

## 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」**

**【 CSTI 5年目評価 】**

**令和7年4月24日**

**PD 萩田 紀博**  
**(大阪芸術大学 教授)**

# 目次

---

1. MS目標に対する進捗状況

2. 今後のMS目標の達成の見通し

参考資料 1 プログラムマネジメントの取組み

参考資料 2 各プロジェクトの進捗・成果

参考資料 3 プログラムのポートフォリオ・プロジェクト一覧

参考資料 4 現況と今後の方向性

# 目次

---

1. MS目標に対する進捗状況

2. 今後のMS目標の達成の見通し

参考資料 1 プログラムマネジメントの取組み

参考資料 2 各プロジェクトの進捗・成果

参考資料 3 プログラムのポートフォリオ・プロジェクト一覧

参考資料 4 現況と今後の方向性

# 1.1 研究開発プログラムの概要：目指す社会像

## ムーンショット目標1が求められる課題解決:

社会領域「急進的イノベーションで少子高齢化時代を切り拓く」を実現するために、  
少子高齢化、労働人口減少、人生百年時代、一億総活躍社会の課題解決

誰もが能力拡張できる**複数の分身\*1**を用いて、生産性が向上し、子育て、余暇、やりたい社会活動、  
「**自分の健康は自分で守る**」ことができる、など**生活の豊かさ向上も両立できる社会の実現**を目指す。

### 【社会課題1】生産性向上

- 能力拡張できる複数の分身(CA\*2)を開発して、「CA利用者数」を増やして、**生産性を向上**
- 結果として、GDPを構成する16産業\*3の「CA産業数」が段階的に増加
- CA遠隔操作によって、パンデミックや災害の現場に行かなくても、**強靱な生産性を維持**

### 【社会課題2】生活の豊かさ向上も両立

- 特に、子育て、ゆとりある余暇、好きな社会活動参画、社会扶助、人生百年時代に対応できる「**自分の健康は自分で守る**」に関連した**CA産業数も**増やし、生産性向上と**生活の豊かさ向上の両立を実現**
- その中には、個と見守りのバランスを十分に考慮して、一人暮らしの高齢者や障害者などがCAを用いて、「**自分の健康は自分で守る**」ことができる**革新技术**を取り入れ、  
必要なときに専門家からアドバイスを受けられる安全安心で健康な日常生活を実現

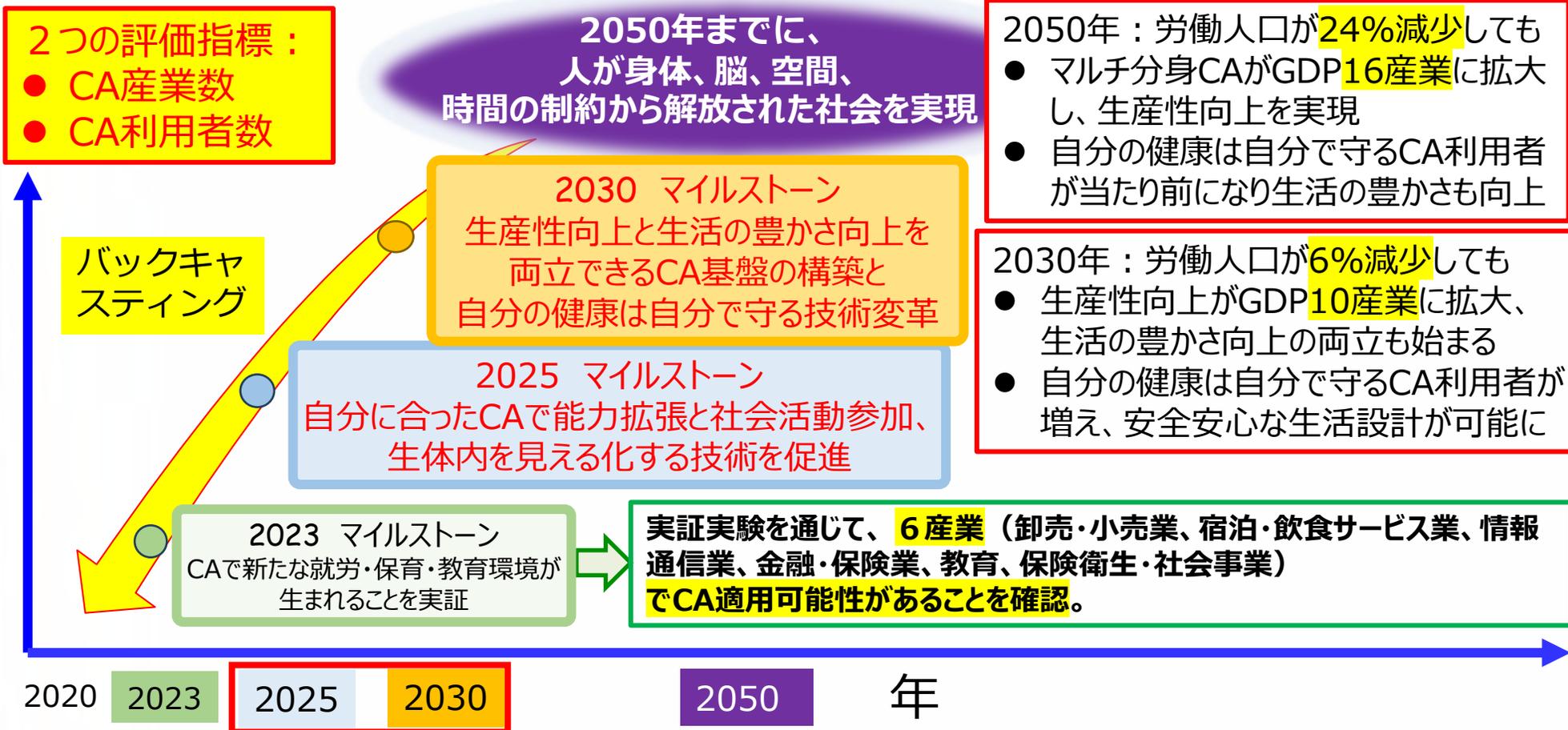
\*1: 誰もが「複数の分身」を遠隔操作できるようになる技術を**サイバネティック・アバター(CA)**と呼んでいる。

\*2: CA = Cybernetic Avatarの略称で複数のアバターを使って自分の能力を拡張するシステムの総称。

\*3: GDPを構成する16産業([https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data\\_list/kakuhou/files/2023/sankou/pdf/point\\_flow20241223.pdf](https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/2023/sankou/pdf/point_flow20241223.pdf), p9)

1. 農林水産業, 2. 鉱業, 3. 製造業, 4. 電気・ガス・水道・廃棄物処理業, 5. 建設業, 6. 卸売・小売業, 7. 運輸・郵便業,  
8. 宿泊・飲食サービス業, 9. 情報通信業, 10. 金融・保険業, 11. 不動産業, 12. 専門・科学技術・業務支援サービス業,  
13. 公務, 14. 教育, 15. 保険衛生・社会事業, 16. その他のサービス

# 1.1 研究開発プログラムの概要：ポートフォリオ



ポートフォリオでこの社会像を実現できたかは、次の2つの指標で評価する。

指標1：CA産業数 = 生産性向上と生活の豊かさ向上に関連する産業数

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

# 1.1 研究開発プログラムの概要：プログラム推進体制

2023年度以来のプロジェクト関連連携の相乗効果がプログラム成果を加速

少子高齢化などの社会的課題		時間、空間の制約からの解放	身体の制約からの解放	脳の制約からの解放	社会受容基盤
社会課題1	生産性向上	対人・対社会CA [石黒PM] 	体験共有CA [南澤PM] 	思い通り操作CA [金井PM] 	安全・安心確保基盤 [新保PM] 
社会課題2	生活の豊かさ向上	<b>クロスプロジェクト(CP)が増</b>			信頼性確保基盤 [松村PM] 
		生体内CA [新井PM] 		細胞内CA [山西PM] 	

社会受容基盤

CAサービスの  
制度課題解決  
と  
安全・安心・  
信頼性確保  
基盤構築

ソシオCA

個人や集団に対して、  
能力拡張サービスを提供するCA

体内CA

体内の能力拡張サービス  
を提供するCA

# 1.1 研究開発プログラムの概要

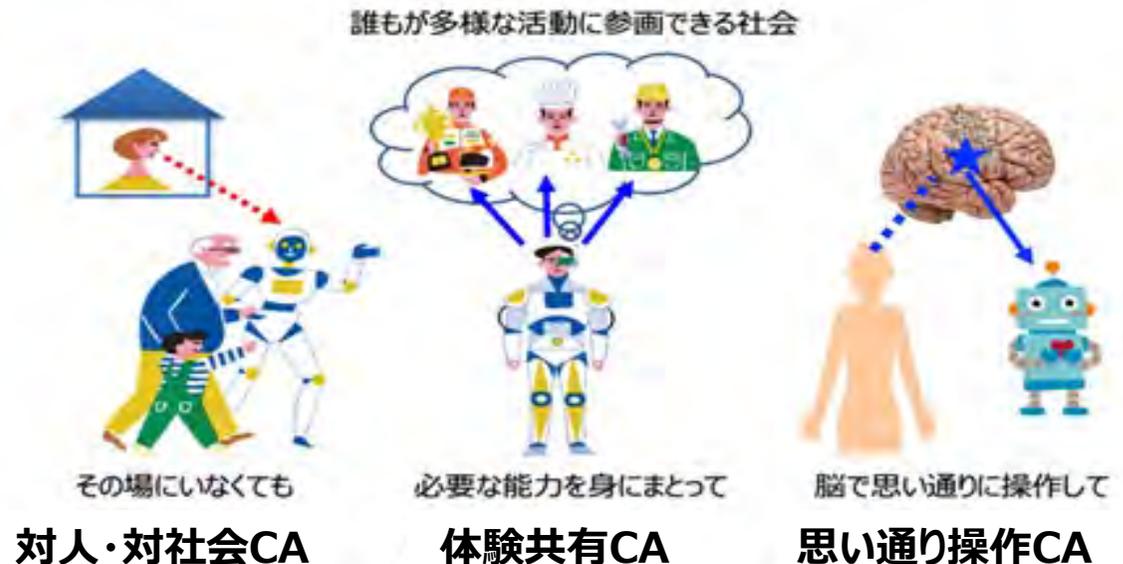
## 【ソシオCA】 個人・集団に能力拡張サービスを提供

**[1] 対人・対社会CA(石黒PM):** 身体、脳、空間、時間の制約から解放するために、対個人や対社会に寄り添う社会的モラル対応の対話能力と把持・移動能力も拡張

**[2] 体験共有CA (南澤PM):** 身体の制約から解放するために、常人を超えた能力やアスリートや熟練工の技能を他の人々と技能合体して体験共有できるCA

**[3] 思い通り操作CA(金井PM):** 頭の中で考えた情報をBMI(Brain Machine Interface)を用いて、個人・集団に能力拡張サービスを提供できるCA

人に寄り添い遠隔操作者と  
サービスユーザの能力を拡張



# 1.1 研究開発プログラムの概要

## 【体内CA】 体内の能力拡張サービスを提供

**[1] 対人・対社会CA(石黒PM)成果活用:**今年度から、ALS患者に対する完全ワイヤレス植込みBMIの**検証治験の成果**を[4][5]に**活用**して、体内の能力拡張技術を加速。

**[3] 思い通り操作CA(金井PM)成果活用:**体内と親和性の高い**極低侵襲技術**を[4][5]に**活用**して、体内の能力拡張技術を加速。

**[4] 生体内CA(新井PM):** [1][3]と連携して、マイクロ・ロボットの経口投与やステント等を併用して、**臓器内や消化器系などの身体的能力**（免疫能力、病変早期発見能力、健康維持能力等）を**拡張**。医師・専門家が外部から遠隔操作して、**超低侵襲診断**。

