資料１－１

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」プログラムの進捗状況（報告）

令和５年11月30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. ムーンショット目標１の概要 (社会像、体制等)

2. 研究開発の成果

3. プログラムマネジメントの状況

4. 今後の方向性

5. 参考資料

目次

1. ムーンショット目標１の概要 (社会像、体制等)

2. 研究開発の成果

3. プログラムマネジメントの状況

4. 今後の方向性

5. 参考資料

1.1 ムーンショット目標１の位置づけ

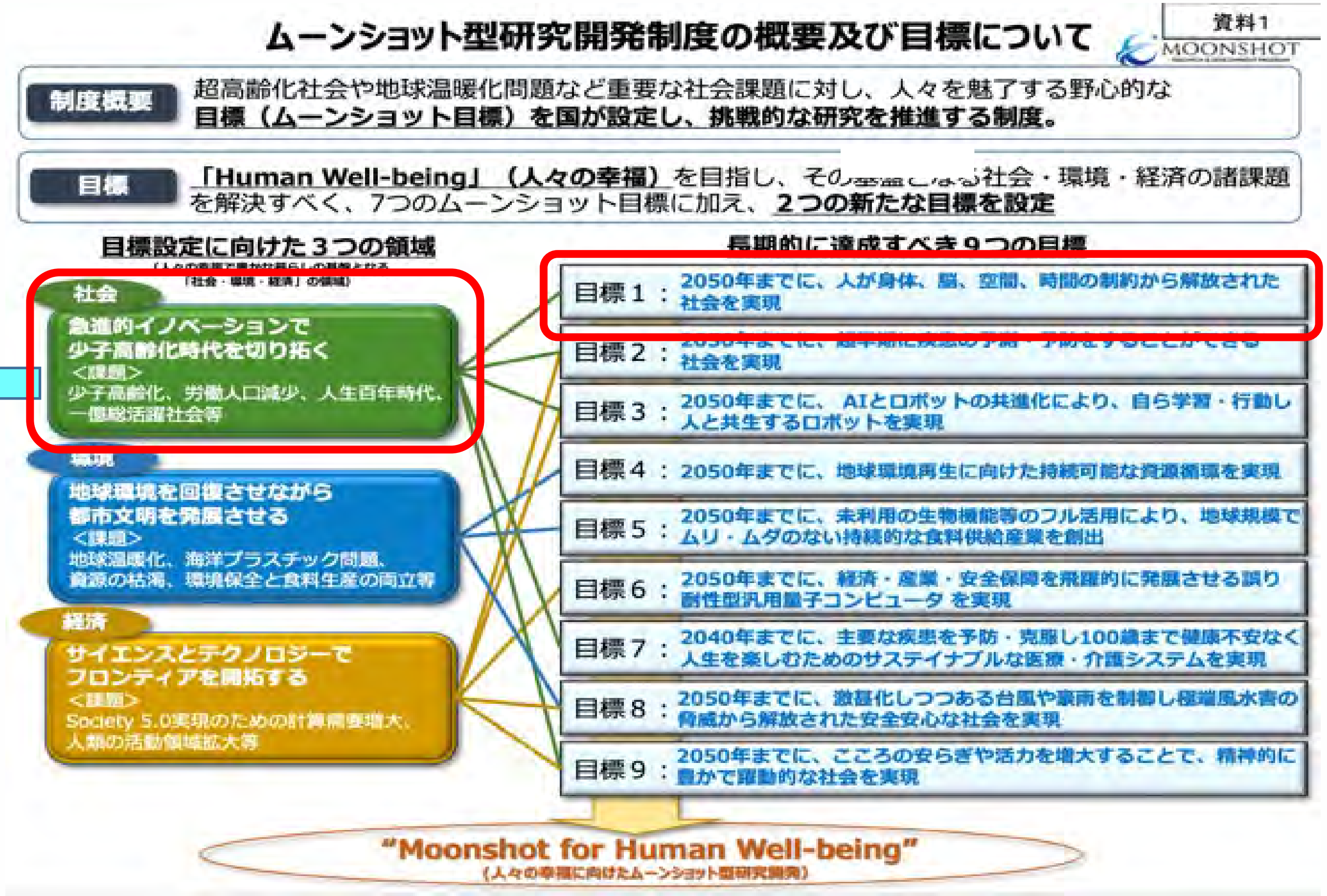
目標１の位置づけ

【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



内閣府　総合科学技術・イノベーション会議（第57回）資料
https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui057/siryo1.pdf

