

# 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」  
戦略推進会議**

令和5年11月10日

プログラムディレクター

萩田 紀博

(大阪芸術大学 教授)

# 目次

---

1. プログラムの状況
2. 外部評価結果とポートフォリオの見直し
3. 今後の方向性
4. 参考

# 目次

---

1. プログラムの状況

2. 外部評価結果とポートフォリオの見直し

3. 今後の方向性

4. 参考

# 1.1 目指す社会像

## 【生産性向上】

我が国の少子高齢化が進んでも、人間の能力を拡張する技術革新によって生産性を向上し、労働力不足の問題を解決し、誰もが2050年に安全安心にクリエイティブな仕事や社会活動に参加して生きて行ける社会を実現する。

## 【強靱な生産性維持】

ただし、世界の人口が100億人に増えることも考慮して、能力拡張が、人為的も含めた地球環境の変化によって起きる災害や感染症などに強靱な生産性維持することに役立ち、

## 【安全安心とゆとり】

安全安心で健康な日常生活を維持することにも役立ち、生産性の効率だけで生まれる物質的な豊かさだけでなく、余暇や非効率などの精神的な豊かさ、ゆとりとのバランスを保つことにも役立つ社会を実現する。

# 1.2 解決すべき課題

## 目標1

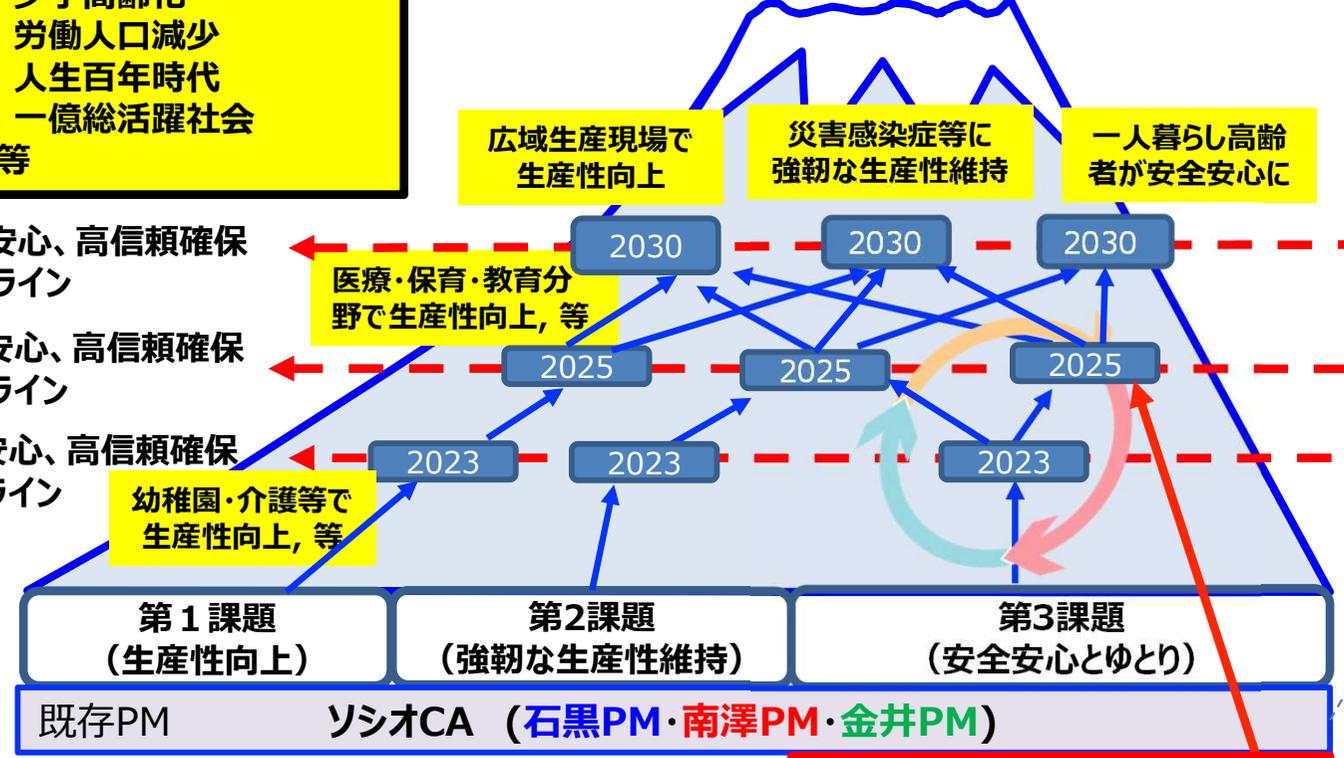
高齢者から重い障害のある人まで、能力を拡張して、  
労働生産性を向上させ、活力に満ちた安心安全な  
生活を送れる社会の実現

【社会】  
急進的イノベーションで  
少子高齢化時代を切り拓く  
＜課題＞  
■ 少子高齢化  
■ 労働人口減少  
■ 人生百年時代  
■ 一億総活躍社会  
等

安全・安心で高信頼を確保できる  
実・仮想空間CA基盤を開発する  
ためのシェルパの役目  
第1～3の課題に適宜  
技術的・制度的課題を  
フィードバックする機能を備える

第4課題(2022追加2PM)  
【社会受容基盤】  
● 安全・安心確保基盤  
(新保PM)  
● 信頼性確保基盤  
(松村PM)

安全・安心、高信頼確保  
2030ライン  
安全・安心、高信頼確保  
2025ライン  
安全・安心、高信頼確保  
2023ライン



ソシオCA : CAの利用環境が人と人を  
CAを介して繋ぐコミュニケーション環境で  
1xNやMx1遠隔操作を可能にするCA

体内CA : CAの利用環境が体内の臓器間  
や細胞間をCAを介して繋ぐコミュニケーション  
環境で1xNやMx1遠隔操作を可能にするCA

### 技術課題

- M×N複数遠隔制御 (共通) : M人の操作者がN体のCAを制御して利用者にサービスする技術
- 対話行動CA (石黒PM) : ホスピタリティ豊かなモラルある対話行動技術
- 技能合体・体験共有CA (南澤PM) : 技能を融合して新しい体験共有・技能流通できる技術
- 思い通り操作CA (金井PM) : 思い浮かべた言葉や行動、さらに意図までも解釈・伝達できる技術

# 1.2 解決すべき課題(マイルストーン)

2050

2050年までに、  
誰もが、場所や能力の制約を超えて社会活動に参画できる技術を開発し、  
様々な背景や価値観を有する人々が、  
自らのライフスタイルに応じて多様な活動に参画できる社会を実現

2040

## 大規模遠隔互助のためのCA社会基盤と安心なCA<sup>※</sup>生活を実現

2030

- 1.【緊急時に多様な人材で、素早く問題解決できる大規模遠隔互助社会の実現】 [空間, 時間] [身体]
- 2.【多くの専門家に見守られた安心感のある日常生活へ変革】 [空間, 時間]
- 3.【障害を乗り越えて社会活動に参画していける遠隔互助社会の実現】 [身体] [脳]

2025

## 自分に合ったCAで能力拡張と社会活動参加が促進

- 1.【主婦・主夫や高齢者等が新たな社会活動に参画できる変革】 [空間, 時間]
- 2.【技能や経験を互いに提供し合って能力拡張する技能合体流通社会の実現】 [身体]
- 3.【頭で思い浮かべた言葉や行動を他人に伝える技術変革】 [脳]

2023

## CAで新たな就労・保育・教育環境が生まれることを実証

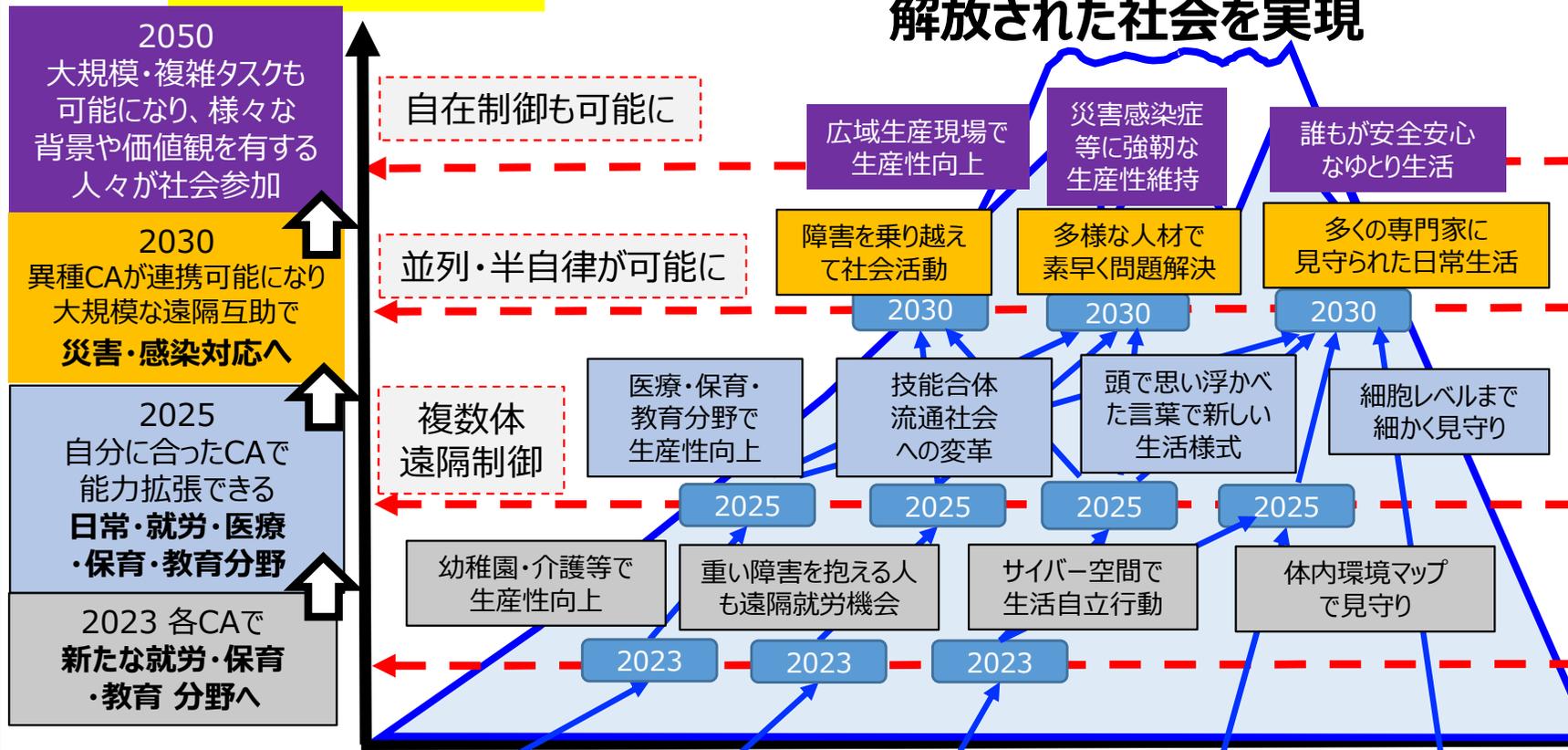
- 1.【主婦・主夫や高齢者等が新たな社会活動の参画が可能に】 [空間, 時間]
- 2.【重い障害を抱える人が遠隔就労機会を持てる変革】 [身体]
- 3.【思い浮かべた自分の言葉や行動の一部を他人に伝えることができる技術革新】 [脳]

