

EAJ 報告書 2021-03

一般財団法人 新技術振興渡辺記念会
令和 2 年度(2020 年度)上期科学技術調査研究助成

「ウイズコロナ社会後の人と機械の共生の在り方 に関する科学技術の発展動向」 成果報告書



令和 4 年（2022 年）2 月

公益社団法人日本工学アカデミー
「ウイズコロナ社会後の人と機械の共生の在り方に関する
科学技術の発展動向」調査研究プロジェクト
(リーダー：萩田 紀博)

2022 年 2 月 8 日

公益社団法人日本工学アカデミー

日本工学アカデミーは、工学・科学技術全般の発展に寄与する目的で設立された産学官の指導的技術者を会員とする団体です。会員の豊かな経験や知識、幅広いネットワークを活用したプロジェクトチームを中心に、広く会員外からの協力も得て、調査提言活動を進めています。その成果をまとめ、社会が目指すべき方向性に関して、官公庁、立法府、産業界、学会、研究機関等に先導的、創造的な施策を提言し、社会実装を目指します。

「ウイズコロナ社会後の人と機械の共生の在り方に関する科学技術の発展動向」は、2030 年頃の人間と機械の共生社会の実現をイメージして、重点的に取り組むべき課題は何かを提言します。これに関する種々の倫理的・法的・社会的・経済的課題が生まれることも明らかであり、これらを丁寧に取り組んでいくプロセスを踏むことも重要であることも含めています。今般、本報告書の原案がまとめられ、政策提言委員会での査読を受け、理事会での審査を経て、最終版を確定しましたので、日本工学アカデミーとしての発出を理事会で決めました。広くご活用いただくことを期待します。

目次

要約用語集	1
1. はじめに.....	2
2. 人間と機械の共生関係の歴史	4
2.1 機械と人間能力強化の定義	4
2.2 人と機械の共生関係の歴史	4
2.2.1 産業革命をきっかけとした人と機械の共生	4
2.2.2 情報通信技術を活用した機械による能力強化	5
3. 人間と機械の共生システムに関する研究開発動向	6
3.1 世界が進めるレジリエントな HMS 開発の動向	6
3.2 人間の能力を拡張・強化するアバター・ロボット・AI 研究開発動向	7
3.3 これからの HMS で考慮すべき E ³ LSI.....	8
3.3.1 人類が直面する地球環境に関する課題	8
3.3.2 労働・経済環境に関する課題.....	9
3.3.3 HMS が引き起こす可能性のある精神的・心理的課題	15
3.3.4 ガバナンスの意思決定に影響を及ぼす課題	15
4. これからの人と機械の共生システムに必要な機能・要件と開発の方向性	11
4.1 レジリエントな HMS に必要な機能・要件	16
4.2 人間の能力を拡張・強化する HMS に必要な機能・要件.....	17
4.3 HMS の E ³ LSI 課題をクリアする方策	17
5. 未来社会が求める HMS に関する3つの提言	18
5.1 提言 1: 災害等に対してレジリエントな HMS.....	18
5.2 提言 2: 働く環境、日常生活の変化に対応する HMS	19
5.3 提言 3: E ³ LSI(倫理的・経済的・環境的・法的・社会的課題)を明らかにして、HMS の負の側面の問題を解決すること	15
参考文献	16

要 約

人間は自らの能力を拡張するために機械と共生してきた。その歴史に学べば、人間と機械の共生システム (Human-Machine Symbiosis, HMS) は、産業革命以降、蒸気機関、自動車、飛行機といった「乗り物」によって、人間の移動能力を飛躍的に伸ばし、電話、コンピュータ、インターネット、無線通信などの情報通信技術によって、人同士のコミュニケーション、モノやサービス流通に大変革を起こしたと言える。一方、脱炭素で地球温暖化を食い止め、災害や感染症に対して、レジリエントで持続可能な社会を構築し、人・社会・地球環境の健全性 (Well-being) を維持しつつ、新たな価値を創出することが喫緊の課題であり、この解決のためにも新しいHMSの実現が不可欠となっている。

そこで、本報告書では、(1) 災害・感染症等や労働力の高齢化に対してレジリエントな社会・経済基盤を作るためのHMS、(2) 人間の能力をさらに強化・拡張して、働く環境及び日常生活環境の変革を起こすHMS、(3) HMS推進フォーラムを設置し、人、社会、地球環境の健全性を実現するHMS方法論やE³LSI (倫理的・Ethical、経済的・Economic、環境・Environmental、法的・Legal、社会的・Social課題・Issues) を解決するHMS施策を明らかにする。さらに、人の創造性 (Creativity) をどのように持続的に発揮していくかを検討する。

まず、第1の方向性として、自然災害の激甚化や感染症の多発・長期化に対して、製造業界を中心に、レジリエントなHMSを構築する。そのために経営資源を再結合・再構成できる企業変革力 (Dynamic Capability) を強化することを提案する。持続可能な社会を実現するためには、人-人、人-機械、機械-機械の多様な相互作用によって生まれる知見を、人と機械が共有する知識基盤の上に構築し、人や機械それぞれ単独では成し得なかった創造性、およびその持続性を実現すること重要となる。「人だけでなく機械を含めた多様性」をマルチバース (Multiverse)、「人と機械で知識を共有して相互に気づきを与えていく仕組み」をメディエーション (Mediation) とし、マルチバース・メディエーションによるレジリエントなHMSを今後の産業政策における施策として国に (特に厚生労働省、経済産業省、文部科学省などに) 提言する。

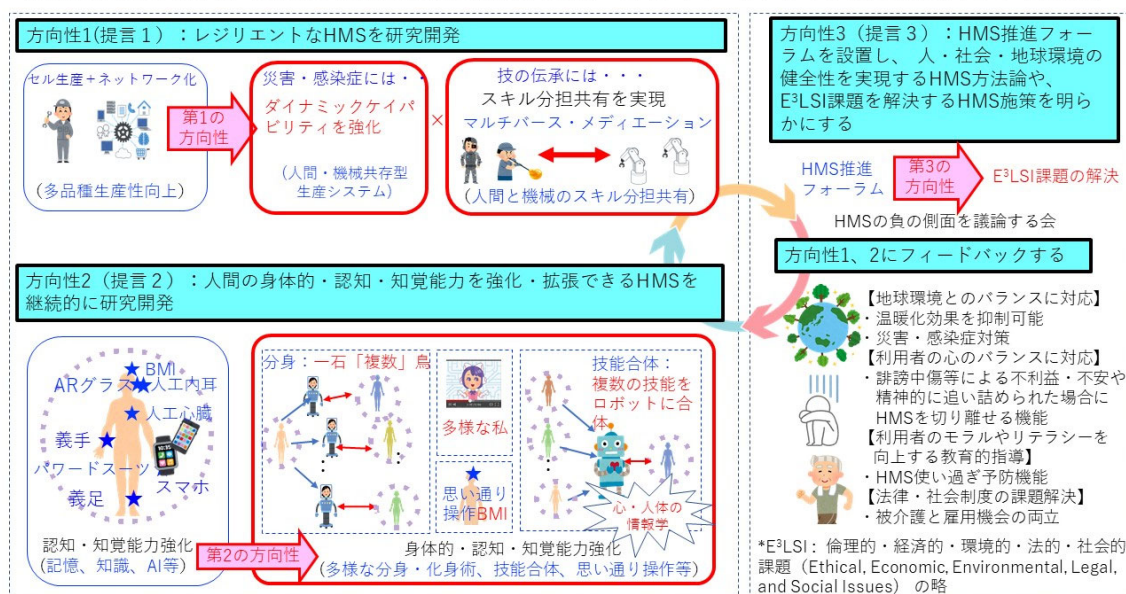
第2の方向性として、人間の能力を強化・拡張するHMSの研究開発を推進する。この推進により、働く環境及び日常生活が2030年頃に大きな変革を起こす。この変革によって、ダイバーシティ&インクルージョン社会が一步前進し、希望する障がい者や高齢者が働く機会を得て、社会活動へ参加することが可能となる。1人で1体のロボットやアバターを操作する現状の技術を一変させ、人と機械とAIアルゴリズムが連携して、1人で複数体のアバターを操作したり、複数人で複数体のアバターを操作するHMS、手や足などの身体的操作なしでもBMI (Brain-Machine Interface) を用いて脳で考えた通りに動かせるHMS等の研究開発も進むと考えられる。こうしたHMSはサイバネティック・アバターと呼ばれ、メタバースのような仮想空間や遠隔のリアル空間での労働などの市場拡大にも

大きく貢献することになる。成長産業の市場で世界のイニシアティブを獲るために、人間の能力を強化・拡張するHMSの研究開発を、2030年に向けて継続的・戦略的に推進する必要があることを、国に(特に、文部科学省、JSTなどに)提言する。

最後に、第3の方向性として、誰もが働く機会を得て、社会参加が可能になるHMSを利用すればするほど、それに伴って様々なE³LSI が生まれることを明らかにする。HMSの研究開発と連携し、それらのE³LSI によって引き起こされるHMS利用の負の側面を解決可能とする各種制度(法制度含む)を一般市民、利用者を含む多様なマルチステークホルダーで、民主主義的な手段で解決する場づくり(HMS推進フォーラム)を新たな社会構築のための施策として、広く国(特に、厚生労働省、経済産業省、文科省、JSTなど)や国民に提言する。たとえばHMSを利用することによって起こる不利益や不安・精神的に追い詰められるような状況が起きた場合にはHMSを切り離せる機能を持たせる、利用者のモラルやリテラシーを向上する教育的な指導を行うなどを議論する。一般市民、利用者を含むマルチステークホルダー間でHMSが社会に及ぼす影響や地球・社会環境とのバランスのとれたHMSのあるべき姿とは何かについて考える。

以上の3つの方向性を以下の図に示す。

人間機械共生システム (Human-Machine Symbiosis, HMS) で世界のイニシアティブを獲るための3つの方向性



全体図 2030年頃の人間と機械の共生社会のあるべき姿とその実現に向けて国や産業界が
行動計画を立てるべき3つの方向性(提言)

要約用語集

(五十音順)

- 一石「複数」鳥:1人の遠隔操作者が複数体のアバターを遠隔操作する様子を表した表現。
- 思い通り操作BMI:頭に思い浮かべた言葉や行動を高精度に解読できるBMI。
- 機械:一般的に動力源とその動力を制御する機構をもつシステム[2]
- 技能合体:1体のアバターの部分(たとえば、腕や脚や胴体を)を複数人の技能で分担して遠隔操作すること。
- ダイナミック・ケイパビリティ(Dynamic Capability):経営資源を再結合・再構成できる企業変革力を表す。
- マルチバース・メディエーション(Multiverse Mediation):人だけでなく機械を含めた多様性を考慮して、人と機械で知識を共有して相互に気づきを与えていく仕組み[12][14]。
- レジリエントなHMS:災害・感染症等や労働力の高齢化といった有事や危機的な状況においても、回復力のある人と機械の共生システムを表す。
- BMI:Brain-Machine Interfaceの略。
- E³LSI:倫理的・経済的・環境的・法的・社会的課題(Ethical, Economic, Environmental, Legal, and Social Issues)の略。この表現はバイオを中心に使われた歴史的経緯がある。
- HMS:人間と機械の共生システム(Human-Machine Symbiosis)の略。

1. はじめに

本プロジェクトは、2030年頃の人間と機械の共生 (Human-Machine Symbiosis, HMS) 社会の実現をイメージして、成長産業の可能性を視野に入れつつ、重点的に取り組むべき課題は何かを提言する。表1のメンバーからなるプロジェクトの委員会を2020年10月から2021年8月まで7回開催した。その結果を元に、持続的発展と安全安心な社会の実現に向けて、国や産業界・社会が立てるべき計画の方向性を提言する。

本プロジェクトを開始した2020年2月頃から、世界中が新型コロナウイルスによるパンデミックの脅威に晒され、人々はマスクの使用や会食の禁止など、様々な制約の下で不自由な生活を強いられた。パソコンやスマホを使ったテレワーク、オンライン会議が会社や学校で当たり前になり、海外渡航や県間の移動も制限され、従来までの生活様式は一変した。

一方、リアル空間での社会・経済・商業活動の制約から人々を解放するために、メタバースと呼ばれるサイバー空間上の新たなプラットフォームが注目されている。2030年頃には、大容量、超低遅延の無線通信5G及びそれに続くBeyond 5Gの無線インフラの整備も進む可能性が高い。

今後10年で、ロボット、アバターなどの研究開発とその社会実装が、地球環境、社会環境、経済活動に破壊的なイノベーションを生み出す可能性がある。2020年12月から開始したムーンショット目標1[1]においても、サイバネティック・アバター（遠隔操作で動作するロボットやアバターなど）や自律AIロボットなどの機械の研究開発によって、人間は空間、時間の制約から解放され、身体、認知、知覚等の能力をさらに強化・拡張できる可能性がでてきた。ムーンショット目標1では2050年までに障がい者や高齢者など、望む人はだれでも働く機会を得て、様々な社会活動に参画できる社会の実現をめざしている。人間の能力を拡張するHMSの開発が進めば進むほど、そこから種々のE³LIが生まれることも明らかであり、一つひとつを社会が受容できるように、丁寧に解決していくプロセスを踏むことも重要である。

このプロセスを次の3つの方向性で進め、関連省庁・機関に提言する。

第1の方向性(提言)として、人命と市民の生活を守り、安全・安心を確保するために、災害やパンデミックの発生など有事に対するレジリエントなHMSを構築することを提案する。経営資源を再結合・再構成できる企業変革力 (Dynamic Capability) を強化すると同時に、労働力の高齢化・設備老朽化の問題に対しても、人間から人間、人間から機械、機械から機械への技の共有・伝承方法を考えることも重要である。