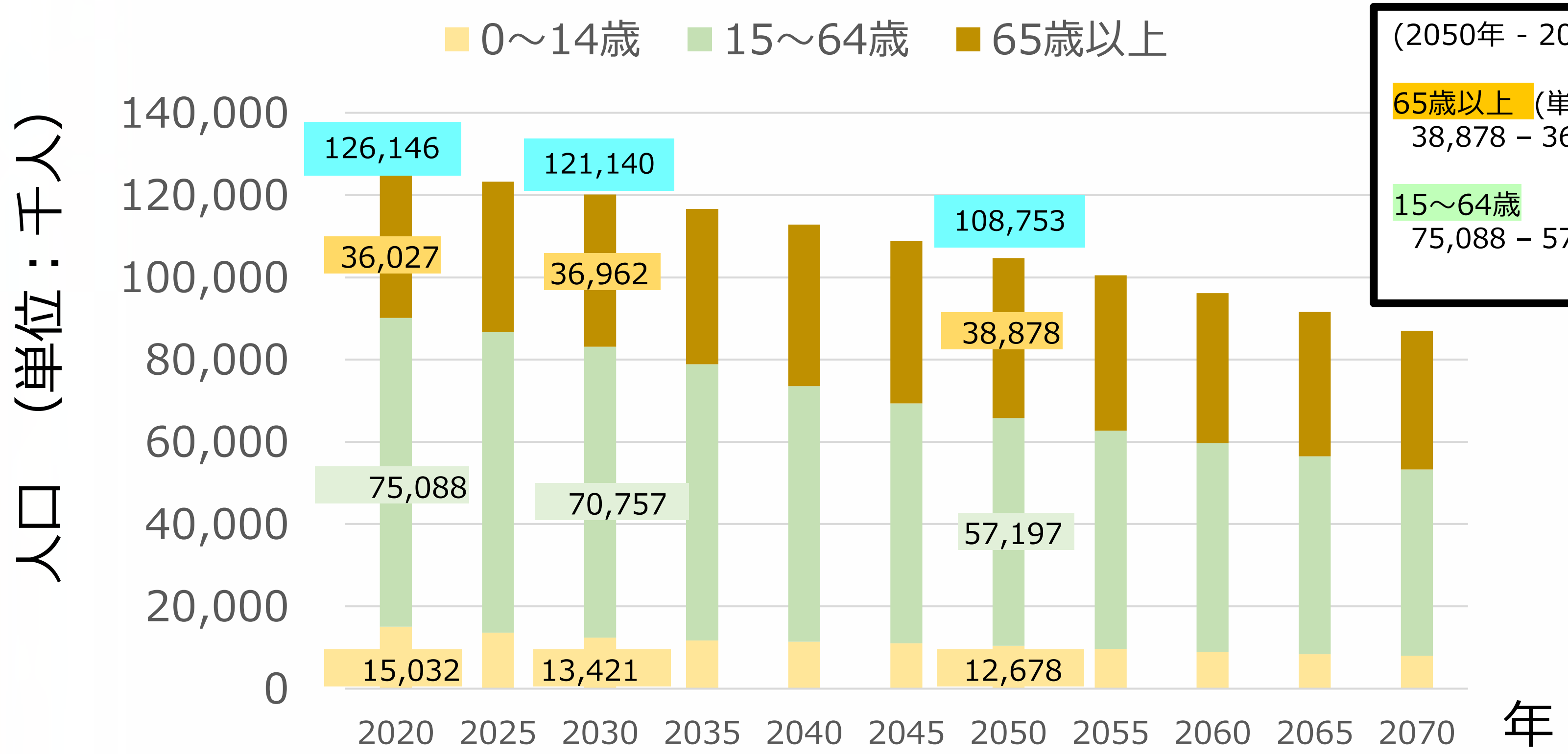
目標１は「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」を目指す。　https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/index.html