※ CA:サイバネティック・アバター (Cybernetic Avatar (『登録商標第6523764号』))  
[ ] : どの制約を解放するかを表す

# 1.3 プログラムの推進体制

人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現

CA利用分野・  
利用者の拡大



ソシオCAから体内CAまで

**ソシオCA**  
CAの利用環境が人と人をCAを介して繋ぐコミュニケーション環境で1xNやMx1遠隔操作を可能にするCA



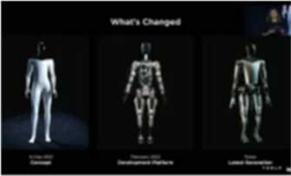
個人や集団がCAを介して、提供されるソシオCAサービス



臓器や細胞内を遠隔から見守れる体内CAサービス

**体内CA**  
CAの利用環境が体内の臓器間や細胞間をCAを介して繋ぐコミュニケーション環境で1xNやMx1遠隔操作を可能にするCA

# 1.4 国内外の研究開発動向と比較 (市場・製品)

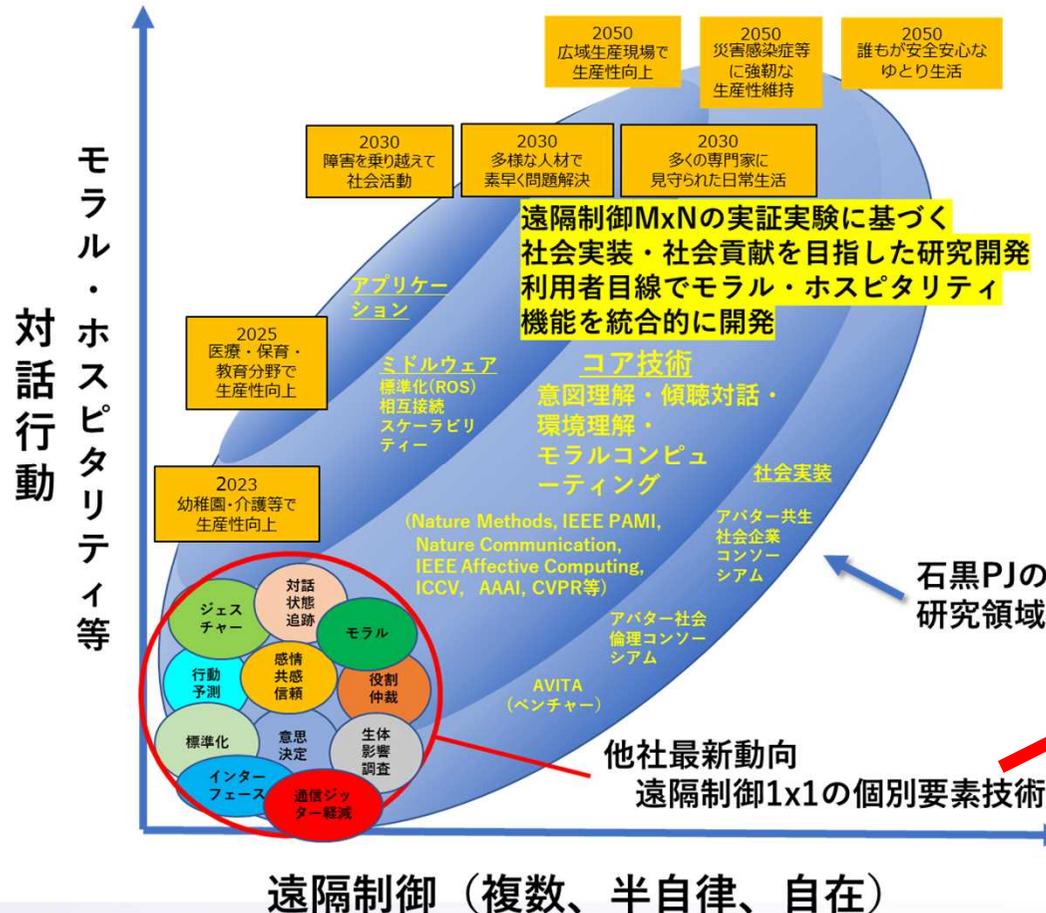
<p>第1層 アプリケーション</p>	<p>空間、時間の制約からの解放                  アメカ、ソフィア                  アストロ (見守り・エンターテイン向け家庭用味^^ト)                  ヒト型ロボット「<b>オプティマス</b>」(イーロンマスク)、                  「<b>EVE</b>」(1X Technologies)</p> <p>身体<small>の</small>制約からの解放：                  メタバース、グリー(新たな仮想生活空間)                  Avataarin (Newme)、Orihime</p> <p>脳<small>の</small>制約からの解放                  ニューラリンク (侵襲、サル<small>の</small>リアルタイムカーソル操作)                  スタンフォード大学(侵襲、90文字入力/分、62単語/分)                  アリゾナ州立大学 (非侵襲、3機ドローン同時制御)</p>    
<p>第2層 ミドルウェア</p>	<p>OMG Robotics-DTF、ISO/TC 299 (Robotics), ROS2、UNESCO                  OMG : Object Management Group    DTF : Domain Task Force</p>
<p>第3層 コア技術</p>	<p>対話行動CA: OpenAI(GPT-3 4、ChatGPT)、LINE(HyperCLOVA) (対話能力)                  体験共有CA: Facebookリサーチ:                  触覚・感情等デジタルセンシング、身体感覚提示                  Sweden Karolinska Institute(身体所有感)</p> <p>思い通り操作CA:                  Kernel, SHIMADZU: 携帯型近赤外分光法脳波計(TD-fNIRS)+EEG組み合わせ                  Apple: イアホン型脳波計(In-ear EEG)の特許取得                  開頭手術不要BMI, 体内CA: ナノトランスデューサー, Stentrode, optogenetics                  エクソソームDDS, 分子ロボット群制御、デザイナー細胞</p>
<p>第4層 基礎研究・E<sup>3</sup>LSI課題</p>	<p>IEEE Neuroethics Framework</p>

# 1.4 国内外の研究開発動向と比較(主要国際会議)

空間、時間の制約からの解放 (石黒PJ)

- 他社最新動向では、「1x1遠隔制御」の要素技術を研究開発
- 一方、対話行動CA(石黒PM)は、「MxN遠隔制御」の要素技術を研究開発：
  - 実証実験に基づく社会実装・社会貢献を目指す
  - 利用者のためのモラルコンピューティングとホスピタリティ機能を統合した研究を追究
  - 中でも、MxN遠隔制御、傾聴対話、モラルコンピューティングは独創的。

(JST MS部&CRDS技術調査)



### 他社最新動向

ICRA2021

- 「遠隔操作インターフェースのための動作分析」
- 「受付ロボット向け意思決定」
- 「対話ロボット向けROSオープンツール」
- 「握手動作」
- 「対話エンゲージメント推定」
- 「行動予測」
- 「会話ジェスチャー」
- 「人の歩行予測・追従」

ICRA2022

- 「インターフェース」

ICRA2023

- 「視覚遅延に伴う脳波・生体影響調査」
- 「混雑ナビゲーション」
- 「表情自動生成」
- 「協働における役割仲裁」
- 「標準化」(ROS, 半自律プラットフォーム、目標3)
- 「信頼モデル」
- 「通信ジッター軽減」