第2の方向性(提言)として、2030年までにロボット、アバター、AI技術が融合することによって、人間の能力を強化・拡張するHMSが開発されることにより、社会が大きく変革し、ダイバーシティ&インクルージョン社会に近づく可能性がある。希望する障がい者や高齢者が働く機会を得て、様々な社会活動への参画が可能になる。

一方で、HMSの恩恵だけでなく、使い過ぎによる深刻な精神疾患、能力強化による技能格差等

の負の側面の可能性も考慮する必要があり、これらを解消する研究開発が重要になる。そこで第3の方向性(提言)として、こうした課題を明確化し、HMS利用の負の側面やE³LSI課題の制度的解決を一般市民、利用者を含むマルチステークホルダーで、民主主義的な手段で解決する場づくり(HMS推進フォーラム)の必要性を述べる。

表1 人と機械の共生社会のデザインプロジェクト

役割	氏 名	所属・役職	委員会での話題提供
リーダー	萩田 紀博	大阪芸術大学芸術学部アートサイエンス学科長・教授	第2回 2020/12/21 「JST CREST 知的情報処理システムにおける人と機械の共生(HMS)研究紹介」
サブリーダー	浅間 一	東京大学 人工物工学研究センター長、教授	第5回 2021/5/8 「人間道スイッチー 人と機械の共生とは？」
幹事	野中 洋一	日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーション センタ 主管研究長、 インダストリーテクノロジー ラボラトリー ラボラトリー長	第1回 2020/10/26 「ドイツ工学アカデミーで実施した関係活動の御紹介Revitalizing Human-Machine Interaction for the advanced society社会の発展のための人と機械のインタラクションの再構築」
幹事	橋本 隆子	千葉商科大学 副学長、教授	第5回 2021/5/8 「生存情報学人類的、社会的課題に対して、情報学としていかに取り組み生き延びるか」
委員	石黒 浩	大阪大学 基礎工学研究科 教授、 国際電気通信基礎研究所(ATR) 特別研究所長	第4回 2021/3/25 「未来社会 ERATO (自律ロボ共生)、2050年目標1 Moon Shot Goal 1 (対話行動)」
委員	金井 良太	株式会社アラヤ 代表取締役	第4回 2021/3/25 「ムーンショット目標1 金井プロジェクトの紹介とウィズコロナ社会後の人と機械の共生のあり方」
委員	小林 正啓	花水木法律事務所 弁護士	第3回 2021/1/25 「機械が道具を超える時代におけるELSE について」
委員	田中 健一	三菱電機株式会社 開発本部 開発業務部・技術統轄	第1回 2020/10/26 「大変革期の社会デザイン」
委員	土井 美和子	情報通信研究機構 監事	第3回 2021/1/25 「境界から考えるHXS」
委員	永野 博	慶応義塾大学 訪問教授	
委員	直井 聡	国立研究開発法人科学技術振興機構(JST) 挑戦的 研究開発プログラム部 技術主幹	第4回 2021/3/25 「ムーンショット 目標1 「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現-期待と課題、提言に向けて-」
委員	間瀬 健二	名古屋大学大学院 情報学研究科 教授	第2回 2020/12/21 「人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術研究から見た動向」
委員	南澤 孝太	慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 教授	第4回 2021/3/25 「EAJ-HMS 身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」
委員	宮下 敬宏	国際電気通信基礎研究所(ATR) インタラクション科学研究所長	第3回 2021/1/25 「ニーズ動向について：JST START・SCOREの紹介とテクノロジーマーケットフィット」
委員	山口 高平	慶應義塾大学 理工学部 管理工学科 教授	
委員	山本 宏	東芝 コーポレートデジタイゼーション CTO & デジタルイノベーションテクノロジーセンター長	第1回 2020/10/26 「IoPに関して」
特別講師	木村 文彦	東京大学名誉教授	第5回 2021/5/8 「人と機械の共生ーものづくりから社会へー」

2. 人間と機械の共生関係の歴史

2.1 機械と人間能力強化の定義

Wikipediaによれば、機械とは「一般的に動力源とその動力を制御する機構をもつシステム」と定義される[2]。例として、乗り物（自動車、船、飛行機）、情報家電、コンピュータ、ファクトリー・オートメーション・システム、ロボット、分子マシンがある。本提言では、このWikipediaの定義にならい、機械を「動力源とその動力を制御する機構をもつシステム」として定義する。

人間と機械との共生の在り方は、人間が機械を使って自らの能力を強化・拡張する人間強化 human enhancement[3]に関する歴史と関係が深い。人間強化は、人間の身体的能力または精神的な能力を強化するために人体を、自然に、人工的に、技術的に改変することをいう。類似の用語として、人間拡張 Human Augmentation[3]があるが、意味としては同義語である。本報告書では、人間強化・拡張 human enhancement and augmentation を用語として以後使用する。

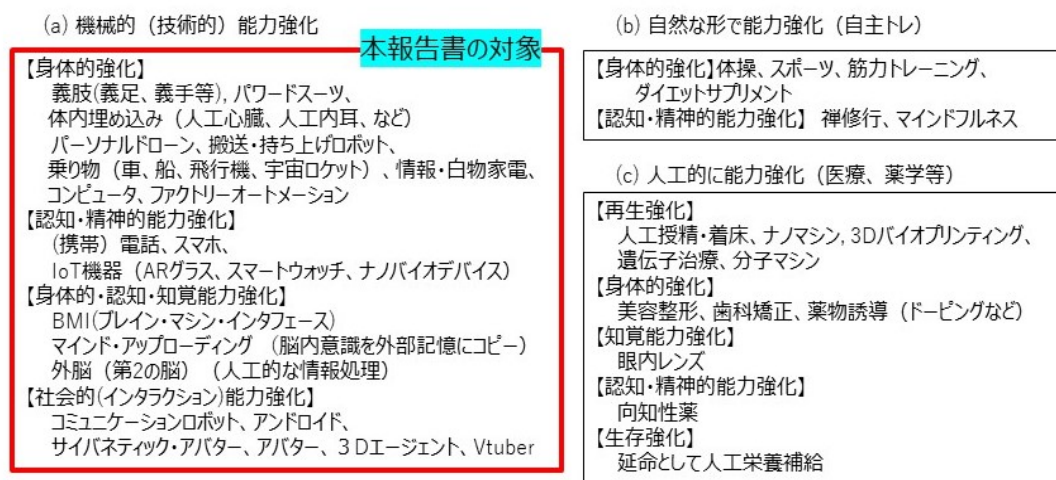


図1 人間強化・拡張の中で、本報告書が対象にするのは(a)機械的(技術的)能力強化

2.2 人と機械の共生関係の歴史

2.2.1 産業革命をきっかけとした人と機械の共生

産業革命までは、人間は馬、牛などを使って、人や物資を輸送・移動してきた。18世紀後半、1769年にワットが蒸気機関の新方式を開発し、炭鉱経営者が馬に代わる動力として安価に入手出来る石炭を利用できる蒸気機関に着目したことで、蒸気機関が普及した[4]。人間が馬・牛の代わりに、これらの機械と共生することによって、輸送・移動能力が強化された。1886年にガソリンエンジンの三輪車が自動車の第1号として開発され、1908年にT型フォードという大衆車が産まれた[5]。1962年、米国ベンチャー企業であるユニメーション社が産業用ロボットを実用化した。これが当時生産現場の自動化を推し進める米国の

自動車産業から注目され、米国ゼネラルモーターが自社のダイキャスト工場に産業用ロボットを導入したことがきっかけで実用化が始まった[6]。

2.2.2 情報通信技術を活用した機械による能力強化

1970年代後半から、情報通信技術を活用した機械の導入が始まった。オフィスにおいて、算盤や鉛筆・消しゴムを利用した業務から、コンピュータという機械を使って、省力化や無駄な紙情報を電子化するオフィス・オートメーションの動きが生まれた[7]。コンピュータは仕事の効率化が図れる機械であったために、「算盤からパソコンを机に」というオフィス革命がおきた。さらに、コンピュータ同士をネットワークで接続することで、国内郵便や航空郵便に比べて、いつでもどこからでもすぐに情報を共有できる情報通信の利用が進んだ。特に、大容量光通信、マルチメディア通信、無線通信技術、LSI技術などによって、軽薄短小な機械が製造可能になり、コンピュータのソフトウェア技術、ネットワーク技術、ヒューマン・インタフェース技術も飛躍的に進歩した。すなわち、コンピュータ・ネットワーク・システムという機械は、オフィスで働く人間の能力を大幅に強化・拡張することに貢献した。オフィス業務だけでなく、ファクトリーオートメーションの生産速度・性能・質を向上させた。

情報通信技術を中心とした機械は、1990年代後半のインターネットブームによって、さらに人間の能力を強化・拡張した。携帯電話の小型化、定額利用などのサービス、各種のeサービスが生まれたことによって、労働者だけでなく、日常生活の必需品としての意味をもってきた。2010年代からのスマホやIoT機器によって、商品の購入・宅配、旅行予約、趣味、スポーツなどの余暇の過ごし方も含めて、仕事以外の分野にも機械の利用が拡大した。それまでの情報通信メディアに比べて、インターネットのいつでも、どこからでも定額料金で、オフィス業務、学生、主婦、高齢者に至るまで幅広い世代での利用が可能になった。結果として、情報検索・発信・共有などの認知能力を強化し、AI技術によって天気予報、災害予測などの情報をスマホなどから利用できるようになった。

それと同時に、サイバー空間は、実生活における仕事や学校の人間関係などが原因で起きる問題からの逃避、昼間と深夜の区別がつかなくなるほど使い過ぎて、ネット依存症、ゲーム依存症などの精神疾患を引き起こす機械であることも分かってきた[8]。事件や犯罪に巻き込まれるきっかけになること、誹謗中傷やいじめの温床になることなどの深刻な事例も報告され、「賢く活用する 知識・知恵」「ルールを守って使える健全な心」「安全に利用するための危機管理意識」を育むことが重要である[8]。すなわち、スマホという機械は、Well-beingを高めるために、日常生活の人間の活動能力を強化・拡張することに貢献しているだけでなく精神疾患やプライバシー、著作権、フィッシング詐欺、個人情報流出、ながらスマホが招く事故など様々な社会問題を引き起こす機械であることもわかってきた。

3. 人間と機械の共生システムに関する研究開発動向

3.1 世界が進めるレジリエントなHMS開発の動向

災害やパンデミック時において、人と機械の共生により、災害などによる経済損失を最小限に抑え、レジリエントに製造業の価値生産活動を再構築できる企業変革力(Dynamic Capability) が重要となる。人間と機械の共生という視点からみれば、ロボットに人間の社会活動能力を代替して強化・拡張することに相当しているが、技術面でも安全・安心面でも解決すべき課題は多い。人出が急に確保出来ない作業、24時間続けてできない作業や、災害救助のように72時間以内に救出するという緊急を要する作業、放射能・大気汚染などの人にとって危険な場所での作業、トイレや下水回りの清掃、介護支援(高齢者とのコミュニケーション支援、人の介助、モノの移動など)などのエッセンシャル・ワーカー(生活必須職従事者)の部分ロボットに置き換えることも進められている[9]。

特に災害発生時には、災害の調査／対応、被災者探索／救助などの活動において、人が現場にアクセスしたり、活動することが危険、困難、不可能な環境が多く存在するため、ロボット活用のニーズが高い。しかるに、そのニーズは多様で、環境も無限定であるために、そのニーズに応えられるような自律ロボットを実現することは技術的に困難であり、多くの場合、遠隔技術(遠隔操作が可能なロボット)が用いられる。COVID-19からの解放が難しい現在の状況から類推すれば、今後起きるかもしれない感染症に対処するためには、この遠隔技術は人間と機械の共生において、必須の技術となる。オペレータが遠隔から操作するロボット技術は、オペレータが操作しやすいシステムの開発が必要である。感染症の治療にあたる医療業務では新型コロナですぐにロボット工学が貢献できることも示されている[10]。

高齢化社会、労働力不足を背景とし、消費者の多様なニーズに答えるパーソナルで高付加価値の製品・サービスがますます求められる未来社会において、全自動化ではなく「人」のもつ柔軟で豊かな能力を最大限活かす「人間と機械の協働環境」も重要となる[11]。本プロジェクトの前に、同様の視点で日独の有識者が集まり、ドイツ工学アカデミーacatech[12]で議論を重ね、提言書を出版した活動がある[14]。そこでは、人も、機械も、それらで構成される人間社会も老いる状況において、持続可能な社会を実現するために必要な仕組みを提案している。従来開発されてきた様々な支援機能や保全機能は、体力的・力学的な劣化を克服し、本質的に必要な人間の創造性を持続的に発揮していくためには、未だ不十分である。人間の創造性を持続的に発揮するための手段として、従来、人から人への技術伝承が実施されてきたが、少子高齢化の中で今後も有効に機能するか疑問である。家電や自動車など体力的な支援だけでなく、スマートフォンやインターネットの普及によって、人間への機械的支援は知識領域にも及ぶようになっている。一方で、“スマホ脳”[13]と呼ばれるように、機械の過度な支援が本来人間が備えるべき機能を劣化させるリスクをはらむ。こうした人と機械の歴史的な相互作用を踏まえつつ、持続可能な社会を実現するためには、人-人、人-機械、機械-機械の多様な相互作用によって生まれる知見を、人と機械が共有する知

