジスタンス遠隔就労を行う実際のシステムを幾つか作って運用し、早期産業化に向けた研究開発、その有効性の実証実験などを始めることが望ましいと考えられる。

そこで、テレイグジスタンスの利活用、社会実験、研究開発の重点課題に対して、

汎用また補完的なイノベーションを有機的に加速し、テレイグジスタンスの産業化、テレイグジスタンス社会の実現に向け、産学官民で下記3項目を骨子とするプロジェクトの検討、ならびにその早期立ち上げを提案する。

①テレイグジスタンス遠隔就労を行う実際のシステムを幾つか作って運用し、産業化に向けた研究開発、実証実験を行なう産学官民協創プロジェクトの構築。
②システムプラットフォームの構築と運用データ利活用ガイドラインの策定、およびレギュラトリー・サンドボックス（革新的な新事業の育成のための一時的な規制緩和策）などを活用した生活の場での社会実験と、保険・事故救済制度を含めたビジネスモデルの検討。
③低コストで安全が高く、遅延の少ないヒューマンエンパワーメントシステムの実現に向けた、センサ、AI、ロボット、ICT、ネットワーク統合化技術の開発。

４　テレイグジスタンスの社会実装のために克服すべき社会的課題

人間が最終的に判断、その個性を活かして作業するので、テレイグジスタンスは、人々の不安が比較的少ないヒューマンエンパワーメントシステムである。我が国は、欧米諸国にくらべてロボットやAIへの社会受容性が比較的高く、高齢化などの課題先進国でもあるため、本ヒューマンエンパワーメントシステムの社会実装、普及を図る上で恵まれた環境にあり、世界をリードしやすいポジションにある。

しかし、前章で述べたように、テレイグジスタンスを社会に根付かせるためには、人々の理解や安心感を得るとともに、人々や雇用主の固定観念、企業の文化や組織構造、社会や国の制度、仕組みを自らが変革し、テレイグジスタンスを前提とした社会構造を再設計する必要がある。そのため、テレイグジスタンスの早期社会実装、産業化には、たとえば以下に述べるように、(1)安全性、セキュリティ、倫理など、(2)雇用問題、(3)人材育成に係る制度改革などが重要であると考えられる。今後、産学官民でのさらに掘り下げた議論、社会実験による効果の検証を行い、それを誘導する仕組みを含め、バランスの取れた施策を継続的に検討し、導入していくことが望まれる。

(1)　安全性、セキュリティ、倫理など

AI、ロボットに関わる共通課題として、海外では、ホワイトハウス[14]、IEEE[15]、アシロマAI原則[16]などで、我が国では総務省のAIネットワーク社会推進会議[17]などで、議論がなされている。たとえば、AIネットワーク社会推進会議の報告書[17]で、AI開発9原則(① 連携の原則、② 透明性の原則、③ 制御可能性の原則、④ 安全の原則、⑤ セキュリティの原則、⑥ プライバシーの原則、⑦ 倫理の原則、⑧ 利用者支援の原則、⑨ アカウンタビリティの原則)、AIネットワーク化が社会・経済にもたらす影響について慎重に議論されている。軍事応用をもめざす中国[18]を除けば、海外などでも議論もほぼ同じである。詳細については参考文献[17]を参照されたい。テレイグジスタンスについても同様の懸念はあるが、人間が最終的な判断を行うため、セキュリティ、安全運転などの固有の問題を除き、その影響度は比較的小さいと考えられる。

(2)　雇用問題

人間にとって、知的労働者として働くことが大切で、人間は労働により、人生の三悪、すなわち、退屈、悪徳、困窮から守られるとされる。さらに重要なことは、人間がそれぞれの役割をもって、価値を創造できる(やりがいをもって働ける)場を提供することである。

一方、効率向上・働き方改革を可能にする汎用技術が威力を発揮するには、前章で述べたように、仕事のやり方や組織の在り方の変革など、補完的イノベーションが必要である[7,19]。このためには、産官学民が文理工医など多分野で協創して、社会実装の場とともに、技術開発における市民参加や市民と専門家の対話の場などを構築し、人々や雇用主の固定観念、企業、社会や国の制度、仕組みを自らが変革し、テレイグジスタンスを前提とした社会構造改革に取り組める文化、リテラシーを醸成する、以下の制

度の検討、社会実験による検証、有効例とそれを誘導する仕組みの導入が望まれる。以下に、テレイグジスタンスの早期産業化に有効と考えられる、雇用問題に係る 4 項目の制度改革を提案する。

① 税制優遇策や規制改革を通じて、テレイグジスタンスによる社会革新を促進する。
② 環境浄化、インフラ整備等、持続可能な社会の実現に向けた取り組みや作業を選定し、その実践者・テレイグジスタンスロボット所有者を表彰する。
③ メイド・バイ・テレイグジスタンス表示を設け、企業を表彰する。
④ テレイグジスタンス実施者において、機械に課税、労働者には奨励金を給付する。