IROS2021

- 「感情生成」
- 「会話ジェスチャー」
- 「共感」
- 「行動予測」
- 「インターフェース」
- 「モラル」

IROS2022

- 「会話ジェスチャー」
- 「眼球運動」
- 「対話状態追跡」

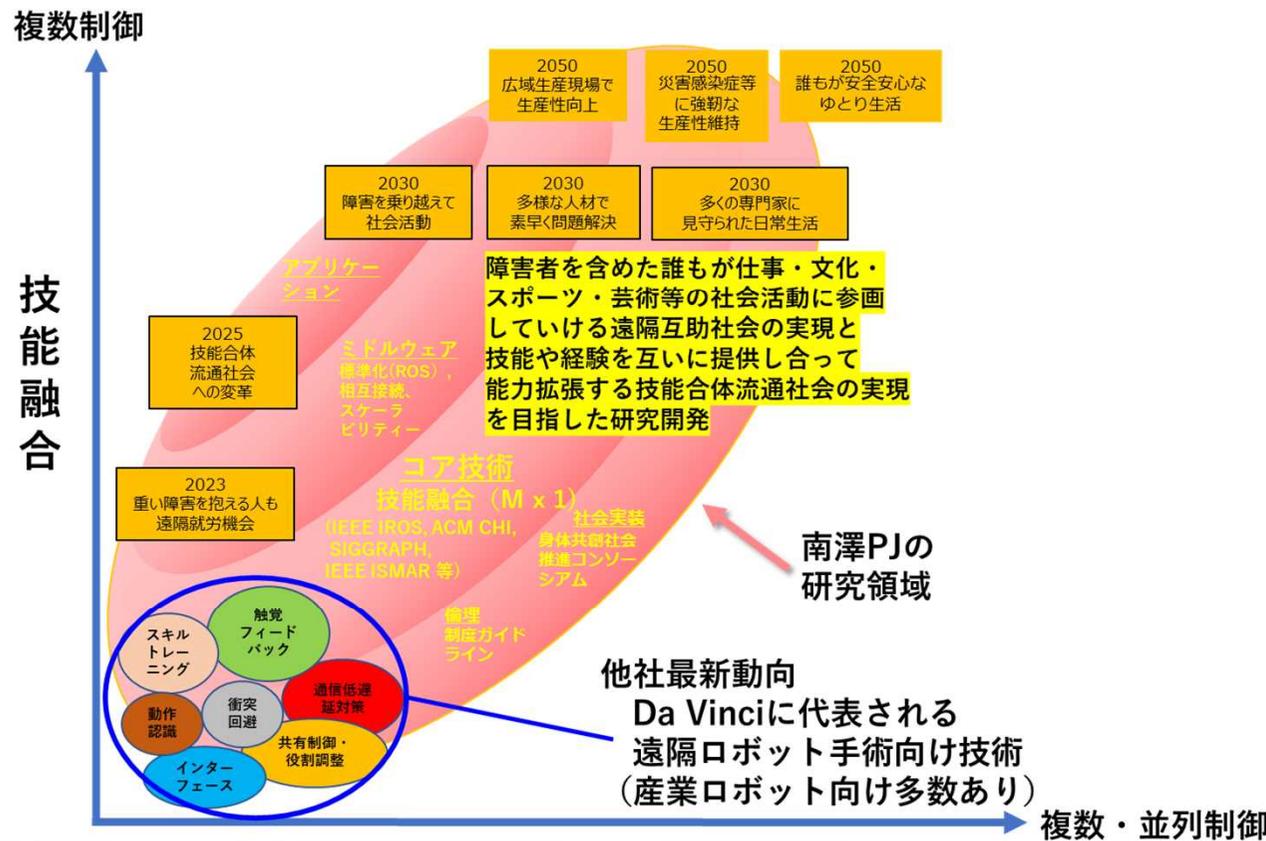
HRI2021, 2022

- 「視線行動」
- 「共感共有」

# 1.4 国内外の研究開発動向と比較(主要国際会議)

身体の制約からの解放を目指す (南澤PM)

- 他社は、「Da Vinciに代表される遠隔ロボット手術向け技術 (産業ロボット向け多数あり)」に焦点。
- 一方、体験共有CA(南澤PM)では、
  - 誰もが仕事・文化・スポーツ・芸術等の社会活動に参画していける遠隔互助社会の実現及び
  - 技能や経験を互いに提供し合って能力拡張する技能合体流通社会の実現を目指す。
  - **Mx1遠隔操作による技能融合は独創的。特に重い障害を抱えた人同士の技能融合は挑戦的。** (JST MS部&CRDS技術調査)



### 他社最新動向

ICRA2021  
遠隔操作ロボット手術向けの「触覚フィードバック・力推定」「人間機械協働・マスタースレーブ型システム」「遠隔操作時の触覚ガイダンス」

ICRA2022  
医療・手術向けのロボット手術・ダヴィンチに関し「人間-ロボット共有制御・役割調整」

ICRA2023  
「人間-ロボットの衝突回避」「触覚フィードバック」(環境共有、不安定軽減)

IROS2021  
医療・手術向けの「スキルトレーニング」「インターフェース」「通信低遅延対策」

IROS2022  
Da Vinciに代表される医療・手術遠隔操作ロボット向けの「スキルトレーニング」「触覚フィードバック」「通信低遅延対策」「手術活動の動作認識と評価」

CHI2023-2021  
「インターフェース」(身体性認知、触覚共有、1xNの認識など)

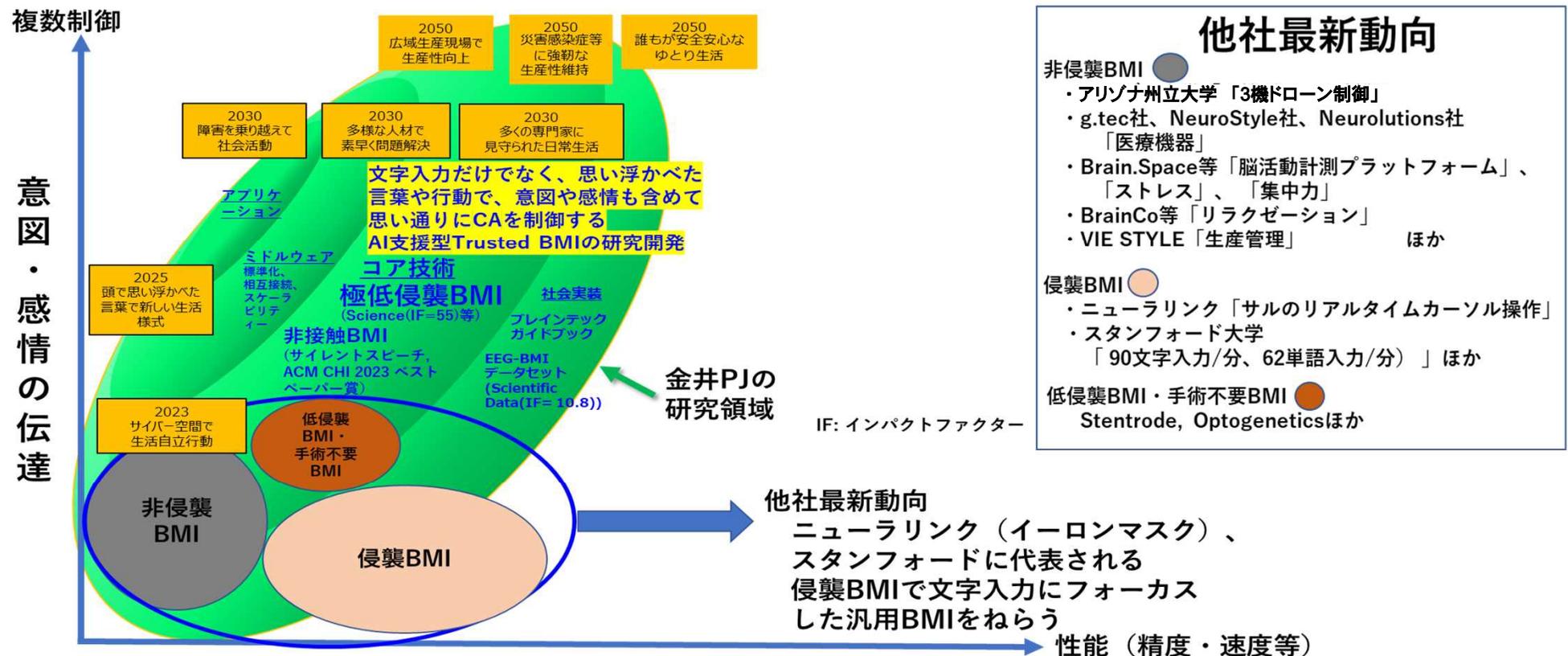
HRI2021  
「触覚フィードバック」(ハグロボット)

# 1.4 国内外の研究開発動向と比較(主要国際会議)

## 脳の制約からの解放を目指す(金井PM)

- 他社最新動向では、ニューラリンク(イーロンマスク)、スタンフォード大に代表される「**侵襲BMIで文字入力のためのBMI**」を狙う。
- 思い通り操作CA(金井PM)は、「**文字入力だけでなく、思い浮かべた言葉や行動で、意図や感情も含めて思い通りにCAを制御するAI支援型Trusted BMI-CA**」を研究開発。
- BMIを侵襲・極低侵襲・非侵襲・非接触の4種類のアプローチで研究開発する**世界最強研究集団**
- **極低侵襲BMIのBMIの研究開発は挑戦的・革新的。**

(JST MS部、NTTデータ経営研究所による技術調査)



# 1.5 目標達成に向けた取組み・革新的な成果

## 2023年のマイルストーン（目標値）

- ・3つのマイルストーン(\*)は、それぞれ石黒PM、南澤PM、金井PMによって達成見込み。
- ・石黒PMは2025年マイルストーンを前倒して海外実証実験を計画・一部実施できる見込み。
- ・金井PMは極低侵襲BMIの研究成果（上記）で目標値を超える成果が出る見込み。



# 1.5 目標達成に向けた取組み・革新的な成果

## プログラummilestoneの達成状況

2023

### CAで新たな就労・保育・教育環境が生まれることを実証

- 1.【主婦・主夫や高齢者等が新たな社会活動の参画が可能に】
- 2.【重い障害を抱える人が遠隔就労機会を持てる変革】
- 3.【思い浮かべた自分の言葉や行動の一部を他人に伝えることができる技術革新】