**[5] 細胞内CA(山西PM):** **細胞レベルで身体的能力**(免疫能力、病変早期発見能力、健康維持能力等)を**拡張**。医師・専門家が体外から安全・安心に遠隔操作して、細胞レベルの異常を早期に発見し、必要な処置を行い、体をいつも良い状態に保つ。



# 1.2 国際動向とプログラムの立ち位置

CAは体内モニタリング用のナノ／マイクロスケールのロボットから、多様なサービスを提供する社会ロボットまでマルチスケールで動作する物理・仮想アバターを統合する新たなパラダイムであり、ユニークな取り組みとして世界的にも評価されてきている(次頁: Science Robotics誌掲載)

## 対人・対社会CA(石黒PM)



- ・他社は「1人×1体遠隔制御」
- ・M×N遠隔制御、モラルコンピューティング、傾聴対話は独創的
- ・フェーズ2に役立つ未知環境にロバストなAI技術は世界的成果を多数発表済

## 体験共有CA(南澤PM)



- ・他社は技能共有で産業ロボット、遠隔ロボット手術
- ・M×1遠隔操作による技能融合技術は独創的
- ・特に障害当事者同士の技能融合は挑戦的

## 思い通り操作CA(金井PM)



- ・他社は侵襲BMIで文字入力の研究開発
- ・思い浮かべた言葉や行動で、意図や感情も含めてBMIでCAを制御
- ・体内と親和性の高い極低侵襲BMI研究開発は挑戦的・革新的

## 安全・安心確保基盤(新保PM)



- ・CAの適合評価制度を世界に先駆けて企画し、制度課題解決に挑戦

## 生体内CA(新井PM)



- ・他社はカプセル体温計、内視鏡のピンポイント計測
- ・体内の身体的能力(病変早期発見能力、健康維持能力等)を拡張するため、時空間的体内環境情報見える化技術に着目

## 細胞内CA(山西PM)



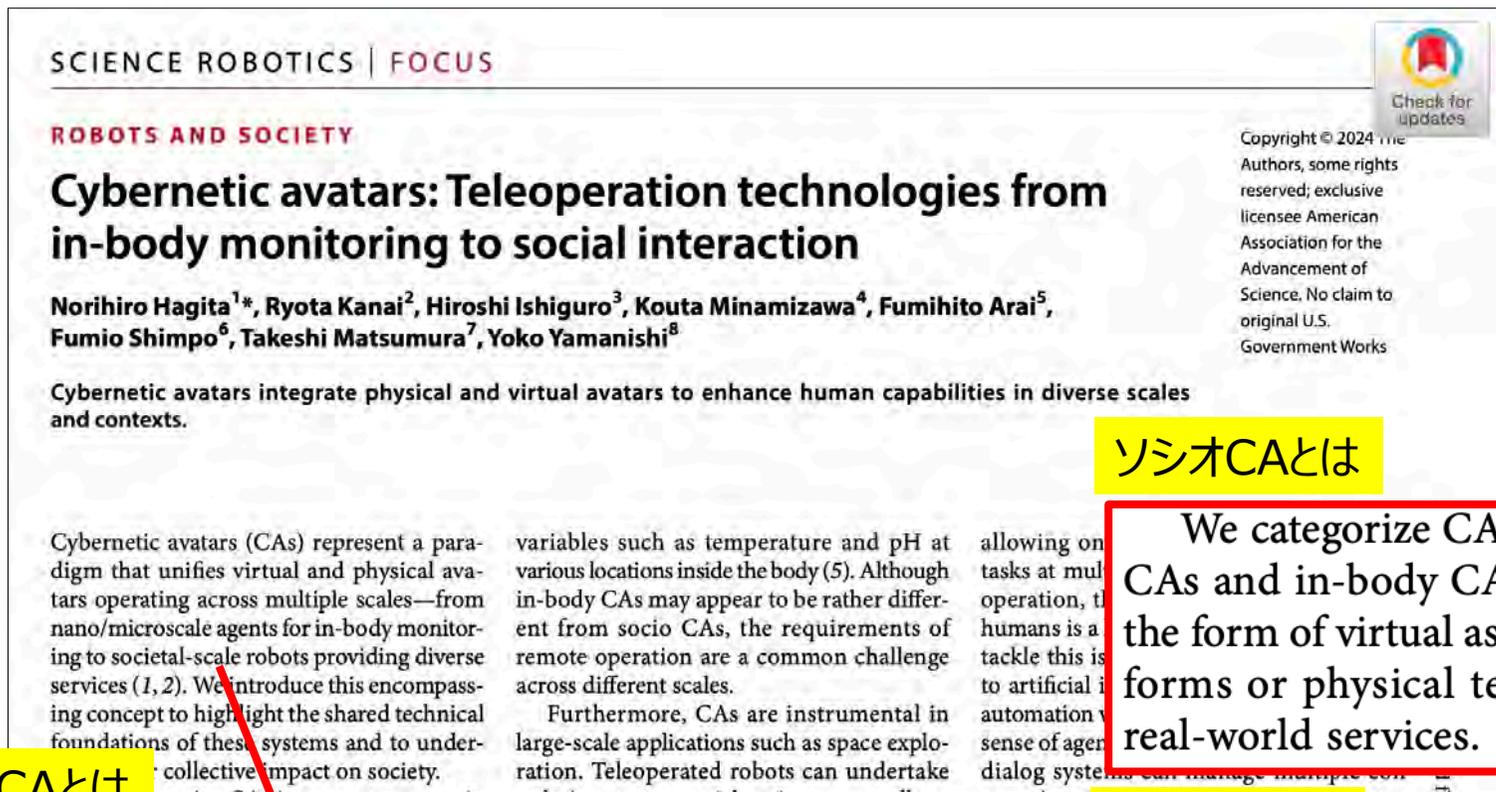
- ・他社は、一時的な生体状態見守り、薬剤送達等が中心
- ・細胞レベルで身体的能力(免疫能力、病変早期発見能力、健康維持能力等)拡張
- ・副作用の少ない常時使用できる技術に着目

## 信頼性確保基盤(松村PM)



- ・CA遠隔操作通信における遅延・ジッタ対策に挑戦
- ・通信分野で新しい取り組みとして評価され始めている

# PD、全PM共著のCAポジションペーパーがロボティクス分野の最高峰の Science Robotics(インパクトファクター26.1 in 2023-2024)に掲載



ソシオCAとは

We categorize CAs into two types: socio CAs and in-body CAs. Socio CAs can take the form of virtual assistants on digital platforms or physical teleoperated robots for real-world services.

CAとは

Cybernetic avatars (CAs) represent a paradigm that unifies virtual and physical avatars operating across multiple scales—from nano/microscale agents for in-body monitoring to societal-scale robots providing diverse services (1, 2). We introduce this encompass-

体内CAとは

In-body CAs are micro- or nanoscale agents that operate within living organisms to monitor health conditions by obtaining samples or administering medications from inside of the body.

# 1.3 2030年のターゲット

## 【ターゲット1】 誰もが多様な社会活動に参画できるサイバネティック・アバター(CA)基盤

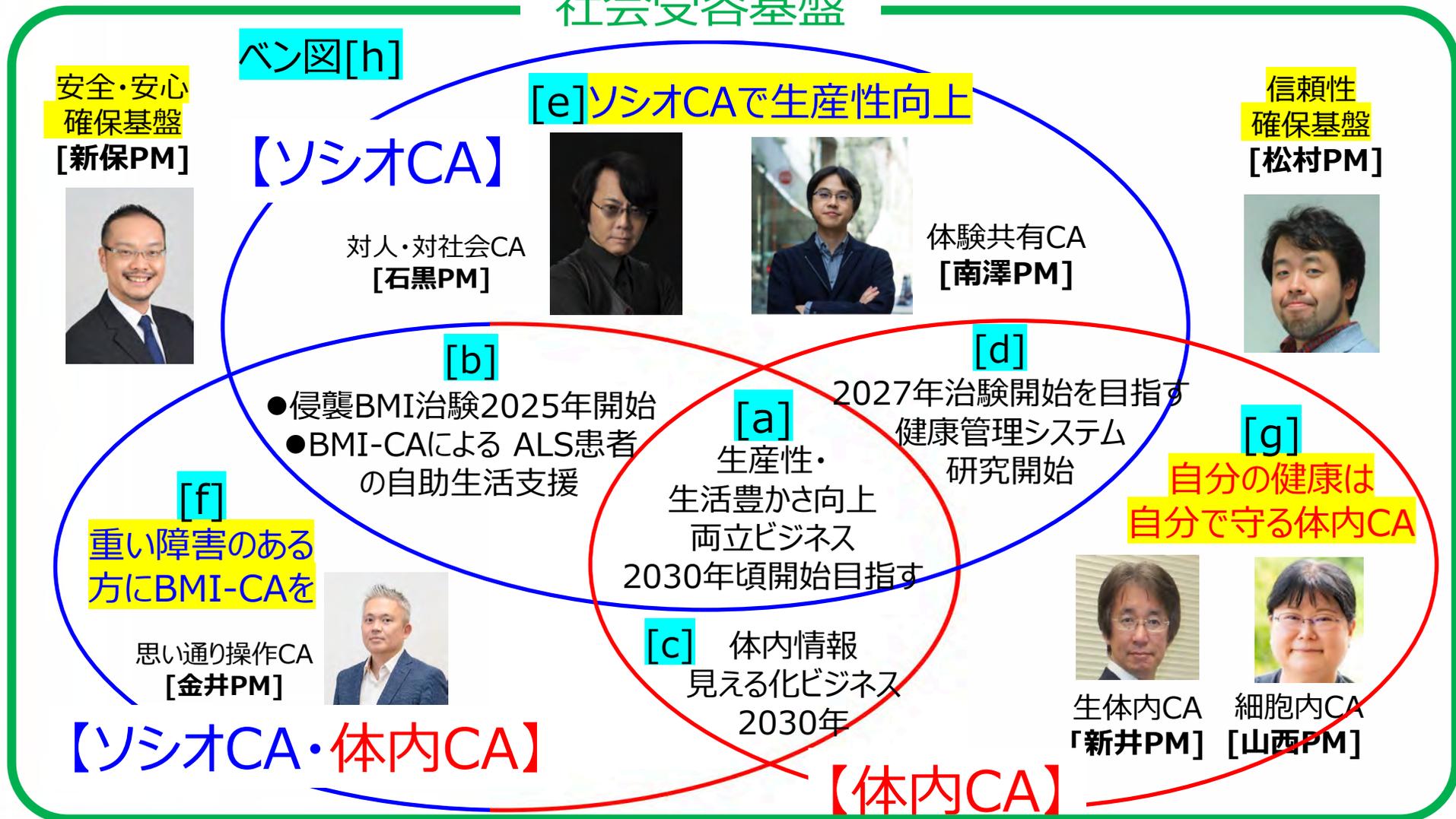
- 2050年までに、複数の人が遠隔操作する多数のアバターとロボットを組み合わせることによって、大規模で複雑なタスクを実行するための技術を開発し、その運用等に必要な基盤を構築する。
- 2030年までに、1つのタスクに対して、1人で10体以上のアバターを、アバター1体の場合と同等の速度、精度で操作できる技術を開発し、その運用等に必要な基盤を構築する。