識基盤の上に構築し、人や機械それぞれ単独では成し得なかった創造性、およびその持続性を実現すること重要となる。それこそが今後取り組むべき課題だとacatech日独有識者は提言した。この「人だけでなく機械含めた多様性」にマルチバース(Multiverse)、「人と機械で知識を共有して相互に気づきを与えていく仕組み」にメディエーション(Mediation)という言葉を与え、マルチバース・メディエーションとして纏め、acatechディスカッションペーパーを出版した[14]。本プロジェクトでは、このマルチバース・メディエーション(Multiverse Mediation)の考えを更に発展させ、レジリエントなHMSを今後の産業政策における施策として国に(特に厚生労働省、経済産業省、文部科学省などに)提言する。

3.2 人間の能力を拡張・強化するアバター・ロボット・AI研究開発動向

この10年で、ダイバーシティ&インクルージョン社会を実現するために、情報科学、ロボティクス、認知科学、脳科学などが学際的に連携した研究開発プロジェクトが推進されている。人間の認知・知覚能力を強化するという視点から、自閉症者、発達障がい者の自閉スペクトラム症(ASD)者の感覚過敏・鈍麻の発生過程を再現するVRタイプのASD視覚体験シミュレータなどが開発されている。このシミュレータによって、周りの人々が、当事者がどのように知覚しているかを理解しやすくなり、状況に応じて、意思疎通も図りやすくなる[15]。介護者と機械(カメラ)が連携して、認知症者の知覚特性を反映した介護方法および介護スキル学習法なども追究されている[16]。

内閣府が中心となり、2020年度から開始したムーンショット型研究開発事業におけるムーンショット目標1[1]は人間の能力を拡張・強化するために、我が国発の破壊的イノベーションの創出を狙っている。

ムーンショット目標1は「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」をめざし、利用者が遠隔操作で複数体のアバターやロボットを動かす方法を開発する[1]。すでに商業施設で1人の遠隔操作者が同時に4台のロボットが道案内などの案内サービスできることを示した例[17]があるが、ここでは、サービスタスクのバリエーションを増やす。ほとんどの遠隔操作ロボットやアバターが1人で1体のロボットやアバターを操作する現状の技術の一步先を行き、人と機械とAIアルゴリズムが連携して、1人で複数体のアバターを遠隔操作して、複数の利用者に「対話行動」を行うHMS、複数人で複数体アバターを遠隔操作して「体験共有」するHMS、手や足等の身体的操作なしでもBMI(Brain-Machine Interface)を用いて「思い通り操作」するHMS等を開発する(図2)。これらのHMSはサイバネティック・アバター(Cybernetic Avatar)と呼ばれ、メタバースのような仮想空間や遠隔のリアル空間の労働などの市場拡大にも大きく貢献する可能性が高い。

4人の遠隔操作者が連携して20体のロボットを操作し、接客(対話行動)する実証実験[18]や、ロボットカフェにおいて、ALS(筋萎縮性側索硬化症)患者が店舗のロボット1台を遠隔操作して客の注文を受けて、食事や飲み物をサーブし接客する実証実験が進められている[19]。左手の機能がまひした脳卒中の患者がリハビリ装置を用いて自分の脳波を見ながら、念じる学習によって、左手

で物をつかめるところまで回復することが以前から知られている[20]。ロボット、アバターの技術、AI技術、認知科学、脳科学などが融合することで、人間の身体的能力、認知能力、知覚能力が拡張・強化され、重い障がいを抱える人や、高齢者、子育て主婦・主夫が同時に複数の働く機会を手に入れる事例を実証していく。これにより様々な人々に働く機会や社会活動に参加する新たな機会が生まれ、我々の生活様式が一変する可能性がある。



図2 ムーンショット目標1:「空間、時間」、「身体」、「脳」の制約から解放するためのサイバネティック・アバターの3つの研究開発テーマ「対話行動」「体験共有」「思い通り操作」[1]

3.3 これからのHMSで考慮すべきE³LSI

3.3.1 人類が直面する地球環境に関する課題

18世紀後半の産業革命以来、地球の気温が上昇し、(1)温暖化、(2)それによる水、食糧の枯渇、(3)プラスチック汚染の3大地球環境問題が起き、今後、人間が地球環境とどのように共生していくかが大きな社会・経済問題になってきた[21]。IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）が2021年8月に発表した気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書（AR6）サイクルは、「人の影響で大気、海、陸が暖かくなっているのは明白で、大気、海、雪氷圏、生物圏に広く急激な速さで広がっている」と警告している[22]。さらに、「人為的な地球温暖化を特定のレベルに制限するには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくともCO₂正味ゼロ排出を達成し、他の温室効果ガスも大幅に削減する必要がある。メタン排出の大幅な、迅速かつ持続的な削減は、エアロゾルによる汚染の減少に伴う温暖化効果を抑制し、大気質も改善するだろう」とも述べている。

地球温暖化によって、シベリアでは38℃の気温を記録し、永久凍土が溶け始め太古に存在していた新種のウイルス（モリウイルス）が生物の体内で急速に増殖することが確認された。古代の病原体が新たな感染症を引き起こす可能性が高いと警告されている。地球という惑星の限界を研究しているスウェーデンのヨハン・ロックストローム博士のHothouse

Earth理論によれば、北極を覆う氷がとけて温度が上昇し、永久凍土がとけると、メタンガスが大地から吹き出し、CO₂ゼロを実現したとしても地球の暴走がとめられない。博士によれば、「150年前、人の影響は少なかったので、地球はそれらを受け止める森があった。しかし産業革命以降は、経済成長、平均寿命の伸び、生活の質の向上が進み、逆に地球が犠牲となり、進歩してきたと言っても良い」と述べている。今の人間社会は地球の回復力を弱めてしまっていて、もう変えられなくなりつつある[23]。

EUではこの状況を打破するために、グリーン・ディール政策をいち早く提案し、2030年までに120兆円を投資することで、経済成長と温暖化の両立を図ろうとしている。EUは2050年に、温室効果ガス排出が実質ゼロとなる「気候中立」を達成するという目標を掲げ、環境政策であると同時に、エネルギー、産業、運輸、生物多様性、農業など、広範な政策分野を対象とし、欧州経済社会の構造転換を図る包括的な新経済成長戦略を掲げている[24]。人間と機械の共生社会においても、これらの地球環境問題を前提に考えて行く必要がある。

3.3.2 労働・経済環境に関する課題

世界経済フォーラムは、10億人の労働者を対象とし、2030年までにより良い教育・スキル獲得・仕事のオンライン提供を目的に、新経済社会プラットフォームを設立した。オンライン環境で、これからの労働者が身につけるべきスキルとそのための新技能獲得をReskilling Revolutionと呼び、労働者が受け入れやすいオンライン学習環境創りを検討している[24]。

2020年の世界経済フォーラムからでた「The Future of Jobs Report 2020レポート」[25]によれば、COVID-19によるロックダウンとそれによる景気後退によって、企業の自動化技術導入が進み、2025年までにタスク、仕事、スキルが大きく変わろうとしている。雇用者(会社)側は、2025年までに、単純な仕事は労働力の15.4%から9%に(6.4ポイントdown)減少し、逆に専門性の高い仕事は労働者の7.8%から13.5%に(5.7ポイントup)増えるの見込んでいる。これらの数字に基づく、2025年までに8500万の仕事が機械などに置き換えられ、逆に9700万の新しい仕事が人と機械とアルゴリズムの分業で生まれる可能性があると推定されている。「Future of Jobs Survey」[25]によれば、多くの企業は新しい技術に対応して労働力を再構築することを期待しており、調査対象企業(約300社)の43%が自動化技術によって労働力を減らし、41%がタスク別業務請負委託で対応し、34%が自動化技術に伴う労働力強化を計画している。2025年までに人と機械の仕事に費やす時間はほぼ同じになり、労働者が余ることも予想されている。会社同士でも今後5年間でこの新技術を導入するだけでなく、支社間バリューチェーンの構築や労働力規模を調整するというコストを抑える動きも生まれている。

生産性とWell-beingを向上させるためには、雇用者の1/3がデジタルツールを通して、コミュニティ感、つながり感、所属意識の高揚感を高め、リモートワークへのシフトを行う必要がある。

3.3.3 HMSが引き起こす可能性のある精神的・心理的課題

我々は、人の生活や活動を支援する機械技術を構築し、人はそれを活用することで、より豊かで便利な社会を作り上げてきた。情報通信技術の進歩により、人と機械の関係はさらに大きく変化しつつある。機械は通信ネットワークに接続されるようになり、人はあらゆる生活の場面で情報機器を通じて日常的にインターネットに接続し、様々なサービスを享受している。しかし、その結果、人の情報技術への依存度が肥大化し、それにつれて新たなリスクも増大しつつあると言わざるを得ない。情報技術への過渡な依存は、情報技術の不具合や機能不全発生時の影響の甚大化に留まらず、デジタル技術中毒(依存症)の発生とそれへの対策(デジタル・デトックスなど)、様々な能力の低下や健康被害(特に精神的なもの)などをもたらすことが大きな社会的問題となりつつある。情報機器は、人と人をつなぐ役目も果たしているが、対面でのコミュニケーションを再現するものではなく、実感も十分伴っていないために、誤解が生じたり、誹謗・中傷が増幅されたり、それによって過大な心理的な負荷を人にかけるケースがあり、自殺に追い込まれるなどの事例なども発生している。セキュリティやプライバシーにも、細心の注意を払う必要が生じている。このような問題を解決するためには、情報技術との接続を切断し、情動的に自己防衛する手段や方法論の構築についても新たに考える必要がある。

3.3.4 ガバナンスの意思決定に影響を及ぼす課題

人間と機械の共生において、人間が本来持っている「匠の技」は人間から機械に伝承するには技術的課題が多い。そこで、匠の技を人間と人間、人間と機械、機械と機械との間でバランスよく分担共有できるマルチバース・メディエーションのように、匠の技の伝承は人間から人間に伝承することにして、それ以外のスキルについては人間から機械に伝承して、機械同士でもスキルを共有する、スキルの差を分担して伝承共有することが有効であることが指摘されている[14]。

階層的な仕事においても、人間と機械の分担が想定される。たとえば、職場で働く人間は「決断する人間」と「単純肉体労働を行う人間」の二種類に分かれる。すなわち、人工知能が中間管理職の立場に就き、SF映画でロボットが担う肉体労働を人間が行うことになる。このようなシステムは、社会のあらゆる分野に広がっていくことになるだろう。

階層的な仕事の役割を人間と機械で分担する変化は、直ちに人間に不幸をもたらすものではなく、システムを歓迎している労働者も少なくない[26]。しかし、単純肉体労働を行う人間の報酬は低廉化する懸念がある。より一般化していえば、将来の職場は、中間管理職が担う比較的単純な知的労働が人工知能に代替され、人間は、判断し、人工知能に指示する者と、人工知能の指示を受けて労働する者へと二極化し、その経済格差は広がっていく可能性がある。SF映画でロボットが奴隷として担うと予想された仕事は人間が行い、人工知能が人間を監督し指示を行う。人間と機械の共生において、図3に示すように、この階層的役割分担を「洗練された奴隷制(Sophisticated Slavery)」と呼んでいる[26]。

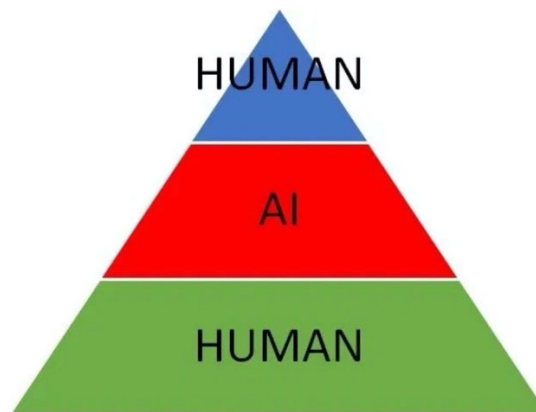


図3 洗練された奴隷制(Sophisticated Slavery)

4. これからの人と機械の共生システムに必要な機能・要件と開発の方向性

4.1 レジリエントなHMSに必要な機能・要件

日本は、地震、津波、台風、大雨洪水、大雪、火山爆発、山火事など、極めて自然災害が多い。橋梁、トンネル、ダムなどの社会インフラや、化学プラント、原子力プラントをはじめとする設備の事故など、人工物の災害も多く発生している。2011年3月に発生した東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所の事故は甚大な被害をもたらし、被災地域の復旧・復興、原子力発電所の廃炉作業は今でも続けられている。新型コロナウイルスCOVID-19の感染症によるパンデミックも、世界規模の災害とみなすことができる。

災害発生時には、災害の調査／対応、被災者探索／救助などの活動において、人が現場で活動することが危険・困難・不可能な環境が多く存在するために、ロボットを活用したいというニーズが高い。

その多様なニーズに応えられる「レジリエントなHMS」には、技術的に課題が残る自律ロボットではなく、遠隔技術（遠隔操作が可能なロボット）が必要な要件として挙げられる。

今回のCOVID-19の場合も、遠隔操作ロボットが用いられ、オペレータが遠隔操作しやすいヒューマン・インタフェース技術が重要となった。オペレータとロボットとは、通信システムを介して接続されるが、無線通信を用いる場合、ロボットに搭載されているカメラなど、現場の状況を撮影したカメラ画像を通信回線を介してオペレータに提示する際に通信遅延が生じ、それが実時間の操作を困難にさせた。それゆえ、「レジリエントなHMS」には、オペレータが遠隔からロボットを操作するには、オペレータがロボットの周囲の状況を把握する技術、遠隔操作しやすいヒューマン・インタフェース技術、通信遅延を回避できる自律化技術が必要である。