技術目標	達成状況
1.【主婦・主夫や高齢者等が新たな社会活動の参画が可能に】	達成:約50の実証実験を通して、幼児保育・初等教育・見守り・話し相手、定型的問診等のタスクの有効性確認。複数のCAを連携・協調させる場合でも、複数のCAを速度や精度を落とさずに同時操作することが可能であることを実証実験において確認。(モラルある対話や行動。予定を前倒してMxNの技術開発開始、100体の同時稼働CA基盤実証)。
2.【重い障害を抱える人が遠隔就労機会を持てる変革】	達成:「分身ロボットカフェDAWN」常設実験店で、障害者にも複数体CAをアクセシビリティ高く操作できるインターフェースが、重い障害を抱える人でも就労できる技術を検証した。 1人の障害者がCA複数体を接客操作、複数の障害者が単体CAで技能融合して操作、および5週間に亘る実証実験を実施して就労の継続性を確認した。
3.【思い浮かべた自分の言葉や行動の一部を他人に伝えることができる技術革新】	達成:散策では、障がい者と中高生がメタバースゲームFortniteをプレイする公開イベントを実施し、YouTube番組として公開後3ヶ月で3.3万回超の視聴回数を獲得した。対話では、生体行動情報から非接触測定でサイレントスピーチを実現。対話、購買、情報検索では、皮質脳波からのテキスト生成を毎秒10~120単語の速さで実現し、脳信号から視覚イメージを再構成するデモも実現。

# 1.5 目標達成に向けた取組み・革新的な成果

## 1) 大胆な発想に基づく挑戦的かつ革新的なもの

世界が1人1体の時代に、1人で複数体CA(1xN)または複数人で1体のCA(Mx1)の遠隔操作によって、誰もが身体的・認知・知覚能力を拡張するCA遠隔操作技術に挑戦。革新的成果が出始めた。

## 2) 国内外の研究開発動向・技術動向に鑑みて、世界の最先端をゆくもの (図1)

ホスピタリティ豊かなモラルある対話行動CAを実現するために、「話す・聞く」(実環境音声認識・合成)で国際コンペティションで世界1位、「見て概念を創る」(概念獲得)で世界的成果を多数、不適切な対話行動を適切な発言や振る舞いに変換するモラルコンピューティングの提案。100体以上が動くCA基盤を構築。



図1(a) デジタル大臣の対話行動CAによる社会実験とCA利用紹介



図1(b) アバターまつり100体同時稼働



図1(c) 堺市立桃山台小学校 (授業支援)

# 1.5 目標達成に向けた取組み・革新的な成果

2)国内外の研究開発動向・技術動向を鑑みて、世界の最先端をゆくもの

- 重い障害を抱える人が1x5, 2x1 CA遠隔操作できる技術を開発し、5週間にわたる実証実験を実施(図2)。
- 開頭手術不要で脳のあらゆる部位の脳活動計測を可能にする極低侵襲BMI技術(図3)に世界に先駆けて着手。ブタで静脈毛細血管にステントを挿入し、脳活動計測を確認。CAはOMG中心に国際標準化活動を推進し、BMI関連ではUNESCOなどルールメイキング開始。



図2 技能と経験の融合実験  
in 分身ロボットカフェDAWN

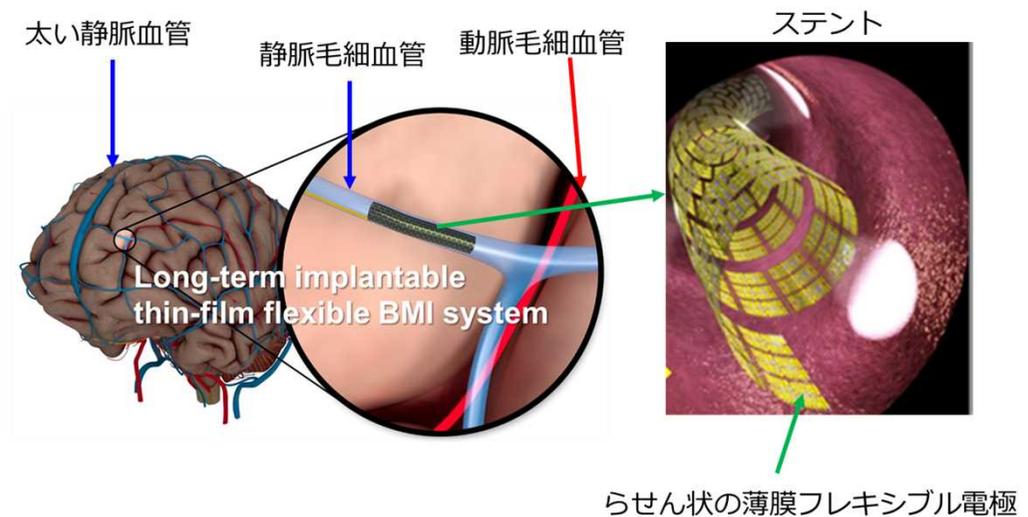


図3 極低侵襲BMIによる血管内脳波計測

# 1.6 プログラムマネジメントの状況

## PDによるプログラムマネジメント

- 研究開発マネジメントとして、**全体会議**とともにPDのマネジメント方針、マイルストーン、ステージゲート、具体的なプロジェクトの中に浸透するために、プロジェクト進捗報告、PMからの相談事、世の中の動向などについて**PD-PM定例会**を毎月開催。
- 最適な研究開発体制を目指し、主に**①開頭手術のいらない極低侵襲BMI、②体内CA、③社会受容基盤、④目標間連携、⑤国際アドバイザリーボード**の体制を構築。
- RISTEX「人と情報のエコシステム」などと連携して人文社会科学、経済・経営学の視点からもCA社会実装課題を検討。
- 新規プロジェクトの資金配分では、一度に予算配賦してしまわずに、十分に**留保額（PD裁量経費）**を確保するように心がけた。

## 国際連携

- **国際アドバイザリーボード（IAB）**を2022年9月に立ち上げ、著名な研究者・マネージャー3名を招き、3PMの研究拠点で**各CAを体験して助言**を頂いた。その結果、**目標1がムーンショット目標の主旨にあった、世界的にユニークで未来志向のプログラムであること、今後強化すべきマネジメントのポイント（国際連携強化、企業との連携強化、サイエンス強化）等を指摘**された。
- IABと連催して第2回国際シンポジウムも京都で実施。
- 国際標準化OMG(Object Management Group) Robotic Service Ontology1.0 (RoSO1.0)のInitial Draftに提案済み。

# 1.6 プログラムマネジメントの状況

## 産業界との連携・橋渡し

- 企業コンソーシアムは、2023年7月、石黒PMで107会員に、南澤PMで30企業6コミュニティに発展。石黒PMは設立した大学発ベンチャーで成果の社会実装を積極的に展開し、その知見をプロジェクトにフィードバック。
- PD/サブPD/国内アドバイザー以外に内閣府戦略推進会議関係者、ガバニング委員、RISTEXのアドバイザー等にも各PMのCAを体験して頂き、助言を頂いた。
- 目標3（AIロボティクス）との連携では、2025年に向け国際標準化（ミドルウェア）を進める合同戦略を立てた。合同戦略会議も年1回程度定期的に開催（2022年2月に災害対策、2023年1月に介護をテーマに開催済）。

## 広報・アウトリーチ活動

- ウェブ、テレビ、新聞や雑誌などを通じて、開発中のCA体験、将来のCA生活イメージの醸成、ELSIに関する情報発信を積極的に実施。サイエンスアゴラ「サイバネティック・アバターで誰もが能力拡張できる未来社会を君はどう楽しむ？」(2022年10月)、若者が考えるCA社会像を動画化(2023年4月)。市民にもわかりやすいブレイン・テックガイドブックもUNESCOで招待講演実施。

## ELSI、数理科学等、横断的な取組

- ELSE課題に対し環境課題を追加して「E<sup>3</sup>LSI (イーキューブELSI)」(倫理的Ethical・経済的Economic・環境的Environmental・法的・社会的課題)に拡充。
- 2022年9月に数理科学研究者を掘り起こすため「JST数学領域未解決問題ワークショップ」開催。

# 1.6 プログラムマネジメントの状況

## データベースマネジメント

- 非公開データについては、今後オープン、クローズ戦略を立てて公開していく。
- 社会受容基盤で推進する社会実装に向けての制度改革では、実証実験のデータに基づく社会提言を行っていく。
- 対話行動CAについて獲得・収集する研究データは、代表機関が推進する Society5.0 のプロジェクトと連携し、CAシステムを通して得られる多様なデータの再利用に取り組んでいる。
- 思い通り操作CAについては、東京リサーチスタジオで138名（世界最大、従来62名）の非接触、非侵襲 BMI のデータ収集を行い、OpenNeuro にてデータを公開。データベース論文として ScientificData 誌に掲載(2023年、IF=10.8)。

# 目次

---

1. プログラムの状況

2. 外部評価結果とポートフォリオの見直し

3. 今後の方向性

4. 参考

# 2.1 外部評価委員一覽

\* 運用評価指針に従い、以下の構成メンバーにより、プログラムおよびプロジェクト評価を実施

## ●プログラム評価

(総合評価)

藤野 陽三	城西大学 学長
渡辺 捷昭	トヨタ自動車株式会社 元 代表取締役社長
江村 克己	福島国際研究教育機構 (F-REI) 理事
大橋 徹二	株式会社小松製作所 取締役会長
榊 裕之	奈良国立大学機構 理事長
濱口 道成	科学技術振興機構 参与
深見 希代子	東京薬科大学 生命医科学科 名誉教授/客員教授

(技術専門的観点)

横矢 直和	奈良先端科学技術大学院大学 名誉教授
村瀬 洋	名古屋大学 名誉教授
馬場口 登	福井工業大学 教授/大阪大学 名誉教授
Cecilia Laschi	Professor at the National University of Singapore