## 【ターゲット2】 サイバネティック・アバター(CA)生活

- 2050年までに、望む人は誰でも身体的能力、認知能力及び知覚能力をトップレベルまで拡張できる技術を開発し、社会通念を踏まえた新しい生活様式を普及させる。
- 2030年までに、望む人は誰でも特定のタスクに対して、身体的能力、認知能力及び知覚能力を拡張できる技術を開発し、社会通念を踏まえた新しい生活様式を提案する。

# 1.4 目標達成に向けた進捗状況(全体)

2030年へ向けた、**クロスプロジェクトの相乗効果による成果が出始めた**  
**社会受容基盤**



# 1.4 目標達成に向けた進捗状況(個別成果1)

- 世界が1人1体の時代に、1人で複数体CAまたは複数人で1体のCAを遠隔操作することで、誰もが身体的・認知・知覚能力を拡張できるCA遠隔操作技術の開発。
- 異なるタスク、のべ1000体の対人・対社会CAを動かせるCA基盤（アバターランド実証）の構築と国際標準化推進

石黒PM

- [ベン図e] ホスピタリティ豊かなモラルある対人・対社会CAを実現するために、実環境音声認識・合成、環境・物体認識、概念獲得で多数の世界的成果を達成
- [ベン図e] 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開発。
- [ベン図b] ALS患者がBMIで考えただけで簡易な会話を入力ができ、開発した対話技術で自然な会話に変換。ロボットアームで物体把持・移動も可能に。2025年度から治験開始。



[ベン図b]

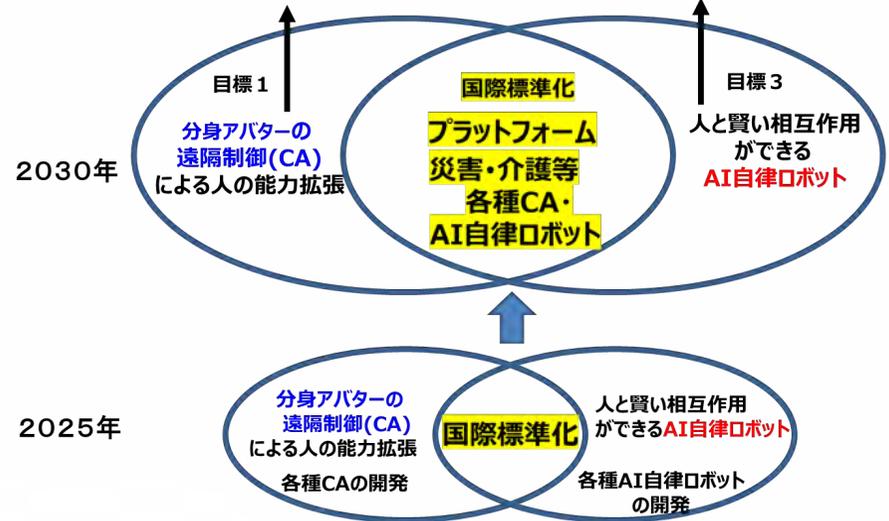
BMIで考えただけで自然な会話に変換



BMIで考えただけでロボットアームで物体把持・移動が可能に

- 国際標準化活動は目標1と目標3が連携
- 目標1が既に推進しているOMG(Object Management Group)でのRoIS(Robot Interaction Service)で、目標3(AIロボット)の要素も追加。
- 2025年度にその標準化仕様が確定・公開予定。

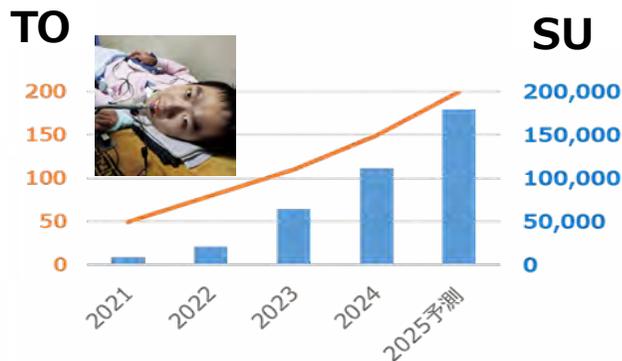
2050年 Think Communication 人に寄り添うAI自律ロボット



目標1 & 3の連携計画

# 1.4 目標達成に向けた進捗状況(個別成果2)

南澤PM: [ベン図e] 重い障害を抱える人が1人で5体のCA、2人で1体のCAを遠隔操作できるシステム開発。  
 1か月以上の継続的な遠隔就労を実現。(M×1遠隔操作による**技能融合技術**)  
 世界的な文化・芸術祭Ars Electronica Festival (オーストリア) で**Golden Nica賞 (最高賞)** 受賞。  
 南澤・金井PM: [ベン図b] BMI操作型CAによる ALS患者の身体能力拡張を推進。



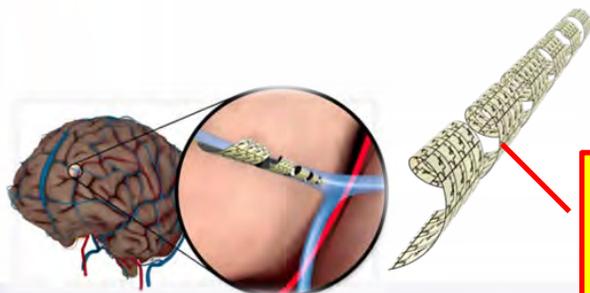
TO (障害当事者パイロット) SU (カフェ来客) の推移



BMI操作型CAによる ALS患者の自助生活支援

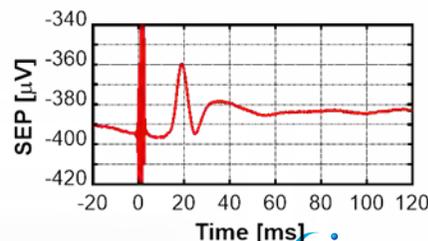
金井PM:

- [ベン図f] 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**体内と親和性の高い極低侵襲BMI技術**に世界に先駆けて着手。豚で脳静脈血管内に薄膜フィルム電極を挿入して確認。
- [ベン図f] UNESCO等でBMIルールメイキング継続。



体内と親和性の高い材料

49日目

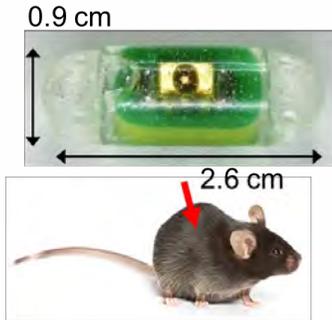


極低侵襲BMI の動物実験で埋込49日でも良好な信号強度確認

# 1.4 目標達成に向けた進捗状況(個別成果3)

【生体内CA】 体内の身体的能力（病変早期発見能力、健康維持能力等）  
拡張の実現に向けて、**時空間的体内環境情報見える化技術進む**

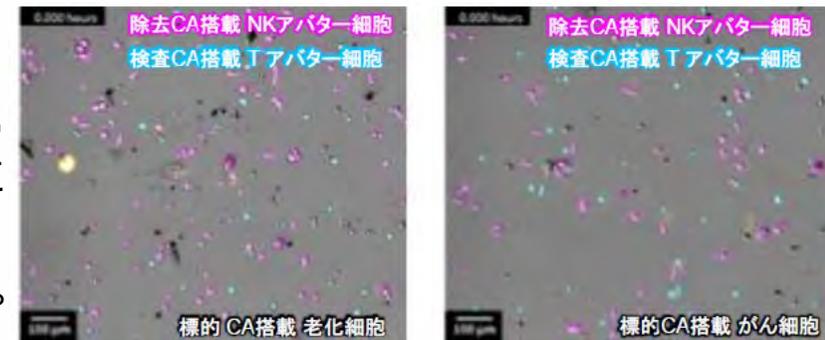
- **[ベン図g]** 生体内においてミリ・マイクロ・ナノスケールで動作し、深部体温やpHなどの環境情報を取得し、**ソシオCAと連携するクロスプロジェクト開始し、2027年のFIH(First in Human)を目指す。**
- **[ベン図c]** 身体への負担を最小にするために、**世界最小クラスのサイズ・消費電力での深部温度、pH、画像センシング技術の開発に成功。電源は胃酸充電。**
- **[ベン図g]** 病変部位の時空間的体内環境情報変化を捉える技術も進展。



マウス腹腔内に移植、無線で測温を実証

【細胞内CA】 細胞レベルで身体的能力(免疫能力、病変早期発見能力、健康維持能力等)  
拡張の実現に向けて、**当初目標in vitro(試験管)レベルがin vivo(動物内)に前倒しで検証中**

- **[ベン図g]** 2025年までには、培養環境下において、T細胞をアバター化した検査用細胞内CAが、標的細胞を発見し、NK細胞をアバター化した除去用細胞内CAと検査用細胞内CAが連携して、この標的細胞を死滅・除去する一連のCA連携・協調操作を実現する見込み。
- **[ベン図g]** すでに、標的細胞、検査用細胞、除去用細胞の3種類の細胞同士の情報のやり取りは検出済。



老化細胞・がん細胞のCA搭載細胞連携による除去

# 1.4 目標達成に向けた進捗状況(個別成果4)

【2030年予定の社会受容性を高める「CA適合性評価制度」を前倒し提案】

- **ベン図[h] CA適合性評価制度**：①～⑤からなる。
  - ①対象となるCAの定義、②適合性評価の実施対象、③適合性評価の構成要素、④CAシステム適合性評価において準拠するマネジメントシステム規格、⑤CA認証マーク運営主体：
    - ・国際標準に基づく国内規格化による民間認証制度に着手。
    - ・ISO/JIS 42001が今年8,9月に公示。
    - ・ISMS-AC(情報マネジメント認定センター)が認定機関として業務開始予定
    - ・認証機関はJQA等を想定。
- **ベン図[h] CA認証マーク**：  
EXPO2025に向けて目標1プロジェクト間で連携して設計・開発。通貨（紙幣）・パスポートに使用された偽装防止技術を採用し、EXPO2025 大阪・関西万博シグネチャーパビリオン「いのちの未来」館に展示のCAに貼付して展示中。

CA認証マーク



万博展示中CAに貼られたCAマーク (CAの裏側に貼付)