1.2 少子高齢化時代とは、どんな問題を解かないといけないのか？

2050年に労働人口は約2000万人減少、高齢者は約300万人増加

年齢3区分（0～14歳，15～64歳，65歳以上）別総人口推計

https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2023/pp_zenkoku2023.asp



(2050年 - 2020年)の人口差

65歳以上 (単位：千人)
38,878 – 36,027 = 2,851増加

15～64歳
75,088 – 57,197 = 17,891減少

→ 目標１は労働人口が大幅に減少しても生産性を向上でき、しかも高齢者が働きたいうちはいつまでも働ける、障がい者の方が働く機会を持てる社会を実現する。
そのために、誰もが自らの能力を拡張する技術革新を起こす。

1.3 技術革新によって目指す社会像

誰もが能力拡張できる複数の分身*を用いて、好きな時に仕事をするだけで生産性が向上し、子育て、余暇、やりたい社会活動など生活の豊かさも両立できる社会の実現を目指す。

【生産性向上】

- 能力拡張できる複数の分身(CA**)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関連の16市場産業***の「市場産業数」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、強靭な生産性を維持

【生活の豊かさ向上も両立】

- CAは、子育て、介護、ゆとりある余暇、好きな社会活動参画に関連した「非市場産業数」（教育、医療、訓練、社会扶助等）も増やしていき、生産性向上と生活の豊かさを両立を実現
- 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がい者などがCAを用いて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

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利用分野数= CA市場産業数＋CA非市場産業数

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

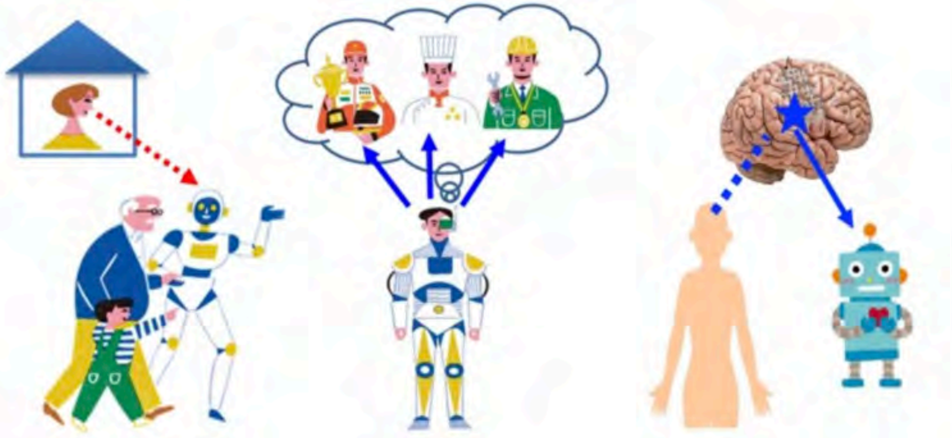
*誰もが「複数の分身」を遠隔操作できるようになる技術をサイバネティック・アバター(CA)と呼んでいる。