## ●プロジェクト評価

萩田 紀博	大阪芸術大学 芸術学部 アートサイエンス学科 学科長・教授
北野 宏明	株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 代表取締役社長
土井 美和子	情報通信研究機構 監事
稲見 昌彦	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
落合 啓之	九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 教授
加納 敏行	日本電気株式会社 データサイエンス研究所 上席技術主幹
小林 正啓	花水木法律事務所 所長
坪井 俊	武蔵野大学 工学部数理工学科 特任教授
徳田 英幸	情報通信研究機構 理事長
野原 佐和子	株式会社イプシ・マーケティング研究所 代表取締役社長
東野 輝夫	京都橘大学 副学長
藤沢 久美	株式会社国際社会経済研究所 理事長

# 2.2 外部評価結果(1/4)

**総合評価：マイルストーン（目標値）の達成あるいは達成への貢献が期待通り見込まれ、成果が得られている。**

## 総合コメント

### MS目標達成等に向けたポートフォリオの妥当性（評価項目①）

- 成果が期待通り得られている点は評価できる。国際的にも非常に独創的なコンセプトである。研究開発のマイルストーンはほぼ達成され、BMI(ブレイン・マシン・インタフェース)やアンドロイドなどの技術的な成果は予想を超えている。
- 企業コンソーシアムや大学発ベンチャー企業を活用した成果の社会実装、展開による産業界との連携も評価できる。
- 海外拠点の立ち上げや海外課題推進者の追加といった国際連携活動や、ソシオCAを中心とした国民との対話に関する取り組みも高く評価できる。
- 2030, 2050年の目標がはっきりしない。目標とする社会像を具体的なものを示して欲しい。定量的なイメージを示して欲しい。
- 社会受容性に配慮し、技術がいかに社会構造を構築するか議論し、実現できる、納得感のある大きな社会シーンを明確に定めるべき時期に来ている。
- 目標1と目標3はターゲットとするユースケースが近く、社会受容基盤など2つの目標で共通しているところもあるため、両目標を組み合わせた社会像とはどのようなものかを目標1と目標3が一緒に考える時期に来ている。

# 2.2 外部評価結果(2/4)

## 1. プログラムの目標に向けた研究開発進捗状況 (評価項目②)

1-1.大胆な発想に基づく挑戦的かつ革新的な取り組み (評価項目⑦)	<ul style="list-style-type: none"><li>• マイルストーンは達成され、技術的研究開発の進展は注目に値する。</li><li>• CAは、国際的にも、非常に独創的なコンセプトである。大規模な基礎的知見とフィールド実験を組み合わせたものであり、国際標準化やユネスコ、OECDでBMI国際ルール作りも評価できる。</li><li>• 多様なセクターから数多くの研究者が参加、人材育成がなされており、次世代の研究者の層を厚くするという重要な意味をもつ。</li><li>• 技術に偏っていて個々の技術に終始している懸念がある。社会像からのバックキャストによる成果が不明瞭。研究活動の多様性は、見通しを難しくしている。統一的な研究設計によるハイインパクト化を期待する。</li><li>• CAの社会への浸透度と既存概念との違いについてプログラム全体で共通認識を図るべきである。</li></ul>
1-2.プログラムの目標に向けた今後の見通し (評価項目③)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2025年のマイルストーン達成の見通しは明るい。</li><li>• 将来的にはBMI-CAとソシオCAとの統合を目指して欲しい。</li><li>• 革新的なCAのイメージ、科学技術への独創的な貢献と社会を変革させるイノベーションを明確に概説し、国際的な科学コミュニティ等に成果を適切に広めることが重要である。</li><li>• 「大胆な発想に基づく革新」のため目標のより野心的な見直しを期待したい。</li><li>• 技術 (MxN)が達成された時どういった変化が社会で生じるかがわからない。これまでの国内での実証実験例からは、革新性がまだ見えてこない。</li></ul>
1-3.その他	<ul style="list-style-type: none"><li>• 一般の人がサイバネティック・アバターあるいはCAと聞けば、多くの人々がそれは何かを理解できるようになることが望ましい。</li><li>• 目標1と目標3は2つの目標で共通部分もあるため、両目標を組み合わせた社会像を目標1と目標3と一緒に考える時期に来ている。</li></ul>

# 2.2 外部評価結果(3/4)

## 2. PDのプログラムマネジメントの状況(評価項目④)

2-1. 研究資金の効果的・効率的な活用(官民の役割分担及びステージゲートを含む)(評価項目⑧、評価項目⑤)	a.産業界との連携・橋渡しの状況(民間資金の獲得状況(マッチング)、スピンアウトを含む)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 企業コンソーシアムの発展は順調。大学発ベンチャー企業が成果の社会実装を展開し、知見がフィードバックされている。</li><li>• 目標3との協働で OMG(Object Management Group)、ISOなどに国際標準化(ミドルウェア)を推進する体制の構築は、評価できる。</li><li>• 産業界との連携・橋渡し策をGDPの産業領域の多様性、今後のCAやAI技術の進展の関係から時代にあった企業コンソーシアムの構築が重要である。</li></ul>
	b.その他	<ul style="list-style-type: none"><li>• 常に目標に向けて改善を進めながら取り組んでいる点は、評価できる。</li><li>• 目標を統一して各々の役割分担について議論するアプローチが必要である。</li><li>• CAの定義があいまいなため、クリアにして実現する絵を書く必要がある。</li><li>• ユースケースを定めて目的・目標、必要なテーマをより明確にする時期ではないか。</li></ul>
2-2.国際連携による効果的かつ効率的な推進(評価項目⑥)		<ul style="list-style-type: none"><li>• 海外実証拠点、BMI海外課題推進者追加、ポジション論文投稿は評価できる。</li><li>• 国際標準化OMGへのRoSO1.0 Initial Draft提出は、高く評価できる。</li><li>• 日本はロボットの人間らしい振舞い重視だが、海外における視点も重要。</li></ul>
2-3.国民との科学・技術対話に関する取組み(評価項目⑨)		<ul style="list-style-type: none"><li>• アバター100祭り、分身ロボットカフェ国際的評価、ブレインピックは、高く評価する。</li><li>• 「若者が想像した2050年の未来社会！」の公開は、特筆すべき取り組みである。</li><li>• 社会像を研ぎ澄まし、定量的イメージを含む社会発信を強化する必要がある。</li><li>• ネガティブなイメージを払しょくしながら発信していく必要がある。</li></ul>
2-4. その他(ELSI、数理科学、データマネジメント、プログラム間連携等)		<ul style="list-style-type: none"><li>• AIロボット(目標3)、人間、CAの役割分担について明確化し、それに合わせたヒト、カネ、仕組みの投入が必要である。</li><li>• 社会需要基盤など目標3と共通部分もある。組み合わせた社会像を描くべき。</li><li>• 目標1の取組は社会受容性だけにフォーカスしているが、国際的にはCAは戦争の道具になりうる。武器としての利用や悪用等への対応に関する議論が必要である。</li></ul>

# 2.2 外部評価結果(4/4)

## 3. 研究推進法人のPD/PM等の活動に対する支援（評価項目⑩）

今回評価した各目標において、

①適切な研究契約の締結・予算管理、②研究計画の作り込み（37プロジェクト）、  
③PD・ADとPMの議論の場を設定・円滑なコミュニケーションの促進、④数理科学分科会やELSI分科会の運用、  
⑤積極的な広報活動 等、PD・PMサポートに必要な事柄について工夫をしながら適切に実施していると評価する。

その上で、更なる支援強化として要検討と考える点は以下の通り。

- ムーンショットの研究成果が、将来、国内だけでなく国際社会にも展開・受容されるよう、国際的な広報や対話活動も積極的に検討してほしい
- 個々の目標の特性に応じた広報アプローチ、社会とのコミュニケーション等をより充実させるよう、更なる工夫をしてほしい
- ムーンショット目標全体、もしくは実現する社会像が重なる分野においては、目標間連携について積極的な議論を進めてほしい

## 2.3 プロジェクト評価結果と対応方針

PM	評価結果	対応方針	対応方針の概要
石黒 P M	S	加速	マイルストーンはすべて（一部は前倒しで）達成しており、社会への普及・浸透の観点で4年目からは研究実証やPoCにとどまらない大規模なシステムの開発や、実用レベルのシステムとしての完成が求められる。具体的には、ドバイに、2024年度から研究員が常駐した国際活動拠点を設置する。この拠点は目標1の他PJも活用できるもので、予算増額が必要であり「加速」して進めさせる。
南澤 P M	A	継続	成果進捗によってテーマ切り替えのマネジメントを実施し、2030年・2025年マイルストーンの見直し、新規テーマCybernetic Human-Link構想を提案。海外研究課題推進者を増やし予算の再配賦を実施し、2025年の研究開発体制が見えてきたため、現状の予算規模で本プロジェクトは「継続」させる。
金井 P M	S	継続	脳波によるサイバー空間移動を実現し、障がいなどに無関係に操作可能なことを実証するなど、3年目のマイルストーンは達成見込みである。さらに、新規極低侵襲BMIによる血管内脳波計測の課題を加え、血管内脳波と頭蓋脳波の同時計測という想定以上の成果を得るなど、「継続」と判断するに足る成果とマネジメントを達成している。

## 2.3 プロジェクト評価結果と対応方針

PM	評価結果	対応方針	対応方針の概要
新井PM	A※	—	※プロジェクト開始から約半年の研究進捗・成果に対する中間的な評価である
山西PM	A※	—	
新保PM	A※	—	
松村PM	A※	—	