# 1.5 プログラムマネジメントの取組み(1)

## PDによるプログラムマネジメント

- プロジェクト間連携、マイルストーン見直しのためのプロジェクト横断型会議を実施。
- 2050年の社会像に反映される、未来社会に受け入れやすい「生産性向上」と「生活の豊かさ」を両立する社会指標を、GDPを構成する16産業に対してシンクタンクと検討。
- PD裁量経費を確保し、PMとの予算臨時会議を適宜設け、マイルストーン達成に合理的な理由が成り立つ場合に、各プロジェクト経費及びPD裁量経費の範囲で予算を配賦・執行している。

## 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。第1回IABの指摘ポイントは、目標1の主旨に合った、世界的にユニークで未来志向のプログラムであること、今後強化すべきは、国際連携強化、企業との連携強化、サイエンス強化等。
- 第2回IABは神経脳科学、体内CAに関する海外アドバイザー2名を追加し、2024年9月に開催。2025年マイルストーン達成に向けた助言を得た。
- 2024年に石黒PMを中心にOMG（Object Management Group）で国際標準化を進め、CAのサービス機能仕様の記述方法の技術仕様RoSO1.0を2025年夏期に、CA機能および操作インターフェース機能の技術仕様RoIS2.0を2025年10月頃に公表する予定。
- UAEドバイ（年間8600万人の乗降客が行き交う国際的に見ても最大のハブ空港）とEU（スペイン、バルセロナ、GDPRの対処策など）の2拠点を選定し、連携実験実施中。

# 1.5 プログラムマネジメントの取組み(2)

## 産業界との連携・橋渡し

- 企業コンソーシアムは、2025年4月石黒PMで166法人に、南澤PMでは人間拡張基盤を推進するNTTドコモを含む37社6団体に発展。石黒PMは設立したAVITA(株)で成果の社会実装を積極的に展開。

## 広報・アウトリーチ活動

- 一般利用者の視点からBMI技術のフィードバックを集める世界的にも新しい仕組みとして、SFプロトタイピング・プロジェクト『Neu World』を発信中。

『Neu World』コンセプトイメージ



## ELSI、プログラム間連携等、横断的な取組

- ELSIを重要視し、人社系PMの新保PJを立ち上げた。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。E<sup>3</sup>LSIの商標登録完了、CA認証マーク開発や適合性評価制度(再掲)を進めている。

# 目次

---

1. MS目標に対する進捗状況

2. 今後のMS目標の達成の見通し

参考資料 1 プログラムマネジメントの取組み

参考資料 2 各プロジェクトの進捗・成果

参考資料 3 プログラムのポートフォリオ・プロジェクト一覧

参考資料 4 現況と今後の方向性

# 2.1 今後の方向性：2030年のターゲット1・2

## 【ターゲット1】CA能力拡張サービスを実現するための国際的なCA基盤構築

CAで世界中の  
誰もが働ける  
遠隔就労  
国際ネットワーク  
基盤構築



- ソシオ・BMI・体内CAを  
組合せた能力拡張(分担  
遠隔制御)技術と関連する  
標準化活動推進
- 国際拠点構築/利用者  
拡大戦略(OpenCA\*)

必要なときに専門家から  
遠隔処置を受けられる  
「自分の健康は自分で  
守る」を実現する  
CA革新医療技術



\*OpenCA: CA利用者を増やす国際的な普及活動

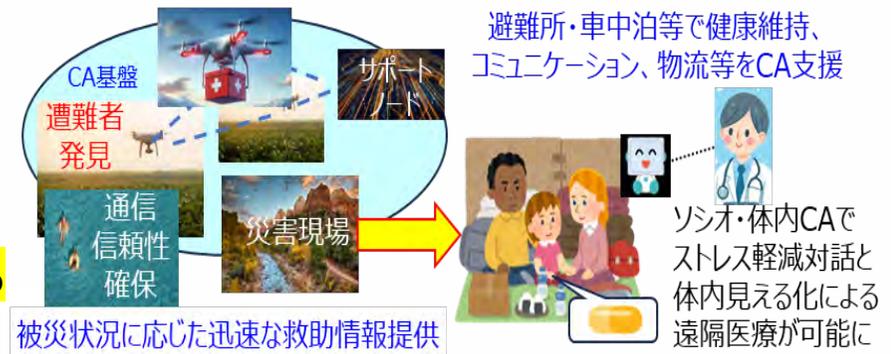
## 【ターゲット2】CA能力拡張サービスで生産性の向上と生活の豊かさ向上を 両立するCA生活

平時：  
GDP10  
産業での  
生産性向上  
と  
生活の  
豊かさを両立



有事：

- CAで搬送、  
物流支援、  
安否確認。
- ソシオ・BMI・  
体内CAによる  
避難者ケア



# 2.1 今後の方向性：CA能力拡張サービス例 1

ソシオCA、体内CAを繋ぐCA基盤を構築し、有事(※)の場合も、個人・集団・体内の能力拡張サービスを2030年までに実現

## 救助（災害現場）

- 多数のCAが連携して人が入れないところに入っていき安否確認、声掛け、体内CAを被救助者まで運び服用してもらうことで救出までの体調可視化  
(人の小さな声等の認識、深部体温計測による低体温症の検知)

## 避難者支援（避難所、車中泊など）

- 体内CAでの、健康状態見える化と、トリアージ（特に高齢者、子供）
- ソシオCAを用いた、CA基盤経由の被災地域外の医療者ネットワークによる避難者ケア（体内CAで不調が判明した人への優先対応、長期避難者のストレスケア等）
- CAによる搬送、物流支援、車中泊避難者（孤立避難者）の把握



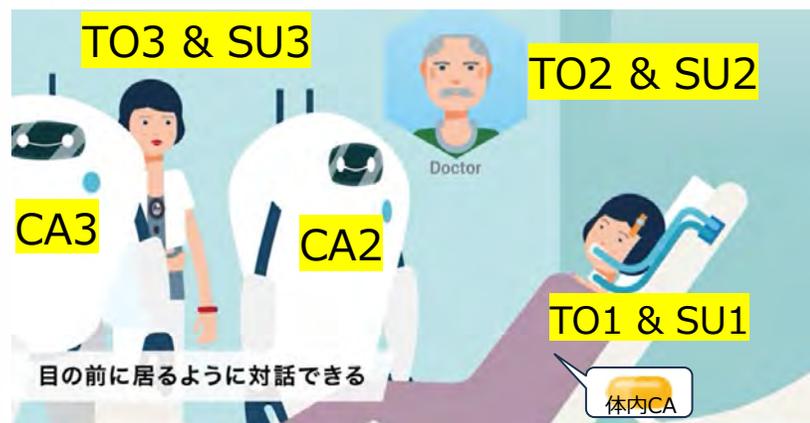
## 2.1 今後の方向性：CA能力拡張サービス例 2

2050年のエンド・オブ・介護を目指し、「自分の介護は自分でできる」  
CA能力拡張サービスを2030年までに一部実現可能に

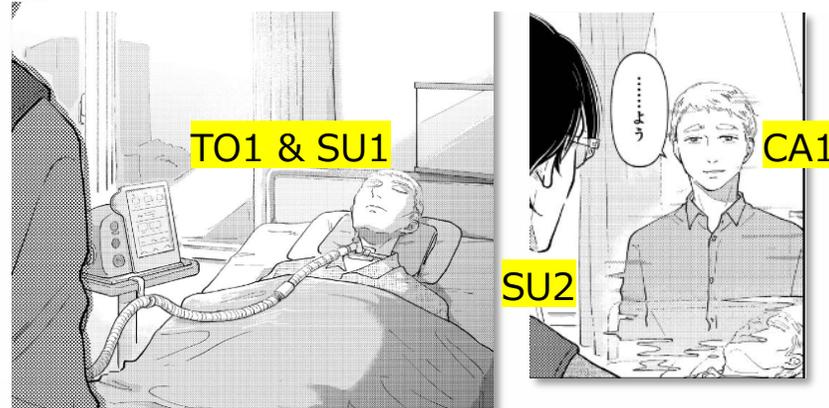
寝たきりで話も出来ないヒトが、**最期まで文化的・社会的な生活がおくれる**

- BMI-CAで、話をしたり（含む遠隔会話）、日常ケア（ベッド操作、排せつ補助  
ロボット操作、必要なものを取ってくるなどのロボット操作）を自分でできる。
- CA基盤経由で、BMI-CAと対人・対社会CA、体験共有CAをつなげることで、  
社会とつながり生活の豊かさも向上し、仕事も可能になる。
- 体内CAで、必要に応じて、医師・専門家が安全・安心に遠隔操作して必要な処置を  
行い、体をいつも良い状態に保つ。BMI-CA経由で医療者と相談もできる。

\*TO: 遠隔操作者, SU: CAサービス利用者



「ムーンショット目標 1：アニメーションで描く2050」より



金井PJ『Neu World』：永田礼路「メランコリック・ダイバーの浮上」より

## 2.2. PDのマネジメント方針

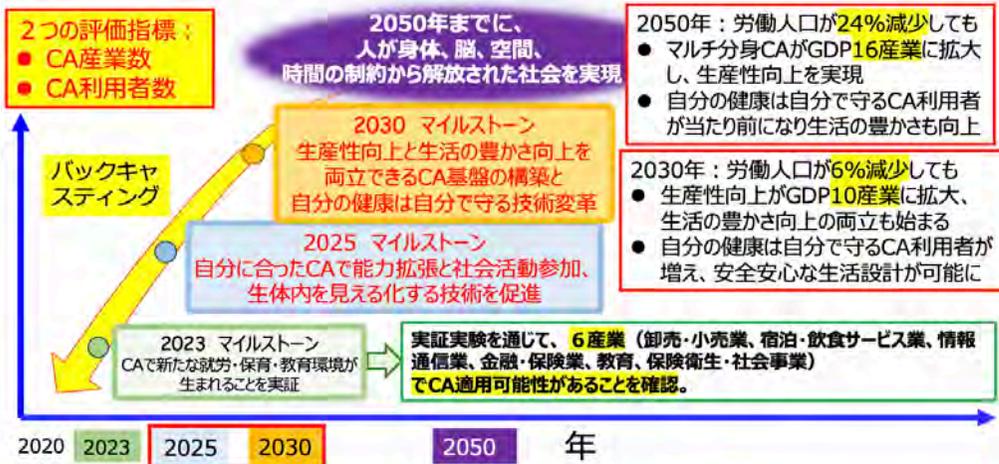
主要な課題	対応方策の概要
1) 異なるCAの連携による能力拡張の拡大、革新的なコア技術の開発、GDP10産業への社会実装推進	1人が複数体CAを半自律で、平時・有事に大規模な操作できるコア技術（分担遠隔操作、意図・感性操作向けGPT等）を開発。10産業への社会実装拡大、OpenCA（CA利用者を増やす国際的な普及活動）を推進。2026年から、具体的なユースケースを設定し、クロスプロジェクト体制を強化。
2) 国際的実証実験推進のための拠点構築・拡大	ポートフォリオを踏まえ、必要とされる国際連携として、海外遠隔操作者増を目指し、国際ルール&モラルメイキング、事業化を考慮して、ドバイ、バルセロナ以外にアジア(シンガポール)、北欧(デンマーク)、米国、南米、豪州等を検討、
3) 目標3と標準化活動推進とミドルウェア・プラットフォーム開発	2025年OMGでの標準化仕様確定見込みの成果を基に、2030年までにサービスアプリを作りやすい環境づくりとして、目標1のCAと目標3のAIロボットを同じプラットフォームにのせるためのミドルウェア国際標準化活動を推進。
4) 複数CA操作のコア技術であるCA分担遠隔操作法開発加速	M(人)×N(体)CAによる分担遠隔操作における、タスクの複雑さ、操作モード(直接遠隔、自律、操作者別遠隔操作に関するGPT)切替、操作スキル学習法、通信遅延・ジッターの克服、なりすまし等のセキュリティ対策の研究開発を加速。
5) 生産性向上と生活の豊かさ向上の両立と、人生百年時代に対応できる健康管理CAシステム開発	人生百年時代に対応できる「自分の健康は自分で守る」を実現するために、体内と親和性の高い極低侵襲BMI技術を活用して、FIH(First In Human)に向けての設備整備と、クロスプロジェクト体制を強化。
6) プログラム推進のアドバイザー体制の強化	第2回IABは神経脳科学、体内CAに関する海外アドバイザー2名を追加し、2024年9月に開催。2025年マイルストーン達成に向けた助言を得た。今後は、2030年に向けて、体内CAに対するアドバイザーを数名追加。