**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。

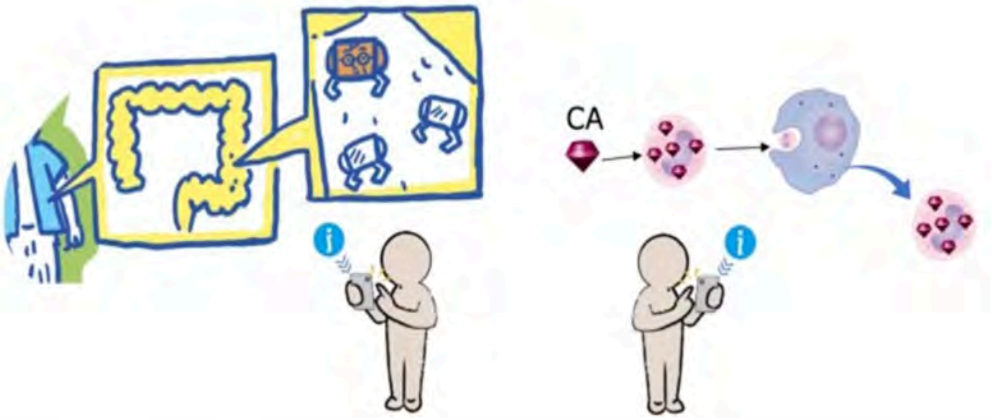
***GDP関連の16市場産業: 1. 農業、林業、漁業, 2. 鉱業, 3. 製造業, 4. 電気、ガス、水道、廃棄物サービス, 5. 建設業, 6. 卸売業, 7. 小売業, 8. 宿泊・飲食サービス業, 9. 運輸・郵便・倉庫業, 10. 情報・メディア・通信業, 11. 金融・保険サービス, 12. レンタル、雇用、不動産サービス, 13. 専門的、科学的、技術的サービス, 14. 管理およびサポートサービス, 15. 芸術・娯楽サービス, 16. その他のサービス

1.4 サイバネティック・アバター（CA）とは

- 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
  - ソシオCA：据え置きロボット、移動型ロボット、アンドロイドロボット、3Dエージェント、障がい者向けCA、複数人で遠隔操作できるCA、ブレイン・マシン・インタフェース(BMI)で思い通り操作できるCA、など
  - 体内CA：望む人は誰もが、医師らが内臓状況把握のために連携・協調して遠隔操作できる複数体CA、または医師らが体内細胞をアバター化して健康をモニターできるCA、など