自然災害の激甚化や感染症の多発・長期化に対して、製造業界を中心に、レジリエントなHMSを構築するために、経営資源を再結合・再構成できる企業変革力(Dynamic Capability)を強化することも必要である。人の関与は不可欠であり、排除されることはあり得ない。むしろ、人は、critical thinkingや新たなアイデアの創造といった、人しかできないような活動においてその存在意義は顕著になり、その人の活動の活発化を可能にするための機械システムでなければならない。

労働力の高齢化・設備老朽化の問題に対しても、技の伝承を行うには、人間が本来やるべき特殊な技能に関する部分はあくまでも人間同士で分担し、それ以外は機械に置き換えるという基本方針で匠の技を人間と人間、人間と機械、機械と機械との間でバランスよく分担共有できるマルチベース・メディエーションとよぶHMSの研究開発が必要な要件となる。

4.2 人間の能力を拡張・強化するHMSに必要な機能・要件

ICTやCPS (Cyber Physical System) などのデジタル技術の社会受容性について課題になるのがデジタルディバイドである。デジタルディバイドとは、インターネットやスマートフォンなどのICTを利用できる人とそうでない人との間に生まれる情報格差のことであり、教育的・経済的・社会的な格差を生む要因となる[27]。単に「情報にアクセスできるかどうか」だけではなく、アクセスできるデバイスや情報の質も問題となっている。サイバネティック・アバターなどの研究開発では、ロボットやアバターの遠隔操作によって、新たな格差が起きないように、レジリエントなHMSと同様に、オペレータがロボットの周囲の状況を把握する技術、遠隔操作しやすいヒューマン・インタフェース技術、通信遅延を回避できる自律化技術が鍵を握ることになる。

情報セキュリティの視点からは、アバターのなりすまし、HMSの乗っ取り、不正な技能伝承などを防ぐ新たなセキュリティ対策が必要になる。

4.3 HMSのE³LSI課題をクリアする方策

2030年の人間と機械の共生イメージは、①一石「複数」鳥のようなアバターやロボットの利用や、②複数人の技能や体験を1つのアバターに技能合体して、他との体験共有、BMIを用いて機械を思い通りに操作する、③性別、年齢、役柄などよらない多様な化身を作り、それを通して様々な社会活動に参加する、などの新しい共生関係を生み出す可能性がある

人間の能力強化における倫理は、宗教、年齢、性別、民族性、文化の起源、国籍などによっても異なる[2]。この倫理的な論争は、無制限でいいのか、ある制限のもとで強化してもかまわないのか、完全に禁止かという問題である。共通の批判は、その機能を持ったときに、不公平な身体的・精神的優越感を生むのではないか、そして、さらに持てる者と

持たない者との間の溝を生むだろうという問題が指摘されている。

人間強化の技術に対する評価は、不公平な格差を本当に緩和することができるのか、人間の心身および経済的幸福を上げることができるかで決まる。Ray Kurzweil は、今世紀中に人間が市場競争を勝ち抜くために、この技術を使うだろうと予想している。たとえば人々は、そのキャリア、資産、余暇をより良いものにするために自らを強化するだろう。一方で、延命技術は寿命を延ばし、社会全体の年金分配に悪影響を及ぼす。人口は増加し、食糧、エネルギー、財源、居住環境といった限られた資源の取り合いになるかもしれない。人間強化技術によって、自分の子供ですら自分達の思いどおりの人間に強化したいという欲望も生まれるだろうといった懸念を示している[3]。

人間の能力強化で自分のアイデンティティも変わるかも知れない[3]。これは、自分が良くなるように改良するというだけでなく、自分自身を変えるとか誰かになってしまう可能性も含んでいる。自分のアイデンティティを変えとは、自分の個人的な歴史も発達も精神的能力にも悪影響を及ぼす。自分を偽る、罪を犯すということにもなりかねない。個人的なコアとなる個性とは、心理学的なスタイル、パーソナリティ、一般知性、眠る必要性、正常な年齢、性別とホモサピエンスであることであるが、そのアイデンティティが脆弱なものとなる可能性が大である。

5. 未来社会が求めるHMSに関する3つの提言

以上の議論から、人間と機械の共生システムに関する、次の3つの方向性を提言する。

- (1) **第1の方向性(提言1)**：災害やパンデミックにレジリエントなHMSを研究開発する。
- (2) **第2の方向性(提言2)**：ロボットやアバター等を活用して、人間の身体的・認知・知覚能力を拡張・強化するHMSを研究開発する。
- (3) **第3の方向性(提言3)**：上記(1)(2)の人間と機械の共生システムに関するE³LSI（倫理的・経済的・環境的・法的・社会的課題）を明らかにして、このシステムのネガティブな側面の問題を解決する。

5.1 提言1：災害等に対してレジリエントなHMS

災害、感染症などの様々な予測不能な社会的な変動に対して、安定にモノやサービスなどによる価値を生産し続け、生産性をさらに向上させることができるレジリエントな**人共存型適応生産システムの研究開発を推進**することを国に（特に厚生労働省および経済産業省、文部科学省に）提言する。研究課題として、次の2点が挙げられる。

課題1-1) 地球環境・社会環境の変化に適応できるレジリエントなシステム開発

課題1-2) 人間しかできない技や発想力を反映(尊重)してくれるシステム開発

課題1-1) は、災害などの被害状況に応じて、経営資源を再結合・再構成できる企業変革力 (Dynamic Capability) をもったシステムを構築することである。

課題1-2) は、世界経済フォーラムの2020年レポートでも指摘されているように、人間と機械の仕事の中身が2025年にかけて棲み分けられるという動きに対応している。マルチバース・メディエーション[14]の概念でも述べられているように、人間の創造性の活動や匠の技がすべて機械システムに置き換わることは考えにくい。人間と機械の役割分担に関して、Sophisticated Slavery[26]の階層的な役割分担も考慮して、人間しかできない部分は人間を尊重し、それ以外の部分は効率良く機械とスキル分担共有する研究開発が重要になる。特に、定年退職を迎える高齢者のスキルの伝承には、人間から人間にスキル伝承を支援するシステム開発も重要である。

5.2 提言2: 働く環境、日常生活の変化に対応するHMS

世界に先駆けて、ダイバシティとインクルージョン社会を実現するために、人間の身体的・認知・知覚能力を強化・拡張できる人間と機械の共生システムを2030年までに継続的に研究開発することを、国に(文部科学省、JSTなどに)提言する。

この研究開発では、望む人は誰でも働く機会や社会活動に参画できるようになる人間と機械の共生システム(HMS)を構築する。高齢者や子育ての主婦・主夫などの遠隔操作者が世界中に点在する複数体のロボットやアバターを遠隔操作すれば、1箇所から世界中の利用者にサービスを提供することが可能になる。複数の遠隔操作者が互いの技能を合体することに合意できていれば、世界中、どこからでも複数人の技能を情報流通する新しいサービスが生まれる。さらに、BMI(Brain Machine Interface)を用いて頭で念じた通りにこれらのロボットやアバターを操作できるようになれば、重度の障がいのある方でも様々な社会活動に参加することができる。周囲の状況をロボットが理解して、自らが学習・行動し、人と共生するロボットも研究開発が進められている。人間の能力を拡張し、ダイバーシティ&インクルージョン社会を実現するには、2030年の成長産業となるために、次のような課題の解決が必要となる。

課題2-1) ネットワーク基盤として、異なる形態や機能を持つロボットやアバターの相互接続性 interoperabilityや拡張性 scalabilityを備えたミドルウェアを構築する。

課題2-2) 多くのロボットやアバターを共通で動作できる環境において、人々が相互に協力して動くためには、複数の利用者が1つのアバターを操作したり、複数人の能力を1つのアバタ

一に取り込む(合体する)技術などが必要となる。一人の人間が複数台のロボットやアバターを同時に操作・制御できる技術も開発する。

5.3 提言3: E³LSI(倫理的・経済的・環境的・法的・社会的課題)を明らかにして、HMSの負の側面の問題を解決すること

E³LSIの制度的解決とHMSの負の側面を解決する推進フォーラムを設置し、人、社会、地球環境の健全性を実現する方法論や施策を明らかにし、それを方向性1や2にフィードバックすることを国（特に厚生労働省、経済産業省、文部科学省、JSTなど）や国民に提言する。

人間と機械との共生は、Positiveな効果（光）ばかりではなく、Negativeな影響（影）もあることを常に考える必要がある。このシステムを通じて、人は外部に接続することでより大きな影響を社会に与え得ると同時に、逆に外部から接続され、何らかの攻撃を受けたり、損害・被害を被るなど、個人に対する悪影響も大きくなる。このシステムの開発が進めば進むほど、新たなE³LSIが生まれることは必至であり、それぞれの課題を法律や制度面から有識者とともに解決する仕組みや、各課題に対応して、第1と第2の方向性で述べた研究開発に新たな研究開発課題としてフィードバックする仕組みも必要となる。システムが大規模化すれば、地球環境に与える影響に対しても検討すべき課題が増えていくだろう。

システムの負の側面に対する問題には、システムの使いすぎによる身体の変調や、誹謗中傷などによって精神的に落ち込んでしまう問題などが含まれるため、普段から相談できる信用・信頼のおける場を用意しておく必要がある。

このように、HMSの研究開発や実用化が進む中で起きる課題を、一般市民、利用者を含むマルチステークホルダーなどが互いに民主主義的な手段で議論しあえる場作りとして、省庁横断的な「HMS推進フォーラム」を設置し、人、社会、地球環境の健全性を実現する方法論や施策を明らかにし、それを方向性1や2にフィードバックする。

これによって、HMSが社会に受け容れられ、新しい働く環境や社会活動へ参画できるようになる。

参考文献

- [1] ムーンショット目標1：2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現, <https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/index.html>
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Machine>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Human_enhancement
- [4] 車の歴史と未来予測！車の誕生から日本車の進化を解説, カーライフ, 2020.06.09.
<https://ja.wikipedia.org/wiki/蒸気機関>
- [5] <https://www.goo-net.com/magazine/111261.html>
- [6] 米国での産業用ロボット誕生から日本上陸まで, Kawasaki Robotics,
https://robotics.kawasaki.com/ja1/anniversary/history/history_01.html
- [7] <https://ja.wikipedia.org/wiki/オフィス・オートメーション>
- [8] ネット依存とは, NHK健康チャンネルhttps://www.nhk.or.jp/kenko/atc_367.html
- [9] コロナ禍のなかエッセンシャルワーカーをロボットが助ける！消毒作業やバイオ実験に活用, Medical DX編集部 2020.8.19
<https://medicaldx-jp.com/news/41>
- [10] Robin Murphy, Kaspar Althoefer, Satoshi Tadokoro, Cecilia Laschi, “Robotics Responds to the COVID-19 Outbreak,” IEEE Robotics & Automation Magazine, Volume 28, Issue 1, pp.16-17, March 2021. DOI: 10.1109/MR.2020.3048866
- [11] 人間と機械が協働する時代へ 調和を創る知的情報処理システム,
https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2019/202002/pdf/2020_02.pdf
- [12] ドイツ工学アカデミー acatech, <https://www.acatech.de/>
- [13] アンデシュ・ハンセン, スマホ脳, 新潮新書
- [14] Revitalizing Human-Machine Interaction for the advanced society 社会の発展のための人と機械のインタラクションの再構築,
<https://www.jmfrri.gr.jp/document/library/1183.html>
- [15] ASD視覚体験シミュレータ https://cognitive-mirroring.org/asd_simulator/
- [16] 中澤 篤志, 「優しい介護」インタラクションの計量的・脳科学的解明, 人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開 2019年度 実績報告書
https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/evaluation/nenpou/r01/JST_1111098_17942099_2019_PYR.pdf
- [17] Dylan F Glas, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Norihiro Hagita, “Teleoperation of multiple social robots,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol.42, No.3, pp.530-544, 2011/9/12.

- [18] AI Lab、商業施設におけるロボット接客の実証を実施 ―自律と遠隔のハイブリットによる4人20体のロボット接客で「困った！」をすぐに解決、顧客満足度向上の実現可能性を東急ハンズで検証― 2021年11月 4日
<https://www.cyberagent.co.jp/news/detail/id=26814>
- [19] 分身ロボットカフェ DAWN
<https://dawn2021.orylab.com>
- [20] NHK クローズアップ現代 麻痺（まひ）した手が動いた リハビリと脳科学 最前線 麻痺（まひ）した手が動いた、リハビリと脳科学 最前線, 2021年5月25日（火）
<https://www.nhk.or.jp/gendai/articles/4548/index.html>
- [21] 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 6 次評価報告書 第1作業部会報告書(自然科学的根拠) 政策決定者向け要約(SPM)の概要(ヘッドライン・ステートメント)
<https://www.env.go.jp/press/109850/116628.pdf>
- [22] AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf
- [23] 欧州グリーン・ディールの概要と循環型プラスチック戦略にかかわるEUおよび加盟国のルール形成と企業の取り組み動向2020年3月25日, JETRO
<https://www.jetro.go.jp/world/reports/2020/01/a4731e6fb00a9859.html>
- [24] The Skills Consortium <https://jp.weforum.org/projects/the-skills-consortium>
- [25] The Future of Jobs Report 2020, October, 2020.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf
- [26] 人工知能は人間の仕事を奪うのか? (『洗練された奴隷制』再論)
<http://hanamizukilaw.cocolog-nifty.com/blog/2016/07/post-f578.html>
- [27] 令和3年度版情報通信白書 総務省, 2021
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/pdf/01honpen.pdf>

EAJ Report 2021-03

Watanabe Memorial Foundation for The Advancement of New Technology
Fiscal 2020 First-Term Grants-in-Aid for Scientific and Technological Research

“Trends in the Scientific and Technological Development of Human-Machine Symbiosis for a Post-COVID-19 Society” Progress Report



February 2022

The Engineering Academy of Japan
Research Project for “Trends in the Scientific and Technological Development of
Human-Machine Symbiosis for a Post-COVID-19 Society”
(Project Leader: Norihiro Hagita)

February 8, 2022

The Engineering Academy of Japan

The Engineering Academy of Japan (EAJ) is a non-profit, non-governmental organization established for the purpose of contributing to the advancement of engineering and technological sciences in Japan. Its members are leading engineers in industry, academia, and government. EAJ has several project teams that tackle various issues fully utilizing its broad network and abundant experience and knowledge of its members. With these project teams playing the core roles, EAJ promotes investigation and proposal activities, also with the cooperation of external people and organizations. EAJ summarizes the outcome of its activities, proposes leading-edge and creative policies to public agencies, legislative bodies, industry, academic societies, research institutions, etc., in terms of the directions society should take, and supports the social implementation of the proposed policies.