(3) 人材育成

人間を取り巻く社会・産業構造、テクノロジーの変化は激しいが、人間の寿命は大きく延び、特に先進国では“人生 100 年時代”を迎えている[20]。従来の、教育、就労、引退といった 3 段階の人生モデルは破綻しつつあり、長い人生の後半を豊かに送るための、新たな働き方、生き方、多段階人生モデル、特に人間の成長に関わるプロセスのイノベーションが必要とされるようになった。

そこで来るべきテレイグジスタンス社会を想定し、テレイグジスタンスシステムによる支援、能力拡張を活用し、これまでにないアイディアやコンセプトを思いつく発想力、複雑なコミュニケーション・身体制御力、総合的なパターン認識力などを活かして活躍し続ける仕組みの構築が大切である。テレイグジスタンスの早期産業化に特に有効と考えられる、以下の人材育成策を提案する。

① テレイグジスタンスを使いこなすための人材教育と資格制度を用意する。

５　我が国の先導的優位を活かし、早期に先進的な社会実装を

1980 年に概念が提唱され、長らく研究開発段階にあったテレイグジスタンスは[21]、2007 年頃からテレプレゼンスという名称で米国で商品化され始めた[22]。ただしこれらは、臨場感がなく、話をすることだけで、作業することはできない。

これに対し、世界の偉大なリーダー50 人に 2014 年に選出され、イノベーション界のカリスマと評されるピーター・ディアマンデス氏が 1995 年に創立した、非営利 XPRIZE 財団が主催するコンペ Visioneers Summit が 2016 年 10 月に開催された。当該 Summit の目的は、次の XPRIZE の対象テーマを 9 つの候補テーマの中から選ぶことにあり、学識経験者や企業の CEO、VC の決定権者などからなる約 300 名の Mentor と呼ばれる審査員により、9 チームの提案テーマが 2 日間かけて審査される。本サミットで、本プロジェクトリーダの舘が、Limitless Travel Avatar チームのために、世界で最も進んでいる Avatar である TELESAR V の実演を行なった[23]。その結果、Limitless Travel Avatar が、次期の XPRIZE のテーマとして選定された。これは、VR、ロボティクス、ネットワーク等、最先端のテクノロジーを用い、異なる複数の場所に人間がロボットの身体を用いて存在し、物理的に物を触ったり作業したりできるテレイグジスタンス技術の実現をめざすものである。これにより、世界中からの参加者による AVATAR XPRIZE に向けての競争が開始されることになった(図 18)[24]。

テレイグジスタンス技術によれば、環境、距離、年齢、身体能力などさまざまな制限に関わらず、人間があたかも自在に瞬時に移動して作業することが可能となる。このため、(1)放送、スポーツ産業、娯楽産業などのサービス産業分野、(2)遠隔介護、遠隔診断、救急医療などの健康医療産業分野、(3)過酷、危険な環境下での作業、多様な環境からの労働参加などの遠隔労働産業分野、(4)モバイル/ウェアラブル分野、などでのアバターの活用などを通じて、社会課題解決と経済発展の両立を実現しようとする機運が高まっている。

このため最近では、ディズニーリサーチ[25]、KDDI[26]、新日鉄住金ソリューションズと NTT ドコモ[27]やトヨタ[28]など、臨場感があり作業も可能なテレイグジスタンスを指向した製品をめざした開発の動きがでてきている。また、科学技術振興機構(JST)の ACCEL プロジェクト[29]による「身体性メディアコンソーシアム」に、触覚や身体性をともなう VR やテレイグジスタンスの事業化をめざす企業が 40 社以上集まるなど、その方向を加速し、作業を伴う遠隔就労を実現させ、テレイグジスタンス産業分野を形成しようとする動きも活発になっている。

図 18　ANA AVATAR XPRIZE のスケジュール[25]

（出典）ANA AVATAR XPRIZE 資料を元に、AI・ロボットプロジェクトで作成

このように世界のイノベーションを牽引し革新を起こし続けている XPRIZE 財団により AVATAR が選定されたことなどを契機に、世界中でテレイグジスタンスの更なる社会実装、産業化に向けた挑戦が始まりつつあり、本プロジェクトは時宜を得たものといえる。