# 目次

---

1. プログラムの状況
2. 外部評価結果とポートフォリオの見直し
3. 今後の方向性
4. 参考

# 3.1 今後の方向性

## ■ 今後の課題

- (1) 2030, 2050年の目標がはっきりしない。目標とする社会像を具体的なものを示して欲しい。定量的なイメージを示して欲しい。
- (2) 社会受容性に配慮し、技術がいかに社会構造を構築するか議論し、実現できる、納得感のある大きな社会シーンを明確に定めるべき時期に来ている。
- (3) 目標1と目標3はターゲットとするユースケースが近く、社会受容基盤など2つの目標で共通しているところもあるため、両目標を組み合わせた社会像とはどのようなものかを目標1と目標3と一緒に考える時期に来ている。

## ■ 対応策

- (1) GDP関連の16市場産業の中でCAによって生産性を向上できる「市場産業数」等の合計数やCA利用者数を指標として、少子高齢化によって起きる労働人口減少に対しても国力や国民の生活の豊かさを増加させる（スライド3.1.1参照）。
- (2) 社会受容性を配慮し、技術による社会構造の構築をより加速するため、グローバルに安全・安心な基盤を構築する新保プロジェクトを中心にプログラム全体で議論を進める。
- (3) 目標3との共通部分を共同で進めるべく、これまで実施してきた合同戦略会議を継続するとともに、国際標準化（ミドルウェア）の合同戦略の推進を強化していく。

# 3.1.1 目指す社会像・目標の明確化(1)

## 【わかりやすい目標】

能力拡張した複数の自分の分身(マルチ分身CA)を用いて、好きな時に仕事をしながら、余暇や自分の好きな社会活動も両立できるマルチ分身社会の実現をめざす。

## 【目標達成を測る指標】

### ● 指標1:「CA利用分野数」=市場産業数+非市場産業数

2020年から2050年に少子高齢化によって起きる労働人口減少に対して、GDP関連の16市場産業の中でマルチ分身CAによって生産性を向上できる「市場産業数」及びゆとりある余暇と好きな社会活動ができるようになった「非市場産業数」(教育、医療、訓練、社会扶助等)の合計数。

### ● 指標2:「CA利用者数」=労働人口(15-64歳)+65歳以上の高齢者+外国人CA利用者数

マルチ分身CAを用いて、指標1のCA利用分野数拡大に貢献したCA利用者数。「働けない人がマルチ分身CAで働けるようになり、生活の豊かさを感じることができた」等も分析。

## 【2050年・2030年のターゲット】

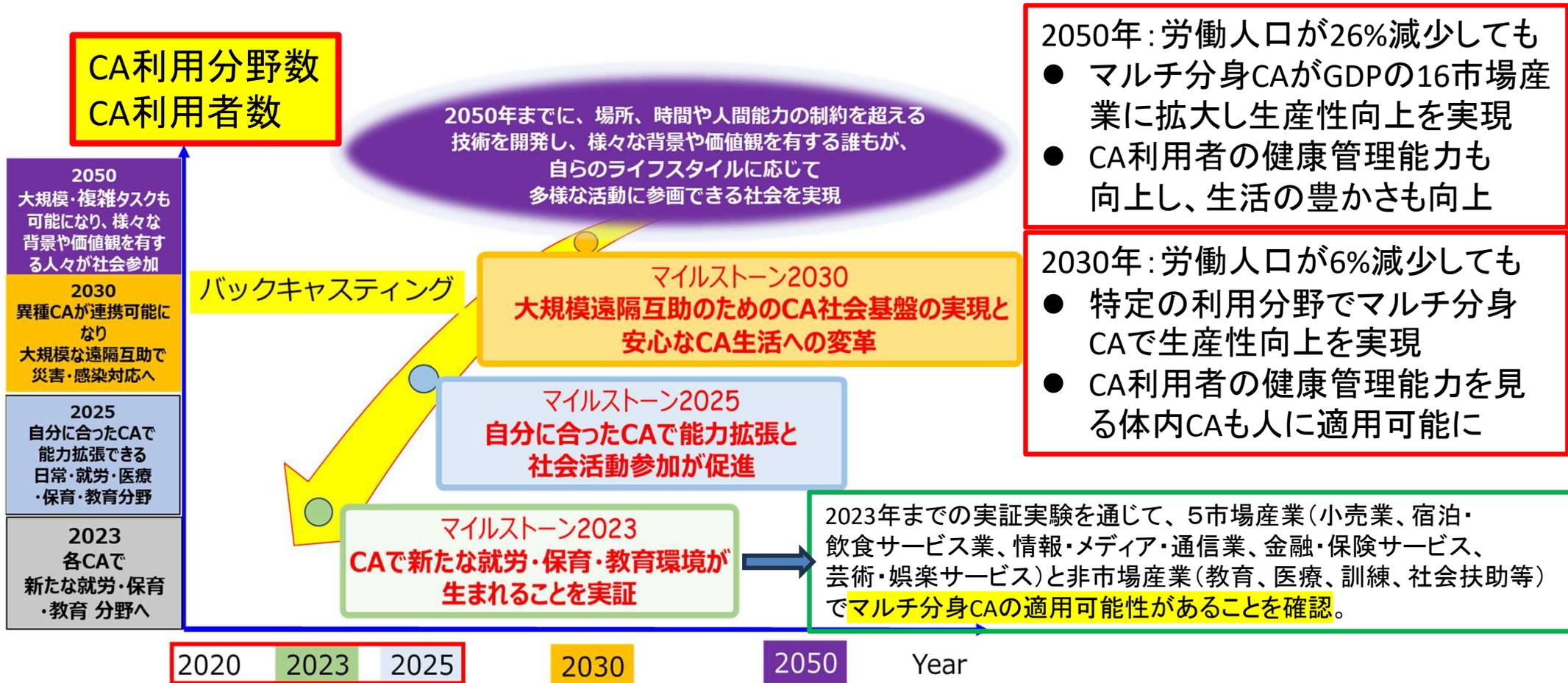
● 2050年に、労働(15-64歳)人口が26%減少しても、マルチ分身CA(主にソシオCA)によって自らの能力を拡張して、指標1「CA利用分野数」を16市場産業に拡大し、指標2「CA利用者数」も増え、我が国の労働生産性が向上する。同時に、ただ働くだけでなく、マルチ分身CA(主に体内CA)によって、自らの健康管理能力も向上し、生活の豊かさも増す。

● 2030年に、労働(15-64歳)人口が6%減少しても、2050年の目標を達成するために、マルチ分身CAの能力拡張して、特定の市場産業で労働生産性が向上する。自らの健康管理能力を拡張できる体内CAも人が利用できるように開発を進める。

# 3.1.1 目指す社会像・目標の明確化 (2)

## 【わかりやすい目標】

能力拡張した複数の自分の分身(マルチ分身CA)を用いて、好きな時に仕事をしながら、余暇や自分の好きな社会活動も両立できるマルチ分身社会の実現をめざす。



# 目次

---

1. プログラムの状況
2. 今後の方向性とポートフォリオの見直し
3. 外部評価結果
4. 参考

# 4. 各プロジェクトの進捗・成果(石黒PJ)

2023年マイルストーン:【主婦・主夫や高齢者等が新たな社会活動の参画が可能に】幼稚園、小学校、介護施設、病院、家庭等で、主婦・主夫や高齢者が、複数の対話行動CAを連携・協調することによって、園児、児童徒、高齢者、患者等の利用者を相手にモラルある対話や行動で、幼児保育、初等教育、定型的問診等を実現できる。

- 実証実験を早期（2021年2月）に開始。社会実装に向けアバター共生社会企業コンソーシアム（2023年7月会員107法人）、アバター共生社会倫理コンソーシアム（2023年7月会員39機関74名）と石黒PM自ら会社（AVITA株式会社、2021年6月）を立ち上げ、社会実装と研究開発をバランスよく推進した。
- 高齢者にも優しい複数体の対話行動CAを操作するインターフェースを開発。2021年実施した短期実証実験で懸念される開始時のCAの珍しさや興味本位による有効性を排除し、本来の対話行動CAの有効性を長期実証実験で確認。M×N遠隔制御の研究開発では、CA20体を4人で遠隔制御して実現（東急ハンズ）。1人CA5体遠隔制御（関西空港、堺市南区役所、豊中市役所）など。
- モラル&ホスピタリティ豊かな対話行動CAのコア技術の開発を推進し、ジェスチャーなど人が苦手な所作を超える存在感CA、感情予測（共有笑い）や雑音環境に強い傾聴対話技術を開発した。合成音声の自然性の評価と、非言語音声（笑い等）からの感情予測で、音声系国際コンペティション（INTERSPEECH(2022年3月)、ICML(2022年7月)）で第1位。共有笑いは英国の主要なメディアでも評価。不適切な対話行動を適切な発言や振る舞いに変換するモラルコンピューティングの提案。
- 基礎研究では、環境知識・理解のための研究でトップの国際会議・ジャーナルに論文発表（国際会議：CVPR 4件、ICCV 2件等、ジャーナル：Nature Methods(IF=47.9)、PAMI(IF=24.3)等）
- デジタル大臣の社会実験とCA利用啓蒙(2022年10月～)。ドバイ・バルセロナで国際実証実験（2023年10月～）
- 相互接続性・拡張性・カスタマイズ性を考慮した100体以上のCAを操作できるCA基盤を構築し、その有効性を検証（2023年7月「大阪ATC:アバター100まつり」で104体CA）。国際標準化をOMGで推進。RoSO Draft提出(2022年8月)