EAJ's research project for **“Trends in the Scientific and Technological Development of Human-Machine Symbiosis for a Post-COVID-19 Society”** aims to identify issues that should be prioritized to realize the type of human-machine symbiotic society envisioned for 2030. It is obvious that, related to this theme, various ethical, legal, social, and economic issues will emerge, so we have also included in our study the importance of carefully following a step-by-step process to solve such issues. The team drafted a report summarizing the results of its study, which was reviewed by the Policy Proposal Committee, examined by the Council, and finalized. Only then did the Council of EAJ decide to release the final version of this report. We hope you find it informative and useful.

Table of Contents

Summary	4
Meaning of terms in the summary	6
1. Introduction	7
2. History of human-machine symbiotic interactions.....	9
2.1 Definition of machine and human ability enhancement	9
2.2 History of human-machine symbiotic interactions	9
2.2.1 Human-machine symbiosis triggered by the Industrial Revolution.....	9
2.2.2 Ability enhancement by machines incorporating information and communications technology	
10	
3. Trends in the research and development of human-machine symbiosis.....	11
3.1 Trends in the development of resilient HMS promoted around the world.....	11
3.2 Trends in the research and development of avatars, robots, and AI for the enhancement and	
augmentation of human abilities.....	12
3.3 E ³ LSI to be considered in the development of HMS	13
3.3.1 Global environmental issues confronted by humankind.....	13
3.3.2 Issues related to labor/economic environment.....	14
3.3.3 Mental/psychological issues that may be induced by HMS	15
3.3.4 Issues that influence governance-related decision-making.....	15
4. Functions and requirements necessary for upcoming human-machine symbiotic systems, and the	
direction of development.....	16
4.1 Necessary functions and requirements for resilient HMS	16
4.2 Functions and requirements necessary for HMS to enhance and augment human abilities	17
4.3 Measures for resolving E ³ LSI associated with HMS.....	17
5. Three proposals concerning the HMS demanded by future society	18
5.1 Proposal 1: HMS resilient against disasters and the like	18
5.2 Proposal 2: HMS adaptive to work environments and daily life	19
5.3 Proposal 3: Clarification of E ³ LSI (Ethical, Economic, Environmental, Legal, and Social Issues)	
and resolution of negative aspects of HMS	19
References	21

Summary

Throughout history, humans have co-existed with machines to expand their abilities and capabilities. Our history tells us that human-machine symbiosis (HMS) has significantly augmented human mobility and transportation capabilities ever since the Industrial Revolution, thanks to vehicles such as steam locomotives, automobiles, and airplanes. It also has brought about revolutionary changes in the ways we communicate with others, distribute goods, and deliver services, with the help of information and communications technology including telephones, computers, the Internet, wireless communications, etc. Meanwhile, we are faced with the urgent issues of mitigating global warming through decarbonization efforts, establishing a sustainable society that is resilient to disasters and infection outbreaks, maintaining the well-being of people, society, and the global environment, and creating new added value. The world is waiting for a new technology for HMS.

Against this backdrop, this report focuses on the following: (1) HMS for creating social/economic infrastructure resilient to disasters and infection outbreaks as well as an aging workforce, (2) HMS for further enhancing and augmenting human abilities and triggering revolutionary changes in our work environments and daily life, and (3) the establishment of an HMS Promotion Forum and the clarification of a methodology for realizing the well-being of people, society, and the global environment as well as HMS policies for resolving E³LSI (Ethical, Economic, Environmental, Legal, and Social Issues). In addition, it examines how humans can exercise their creativity on a sustainable basis.

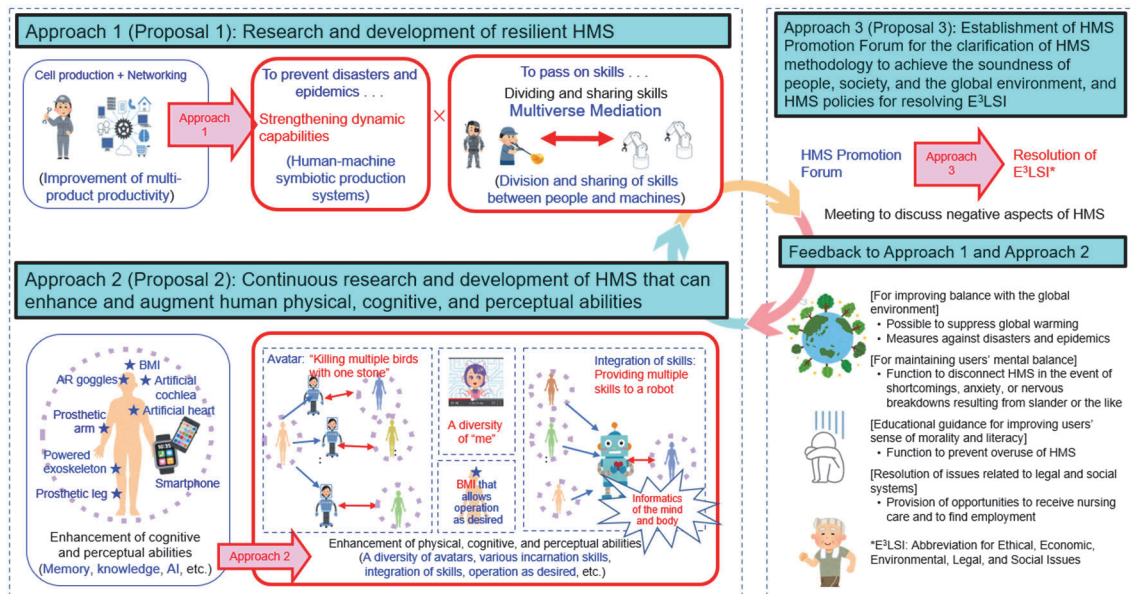
In the first approach, we attempt to build HMS that is resilient to worsening natural disasters and frequent/prolonged epidemics, mainly through initiatives by the manufacturing industry. For this reason, we propose that the dynamic capabilities of companies for recombining and rebuilding management resources be strengthened. To realize a sustainable society, it is essential to build up knowledge derived from the study of diverse interactions between people, between people and machines, and between machines on the knowledge base shared by both people and machines, and then to realize creativity and sustainability which could not be achieved singularly by humans or machines alone. In this context, we use the term “multiverse” to refer to a “diversity of things including not only people but also machines” and the term “mediation” to mean a “mechanism for sharing knowledge between people and machines to cultivate awareness in each other.” We propose to the national government (in particular the Ministry of Health, Labour and Welfare; the Ministry of Economy, Trade and Industry; and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) that the development of resilient HMS based on Multiverse Mediation be included as one of the key industrial policies in the future.

In the second approach, we promote the research and development of HMS that enhances and augments human abilities. We anticipate that this will bring about major changes to our work environments and daily life by about 2030. These changes will take our diversity and inclusion society one step forward, providing people with impairments and elderly people with opportunities to work and participate in social activities. This will bring about drastic changes to the present technology, which only enables one person to operate a single robot or avatar, and spur research and development in HMS for collaborative operations by people, machines, and AI algorithms to allow one person to manipulate multiple avatars or multiple persons to operate multiple avatars, as well as HMS for utilizing BMI (brain-machine interface) to operate avatars just by thinking in the mind, without any

physical movement of the hands, legs, etc. These examples of HMS are called “cybernetic avatars,” and they will contribute greatly to the expansion of labor and other markets in the virtual space (such as the metaverse) and remote real spaces. In a bid to enable growth industries to take initiatives in global markets, we recommend to the national government (especially the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology; JST, etc.) that research and development of HMS for enhancing and augmenting human abilities towards 2030 be promoted in a continuous and strategic manner.

Lastly, in the third approach, we elucidate that the increased use of HMS that provides everyone with opportunities to work and participate in society will give birth to diverse E³LSI. We propose to the government (in particular the Ministry of Health, Labour and Welfare; the Ministry of Economy, Trade and Industry; the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology; JST, etc.) and to the general public that Japan address the establishment of a place (such as the HMS Promotion Forum) where multi-stakeholders including ordinary citizens and users can examine and discuss various systems and programs (including the legislation) for resolving the negative aspects of HMS induced by E³LSI through democratic means in order to lead us one step closer to creating a new society. This creates opportunities, for example, to discuss the function mentally allowing disconnection of HMS whenever the use of HMS results in shortcomings, anxiety, or nervous breakdowns as well as the implementation of educational guidance for improving a sense of morality and literacy of users. It also provides multi-stakeholders including ordinary citizens and users with opportunities to consider the social impacts of HMS as well as the ideal form of HMS balanced with the global/social environment.

The above three approaches are illustrated below.



General vision of ideal human-machine symbiotic society around 2030 and three approaches (proposals) that can be employed by the government and industry to formulate action plans for its realization

Meaning of terms in the summary

(In the order of the Japanese syllabary)

- Killing multiple birds with one stone: Expressing a situation where one remote operator manipulates multiple avatars from a distant location
- BMI that allows operation as desired: BMI capable of accurately deciphering the operator's actions or words visualized in the mind of the operator
- Machine: Generally refers to a system with a power source and power control mechanism/function. [2]
- Integration of skills: Refers to the division of an avatar into multiple sections (such as an arm, leg, and body) and assigning the operation of those sections to multiple remote operators with respective skills.
- Dynamic capability: Capability of a company to recombine and rebuild its management resources
- Multiverse Mediation: Mechanism for sharing knowledge between people and machines to cultivate awareness in each other with consideration to the diversity of not only people but also machines [12] [14]
- Resilient HMS: Human-machine symbiosis that is resilient to emergencies and critical situations such as disasters, epidemics, and an aging workforce.
- BMI: Abbreviation for Brain-Machine Interface
- E³LSI: Abbreviation for Ethical, Economic, Environmental, Legal, and Social Issues
- HMS: Abbreviation for Human-Machine Symbiosis

1. Introduction

This project was inaugurated for the purpose of identifying high-priority issues needed to realize a human-machine symbiosis (HMS) society by about 2030 with consideration to the potential of growth industries. The Project Committee, consisting of the members listed in Table 1, held seven meetings throughout October 2020 to August 2021. Using the outcomes of these meetings as a base, we propose approaches that the national government, industrial circles, and society at large can use to formulate plans to realize sustainable development and a safe and secure society.

In February 2020, when the project began, the world was faced with the fear of the novel coronavirus pandemic. People all over the globe were compelled to accept many inconveniences and various restrictions, such as wearing face masks and refraining from eating in groups. Teleworking and online meetings using PCs and smartphones became common in companies and schools, and travel overseas and between prefectures was restricted, changing our previous lifestyles completely.

Meanwhile, a new platform in cyberspace known as the “metaverse” has been gaining attention, as it is intended to free people from restrictions on social, economic, and business activities in real space. Further, there is a strong possibility that large-capacity, super low-latency 5G wireless communications infrastructure and subsequent Beyond-5G wireless communications infrastructure will already be established and growing by around 2030.

Over the next 10 years, research and development on robots and avatars and their social implementation may cause disruptive innovation with respect to the global environment, social environment, and economic activities. Moonshot Goal 1[1] initiated in December 2020 has indicated a possibility that the research and development of cybernetic avatars (remotely controlled robots, avatars, etc.) and machines such as autonomous AI robots would free human beings from limitations of space and time and enhance and augment human physical, cognitive, and perceptual abilities. Moonshot Goal 1 aims to realize a society where all willing people, including impaired persons and elderly people, have opportunities to work and participate in various social activities. It is obvious that further advancement of the development of HMS for expanding human abilities will create various Ethical, Economic, Environmental, Legal, and Social Issues (E³LSI), so it is crucial to follow a step-by-step process carefully to resolve such issues so that each and every one of these advances becomes acceptable to society.

We explore this process based on the following three approaches and make related proposals to the relevant Ministries and agencies.

The first approach (proposal) is to build HMS resilient to disasters, pandemics, and other emergencies for the purpose of protecting people’s lives and livelihoods and ensuring safety and security. It is important to strengthen the dynamic capabilities of companies so that they can recombine and rebuild their management resources. At the same time, we must examine methods of sharing and passing on skills from person to person, from people to machines, and from machines to machines as part of efforts to address issues related to an aging workforce and equipment.

When the second approach (proposal) is taken, the integration of robots, avatars, and AI technology will lead to the development of HMS capable of enhancing and augmenting human abilities by 2030. That may drastically transform our society into one that is more diverse and inclusive. All willing impaired persons and elderly people will have opportunities to work and participate in various social activities.

Not only must the positive aspects of HMS be considered, but also its negative aspects, such as

serious mental illness caused by overuse as well as the skills gap resulting from enhanced abilities. In view of this, the third approach (proposal) clarifies these issues and stresses the necessity of establishing a space (HMS Promotion Forum) in which the negative aspects of HMS and institutional solutions to E³LSI can be addressed and resolved through democratic means by multi-stakeholders including ordinary citizens and users.