# 2.3 MS目標達成に向けたイメージ

## 【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

「誰もが能力拡張できる複数のCAを用いて、生産性が向上し、子育て、余暇、やりたい社会活動、「自分の健康は自分で守る」ことができる、など生活の豊かさ向上も両立できる社会の実現を目指す。」



ポートフォリオでこの社会像を実現できたかは、次の2つの指標で評価する。  
 指標1：CA産業数=生産性向上と生活の豊かさ向上に関連する産業数  
 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

2050年 ナノから社会スケールのCAが社会に浸透  
 (GDP 16産業全て適用、「エンド・オブ・介護」の実現等)  
 付加価値額増68兆円(高普及パターンの場合)  
 (ソシオCA:49兆円、体内CA:19兆円)(\*1)

2040年 CA組合せの能力拡張サービスが世界に広がる  
 (GDP 12産業に適用拡大、体内CAで常時見守り・治療)

2030年 CA組合せによる能力拡張サービス  
 (GDP10産業に適用拡大、災害支援の達成)  
 付加価値額5.5兆円増加(高普及パターンの場合)  
 (ソシオCA:5.3兆円、体内CA:0.2兆円)(\*1)

2025年 自分に合ったCAで能力拡張、体内見える化技術

第1社会課題  
 (生産性向上)

第2社会課題  
 (生活の豊かさ)

(\*1) シンクタンクの見積もり額  
 (\*2) 社会実装Level:  
 Level 1: プロトタイプの開発とその有効性の検証  
 Level 2: 生産性向上への貢献・社会指標の明確化、  
 E<sup>3</sup>LSI・制度改革の目途、社会受容性の検証  
 Level 3: 企業が社会実装開始  
 Level 4: 社会実装済

# 目次

---

1. MS目標に対する進捗状況
2. 今後のMS目標の達成の見通し

参考資料 1 プログラムマネジメントの取組み

参考資料 2 各プロジェクトの進捗・成果

参考資料 3 プログラムのポートフォリオ・プロジェクト一覧

参考資料 4 現況と今後の方向性

# プログラムマネジメントの取組み（1）

## 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、ステージゲートを、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。
- プロジェクト間連携、マイルストーン見直しのための**プロジェクト横断型会議**を実施。
- 2022年追加公募で主に**開頭手術のいらない極低侵襲BMI、体内CA、社会受容基盤**のPMを追加、**7PM体制**で目標間連携を促進。
- プログラムマネジメントに対する**国際的視点から見た意見集約**の場として、**国際アドバイザリーボード (IAB)**を2022年に設置。これまで、**2回サイトビジット・意見集約**を実施(2022, 2024年度)。
- **CA体験サイトビジット**をリアル+オンラインのハイブリッドで実施。
- 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した。特に生産性の定義について深い議論を行った。
- 2050年の社会像に反映される、未来社会に受け入れやすい「**生産性向上**」と「**生活の豊かさ向上**」を両立する**社会指標**を、**GDP関連の16産業**に対して**シンクタンク**と検討。
- PD裁量経費を確保し、PMとの**予算臨時会議**を適宜設け、マイルストーン達成に合理的な理由が成り立つ場合に、各プロジェクト経費及びPD裁量経費の範囲で予算を配賦・執行。特に、2025年度は**クロスプロジェクト課題**に優先的に予算を配賦・執行。

# プログラムマネジメントの取組み（2）

## 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を体験して助言を得た。2回実施の結果、目標1の主旨に合った、世界的にユニークで未来志向のプログラムであること、今後強化すべきは、国際連携強化、企業との連携強化、サイエンス強化等の指摘を受けた。
- IABと連催して第2回国際シンポジウムも2022年9月に京都で開催。
- 第2回IABは神経脳科学、体内CAに関する海外アドバイザー2名を追加し、2024年9月に開催。2025年マイルストーン達成に向けた助言を得た。
- 2024年度に石黒PMを中心にOMG（Object Management Group）で国際標準化を進め、CAのサービス機能仕様の記述方法の技術仕様RoSO1.0を2025年夏期に、CA機能および操作インターフェース機能の技術仕様RoIS2.0を2025年10月頃に公表する予定。
- UAEドバイ（年間8600万人の利用客が行き交う国際的なハブ空港をも有する、国際都市）とEU（スペイン・バルセロナ、GDPRの対処策など）の2拠点を選定し、連携実験実施中。

## 産業界との連携・橋渡し

- 企業コンソーシアムは、2025年4月時点で石黒PJで166法人に、南澤PJで人間拡張基盤を推進するNTTドコモを含め37社6団体に発展。石黒PMは設立したAVITA(株)で成果の社会実装を積極的に展開。
- 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。

# プログラムマネジメントの取組み（3）

## 広報・アウトリーチ活動

- ウェブ、テレビ、新聞などを通じて、開発中のCA体験、将来のCA生活イメージの醸成等の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(動画)をWebで紹介。
- 市民にもわかりやすいブレイン・テックガイドブック(第1版2022年, 第2版2024年)を公開してUNESCO等で国際的ルールメイキングに参加し、市民との対話を行っている。
- 一般利用者の視点からBMI技術のフィードバックを集める世界的にも新しい仕組みとして、SFプロトタイピング・プロジェクト『Neu World』を発信中。
- 国際化に向けたサイエンス強化として、Science Robotics(インパクトファクター26.1 in 2023-2024)にポジショニングペーパーを2024年11月に公表。

## ELSI、プログラム間連携等、横断的な取組

- ELSIを重要視し、人社系PMの新保PJを立ち上げた。
- 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。E<sup>3</sup>LSIの商標登録完了、CA認証マーク開発や適合性評価制度を進めている。
- スペインのカタルーニャ工科大学との共同実証実験では、ヨーロッパの「EU一般データ保護規則」(GDPR : General Data Protection Regulation)に合致した実証実験を実施中。

## データマネジメント

- 研究データの保存129件 (内 共有34件、公開13件)

# 目次

---

1. MS目標に対する進捗状況

2. 今後のMS目標の達成の見通し

参考資料 1 プログラムマネジメントの取組み

**参考資料 2 各プロジェクトの進捗・成果**

参考資料 3 プログラムのポートフォリオ・プロジェクト一覧

参考資料 4 現況と今後の方向性

# 各プロジェクトの進捗・成果（石黒PJ）

ホスピタリティ豊かなモラルある対人・対社会CAを実現するための、実環境音声認識・合成、環境・物体認識、概念獲得で世界的成果多数。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技術を開発。大規模実証実験を実施し、効果を検証。

- 視線やジェスチャーを用いて人と豊かに関わることのできる存在感CA、CAの人間レベルの傾聴音声対話技術、発話意図は変えずに丁寧な内容に変換するモラルコンピューティング技術の開発。
- これらの技術の検証と社会受容性を評価する様々なタスク（接客、医療、教育等）の実証実験を2024年9月までに74件実施（2023年9月時点：58件）。
- 1人の操作者が複数CAを同時に操作可能な複数体CAの連携・協調基盤技術を開発。OMGにおいて国際標準化（サービス記述方式、基盤の仕様、操作インターフェース機能）を推進。
- CA基盤の動作検証のため、CA1000体動作できるCA基盤を構築し、グラングリーン大阪にて、大規模実証実験「アバターランド」（2024年9月10日～29日）を実施。
- ドバイでは企業と連携して国内外から遠隔操作者が参加し、販売活動を促進する実証実験を行い、国籍や文化の違いを乗り越えて販売促進効果を確認。



案内と紹介  
（神戸空港）

離島での遠隔医療  
サポート（長崎）



アバターランド  
（CA1000体）



CA基盤を活用したドバイでの実証実験

2人を相手にした傾聴対話ロボット  
（精神科病院のデイケアで長期にわたり実験）

# 各プロジェクトの進捗・成果（南澤PJ）

重い障害を抱える人が1人で5体のCA、2人で1体のCAを遠隔操作できるシステムを開発し、1か月以上の継続的な遠隔就労を実現。世界的な芸術祭Ars Electronica Festival（オーストリア）でGolden Nica賞（最高賞）を受賞。

- 分身ロボットカフェ：障害当事者の持続的の遠隔CA就業  
diversity & inclusionを最先端のテクノロジーを用いて実現する事例として国際的に極めて高い評価。アルスエレクトロニカ、ザイドサステナビリティアワード(UAE)を始め多数受賞、SDGsに貢献する日本の最先端の事例としてG7で紹介されるなど我が国の科学技術外交にも大きく貢献。国内では分身ロボットカフェ（東京・日本橋）だけでなく、他6ヶ所（札幌、福岡、広島、神戸、京都、名古屋）でも実証実験を行い、遠隔操作者（パイロット）も150名に増えた。今後の国際的展開に向けて、ドバイやデンマークに拡大する準備を進める。
- BMI-CAでロボット手を制御：ALS当事者の身体的能力拡張  
ALS当事者がBMI-CAにより自らの身体の制約を突破するBrain Body Jockeyプロジェクトを通じて、CAによる「身体の制約からの解放」の可能性を高い社会的インパクトをもって示した。
- ハイインパクト国際会議・論文誌の採択  
情報技術の社会応用における最高峰の国際会議ACM CHIに3年間で13件、Nature Communicationsに脳科学基礎研究成果を発表。



分身ロボットカフェにおける遠隔就労

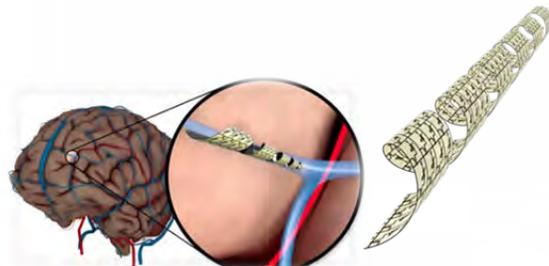


BMI操作型CAによるALS患者の自助生活支援

# 各プロジェクトの進捗・成果（金井PJ）

**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**に世界に先駆けて着手。豚で皮質静脈に薄膜フィルム電極を挿入し脳波を計測することに成功。**UNESCO**等で**BMI国際ルールメイキング**継続検討。