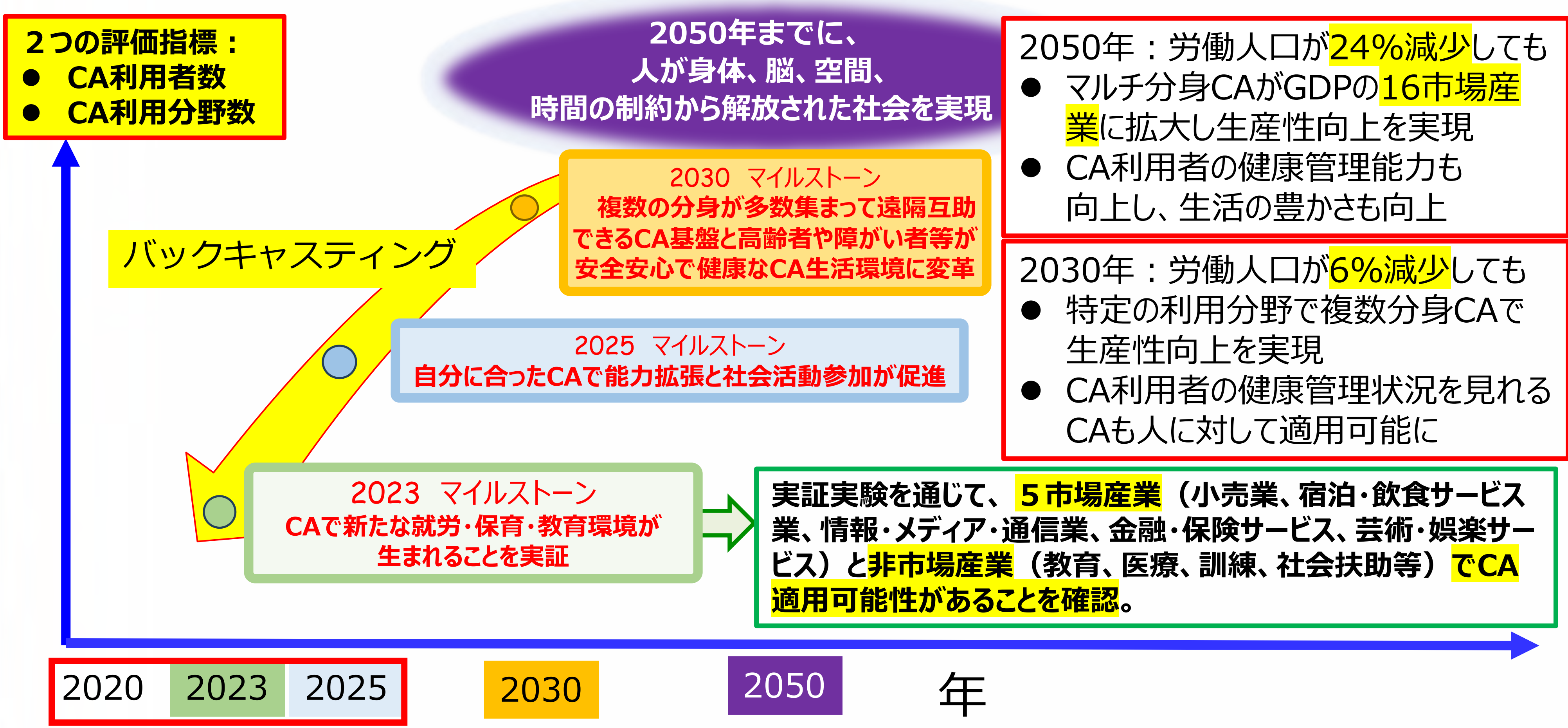


ソシオCA



体内 CA

1.5　2050年からバックキャスティングしたマイルストーン

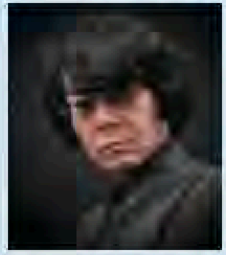


● 今後は、指標と関連性が深い年齢別潜在的社会参加率の見通しや就業率の推移等の分析で実績がある調査機関等と連携して、２つ指標で生産性向上と生活の豊かさの両立の効果を明らかにする予定。

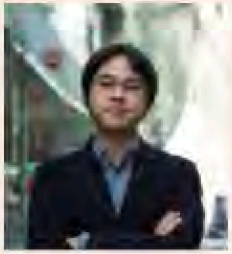
1.6 プログラム推進体制（7PM推進体制）

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				
社会課題2	強靭な生産性維持				
社会課題3	安全安心 と ゆとり				

ソシオ CA[*1]: ホスピタリティとモラルある対話・行動CA [石黒PM]



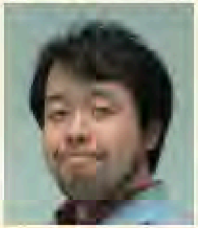
ソシオCA: 技能合体CAで新しい体験共有 [南澤PM]



ソシオCA: Trusted BMI-CAで思い通りに操作 [金井PM]

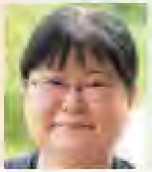
安全・安心確保基盤 [新保PM]

信頼性確保基盤 [松村PM]



体内CA[*2]:

生体内CA[新井PM]



細胞内CA[山西PM]

*1 ソシオCA：個人や集団に対してサービスを提供するCA　　*2 体内CA：生体や細胞内を遠隔から見守るCA

目次

1. ムーンショット目標１の概要 (社会像、体制等)

2. 研究開発の成果

3. プログラムマネジメントの状況

4. 今後の方向性

5. 参考資料

2. 研究開発の成果 (1) 石黒PM

世界に比べて、圧倒的に挑戦的でかつ革新的な成果

- メタバースなど世界が1人で１体のアバターを遠隔操作している時代に、１人で複数体CA(1～20体）または複数人で１体のCA(3人で１体)の遠隔操作が可能であることを実証（図１-a, b, c)
- デジタル大臣のCAでは対話だけでなく所作も自動生成可能に(図１-a)
- 100体以上が動くCA基盤を構築(図１-b)
- 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