Table 1 Design project on human-machine symbiotic society

Role	Name	Organization/post	Topic for discussion in Committee meeting
Leader	Norihiro Hagita	Chair and Professor, Art Science Department, Osaka University of Arts	2nd Meeting 12/21/2020 Introduction to JST CREST research area on intelligent information processing systems creating co-experience knowledge and wisdom with human-machine harmonious collaboration
Subleader	Hajime Asama	Professor, head of RESEARCH INTO ARTIFACTS, CENTER FOR ENGINEERING, The University of Tokyo	5th Meeting 5/8/2021 Switch to protect the privacy and mind stability for well-being
Secretary	Yoichi Nonaka	Senior Chief Researcher at The Center for Technology Innovation – Production Engineering, Research & Development Group; head of the Industry Technology Laboratory, Hitachi Ltd.	1st Meeting 10/26/2020 Introduction to a related activity conducted at the German acadtech (National Academy of Science and Engineering): Revitalizing Human-Machine Interaction for the advanced society
Secretary	Takako Hashimoto	Vice President and Professor, Chiba University of Commerce	5th Meeting 5/8/2021 Survival Information Science: How informatics can address human and social issues for survival
Member	Hiroshi Ishiguro	Professor, Department of Systems Innovation, Osaka University; Visiting Director of Hiroshi Ishiguro Laboratories, Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR)	4th Meeting 3/25/2021 Future society ERATO (symbiosis with autonomous robots), Moonshot Goal 1 by 2050 (dialogue behavior)
Member	Ryota Kanai	CEO, Araya, Inc.	4th Meeting 5/25/2021 Introduction to Moonshot Goal 1: Kanai Project and a vision of human-machine symbiosis in a post COVID-19 society
Member	Masahiro Kobayashi	Attorney, Osaka Bar Association	3rd Meeting 1/25/2021 Ethical, Legal, Social and Economic issues in the era when machines use people
Member	Kenichi Tanaka	Senior Engineer, Planning & Administration Department, Corporate Research & Development Group, Mitsubishi Electric Corporation	1st Meeting 10/26/2020 Social design for a period of major transformation
Member	Miwako Doi	Auditor, National Institute of Information and Communications Technology (NICT)	3rd Meeting 1/25/2021 HMS examined from the boundaries
Member	Hiroshi Nagano	Visiting Professor, Faculty of Science and Technology, Keio University	
Member	Satoshi Naoi	Research Manager, Department of Moonshot Research and Development Program, Japan Science and Technology Agency (JST)	4th Meeting 3/25/2021 Moonshot Goal 1: Realization of a society in which human beings can be free from limitations of body, brain, space, and time by 2050 – Expectations, issues, and proposals
Member	Kenji Mase	Professor, Graduate School of Informatics, Nagoya University	2nd Meeting 12/21/2020 Trends in symbiotic interaction of human and information environments from the perspective of core technology research
Member	Kouta Minamizawa	Professor, Graduate School of Media Design, Keio University	4th Meeting 3/25/2021 Cybernetic Avatar Technology and Social System Design for Harmonious Co-experience and Collective Ability
Member	Takahiro Miyashita	Director of Interaction Science Laboratories, Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR)	3rd Meeting 1/25/2021 How to understand your target market and its needs: Technology-Market Fit Techniques in JST START/SCORE program
Member	Takahira Yamaguchi	Professor, Department of Administration Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University	
Member	Hiroshi Yamamoto	Head of the Corporate Digitization CTO & Digital Innovation Technology Center, Toshiba Corporation	1st Meeting 10/26/2020 IoP Consideration
Special Lecturer	Fumihiko Kimura	Professor Emeritus, The University of Tokyo	5th Meeting 5/8/2021 Human-machine symbiosis—From monozukuri to society

2. History of human-machine symbiotic interactions

2.1 Definition of machine and human ability enhancement

According to Wikipedia, the term “machine” generally refers to a physical system that uses power to apply forces and controls movement to perform an action [2]. For example, vehicles (e.g., automobiles, ships, airplanes), home information appliances, computers, factory automation systems, robots, and molecular machines are all considered machines. According to the definition in Wikipedia, a machine is “a system with a power source and a mechanism to control the power output.”

Human-machine symbiosis is closely related to the history of human enhancement [3] for strengthening and expanding human abilities through the use of machines. Human enhancement refers to natural, artificial, or technical modifications of human bodies to enhance human physical or mental abilities. A similar term, “human augmentation [3],” is a synonym for “human enhancement.” The term “human enhancement and augmentation” is used hereinafter in this report.

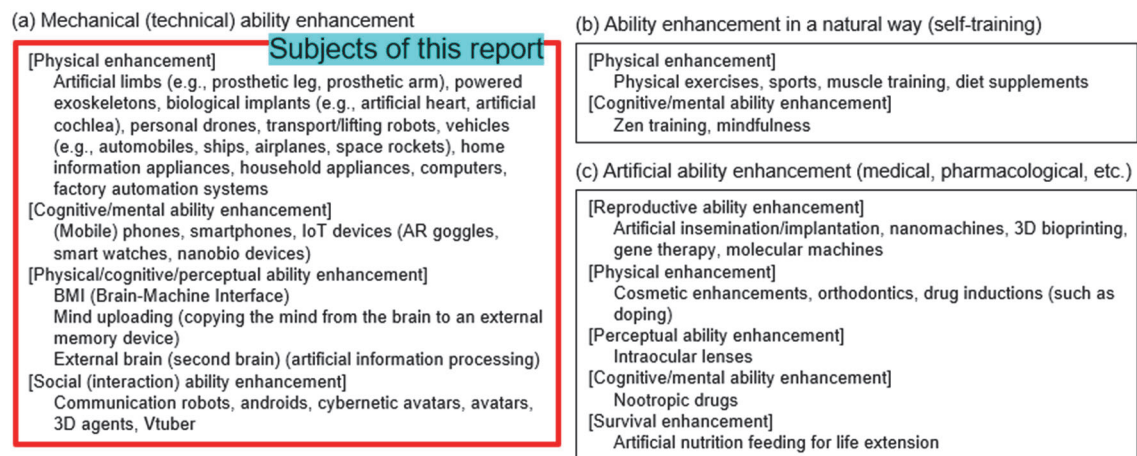


Fig. 1 Subjects of this report: (a) Mechanical (technical) ability enhancement as a subset of human enhancement and augmentation

2.2 History of human-machine symbiotic interactions

2.2.1 Human-machine symbiosis triggered by the Industrial Revolution

Up until the Industrial Revolution, people used horses and cows for the transportation of people and goods. In the late 18th century, Watt developed a new steam engine system in 1769. Coal mine operators looked to the steam engine as a new source of power to replace horses because it used inexpensive coal. After that, steam engines entered into wide use [4]. As people began living symbiotically with machines such as these instead of with horses or cows, human mobility and transportation capabilities were enhanced. In 1886, the first gasoline engine vehicle (tricycle) was developed. In 1908, a popularly-priced automobile known as the Ford Model T was introduced [5]. In 1962, Unimation, an American venture company, commercialized an industrial robot. This robot attracted a great deal of attention from the US automobile industry, which was seeking to automate production at that time. The introduction of industrial robots by General Motors in its diecast factory marked the start of the practical application of robots [6].

2.2.2 Ability enhancement by machines incorporating information and communications technology

The use of machines that incorporated information and communications technology started in the late 1970s. Machines called computers appeared for performing office work, which was then the type of work performed using an abacus or slide rule, pencil, and eraser, to save labor and to convert paper-based information into digital data [7]. Since computers improved work efficiency, an office revolution occurred, “replacing the abacus on the office desk with a computer.” Later, computers were interconnected via networks to enable sharing of information anytime and anywhere, achieving incomparably faster communication of information than the domestic postal service or air mail. Technologies in areas such as large-capacity optical communication, multimedia communication, wireless communication, and LSI in particular enabled the manufacture of so-called “light and compact” machines. Computer software technology, network technology, and human interface technology also advanced dramatically. In other words, computer network systems as machines contributed to significantly enhancing and augmenting abilities of people working in offices. They not only boosted the efficiency of office work but also improved the production speed, performance, and quality of factory automation.

Machines based on information and communications technology further enhanced and augmented human abilities due to the internet boom of the late 1990s. Downsized mobile phones, flat-rate services, and various e-services were developed, all of which have become essential at work and in everyday life. Since in the 2010s, smartphones and IoT devices have expanded the use of machines to non-work areas including leisure and recreational activities (e.g., for product purchase/delivery, travel reservations, hobbies, and sports). Unlike the previous information and communications media, the internet has enabled people of all ages, ranging from office workers and students to stay-at-home spouses and elderly people, to use the network anytime from anywhere at a fixed fee. Consequently, it has enhanced cognitive abilities such as search, distribution, and sharing of information. AI technology has enabled the use of a smartphone to obtain information such as weather forecasts, disaster predictions, and the like.

In step with the advancements mentioned above, people began noticing that machines can induce mental ailments such as internet addiction and game addiction disorders. These include the use of cyberspace to escape from interpersonal problems at school or the office as well as overindulgence to the extent that users cannot distinguish between day and night [8]. There are also reports of more serious cases. For instance, cyberspace can lead to the involvement of the user in an incident or crime, and it can also become a breeding ground for slander and defamation. Therefore, it is important to nurture “the knowledge and wisdom necessary for wise use,” “healthy mind that adheres to rules for use,” and “risk management awareness for ensuring safe use” [8]. In other words, it has become known that although the machines known as smartphones can contribute to well-being by enhancing and augmenting human abilities to perform daily activities of life, they can also induce mental ailments and trigger various social problems such as privacy issues, copyright infringements, phishing scams, personal information leakage, and accidents due to the use of smartphones while engaged in other activities.

3. Trends in the research and development of human-machine symbiosis

3.1 Trends in the development of resilient HMS promoted around the world

What is important in the event of a disaster or pandemic is dynamic capabilities of companies, which enable the minimization of financial losses resulting from disasters through human-machine symbiosis and the rebuilding of the value-production activities of the manufacturing industry. From the perspective of human-machine symbiosis, the above effects are equivalent to the enhancement and augmentation of human abilities achieved by having robots perform social activities for humans. Nonetheless, there are many technical, safety, and security issues to be solved. The use of robots to perform the tasks of essential workers (people working in sectors essential for people's livelihoods) is also being promoted for certain types of work, for example, tasks to which workers cannot be assigned on short notice; tasks that workers cannot perform continuously for 24 hours; urgent tasks such as rescuing people within 72 hours; tasks performed in an environment hazardous to humans due to radioactive contamination, air pollution, or the like; cleaning of toilets and sewage; and nursing care support (support for communication with elderly people, patient assistance, transport of items, etc.) [9].

When a disaster occurs, various activities are conducted, such as disaster damage investigation/response and victim search/rescue. In many cases, such activities must be performed in environments where it is dangerous, difficult, or impossible for humans to access or conduct any activities. Therefore, there is a great need for robots. Because such a need is diverse and the environment can vary without limits, it is technically difficult to create an autonomous robot meeting all requirements. In many cases, remote operation technology (remotely operable robots) is utilized. Considering that the end of the COVID-19 pandemic is not in sight, remote operation technology is expected to become an essential technology for human-machine symbiosis in order to cope with possible pandemics in the future. In the field of robotic technology, which allows operators to remotely manipulate robots, it is necessary to develop systems that are easy to operate for humans. In the medical field, it has been reported that robotics can contribute immediately to the treatment of COVID-19 infections [10].

Against the backdrop of a graying workforce and aging society, demand for personalized, high-value-added products and services capable of responding to the diverse needs of consumers will only increase in the future. In such a society, not only full automation but human-machine collaborative environments that maximize the flexible and abundant abilities of humans will also become important [11]. Before this project was inaugurated, leading experts in Japan and Germany gathered and held discussions multiple times from similar perspectives at the German National Academy of Science and Engineering (acatech) [12] and published a proposal document [14]. This publication proposed the mechanisms necessary for realizing a sustainable society under current conditions where people, machines, and human societies comprising of the former two are all aging. The various support and maintenance functions developed thus far are not advanced enough to overcome physical and mechanical degradations or to allow people to exercise their intrinsic creativity in a sustainable manner. Conventionally, skills have been passed on from person to person as means to exercise human creativity, but it is doubtful that this method will function effectively in an aging society with fewer children. In the past, physical assistance for people was provided by home appliances, automobiles, etc., but the widespread use of smartphones and the internet has extended mechanical assistance into the knowledge domain. On the other hand, excessive machine assistance poses the risk of degrading the functions that humans intrinsically possess, leading to so-called "InstaBrain" [13]. To realize a sustainable society with consideration to historically significant interactions, it is essential to build up knowledge derived from the study of diverse interactions between people, between people and

machines, and between machines on the knowledge base shared by people and machines and to realize creativity and sustainability which could not be achieved singularly by humans or machines alone. The Japanese and German acatech experts proposed this as the topic to be addressed in the future. Thus, the “diversity not only of people but also machines” is referred to as “multiverse,” and the “mechanism for sharing knowledge between people and machines to cultivate awareness in each other” is referred to as “mediation.” This initiative was summarized as “Multiverse Mediation” and published as an acatech discussion paper [14]. This project further advances the idea of Multiverse Mediation and proposes the incorporation of resilient HMS in future industrial policies to the national government (in particular the Ministry of Health, Labour and Welfare; the Ministry of Economy, Trade and Industry; and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology).