- 従来より細い**皮質静脈へのアクセス**を実現し、より広範な**大脳皮質**の領域からの高精度な脳波計測を可能にする世界トップレベルの**極低侵襲BMI技術**を開発。動物(豚)の皮質静脈からの長期間の脳波記録に成功。
- **非侵襲型BMI**において、大規模脳波データを蓄積し、CLIPと呼ばれるAI技術を脳波に適用することで**脳データのスケール則が働く**ことを世界で最初に発見。従来不可能と思われてきた**非侵襲型BMIによる高精度な発話**を実現。
- BMI技術のガイドブックとエビデンスブックの英語版を刊行。重要性が国際的に高く評価。金井PMが**UNESCO**における**ニューロテクノロジーの倫理的利用に関する勧告作成の専門家会合**に招聘。
- 一般利用者の視点からフィードバックを集めるため、**SFプロトタイピング・プロジェクト『Neu World』**を開設し、マンガや小説といった一般の人が親しみやすいメディアを通じて、実現したい未来社会をアピール。

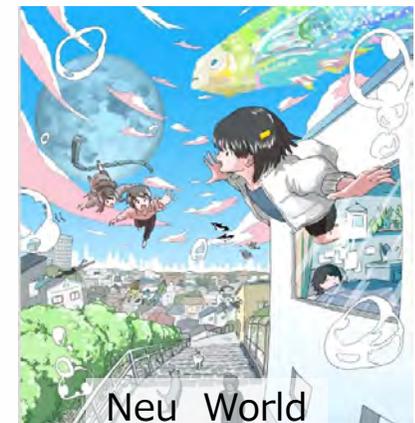


極低侵襲BMIの動物実験で

埋込49日目における良好な信号強度確認



UNESCO

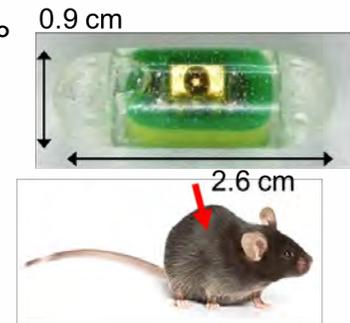


Neu World

# 各プロジェクトの進捗・成果（新井PJ）

複数体の生体内CAによる時空間体内環境マップに基づく健康モニタリング向け基盤技術を開発

- 「元気予測」：新しい健康見守り  
生体内においてミリ・マイクロ・ナノスケールで動作し、深部体温やpHなどの環境情報を取得し、局所でのサンプリングや薬などの投与が可能な生体内CAにより、時空間的に変化する体内環境の情報モニタリングによる、自分の健康は自分で守る、新しい健康見守り「元気予測」を提案。
- 「元気予測」の基盤技術開発  
「元気予測」に必要となるデバイス、計測、操作、通信、エネルギー供給、材料などに関して、基盤的な技術を開発。特に、計測技術として、世界最小クラスのサイズ・消費電力での温度・pH・画像センシング技術の開発に成功。胃酸充電で長期間の動作を可能とした技術は優れた成果。
- 「元気回復」に向けた取組  
「元気予測」に対となる、患者と医師の負担を軽減する「元気回復」も提案。複数の生体内CAが協調して、組織を採取するためのトラクション制御と視野拡張技術を開発した。
- その他の特筆すべき成果  
生体内pH計測の意義性を探る中で、治療が困難な膵がんに対して、局所的なアルカリ化により、積極的に線維化を制御し、腫瘍抑制効果が期待できることを発見した。

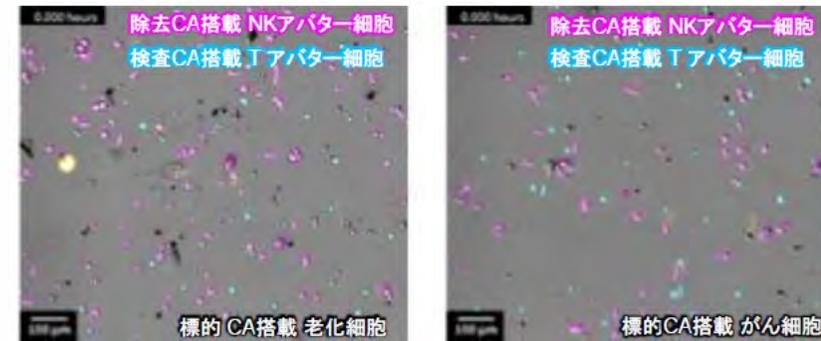


マウス腹腔内に移植、無線で測温を実証

# 各プロジェクトの進捗・成果（山西PJ）

細胞レベルで身体を見守り、良い状態に保つための、細胞内CAの基礎技術を開発。複数の細胞内CA搭載細胞の連携・協調は革新的、標的細胞（がん細胞/老化細胞等）の除去に向けた実証を進めている。

- 2025年までには、培養環境下において、検査用CAを搭載しアバター化したT細胞（検査細胞）が、標的細胞（予め目印を付加したがん細胞または老化細胞）を発見し、除去用CAを搭載しアバター化したNK細胞（除去細胞）と連携して、この標的細胞を死滅・除去する一連のCA連携・協調操作を実現する見込み。
- 標的細胞・検査細胞・除去細胞の連携  
世界に先駆けて、標的細胞・検査細胞・除去細胞の3種類の細胞連携により機能する除去用CA搭載細胞での除去機能の発現に成功。  
標的細胞・検査細胞・除去細胞の3種類の細胞同士の情報のやり取りは検出済。
- 「中止」の遠隔制御  
社会受容性の観点で、任意タイミングでの「中止」の遠隔制御が安全性のため必要であり、4種類の「中止」スイッチの作製および機能検証をin vitroで完了。なお、マウス個体への影響が少ないことも確認済み。



老化細胞・がん細胞のCA搭載細胞連携による除去

# 各プロジェクトの進捗・成果（新保PJ）

## CAの安全・安心・信頼を確保し、社会受容性を高める「CA適合性評価制度」を提案

- CA適合性評価制度は、①対象となるCAの定義、②適合性評価の実施対象、③適合性評価の構成要素、④CAシステム適合性評価において準拠するマネジメントシステム規格、⑤CA認証マークから構成。
  - CA認証マークは石黒PJと連携して設計・開発。通貨（紙幣）・パスポートに使用された偽装防止技術を採用し、EXPO2025 大阪・関西万博シグネチャーパビリオン「いのちの未来」館に展示のアバターロボットに貼付して展示予定。
- E<sup>3</sup>LSI課題・政策展開の研究では、国際連携を推進。ユニドロワ、OECD(GPAI)、COP29、WeRobot等の組織、アイルランド、米国、カナダ、フランス、ドイツ等の大学・大使館と連携。
- CA安全・安心確保基盤の構築において、操作者のなりすましを防止するための継続認証技術の実現に向けて、912名の被験者から6つのモダリティの認証用データを収集（世界最大規模）。



# 各プロジェクトの進捗・成果（松村PJ）

複数のCAを遠隔で安定操作する信頼性確保基盤の構築を目指し、通信品質監視、ジッタ低減、動的経路制御、優先度に応じた無線リソースの動的割当など、実運用を視野に入れた実証を重視した研究開発を推進

- CA遠隔操作安定化

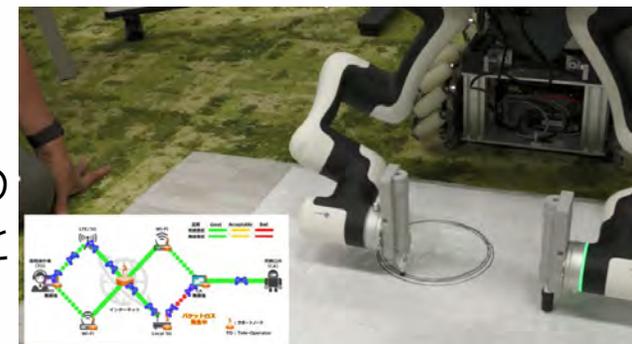
日本橋－横須賀間でCA遠隔操作環境を構築し、CAに見立てた双腕ロボットを用いて、サポートノードの通信品質可視化、ジッタ低減、動的経路選択機能による遠隔操作安定化、無線環境の品質変動予測アルゴリズムの有効性を実証した。他機関の多くが遠隔操作者とロボットの1対1通信を対象とする中、多数のCAの遠隔協調操作とCAを介したCAサービスユーザとのインタラクションの概念と、それを旨とした実証が高く評価され、国際ワークショップ\*でBest Paperを受賞するなど、海外研究機関との連携の話も出てきている。

- 海外からの遠隔操作を想定したデータ取得

海外からの遠隔操作環境に対応するため、遅延・ジッタ測定システムを構築、日本と各国間の通信品質（遅延・ジッタ）の測定を開始。相手国により、様々な遅延・ジッタが発生することを発見。多様なネットワーク環境で遅延・ジッタをモデル化した先行事例がないため、取得データを基にモデル化開始。

- 3GPP 6Gユースケース提案、IRTFにおける標準化

3GPP 6G関連技術報告書に、CAユースケースを重要項目「Ubiquitous Network」として、入れ込むことに成功。片方向通信の情報指向ネットワーク(ICN)を、CA MxN遠隔操作に必須となる双方向通信に拡張したICNxをIRTF\*\*に提案。



双腕ロボによる遠隔操作実証の様子

# 目次

---

1. MS目標に対する進捗状況

2. 今後のMS目標の達成の見通し

参考資料 1 プログラムマネジメントの取組み

参考資料 2 各プロジェクトの進捗・成果

参考資料 3 プログラムのポートフォリオ・プロジェクト一覧

参考資料 4 現況と今後の方向性

# プロジェクト一覧

	プログラム マネージャー	プロジェクト名
2020 年12 月～	石黒 浩 (大阪大学教授)	誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現
	南澤 孝太 (慶応義塾大学教授)	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
	金井 良太 (ATR担当部長)	身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放
2022 年12 月～	新井 史人 (東京大学教授)	生体内サイバネティック・アバターによる時空間体内環境情報の構造化
	山西 陽子 (九州大学教授)	細胞内サイバネティック・アバターの遠隔制御によって見守られる社会の実現
	新保 史生 (慶応義塾大学教授)	アバターを安全かつ信頼して利用できる社会の実現
	松村 武 (NICT室長)	サイバネティック・アバターのインタラクティブな遠隔操作を持続させる信頼性確保基盤