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）

2. 研究開発の成果 (2) 南澤・金井PM

世界に比べて、圧倒的に挑戦的でかつ革新的な成果

- 重い障害を抱える人が１人で５体のCA, ２人で１体のCAを遠隔操作できる技術を開発し、５週間にわたる実証実験を実施(図２)
- 世界は開頭手術が主流だが、開頭手術不要で脳の毛細血管にカテーテルでステントを入れて詳細な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、脳活動計測を確認

図2　技能と経験の融合実験
in 分身ロボットカフェDAWN

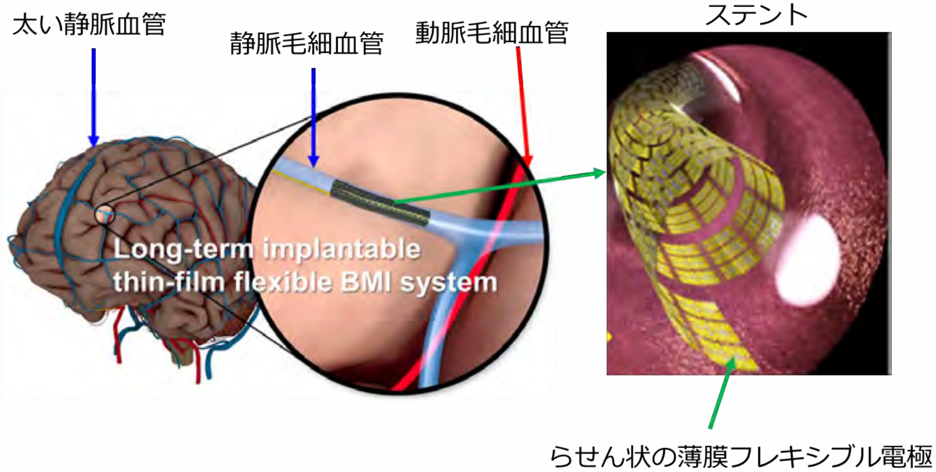


図3 極低侵襲BMIによる血管内脳波計測

目次

1. ムーンショット目標１の概要 (社会像、体制等)

2. 研究開発の成果、及びその周辺動向

3. プログラムマネジメントの状況

4. 今後の方向性

5. 参考資料

3. 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　2025年マイルストーン達成に向けて、

- プログラム体制を強化（①開頭手術のいらない極低侵襲BMI、体内CA、ELSI社会受容基盤の研究開発を追加、②国際アドバイザリーボードIABで国際化戦略を強化）
- 目標３(AIロボティクス）と連携して、国際標準化（ミドルウェア）の合同戦略立案

国際連携

- IABの意見を受けて国際化強化（海外実証実験をバルセロナを2023年度、ドバイを2024年度からスタート、国際的なサイエンティストを課題推進者に追加等）
- 国際標準化OMG(米国Object Management Group) でCAサービス表現(初稿）提案済

産業界との連携・橋渡し　企業コンソーシアム参加数、昨年度より増加

- 石黒PM:80→107会員、南澤PM:24→30企業に増加

広報・アウトリーチ活動

- 若者が考えるCA社会像を動画化,目標１のHPで公開(2023年４月）
- BMIに関してわかりやすいブレイン・テックガイドブックを公開。UNESCOで招待講演

データマネジメント　データクラウド活用例

- 石黒PM、CA対話行動データ再利用(24件)、金井PM:BMI データをScientificData 誌に掲載

目次

1. ムーンショット目標１の概要 (社会像、体制等)

2. 研究開発の成果

3. プログラムマネジメントの状況

4. 今後の方向性

5. 参考資料

4. 今後の方向性：課題と対応策

(1) 研究開発課題だけでなく、社会受容基盤2PM(新保、松村)を中心に、制度課題解決のための国内外への提言、市民や若者との意見交換の場創り等を強化

(2) ソシオCAと体内CAとが連携した、生産性向上と生活の豊かさが両立する2030年、2050年のシナリオとそれを客観的に評価できる指標の精緻化

(3) (2)の実現に向けた、プログラム連携体制の加速推進策の立案・実行

(4) 目標３と連携した国際標準化（ミドルウェア）後の生産性向上に向けた、CAとAIロボティクスのシナジーが生まれる連携可能性検討

目次

1. ムーンショット目標１の概要 (社会像、体制等)