3.2 Trends in the research and development of avatars, robots, and AI for the enhancement and augmentation of human abilities

Over the past 10 years, organizations in the fields of information science, robotics, cognitive science, brain science, and others have been collaborating on interdisciplinary research and development projects to help realize a diverse and inclusive society. For the enhancement of human cognitive and perceptual abilities, a VR-type ASD visual simulator was developed which reproduces the process of hyperesthesia/hypoesthesia experienced by people with autism spectrum disorders, such as autistic persons and patients with developmental disorders. The simulator helps people around them understand how the person is feeling/perceiving and also facilitates communication in certain cases [15]. Researchers are also working on nursing methods and nursing skills learning methods that reflect the perceptual characteristics of patients with dementia using a collaborative combination of caregiver and machine (camera) [16].

Moonshot Goal 1 [1] of the Moonshot Research and Development Program initiated in fiscal 2020 and spearheaded by the Cabinet Office is to create disruptive innovation in Japan for the purpose of enhancing and augmenting human abilities

Moonshot Goal 1 aims to “realize a society in which human beings can be free from the limitations of body, brain, space, and time by 2050” and calls for the development of a method to enable users to remotely manipulate multiple avatars or robots [1]. There has already been an example of such a service implemented in a commercial facility [17], whereby one operator remotely operates four robots simultaneously for purposes such as guiding a customer to his/her destination. The variety of service tasks is expanded in this project. The new technology being sought must go one step beyond the current technology which enables one person to operate only one robot or avatar in almost all cases of remotely operable robots/avatars. It is therefore necessary to develop, through collaboration between people, machines, and AI algorithms, an HMS that allows one person to remotely manipulate multiple avatars and to engage in dialogue; an HMS that allows “experience sharing” for multiple people operating multiple avatars; and an HMS that enables “operation as desired” using a BMI (Brain-Machine Interface) so as to eliminate the use of hands or feet when operating avatars (Fig. 2). These HMSs are called cybernetic avatars, and they have great potential to contribute to the growth of the labor and other markets in virtual reality (such as the metaverse) as well as in the remote real world.

Verification experiments are underway, such as an experiment to test the customer reception services (dialogue behavior) of twenty robots remotely operated by four operators [18] and an experiment in a robot cafe where a robot operated by an ALS (amyotrophic lateral sclerosis) patient receives orders from customers and serves food and beverages [19]. It has long been known that if a stroke victim with a paralyzed left hand strongly wishes for the recovery of hand function while observing his or her brainwave on the rehabilitation equipment, the patient can eventually recover to the extent that he or she can grasp an object with his or her left hand [20]. We will verify cases in

which the integration of the robot/avatar technology, AI technology, cognitive science, and brain science enhances and augments human physical, cognitive, and perceptual abilities so that persons with severe impairments, elderly people, or people raising children can obtain multiple job opportunities at the same time. This would provide a variety of people opportunities to work and participate in social activities, eventually transforming our entire way of life.

A society where everyone has opportunities to participate in a diverse range of activities

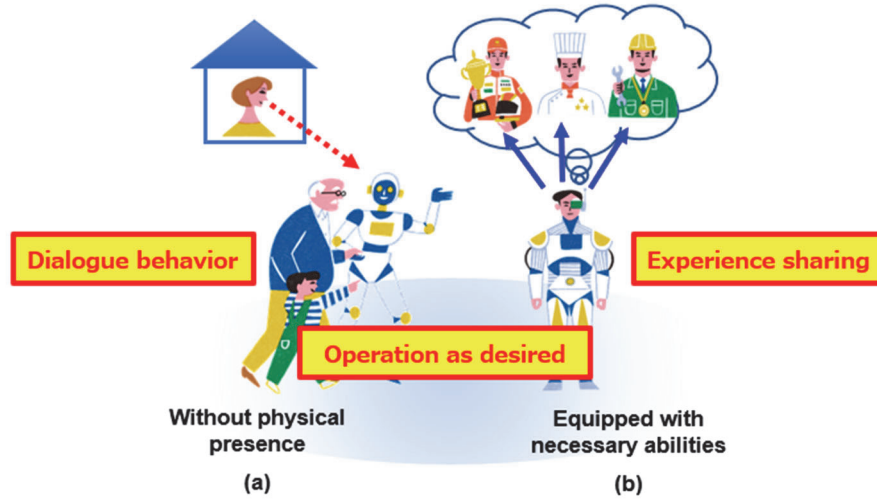


Fig. 2 Three research and development themes of cybernetic avatars—“dialogue behavior,” “experience sharing,” and “operation as desired”—for Moonshot Goal 1: releasing people from the limitations of space, time, body, and brain [1]

3.3 E³LSI to be considered in the development of HMS

3.3.1 Global environmental issues confronted by humankind

The temperature of the Earth has been rising ever since the advent of the Industrial Revolution in the late 18th century, resulting in three major global environment problems: (1) global warming, (2) water and food shortages resulting from global warming, and (3) pollution from plastics, thus raising the key socio-economic issue of how humankind can coexist alongside the global environment [21]. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) warned in its sixth assessment report (AR6) published in August 2021 that “it is clear that human activities are causing the increase in temperatures in the atmosphere, oceans, and land, and the effects are spreading widely and rapidly to the atmosphere, oceans, cryosphere, and biosphere” [22]. Furthermore, it stated that “in order to keep human-induced global warming below a certain level, cumulative CO₂ emissions must be restricted to achieve at least net-zero emissions together with significant reductions of other greenhouse gasses and that large, prompt, and sustainable reductions of methane emissions would suppress global warming effects by reducing aerosol pollutants and improve air quality.”

In the wake of global warming, a peak temperature of 38 °C was recorded in Siberia and permafrost was observed to have begun melting. It has been confirmed that the melting of this permafrost has caused a novel virus (mollivirus), which had once existed in ancient times, to rapidly multiply inside living organisms. Researchers have warned that there is a strong possibility of an outbreak of a new infectious disease caused by this ancient pathogen. According to the “Hothouse Earth” theory put forth by Swedish scientist Johan Rockström, who studies ecological limitations of planet Earth, if the ice covering the Arctic melts and temperatures rise as a result, this will cause the permafrost to thaw and

methane to belch from the ground, thus even if we were to achieve zero CO₂ emissions, this will not halt the worsening conditions on Earth. According to Dr. Rockström, the environmental impact caused by the global population around 150 years ago was relatively small and there were enough forests on Earth to dampen this impact. After the Industrial Revolution, however, economies grew, average lifespans increased, and the quality of living improved. In the name of advancement and progress, we sacrificed the Earth's environment. It is clear that human society is undermining the Earth's resilience in irreversible ways [23].

To overcome this impasse, the EU proposed, with some urgency, the Green Deal policy, which simultaneously aims to achieve economic growth and prevent global warming by investing 120 trillion yen by 2030. The EU has laid out the goal of accomplishing climate neutrality (net-zero greenhouse emissions) by 2050, and plans to implement a comprehensive new economic growth strategy which, being an environmental policy, aims at the same time for a structural transformation of European economy and society by addressing a wide range of policy areas, such as energy, industry, transportation, biodiversity, and agriculture [24]. These global environmental problems must be taken into consideration when discussing any human-machine symbiotic society.

3.3.2 Issues related to labor/economic environment

The World Economic Forum has established a new socioeconomic platform for the purpose of better online education, skill acquisition, and job provision for one billion workers by 2030. Initiatives to prepare workers with future-proof skills by providing necessary new skills through the internet are referred to as the Reskilling Revolution. Creating worker-friendly online learning environments is now being studied [24].

According to the Future of Jobs Report 2020 published by the World Economic Forum in 2020 [25], the lockdowns due to the COVID-19 pandemic and subsequent economic recession spurred companies to increasingly turn to automation technology; thus, major changes will be brought about to tasks, jobs, and skills by 2025. Employers (companies) expect to decrease the percentage of workers engaged in simple jobs from the current 15.4% to 9.0% (down 6.4 percentage points) and raise the percentage of workers with special skills or expertise from 7.8% to 13.5% (up 5.7 percentage points). Based on these figures, it is forecast that eighty-five million jobs could be replaced by machines by 2025. Conversely, ninety-seven million new jobs will be created and handled through a new division of work between people, machines, and AI algorithms. According to the Future of Jobs Survey [25], many companies intend to restructure their workforces corresponding to such new technology. Among the three hundred companies surveyed, 43% plan to reduce their workforces through automation technology, 41% plan to reduce workforces by outsourcing or being outsourced for certain tasks, and 34% plan to enhance their workforces accompanied by automation technology. By 2025, humans are expected to spend about the same number of hours on work as machines. Accordingly, we can expect a surplus of workers. Some companies are not only incorporating new automation technology but also planning to construct value chains between branches or adjust workforces over the next five years to reduce costs.

To improve productivity and well-being, one third of employers need to enhance levels of employee satisfaction gained through a sense of community, connection, and belonging and to promote the shift towards remote work through the use of digital tools.

3.3.3 Mental/psychological issues that may be induced by HMS

We have long been developing machine technologies to support people's livelihoods and activities, and these technologies have been used to develop a more affluent and convenient society. The advancement of information and communications technology is bringing about even greater changes to the relationship between people and machines. Machines have been connected to communication networks in common, and people can connect to the internet anytime in daily life through the use of information devices to receive a diversity of services. However, we have to say that people's dependence on information technology is growing as a result, with a concomitant rise in number of new risks. Excessive dependence on information technology not only magnifies the impact of failures of information technology systems or functions on our society, but also creates serious social issues, such as an increased number of people with digital technology addiction (dependence), the resulting need for countermeasures (e.g., 'digital detox'), the degradation of various abilities, and damage to health (especially mental health). While information equipment connects people to people, it cannot recreate face-to-face communication or sufficiently convey actual feelings. The results are misunderstandings, the amplification of defamation or slander, and enormous psychological stress, leading in some cases to suicide. We must also pay close attention to security and privacy protection. With a view to solving such issues, we must consider as well the means and methodology as to how we can cut off connections to information technology systems for reasons of self-protection.

3.3.4 Issues that influence governance-related decision-making

When it comes to human-machine symbiosis, there are still many technical issues to be solved to pass on the "craftsmanship" possessed by humans to machines. One proposed way to do this is through a system like Multiverse Mediation that enables the division and sharing of craftsmanship between people, between people and machines, and between machines in a balanced way so that craftsmanship can be passed on from person to person and all other skills would be passed on from people to machines and then shared and passed on between machines through the division and sharing of separate skills [14].

Hierarchical work could also be divided up between people and machines. For example, workers at the workplace could be grouped into two types: those who make decisions and those who perform simple physical labor. An artificial intelligence system could take the place of mid-level managers, with people performing physical labor, unlike in some science fiction movies where physical labor is performed by robots. The use of such systems will spread widely across all fields in our society.

The division of hierarchical work between people and machines would not necessarily cause unhappiness; in fact, not a few workers welcome the system [26]. Nonetheless, there is concern that the wages of those performing simple physical labor would tend to be low. Generally speaking, in future workplaces, relatively simple intellectual work that is typically performed by mid-level managers will be performed by artificial intelligence. Workers will be divided into two groups: those who make judgments and give instructions to the artificial intelligence and those who receive instructions from the artificial intelligence and work accordingly. Thus, there is a possibility that economic disparities between the two groups may widen even more. The types of work that are expected to be performed by robots, which are often depicted as slave robots in science fiction movies, will be handled by humans, and the artificial intelligence will supervise and give instructions to humans. In human-machine symbiosis, this type of hierarchical role division has been termed "sophisticated slavery" (Fig. 3) [26].

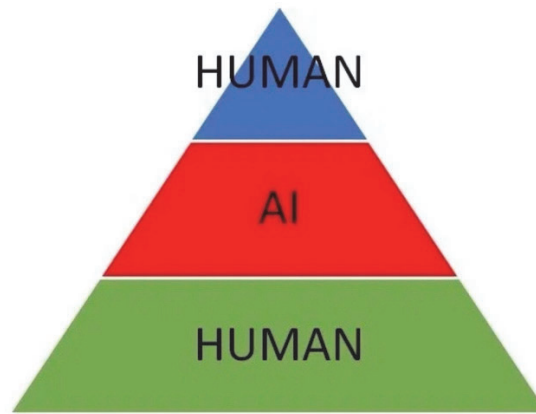


Fig. 3 Sophisticated slavery

4. Functions and requirements necessary for upcoming human-machine symbiotic systems, and the direction of development

4.1 Necessary functions and requirements for resilient HMS

Japan suffers from numerous natural disasters of various causes, i.e., earthquakes, tsunami, typhoons, heavy rain, floods, heavy snow, volcanic eruptions, and forest fires. Many disasters caused by man-made structures, such as bridges, tunnels, dams, and other social infrastructure as well as chemical plants, nuclear power plants, and other facilities also occur. The March 2011 Great East Japan Earthquake and subsequent accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant of Tokyo Electric Power Company caused widespread and untold damage. Restoration and reconstruction of the areas affected have continued to this day, as has decommissioning work at the Fukushima power plant. And on a global-scale, we must also factor in other disasters, such as the COVID-19 pandemic.

When investigating/responding to a disaster or searching for and rescuing victims right after a disaster, there are many environments where human activity is dangerous, difficult, or impossible. Therefore, the need for robots is high on the advent of a disaster.

Attaining or providing “resilient HMS,” which refers to the capability of responding to such diverse requirements, needs to focus less on autonomous robots, which are still fraught with technical issues, and more on remote technology (remotely operable robots).