# 目次

---

1. MS目標に対する進捗状況

2. 今後のMS目標の達成の見通し

参考資料 1 プログラムマネジメントの取組み

参考資料 2 各プロジェクトの進捗・成果

参考資料 3 プログラムのポートフォリオ・プロジェクト一覧

参考資料 4 現況と今後の方向性

# 主要ファクトと外部環境変化

## 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

ターゲット1 誰もが多様な社会活動に参画できるサイバネティック・アバター(CA)基盤

- 2050年までに、複数の人が遠隔操作する多数のアバターとロボットを組み合わせるによって、大規模で複雑なタスクを実行するための技術を開発し、その運用等に必要な基盤を構築する。
- 2030年までに、1つのタスクに対して、1人で10体以上のアバターを、アバター1体の場合と同等の速度、精度で操作できる技術を開発し、その運用等に必要な基盤を構築する。

ターゲット2 サイバネティック・アバター(CA)生活

- 2050年までに、望む人は誰でも身体的能力、認知能力及び知覚能力をトップレベルまで拡張できる技術を開発し、社会通念を踏まえた新しい生活様式を普及させる。
- 2030年までに、望む人は誰でも特定のタスクに対して、身体的能力、認知能力及び知覚能力を拡張できる技術を開発し、社会通念を踏まえた新しい生活様式を提案する。

### 主要ファクト（実現できていること・できていないこと）

実現できていること

#### 【ターゲット1】

- ・**ソシオCA**：
  - 世界に先駆けて、1人でN体のCAまたはM人で1体のCA分担遠隔操作技術の開発、異なるタスクで、のべ1000体が動くCA基盤を構築、2025年にOMG標準化が確定。
  - ホスピタリティ豊かな対人・対社会CAに向けて、実環境音声認識・合成、環境・物体認識、概念獲得で世界的成果を獲得。操作者の対話を適正化するモラルコンピューティング技術の開発。
  - 血管からカテーテルを挿入して測定できる極低侵襲BMI技術を世界に先駆け開発、豚の脳から長期留置による脳波取得。
- ・**体内CA**：人体モデルにて、温度・pH・画像センシング技術、また胃酸充電で長時間の動作を実現した体内情報測定用カプセル等、体内の健康をモニタリングする要素技術を開発。
- ・**社会受容基盤**：通信品質を監視し、通信が不安定になった際に動的にネットワーク経路を制御して通信を安定化させる機能を実現し、通信品質の低下を回避して要求品質を維持する技術を開発。

#### 【ターゲット2】

- ・**ソシオCA**：
  - ドバイでは国籍や文化の違いを超えてCAの遠隔操作による販売促進効果を実証。国内外含め6産業\*への展開。
  - 分身ロボットカフェの障害者長期的持続就労(身体的能力の拡張)は国際的に高評価。開設から3年で計150名が「OriHimeパイロット」として就労。
- ・**体内CA**：従来よりも簡易で身体への負担が少ない健康管理システムの検討。
- ・**社会受容基盤**：CAの安全・安心・信頼を確保する新しい評価制度である「CA適合性評価制度」を考案し、JIS規格化を準備中。一般向けにBMIの現状と課題をまとめた「ブレイン・テックガイドブック」がOECDの事例集に掲載された。

実現できていないこと

#### 【ターゲット1】

- ・**ソシオCA**：世界共通のCAミドルウェアプラットフォーム・国際CA基盤の構築。思い通りに操作するCA基盤技術の高度化。
- ・**体内CA**：FIH（First in Human：ヒト初回投与）試験の実施。
- ・**社会受容基盤**：通信困難環境でのCA継続操作。

#### 【ターゲット2】

- ・**ソシオCA**：国際的なCAの社会実装のための検証。新しい生活様式として多様な経済活動（GDP10産業）への展開。
- ・**体内CA**：体内CAによる遠隔操作により常時見守りができる技術・新しい生活様式の提案。
- ・**社会受容基盤**：CAの安全性と社会的信頼性を担保する「CA適合性評価制度」の実装および国際化。

### 研究開始以降の外部環境変化・国際動向変化

#### ソシオCA：

- ・ 生成AIや大規模言語モデルLLMの活用が活発化。人の動作や技能をデータ化しAIに身体性をもたらす手段としての遠隔操作ロボットの活用が世界的に加速(NVIDIA, Tesla, OpenAI)。
- ・ 石黒PMが起業したAVITAに追随して、NEC、NTTコム、日鉄ソリューションズが接客デジタルヒューマンのサービスを発表(デジタルヒューマンの市場規模は、2030年国内1兆円、世界77兆円を予測)。
- ・ 学校におけるアバターロボットの利用が世界的に加速。日本、オーストラリア、欧州で、主に入院児童を対象とした利用が広がる。
- ・ BMI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「文字入力のための侵襲BMI」でヒトを対象にした臨床試験開始。

#### 体内CA：

- ・ 体内CAでは、消化管のpHや外部磁場によってカプセルを開閉して消化管内で細菌叢を取得するものが提案中(総合的な時空間体内環境情報の取得と元氣予測の呈示は未)。細胞内CAでは、デザイナー細胞、バイオセンサー・マーカー、DDS等の技術が開発中(生体状態のモニタリング技術、薬剤の送達技術等の一方向的な技術)。

#### 社会受容基盤：

- ・ 諸外国のAI規制の進展(EUのAI法、米国の大統領令、NIST-RMF、OECD、国連、G7)。EUは、AI法により高リスクAIシステムに対する適合性評価制度の導入を検討中。

# 目標継続した場合の方向性

	後半5年の方向と2030ターゲット（ターゲット維持か見直しか）	2030年終了後の見通し（いわゆる2040に向けて）
プログラム全体	<p><b>【ターゲット1】維持（拡張）</b>            複数人が複数体のCAを半自律でより大規模に操作できるコア技術の開発をさらに推進、<b>複雑なタスクや国際社会に通用するCAサービス</b>を生み出すための基盤技術を開発。</p> <p><b>【ターゲット2】維持</b>            後半5年では「国際化」をさらに強化し、アジアや北欧、南米、豪州等のより<b>多様な文化・環境での実証実験を推進</b>。並行して、新しい生活様式の実現のため、<b>より多様な経済活動（GDP10産業）への社会実装</b>。</p>	<p>・2040年の国際CA基盤（グローバル適用拡大）と国際CA生活の実現に向けて、<b>GDP12産業への浸透、社会実装Levelの向上、CAによる常時見守りに向けた取組を進める</b>。</p>
ターゲット1	<p><b>ソシオCA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数人が複数体のCAを半自律でより大規模に操作できるコア技術（分担遠隔操作、意図・感性操作向けGPT等）の開発をさらに推進、複雑なタスクや国際社会に通用するCAサービスを生み出すための基盤技術を開発。</li> <li>・国際的な<b>社会実装に向けたさらなる標準化とミドルウェア・プラットフォームの開発</b>。</li> </ul> <p><b>体内CA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>体内CAの適用FIH</b>(First in Human : ヒト初回試験)を推進。</li> </ul> <p><b>社会受容基盤:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通信安定性の品質維持に加え、通信困難環境でもCAを安定して継続的に操作を実現するための、自律動作と<b>遠隔操作を最適化する制御技術</b>と、その<b>国際標準化の推進</b>。</li> </ul>	<p>・<b>先出し可能な技術は国内外からの資金調達により、国際的なCAサービス基盤の社会実装を進めるとともに、CAを通して「誰もが」社会に参加できるCAの社会基盤化を進める</b>。</p> <p>・社会実装に向けて研究継続が必要な技術（体内CA等）については、後半5年の目覚ましい成果をもとに新たなファンディングを得て、2050年までに順次社会実装を進める。特にCAの体内から体外への通信信頼性の向上を進める。</p>
ターゲット2	<p><b>ソシオCA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国ごとの文化や制度等の違いの解決を目的とした、<b>グローバルな実証実験推進のためのさらなる研究開発拠点の構築</b>。ドバイ、バルセロナに加えてアジア(シンガポール)、北欧(デンマーク)、米国、南米、豪州展開検討、グローバルルール&amp;モラルメイキング。</li> <li>・世界中、誰でもCAで働ける：思い通り操作CAの高度化、Human-Linkのコア技術&amp;体験共有・技能融合への応用、国際障害者向け技術の高度化により、誰もがCAを利用して働き、体内CAの常時健康見守りを合わせて健康に生活できるようにする。</li> </ul> <p><b>体内CA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>体内環境の情報を常時モニタリング</b>して、健康を見守り身体を良い状態に保つ新しいCAサービスを創出し、<b>生活の豊かさ、生産性の向上・維持の両立ができるCA生活という新しい生活様式を提案</b>する。</li> </ul> <p><b>社会受容基盤:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CA社会実装に向けて<b>国際的にCAセキュリティが担保された社会の実現</b>。</li> <li>・CAを社会的信頼性をもって普及させるための「<b>CA適合性評価制度</b>」の実現。</li> </ul>	<p>・<b>先出し可能な技術は国内外からの資金調達により、国際的なCAサービスの社会実装を進めるとともに、CAを通して様々な新しい生活様式の普及に取り組む</b>。</p> <p>・体内CAは、ソシオCAと連携した常時見守りサービス等の新しい生活様式の提案に取り組み、新たなファンディングを得て、基盤技術の開発と並行して進める。</p> <p>・CAの安全性と社会的信頼性を担保する「<b>CA適合性評価制度</b>」の国際的な普及を進める。</p>

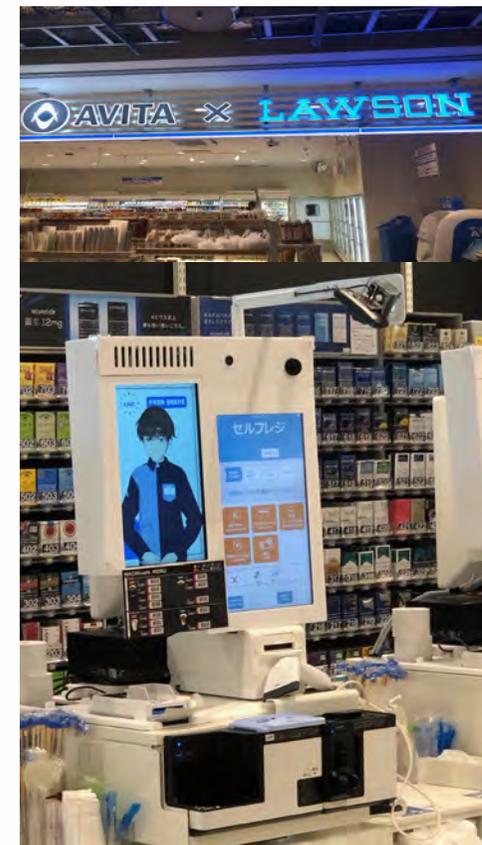
# 国際動向とプログラムの立ち位置 (詳細)

# 国際動向とプログラムの立ち位置（詳細）

- 生成AIや大規模言語モデルLLMの活用が活発。
- 石黒PM起業のAVITAが先行。NEC、NTTコム、日鉄ソリューションズも接客デジタルヒューマンのサービスを発表。

(デジタルヒューマンの市場規模は、2030年国内1兆円、世界77兆円を予測)