６　今後の展望

最近では、組み合わせ型のイノベーションが、工学や経済活動のなかで重要な位置を占めるようになってきている。そのため、汎用技術を核とし、有用な組み合わせのなかから広く叡智を集め、補完的技術を効率的に発見、開発しようとするオープンイノベーション、エコシステムの重要性が高まっており、テレイグジスタンス発祥の地である我が国では、その加速のために、科学技術振興機構(JST)の ACCEL プロジェクト[29]が発足している。さらに、2017 年１月には、ロボティクス、VR、触覚技術の専門家たちで構成され、テレイグジスタンスをビジネスにしていこうとする「Telexistence 株式会社」(TX Inc.)が設立され[30]、オープンイノベーションの中核となる組織が誕生した。今後、オープンイノベーションにより、エコシステムを構築して適宜必要技術を開発し、東京オリンピック・パラリンピックなどでの PoC(Proof of Concept)を活用して市場を早期に見極め、需要に応じて、現在の自動車産業の規模に匹敵する、順次時空間産業とも呼ぶべき新たな産業基盤が構築されることが期待される(図 19)。

テレイグジスタンス技術によれば、さまざまな課題に対して、義体操作者の行動データが得られ、蓄積できる。これは、さらなる技術向上のための貴重な資源となるばかりでなく、人間が高度な作業に集中するためのデータ基盤になると期待される。このような、テレイグジスタンスのプラットフォーム化を推進すれば、個性豊かな人間のネットワークが強化され、ネットワーク効果で指数関数的に組み合わせ型イノベーションが実現でき、結果として我が国の産業競争力強化につながる。これにより、バランスの取れた経済発展、広がりつつあった格差の縮小、社会の分断の解消、QoL(Quality of Life)の高いテレイグジスタンス社会を世界に先駆けて実現でき、豊かで持続可能な社会の構築に貢献できると期待される。

本報告書はEAJ会員を始めとする有志による検討を提言としてまとめたものである。国連の SDGs では、目標 8 として、包摂的で持続可能な経済成長と，万人の生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用の促進が、我が国の Society 5.0(超スマート社会)では、(1)人とロボット・AI との共生、(2)オーダーメイド・サービスの実現、(3)サービス格差の解消、(4)ゲームチェンジ機会の増加などが、また我が国の経済産業省では、様々な業種、企業、人、機械、データなどをつなげて、産業競争力の強化、国民生活の向上・国民経済の健全な発展をめざす、Connected Industries[31]の取組みが提唱されている。これらは、本報告で述べたように、テレイグジスタンスとの整合性が高く、テレイグジスタンスの社会実装、産業化により、早期に実現されることが期待される。

本報告をひとつの契機として、EAJ、産学官民での改革への議論、連携が深まり、より活き活きと心豊かで持続可能なテレイグジスタンス社会を世界に先駆けて実現すべく、多くのステークホルダを巻き込んだ協創活動など、我が国ひいては世界を変革する動きが加速されれば幸いである。

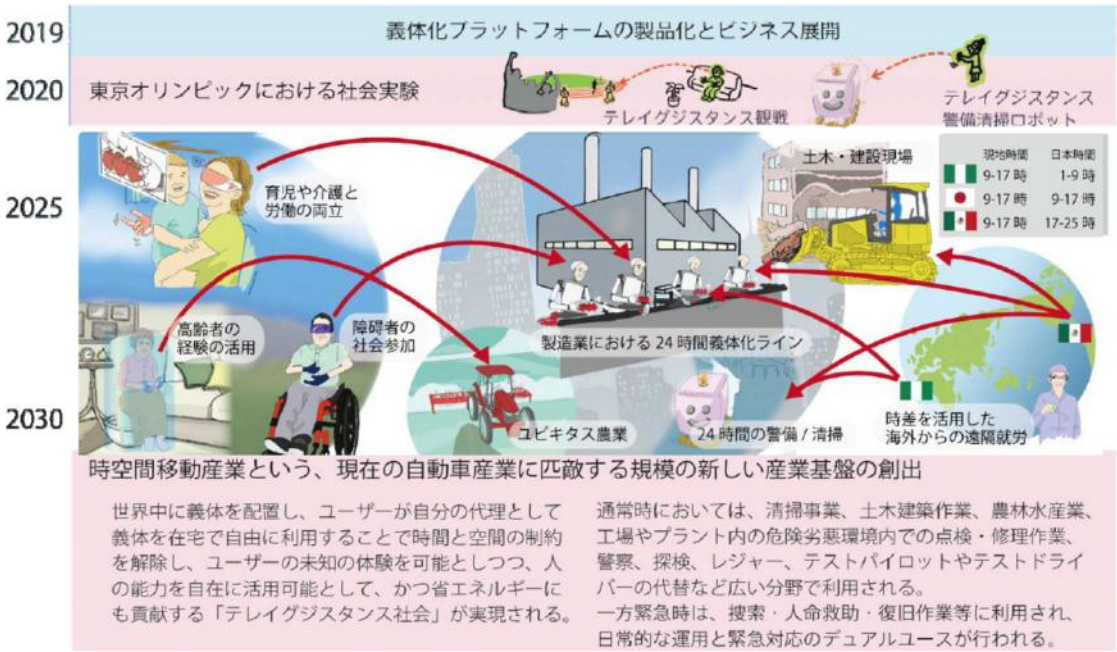

図 19 今後の展望[9]