The COVID-19 pandemic brought the use of remote operation robots to the fore, and the importance of human interface technology for operators to manipulate robots easily from distant places. In such systems, the operator and robot are connected via a communication system. When wireless communication is used, images of the surrounding area captured by cameras mounted on robots are transmitted via a communication line and displayed for the operator to see. In this process, communication delays make real-time operation difficult to achieve. Thus, to ensure accurate remote operation of a robot by an operator, resilient HMS must incorporate technology that enables the operator to grasp the condition of the area around the robot, a human interface technology that facilitates remote operations, and autonomy-oriented technology to prevent communication delays.

To establish HMS that is resilient to increasingly severe natural disasters and more frequent and prolonged epidemics, it is necessary to enhance the dynamic capabilities of companies mainly in the

manufacturing industry and to recombine and rebuild their management resources. Human involvement will be essential and can never be excluded. The significance of the unique faculties of humans is higher when it pertains to activities that can only be carried out by humans—for example, work requiring critical thinking or creativity to produce new ideas. Machine systems must be able to facilitate such activities.

The transfer of skills is especially important against the backdrop of an aging workforce and equipment/facilities. To that end, further research on HMS, or Multiverse Mediation, is essential because it allows humans to share and handle work that requires special skills and should be performed by humans and also enables the use of machines to perform all other work, thus achieving the division and sharing of the craftsmanship between people, between people and machines, and between machines in a balanced way.

4.2 Functions and requirements necessary for HMS to enhance and augment human abilities

The “digital divide” is a topic that frequently arises when talking about the social acceptance of digital technologies, such as ICT and CPS (Cyber Physical System), and refers to the gap in information between those who can use ICT, such as the internet and smartphones, and those who cannot, which can in turn lead to educational, economic, and social divides [27]. The problem is not merely whether it is possible to access information, but also the access devices and quality of information available. In the research and development of cybernetic avatars or the like, the technology that allows the operator to grasp the condition of the area around the robot, the human interface technology that facilitates remote operations, and the autonomy-oriented technology for preventing communication delays hold the keys to preventing new divides from emerging due to remote operations of robots and avatars.

From the perspective of information security, new security measures are necessary for deterring avatar impersonation, HMS hacking, unauthorized skill transfer, and so on.

4.3 Measures for resolving E³LSI associated with HMS

As a part of the human-machine symbiosis we envision for 2030, there is the possibility for new symbiotic relationships to emerge, such as in ① the use of avatars and robots to “kill multiple birds with one stone,” ② the operation of machines as desired by integrating the skills and experience of multiple people into one avatar, by experiencing sharing with others and the use of a BMI, and ③ the creation of various incarnations of all ages and roles, both male and female, and participation in a variety of social activities through them.

The ethics concerning human ability enhancement vary depending on religion, age, gender, ethnic characteristics, origin of culture, nationality, etc. [2]. This ethical controversy translates to the question of whether to allow enhancements without restriction, whether to allow enhancements under certain restrictions, or whether to prohibit enhancements completely. The common criticism is that acquiring such functionalities could result in unfair physical/mental advantages, creating a division between the ‘haves’ and the ‘have-nots.’

Technologies for human ability enhancement are assessed based on whether they can truly mitigate unfair divides and whether they can raise people’s physical, mental, and financial well-being. Ray Kurzweil forecasts that humans will use such technologies in the present century to better compete in the marketplace. For instance, people will enhance themselves to improve their careers, increase their

assets, and enjoy more leisure time.

While life extension technology would enable people to live longer, it would impose adverse effects on the pension distribution in society. Populations will increase and conflicts may develop over limited resources such as food, energy, funds, and living environments. There is a concern that human ability enhancement technologies will lead to a stronger desire to improve not only their own abilities but their children's abilities as they want as well [3].

The enhancement of human abilities may also change people's identities [3]. In other words, beyond achieving self-improvement, a person's very identity may change or a person may become someone else. Such a change of identity could have adverse effects on one's personal history and development as well as mental ability. One might deceive oneself and even commit a crime. Further, one's core personal characteristics or features are shaped by psychological profile, personality, general intelligence, need for sleep, as well as age, gender, basic species traits of *Homo sapiens*, and so on. There is a strong possibility that the identity thus formed may become extremely fragile.

5. Three proposals concerning the HMS demanded by future society

Based on the above discussions, we propose the following three approaches to achieving human-machine symbiosis.

- (1) **First approach (Proposal 1):** Conduct research and development of HMS resilient to disasters, pandemics, etc.
- (2) **Second approach (Proposal 2):** Conduct research and development of HMS that enhances and augments human physical, cognitive, and perceptual abilities by utilizing robots, avatars, and the like.
- (3) **Third approach (Proposal 3):** Clarify the E³LSI (Ethical, Economic, Environmental, Legal, and Social Issues) pertaining to the human-machine symbiosis described above in (1) and (2), then solve the negative aspects of this system.

5.1 Proposal 1: HMS resilient against disasters and the like

We propose that the national government (in particular the Ministry of Health, Labour and Welfare; the Ministry of Economy, Trade and Industry; and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) promote the research and development of production systems adaptive to resilient human symbiosis that can continue to produce value through the stable delivery of goods and services as well as improved productivity regardless of the occurrence of unforeseeable social changes, such as disasters and infection outbreaks. We suggest the following two research topics.

Topic 1-1) Development of resilient systems adaptive to change in the global and social environments

Topic 1-2) Development of systems that reflect (respect) the skills and creativity that only humans possess

Discussions on Topic 1-1) should aim to build systems that possess the dynamic capabilities of companies to recombine and rebuild management resources according to the status of damage resulting from a disaster or the like.

Topic 1-2) corresponds to the trend for work division between people and machines toward 2025, as mentioned in the 2020 Report of the World Economic Forum. It is unlikely that human-based

creative activities and artisanship will be completely replaced by the functionalities of machine systems, as stated in the concept of Multiverse Mediation [14]. About the division of roles between humans and machines, it is crucial that the tasks only humans can perform are assigned to people bearing in mind the hierarchical role division of “sophisticated slavery” [26], and that all other tasks are effectively divided and shared with machines. Especially for the transfer of the skills of elderly people reaching retirement age, systems to support the transfer of skills from people to people must be developed.

5.2 Proposal 2: HMS adaptive to work environments and daily life

We propose that the national government (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology; JST, etc.) continuously promote the research and development of human-machine symbiosis capable of enhancing and augmenting human physical, cognitive, and perceptual abilities by 2030, with the goal of realizing a diverse and inclusive society ahead of others in the world.

This research and development should aim to construct human-machine symbiosis (HMS) that allows all willing individuals to work and participate in social activities. If elderly or child-rearing people become remote operators and manipulate multiple robots/avatars scattered around the world, it would become possible to deliver services to users all over the world from a single location. If multiple operators agree to consolidate each other’s skills, it would create new services for distributing the skills and knowledge of multiple people across the globe. What is more, if it becomes possible to operate a robot or avatar as one desires in the mind using a BMI (Brain-Machine Interface), even people with severe impairments could participate in diverse social activities. Research and development are presently being conducted on robots that understand their surrounding conditions, learn/act on their own, and coexist cooperatively with people. To enhance human abilities, realize a diverse and inclusive society, and create new growth industries toward 2030, the following topics should be addressed and resolved.

Topic 2-1) Creation of middleware equipped with interoperability and scalability for robots and avatars with different shapes and functionalities as part of the network infrastructure

Topic 2-2) The need for a technology that incorporates (consolidates) the skills of multiple people in one avatar or that allows multiple users to operate one avatar, for people to work cooperatively in an environment where many robots and avatars operate in unison. The development of a technology that allows one user to simultaneously operate/control multiple robots/avatars.

5.3 Proposal 3: Clarification of E³LSI (Ethical, Economic, Environmental, Legal, and Social Issues) and resolution of negative aspects of HMS

We propose the following measures to the national government (especially the Ministry of Health, Labour and Welfare; the Ministry of Economy, Trade and Industry; and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) and general public: establish a Promotion Forum aimed at resolving E³LSI institutionally and negative aspects of HMS; clarify the methodology and means to realize the well-being of people, society, and the global environment; and feed the results back to the Approach 1 and Approach 2 processes.

It is necessary to keep in mind that human-machine symbiosis has not only positive aspects (the light) but also negative aspects (the shadow). By connecting to outside worlds through the system of

human-machine symbiosis, people can have a greater impact on society. Conversely, people may also be connected from the outside and subjected to attacks and suffer damage as individuals. As the development of the system advances further, new E³LSI will inevitably emerge, as will the need for a mechanism to solve individual issues together with experts from legal and institutional perspectives and a mechanism to feed back the results in the form of new research and development topics to the research and development described earlier as Approach 1 and Approach 2. As this system grows in scale, more issues pertaining to its global environmental impact will arise.

Since the negative aspects of HMS include health issues resulting from the overuse of the system and mental distress or depression due to slander, defamation, etc., it is necessary to establish trusted places where people can go for advice anytime.

We propose that an inter-ministry HMS Promotion Forum be established in order to provide places and opportunities for democratic discussion among multiple stakeholders, including the general public and users, on issues that may develop during the course of research and development on HMS and its practical application. Such Forum could then be used to clarify the methodology and means to realize the well-being of people, society, and the global environment and feed the results back to the Approach 1 and Approach 2 processes.

This process will encourage the acceptance of HMS by society and provide all willing people new opportunities to work and participate in social activities.

References

- [1] ムーンショット目標 1 : 2050 年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現,
<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/index.html>
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Machine>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Human_enhancement
- [4] 車の歴史と未来予測！車の誕生から日本車の進化を解説, カーライフ, 2020.06.09.
<https://ja.wikipedia.org/wiki/蒸気機関>
- [5] <https://www.goo-net.com/magazine/111261.html>
- [6] 米国での産業用ロボット誕生から日本上陸まで, Kawasaki Robotics,
https://robotics.kawasaki.com/ja1/anniversary/history/history_01.html
- [7] <https://ja.wikipedia.org/wiki/オフィス・オートメーション>
- [8] ネット依存とは、NHK 健康チャンネル https://www.nhk.or.jp/kenko/atc_367.html
- [9] コロナ禍のなかエッセンシャルワーカーをロボットが助ける！消毒作業やバイオ実験に活用, Medical DX 編集部 2020.8.19
<https://medicaldx-jp.com/news/41>
- [10] Robin Murphy, Kaspar Althoefer, Satoshi Tadokoro, Cecilia Laschi, “Robotics Responds to the COVID-19 Outbreak,” IEEE Robotics & Automation Magazine, Volume 28, Issue 1, pp.16-17, March 2021. DOI: 10.1109/MR.2020.3048866
- [11] 人間と機械が協働する時代へ 調和を創る知的情報処理システム,
https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2019/202002/pdf/2020_02.pdf
- [12] ドイツ工学アカデミー acatech, <https://www.acatech.de/>
- [13] アンデシュ・ハンセン, スマホ脳, 新潮新書
- [14] Revitalizing Human-Machine Interaction for the advanced society 社会の発展のための人と機械のインタラクションの再構築,
<https://www.jmfri.gr.jp/document/library/1183.html>
- [15] ASD 視覚体験シミュレータ https://cognitive-mirroring.org/asd_simulator/
- [16] 中澤 篤志, 「優しい介護」インタラクションの計量的・脳科学的解明, 人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開 2019 年度 実績報告書
https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/evaluation/nenpou/r01/JST_1111098_17942099_2019_PYR.pdf
- [17] Dylan F Glas, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Norihiro Hagita, “Teleoperation of multiple social robots,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol.42, No.3, pp.530-544, 2011/9/12.
- [18] AI Lab、商業施設におけるロボット接客の実証を実施 ―自律と遠隔のハイブリットによる 4 人 20 体のロボット接客で「困った！」をすぐに解決、顧客満足度向上の実現可能性を東急ハンズで検証― 2021 年 11 月 4 日
<https://www.cyberagent.co.jp/news/detail/id=26814>
- [19] 分身ロボットカフェ DAWN
<https://dawn2021.orylab.com>
- [20] NHK クローズアップ現代 麻痺（まひ）した手が動いた リハビリと脳科学 最前線 麻痺（まひ）した手が動いた、リハビリと脳科学 最前線, 2021 年 5 月 25 日（火）
<https://www.nhk.or.jp/gendai/articles/4548/index.html>

- [21] 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書 第1作業部会報告書（自然科学的根拠）政策決定者向け要約（SPM）の概要（ヘッドライン・ステートメント）
<https://www.env.go.jp/press/109850/116628.pdf>
- [22] AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf
- [23] 欧州グリーン・ディールの概要と循環型プラスチック戦略にかかわる EU および加盟国のルール形成と企業の取り組み動向 2020 年 03 月 25 日, JETRO
<https://www.jetro.go.jp/world/reports/2020/01/a4731e6fb00a9859.html>
- [24] The Skills Consortium <https://jp.weforum.org/projects/the-skills-consortium>
- [25] The Future of Jobs Report 2020, October 2020.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf
- [26] 人工知能は人間の仕事を奪うのか？（『洗練された奴隷制』再論）
<http://hanamizukilaw.cocolog-nifty.com/blog/2016/07/post-f578.html>
- [27] 令和3年度版情報通信白書 総務省, 2021
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/pdf/01honpen.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。

If you desire to publish the content of this document elsewhere, please
contact Academy Staff, The Engineering Academy of Japan.

編集発行

公益社団法人日本工学アカデミー

Edited and published by:

The Engineering Academy of Japan

〒101-0064 東京都千代田区神田猿楽町二丁目 7 番 3 号HKパークビルIII 2F

HK Park Bldg. III 2F, 2-7-3 Kanda Sarugakucho, Chiyoda-ku,

Tokyo 101-0064, JAPAN

Tel: 03-6811-0586 Fax: 03-6811-0587

E-mail: academy@ej.or.jp

URL: <http://www.eaj.or.jp/>