デジタル大臣のアバターによる社会実験とアバター利用啓蒙



小学校での教育支援の様子



発達障害者へのアバターを用いたカウンセリング場面

# 4. 各プロジェクトの進捗・成果(南澤PJ)

**2023年マイルストーン:【重い障害を抱える人が遠隔就労機会を持てる変革】** 重い障害を抱える人でも、合意した複数人の技能と経験を融合して協働できるCAを用いて、店舗店員など身体的な動作や軽作業を伴う就労を継続できる。

- 2020年6月開設した「分身ロボットカフェDAWN」常設実験店で、障害者にも複数体CAをアクセシビリティ高く操作できるインターフェースを開発し、重い障害を抱える人でも就労できる技術を検証。1人の障害者がCA複数体を接客操作(2022年6月)、複数の障害者が単体CAで技能合体して操作(2022年11月)、および2023年5~6月に5週間に亘る実証実験を実施して就労の継続性を確認。世界的な文化・芸術祭アルスエレクトロニカフェスティバル(オーストリア)でアバターとして初の最優秀賞ゴールデン・ニカ賞(9月)を受賞し、国際認知向上。社会実装向け身体共創社会推進コンソーシアムは2023年7月に30企業6コミュニティに発展。
- 農林水産省向けに技能融合技術を田植えに応用実験実施(2022年5月)も含め、技能融合CAにおける行為主体感とパフォーマンスを検証。IEEE IROSで技能融合の触覚フィードバック技術を発表(2022年10月)し、IEEE Robotics and Automation Lettersに採録された(特願2021-147218等)。



技能と経験の融合実験 in 分身ロボットカフェDAWN

## 【障害者パイロットの感想】

- ・2人が重なりあったという印象
- ・寝たきりでもパティシエになれた

## 【参加者の感想】

- ・感性が上手く生きている
- ・二人で連携をとりつつ  
その場で協力



技能融合技術を田植えに応用

[https://cyberneticbeing.org/activities/202205\\_buzz\\_maff\\_collaboration/?fbclid=IwAR3cLHepS8vWzTzYms\\_e8sKq7faHP16w0IJUU24\\_eK8YUe6q5\\_qnaepb25U](https://cyberneticbeing.org/activities/202205_buzz_maff_collaboration/?fbclid=IwAR3cLHepS8vWzTzYms_e8sKq7faHP16w0IJUU24_eK8YUe6q5_qnaepb25U)

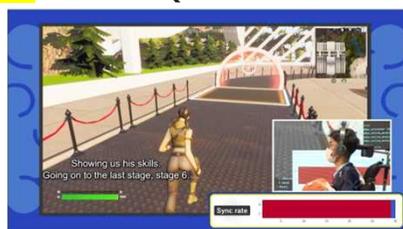
# 4. 各プロジェクトの進捗・成果(金井PJ)

**2023年マイルストーン:【思い浮かべた自分の言葉や行動の一部を他人に伝えることができる技術革新】**生体行動情報をAIを用いて解析し、頭に思い浮かべた言葉や行動を安定して解読するAI支援型BMIによる思い通り操作CAを実現し、サイバー空間における、対話、購買、散策、情報検索などの生活自立行動を実現する。

- 頭に思い浮かべた言葉や行動を解読するAI支援型BMIを開発し、思い通り操作CAでサイバー空間における対話、購買、散策、情報検索等を実現。競争激化の国際動向を鑑み、非接触BMI、非侵襲BMI、侵襲BMIに加え、極低侵襲BMIの開発を開始。4種類のBMI開発およびそのAI融合は世界唯一の挑戦。
- **非接触BMI:** AIで発話意図を解析してサイレントスピーチを実現 (ACM CHI 2023, ベストペーパー賞)。
- **非侵襲BMI:** 脳波の個人差を自動補正 (特許出願済) できるPLUGを開発し、脳波によるサイバー空間での移動 (散策) をゲーム化したイベント「ブレインピック」を開催(2022年12月)。Chat GPT支援型BMIを開発し、脳波によるメールの高速返信 (対話機能) を実現 (健常者に比べて1/2)
- **侵襲BMI:** 世界初、自由に動くマームセットの意思を解読することに成功。皮質脳波からのテキスト生成 (毎秒8~120単語)
- **極低侵襲BMI:** 静脈血管内脳波と頭蓋脳波の同時計測に成功。Science解説記事(IF=54.5)等
- 脳波指標について、情報の信頼性を実証実験と文献調査により確認して科学的エビデンスを担保するガイドラインを設定し、ブレインテックガイドブックとして公開(2022年10月)。UNESCOやOECDから注目を浴びる。
- 東京リサーチスタジオでは、非接触、非侵襲BMIのデータ収集を行い、OpenNeuroにてデータを公開してScientific Data誌に掲載(2023年、IF=10.8)



誰も簡便に利用できるヘッドホン型非侵襲BMI (PLUG)による「ブレインピック」



極低侵襲BMIによる血管内脳波計測

自由行動化で取得された 予測可能性の高い 侵襲ECoGデータ 意図 (パネル) 解読



近未来の利用が 予想された道具

解読された意図に基づき CAを自動制御

# 4. 各プロジェクトの進捗・成果(新井PJ)

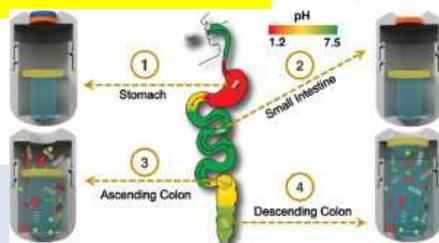
2025年マイルストーン: 生体内CAにより、健康モニタリングに必要となる**体内環境や位置の計測**が可能となる。小型CA群が体内環境を動的かつ正確に**計測、モニタリング**し、体内で**ピンポイントに投薬**する技術が実現する。また、**遠隔操作の操作デバイスの操作性が向上**し、通常では採取が困難な**組織・細胞の生体組織診断に必要な技術**が開発され、負担が低減する。



## 取り組み状況

2025年マイルストーンに向けた取り組み

- ① 小型分散CA、協調CAの基本的仕様を策定し、研究者同士で共有する同一プラットフォームの構想、構築を開始
- ② 体内環境や位置の測定を可能とする要素技術の基本構想の策定
- ③ 消化器系のモニタリング、組織採取方法を具体化し効果検証を実施

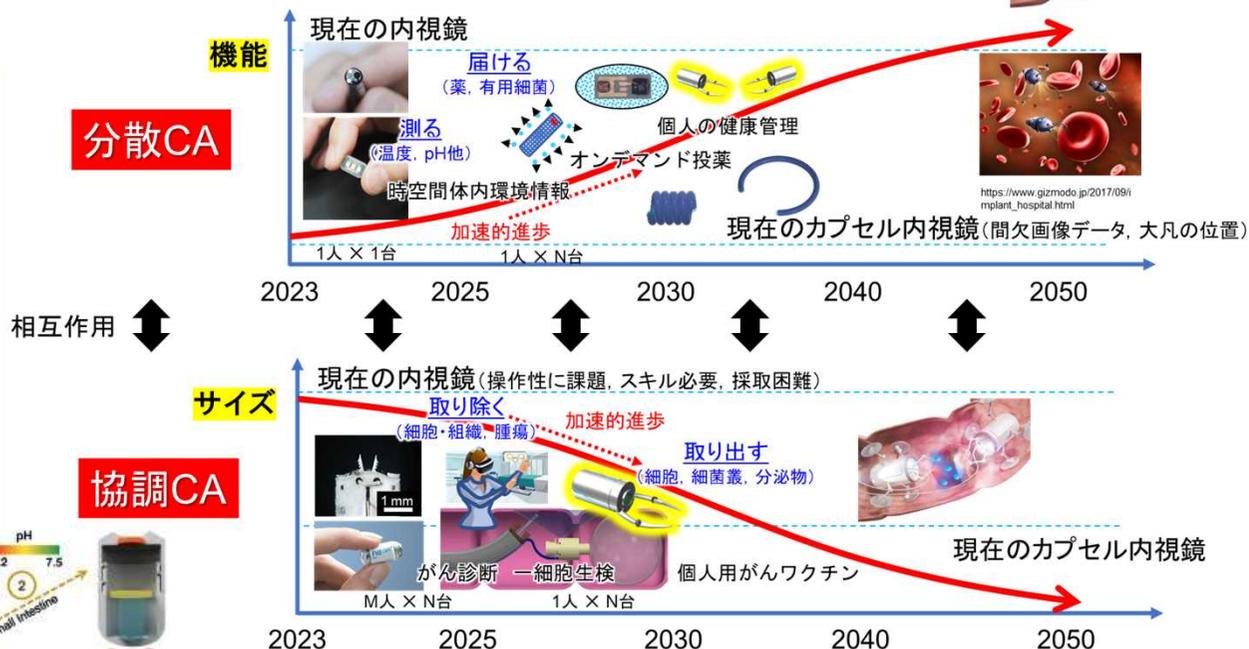


Purdue University: Nejati, S. et al., 2022.