<p>第1層 アプリケーション</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○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・家庭用） ヒト型ロボット「オブティマス」, 「EVE」(1X Technologies) デジタルヒューマン接客サービス(AVITA, NEC, NTTコム, 日鉄ソリューションズ) 生成AIを用いた映像アバター(HeyGen)</li> <li>○身体の制約からの解放 メタバース、Telexistence、Avatarin、Orihime NVIDIA&amp;Apple Vision Pro, Tesla, OpenAI(AI身体性)</li> <li>○脳の制約からの解放 ニューラリンク（侵襲、サルのカール操作、人の治験） スタンフォード大学(侵襲、90文字入力/分、62単語/分) SynchronはNVIDIAと連携。低遅延BMI実現に着手。</li> </ul>
<p>第2層 ミドルウェア</p>	<p>OMG Robotics- Domain Task Force (OMG : Object Management Group) ISO/TC 299 (Robotics), ROS2(非営利法人Open Roboticsがメンテ)</p>
<p>第3層 コア技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○対話行動CA: OpenAI(ChatGPT), Google(Bard)</li> <li>○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、Sweden Karolinska Institute(身体所有感) Baby X Project: 仮想脳を有するアバターから身体行動生成</li> <li>○思い通り操作CA : スタンフォード大学（脳触覚フィードバック）, Kernel, SHIMADZU: 携帯型近赤外分光法脳波計(TD-fNIRS)+ EEG組み合わせ Apple: アイホン型脳波計(In-ear EEG), Stentrode, Optogenetics, INBRAIN(スペイン): 超薄型「グラフェン」製脳インプラント初の臨床試験</li> </ul>
<p>第4層 基礎研究・E<sup>3</sup>LSI課題</p>	<p>UNESCO Ethics of Neurotechnology専門委員会等</p>



AVITAとLAWSONの連携

# 国際動向とプログラムの立ち位置（詳細）

## 空間、時間の制約からの解放(対人・対社会CA)：

本分野の主要な国際会議ICRA、IROS、HRI、CHIの計12755件の論文発表に対して、キーワードで2737件ヒットさせ、その論文の概要等を解析。以下は、エグゼクティブ・サマリー。

### 研究の方向性やアクティビティはユニーク

- 他社最新動向では、「1×1遠隔制御」の要素技術を研究開発、LLM利用活発化。
- 一方、対人・対社会CA(石黒PM)は、「M×N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、M×N遠隔制御、傾聴対話、モラルコンピューティングは独創的。
  - LLMに身体性を持たせる研究も先行。

(JST MS部&CRDS技術調査)

近年活発化しているLLM、生成AIをそのまま使用して言語情報を学習するだけでは、状況に応じた対人・対社会CAを実現するには限界がある。

CA遠隔操作に必要となる、LLMにCAのセンサと行動、その場の環境情報を加えてLLMに身体性を持たせる研究も先行。

# 国際動向とプログラムの立ち位置（詳細）

## 身体の制約からの解放(技能・体験共有CA)：

本分野の主要な国際会議ICRA、IROS、HRI、CHIの計12755件の論文発表に対して、キーワードで2737件ヒットさせ、その論文の概要等を解析。

### 研究の方向性やアクティビティはユニーク

- 他社は、技能共有については、産業ロボットやDa Vinciに代表される遠隔ロボット手術向け技術に焦点
- 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うことで能力拡張する技能合体流通社会の実現を目指す。
- M×1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)

分身ロボットカフェで実証を進めている、CAを通じた障害当事者の遠隔就労は、diversity & inclusionに関する最先端テクノロジーの活用事例として国際的に極めて高い評価を受けており、Ars Electronica Festival 2022年度Golden Nica賞（最高賞）等を受賞



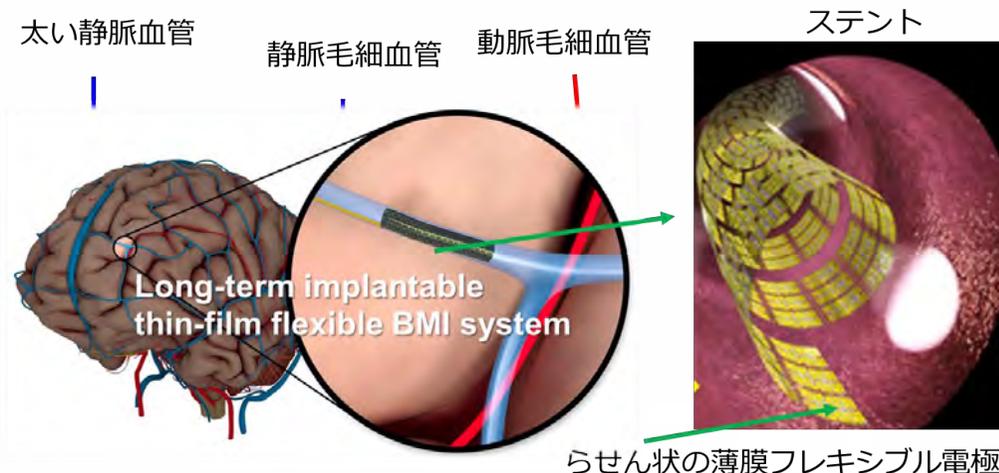
# 国際動向とプログラムの立ち位置（詳細）

## 脳の制約からの解放(思い通り操作CA)

- 他社最新動向では、**ニューラリンク（イーロン・マスクらが創設）** やスタンフォード大に代表される機関が「**侵襲BMIで文字入力のためのBMI**」を研究開発中。ニューラリンクは**臨床試験開始**。INBRAIN(スペイン)が超薄型「**グラフェン**」製の脳インプラントを開発し、臨床試験も開始。
- 一方、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)

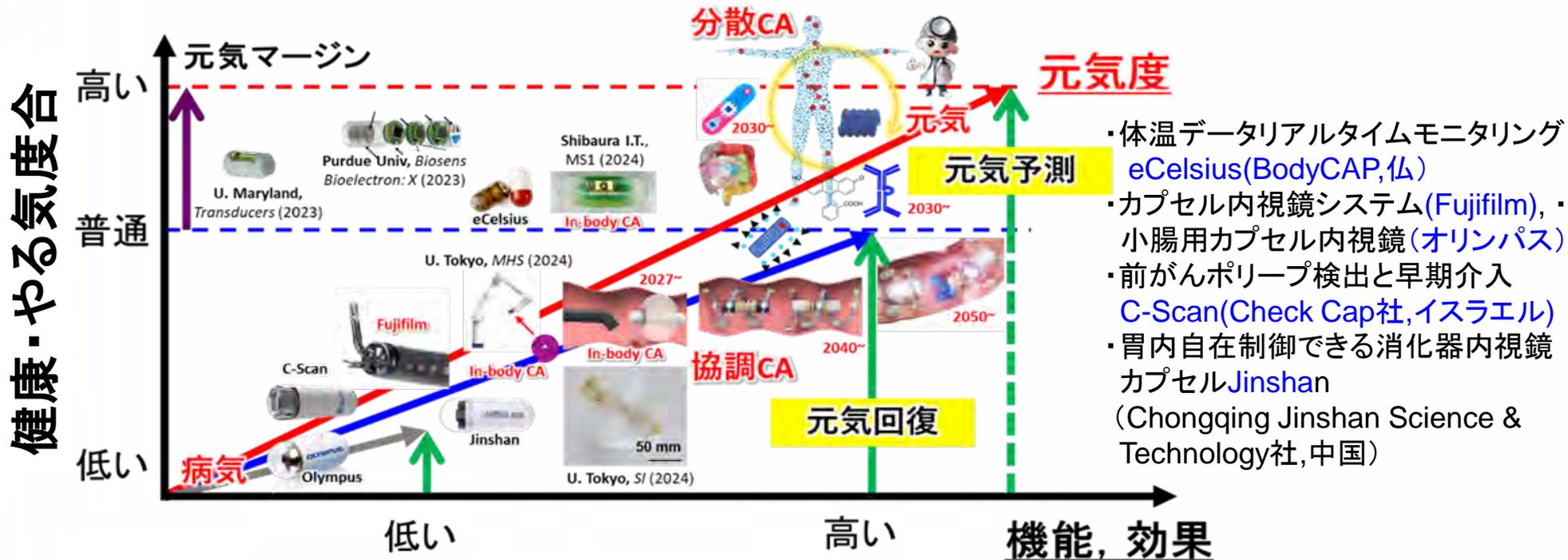
### 極低侵襲BMIによる血管内脳波計測



# 国際動向とプログラムの立ち位置（詳細）

## 体内CA(生体内CA)

従来研究では、消化管のpHに応じてカプセルを開閉しサンプリングするものや、外部磁場によって開閉する機構を搭載して消化管内でサンプリングするものが提案されている。しかし、**特定部位の位置を計測して体内環境状態をマップ化**するもの、腸管壁の狙った位置で細菌叢を直接採取できるものは実現していない。生体情報と診療、服薬による相互作用を含めた**時空間体内環境情報を取得して元気予測を呈示**できるものはまだ実現していない。



- ・体温データリアルタイムモニタリング eCelsius(BodyCAP, 仏)
- ・カプセル内視鏡システム(Fujifilm), 小腸用カプセル内視鏡(オリンパス)
- ・前がんポリープ検出と早期介入 C-Scan(Check Cap社, イスラエル)
- ・胃内自在制御できる消化器内視鏡カプセル Jinshan (Chongqing Jinshan Science & Technology社, 中国)

時空間操作性(協調CA), 時空間計測能(分散CA)

# 国際動向とプログラムの立ち位置 (詳細)

## 体内CA(細胞内CA)

○他社技術は、**一時的な生体状態見守り、薬剤送達等のあくまで一方向的な技術が中心で、遠隔操作機能が乏しい。**

○細胞内CAは、**体内に常駐した複数の細胞内CAの連携により常時見守りを可能にし、元の生体の機能・機構を活用して高い生体親和性を確保できるため副作用の少ない** 利点を持つ。

- ・**デザイナー細胞**: 見守り無し、がん治療中心  
血液癌CAR-T(ファイザー、メルク、ノバルティス), CAR-Treg(アムジェン)  
多機能型CAR-T(UCSF、Boston大)
- ・**ナノ/マイクロロボット**: 人工素材使用  
ソフトゲル・磁気駆動型(Johns Hopkins大),  
体外イメージング可能(香港大)  
電磁駆動型血管内(Chonnam国立大, 韓国)
- ・**ウェアラブルデバイス**: 見守り機能、一部状態改善機能あり  
デジタル健康行動介入mHealth(Pittsburgh大学)  
自立生活維持のための遠隔介入(Brunel大, 英国)
- ・**バイオセンサー**: 糖尿病等の管理、状態改善なし  
グルコーススポーツバイオセンサー(アボット社、米国)  
臨床診断、ライフサイエンス機器(バイオラッドラボ社、米国)  
医療機器、非侵襲的な患者監視システム(マシモ社、米国)
- ・**バイオマーカー**: 見守り・制御機能なし  
医療用検査キット(ロシュ)、神経疾患バイオマーカー(アボット社)  
不整脈診断(ジョンソン&ジョンソン)
- ・**ドラッグ・デリバリー・システム(DDS)**: 見守り機能なし  
ミセル化ナノ粒子(ナノキャリア社), 高分子ミセル(アキュルナ社)  
リポソーム製剤(富士フイルム、エーザイ)

生体状態見守り