2. 研究開発の成果

3. プログラムマネジメントの状況

4. 今後の方向性

5. 参考資料

5.1.1 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

5.1.2 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ｺﾐｭﾆｨﾃｨに発展。
- 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

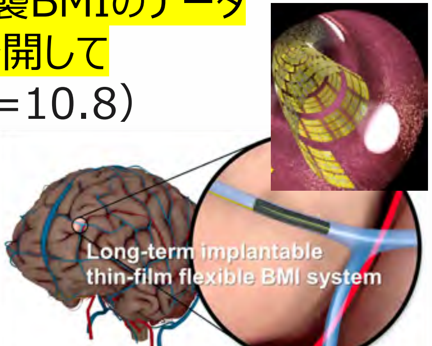
技能融合技術を田植えに応用
https://cyberneticbeing.org/activities/202205_buzz_maff_collaboration/?fbclid=IwAR3cLHepS8vWzTzYmse8sKq7faHP16w0IJUU24_eK8YUe6q5_qnaepb25U

5.1.3 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、自由に動くマーモ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侵襲ECoGデータ

予測可能性の高い意図（パネル）解読

近未来の利用が予想された道具

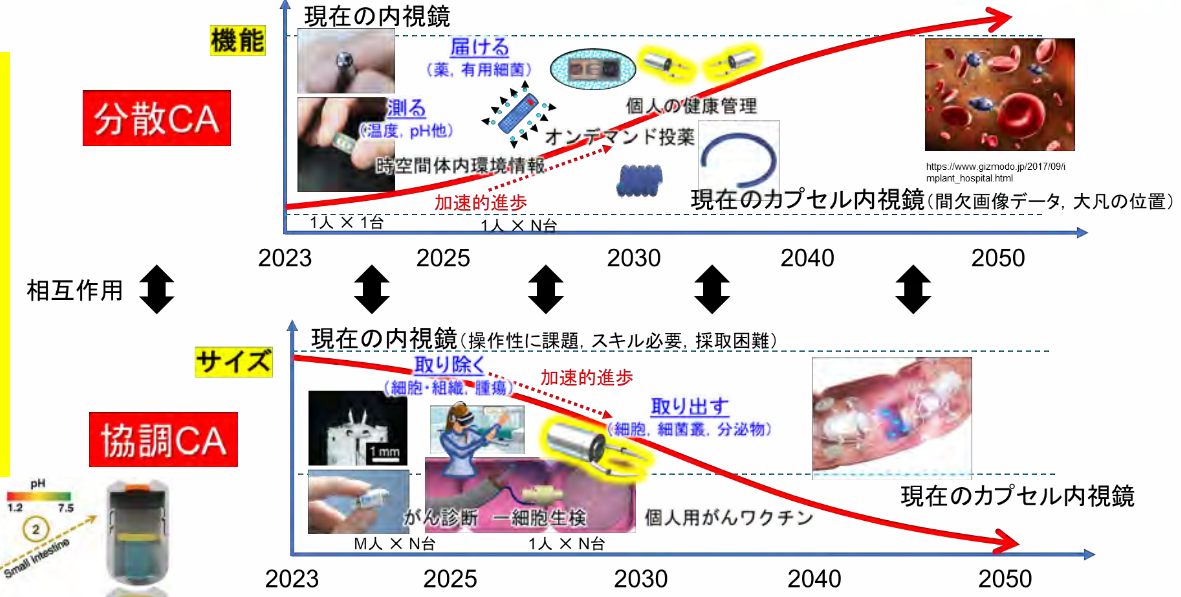
解読された意図に基づきCAを自動制御

5.1.4 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。

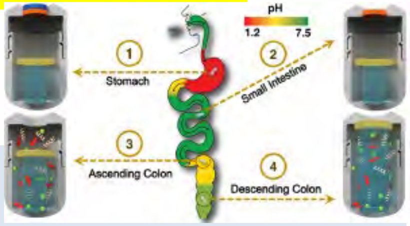
取り組み状況

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



他社国際動向

類似研究



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

・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

5.1.5 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な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。