## 他社国際動向

### 類似研究

- ・長時間滞留可能な胃の温度計測機
- ・細菌叢採取用サンプリングカプセル
- ・磁気アクチュエータ内視鏡
- ・内視鏡に取り付けるワイヤ状展開ツール



- ・広視野で詳細な観察を可能とする小型CAによる**体内環境情報**の取得
- ・個人と一緒に成長・進化する**時空間体内環境情報**
- ・協調遠隔操作による安定した視野でのサンプリングが可能に



# 4. 各プロジェクトの進捗・成果(山西PJ)

2025年マイルストーン: **細胞内サイバネティックアバター (細胞内CA)** を利用することで、体内に近い環境で特定の疾患の原因となる**細胞の悪性状態を検査して、必要に応じて除去する**という一連の処理を遠隔制御できるようになり、体をいつも良い状態に保つことができる可能性を示す。この細胞内CAによって、**擬似的に、身体に本来備わっている免疫能力を拡張**することができ、副作用の可能性などが無いかを検証できる第一歩を示すことができる。

## 取り組み状況

医師・専門家が細胞に搭載した**複数種類の細胞内CA**を遠隔操作するための、細胞内CAの設計・構築・評価を行っている。

### ■ 2025年に向け ■

- ・標的細胞として、1種類以上のがん細胞(乳がん細胞)および老化細胞の選定が完了
- ・CA搭載細胞 (検査・除去) の遠隔制御のために、1種類以上の細胞内CAの設計・評価が完了
- ・CA搭載細胞が連携・協調する複数のショートストーリーを策定し、ストーリーに基づく研究を展開中

## 他社国際動向

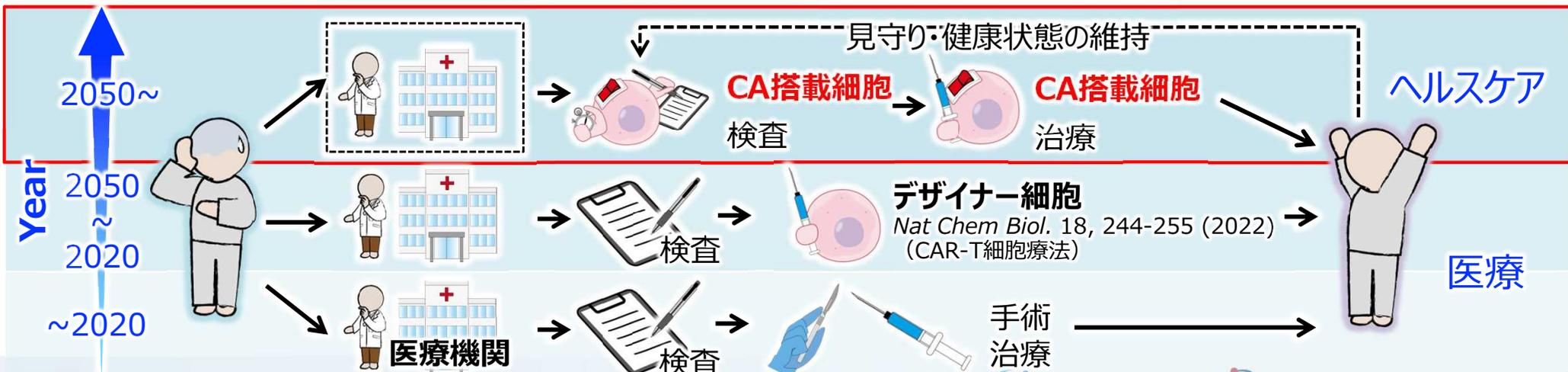
従来のデザイナー細胞 (国際的な動向)

- ・機能を1種類の細胞に付与(CAR-T細胞など)



本プロジェクトにおける細胞内CA

- ・複数種類のCA搭載細胞を**連携・協調**
  - **安全利用**のための、複数種の停止スイッチ
  - **精密検査**のための、連動する開始スイッチ
  - **適用範囲拡大**のための、ストーリー構成



# 4. 各プロジェクトの進捗・成果(新保PJ)

2025年マイルストーン: 他のプロジェクトが開発するソシオCA、体内CAに対して、適用可能な利用者認証・CA認証・CA公証技術を提案し、これらを組み合わせることによって、各CAサービス実証実験でCA安全・安心を確保できる安全・安心確保基盤を構築する。この基盤は、操作者のなりすまし、CAの乗っ取り、CA内に蓄積される技術情報等の不正取得（違法な技能模倣）を抑止し、安全・安心・高信頼なCA操作が1人の操作者が複数体のCAを操作する1×NのCA操作）を実現する。

## 取り組み状況

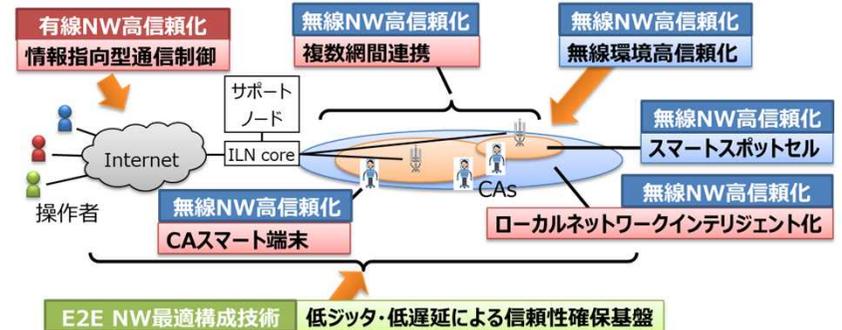
- **プロジェクト連携及び実証実験マネジメント**
  - ソシオCAと社会受容基盤（信頼性確保基盤、CA安全・安心確保基盤）間の連携、並びに、CA安全・安心確保基盤と松村PMが担当する信頼性確保基盤との連携における技術・制度課題を抽出し、課題解決に向けた連携体制を構築
  - 身体・脳・空間・時間の制約からの解放を目指すソシオCAと体内CAの成果を横断的に検討し、異なるCAに共通する技術的・制度的課題を明らかにする
  - 国内外の技術・制度的課題解決に向けた提言や市民の意見収集の場を提供して、「安全・安心・信頼を確保し、社会受容性を高めるCA基盤の構築
- **CA安全・安心確保基盤の構築**
  - CA操作者とCAの識別と認証及びその状態を継続的に維持する上で基礎となる認証技術の開発に向けた研究の実施
  - 「カオスな2050年の世界観」を検討する必要性を提唱。それを踏まえた展開として、①超臨場感CAサービス（2050年：CAを介しての情報伝達量がリアルと同一になる（or リアルを超える））、②高安全基準CAサービス（2050年：規定レベル以上の機能・能力を具備するCAに対しては、CA車検制度が導入される。）、③クリーンCAサービス（2050年：クリーンCAワールドとダークCAワールドの分離。クリーンCAワールドにおいては、CAの操縦・使用に免許制度が導入される。）、④スーパーヒューマンCAサービス（2050年：スーパーヒューマンCAサービスでは、CAによる身体・脳・個の拡張・超越・越境が起こっても「本人」を同定できなければならない。）、について構想を検討
- **E<sup>3</sup>LSI課題・政策展開の研究**
  - E<sup>3</sup>LSI 課題研究基盤の構築に向けて、「サイバネティック・アバターE<sup>3</sup>LSI研究会」を実施
  - 研究会の構成は、「E<sup>3</sup>LSI課題研究会（曽我部）」、「CPS（サイバー・フィジカル・サステナビリティ）研究会（君嶋）」、「アバター法政策研究会/デジタル資産取引法研究会（小塚）」、「経済的課題に関する研究会（和田、山口真一）」、「デジタル・アイデンティティ研究会（齊藤）」
  - CA法の研究について、日常生活でCAを利用できる生活環境を実現し社会的受容性を確保するために克服すべき主要なE<sup>3</sup>LSI課題の検証

# 4. 各プロジェクトの進捗・成果(松村PJ)

2025年マイルストーン:ソシオCAプロジェクトを中心に通信要件を整理し、エリアマネジメントや最適経路選択などによるCA制御の通信品質を管理する信頼性確保基盤の基本機能を開発する。ソシオCAプロジェクトと連携し、1人が2~3体のCAを遠隔制御する実証と2~3人が1体のCAを協調遠隔制御する実証を行う。

## 取り組み状況

- M人の操作者がN台のCAを遠隔協調制御する(M×N通信)通信基盤の実現に向けて、ネットワーク(NW)障害や無線環境変動等の信頼性を損なう要因を整理、下記に示す要素技術開発を進め、それらを実装した無線機器及びNW機器を2025年までに開発し、ソシオCAの既存プロジェクトの実証サイトで遠隔制御の高信頼化の実証を行う計画である。
  - **無線NW高信頼化**：ローカル5Gをベースとした通信エリア柔軟化・高信頼化技術、無線環境変動に対して有効なNW冗長化技術、通信品質を予測・把握するシミュレーション技術の開発
  - **有線NW高信頼化**：障害発生時の経路回避技術、サーバ非依存の情報指向型通信制御技術の開発
  - **E2E NW最適構成技術**：E2E経路の通信品質を把握し経路選択を行うサポートノードの開発



## 他社国際動向

- **M×N通信**：ロボット分野ではNWや通信特性などを十分に検討した研究成果は発表されていない。目標1が世界に先駆けた取組であり、通信機能、NWアーキテクチャ両面からの検討が必要。ロボット制御アルゴリズムによる安定化はNWに起因する課題を根本的には解決できないため、本プロジェクトにてNWアーキテクチャの最適化も含め信頼性向上を図る。
  - 1×1通信によるインターネットを介したロボット遠隔操作における課題(通信の遅延、ゆらぎ、切断等)については、受動性理論や波変数を用いた制御、ニューラルネットワークによる適応制御など、様々な制御アルゴリズムの検討はあり\*1。
  - 適応制御アルゴリズムによりオーストラリア-スコットランド間で制御安定性の向上を実験的に示した実証事例\*2がある。
- **NW高信頼化**：ITU-Tのホワイトペーパー\*2でTime-engineered serviceとして3つのケースを提示し、時間的な通信制御要件の在り方を示している。6G以降の将来のネットワーク上では遅延やゆらぎの問題解消が期待される一方、既存のインターネットにおける通信品質問題に対しては本プロジェクトにて解決を図る必要がある。

\*1) P. M. Kebria, et al., "Control Methods for Internet-Based Teleoperation Systems: A Review," IEEE Trans. Hum. Mach. Syst., Feb. 2019.

\*2) P. M. Kebria, et al., "Robust Adaptive Control Scheme for Teleoperation Systems With Delay and Uncertainties," IEEE Trans. Cybern., July 2020.

\*3) ITU-T, FG-NET-2030, "Network 2030 - A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond," 2019.