(出典)JST ACCEL「身体性メディア」プロジェクトによる

＜参考資料＞審議経過

チームの活動記録

・拡大プロジェクトチーム会合＠東大	2017.01.19
・EAJ メッセージ P-1017-03 で活動状況報告@EAJ 総会	2017.05.11
・日本工学アカデミー政策提言小委員会＠三菱総研	2017.11.13
・提案書(暫定版) 1 次議論	2018.02.02
・拡大プロジェクトチーム会合(提案書審議)＠東大	2018.02.20
・提案書(修正版)メール審議	2018.03/21～04/9
・”テレイグジスタンス社会“政策提言準備会	2018.06 発足検討中
・EAJ フォーラム”テレイグジスタンス社会“	2018.06.14 開催予定

審議経過

2018 年 3 月 14 日暫定版受付。
2018 年 3 月 20 日政策提言小委員会にて、暫定版査読。修正指示。
2018 年 4 月 11 日政策提言小委員会にて、修正版の審議了。公開前に図表の引用許可を取ることを前提に、プロジェクト名での公開を可とする。
2018 年 4 月 19 日企画・運営委員会にて修正版の審査結果を報告し、了承される。
※受付日に代わり、所属先の更新のために、この日付を報告書日付とした
2018 年 5 月 15 日理事会にて報告、承認。ホームページに掲載。
2018 年 6 月 6 日　事務局において、誤植を改訂。

＜参考文献＞

[1]http://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/
[2]たとえば、http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html
[3]たとえば、ジェレミー・リフキン、限界費用ゼロ社会（2015）
[4]Susumu Tachi: Telexistence 2nd Edition, *World Scientific*, ISBN 978-981-4618-06-9（2015）
[5]舘暲「人工現実感」日刊工業新聞社（1992）
[6]https://www.intuitivesurgical.com/jp/
[7]エリック・ブリニョルフソン、アンドリュー・マカフィー、ザ・セカンド・マシン・エイジ(2015)
[8]舘暲「テレイグジスタンス」*日本ロボット学会誌*、vol.33-4、pp.215-221(2015)
[9]舘暲「20 年後のテレイグジスタンス」*日本バーチャルリアリティ学会誌*、vol.21-3、pp.34-37（2016）
[10]http://activity.jpc-net.jp/detail/01.data/activity001494/attached.pdf
[11]たとえば、藤井 直敬、つながる脳（2009）
[12]たとえば、https://time-space.kddi.com/kddi-now/tsushin-chikara/20170629/2021
[13]https://www.xprize.org/
[14]White House, Preparing for the Future of Artificial Intelligence (2016).
[15]The IEEE Global Initiative for Ethical Considerations in Artificial Intelligence and Autonomous Systems, Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Wellbeing with Artificial Intelligence and Autonomous Systems, Version One - Request For Public Discussion
[16]https://futureoflife.org/ai-principles-japanese/
[17]www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01iicp01_02000067.html
[18]中国「新一代人工知能発展計画」2017 年 7 月 8 日
[19]たとえば、www.soumu.go.jp/main_content/000489619.pdf
[20]たとえば、リンダ・グラットン、アンドリュー・スコット, LIFE SHIFT（ライフ・シフト）:100 年時代の人生戦略(2016)
[21]http://hapticdesign.org/designer/file006_tachi/
[22]たとえば、http://www.vgocom.com/、https://www.doublerobotics.com/、https://wired.jp/2012/10/02/suitable-technologies-beam/
[23]https://www.f3nws.com/news/welcome-your-new-robot-overlords-humans-cnet-QvCpZ
[24]https://www.ana.co.jp/group/pr/201610/20161004-2.html
[25]https://www.disneyresearch.com/
[26]https://robotstart.info/2017/10/03/ceatec-kddi-telexi.html
[27]https://www.nikkei.com/article/DGXMZO23258700Y7A101C1X30000/
[28]https://newsroom.toyota.co.jp/jp/album/videos/19841520/
[29]https://www.jst.go.jp/kisoken/accel/research_project/ongoing/h26_05.html
[30]http://tachilab.org/jp/news/20180126.html
[31]http://www.meti.go.jp/press/2017/10/20171002012/20171002012-1.pdf

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

編集発行
（公社）日本工学アカデミー
〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20 建築会館 4F
TEL：03-5442-0481　　FAX：03-5442-0485
E-mail：academy@eaj.or.jp
URL：http://www.eaj.or.jp/