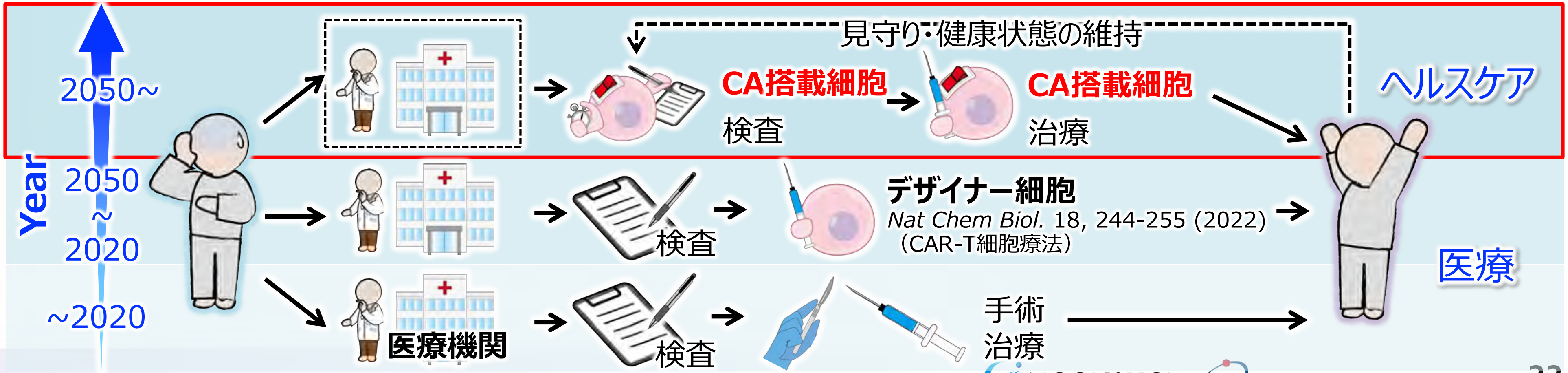
■2025年に向け■

- 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



5.1.6 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

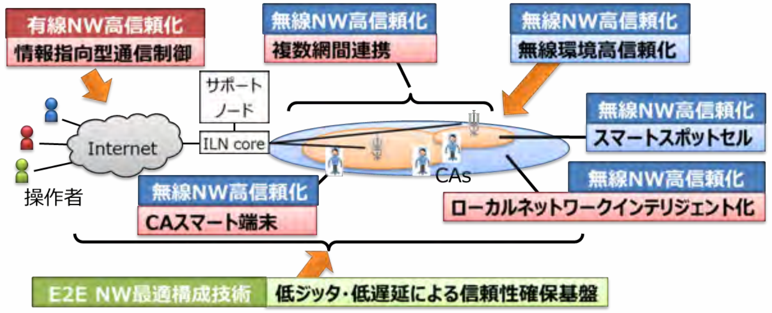
- プロジェクト連携及び実証実験マネジメント
  - ソシオCAと社会受容基盤（信頼性確保基盤、CA安全・安心確保基盤）間の連携、並びに、CA安全・安心確保基盤と松村PMが担当する信頼性確保基盤との連携における技術・制度課題を抽出し、課題解決に向けた連携体制を構築
  - 身体・脳・空間・時間の制約からの解放を目指すソシオCAと体内CAの成果を横断的に検討し、異なるCAに共通する技術的・制度的課題を明らかにする
  - 国内外の技術・制度的課題解決に向けた提言や市民の意見収集の場を提供して、「安全・安心・信頼を確保し、社会受容性を高めるCA基盤の構築
- CA安全・安心確保基盤の構築
  - CA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^3LSI課題・政策展開の研究
  - E^3LSI 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^3LSI研究会」を実施
  - 研究会の構成は、「 E^3LSI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E3LSI課題の検証

5.1.7 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.

5.2 国内外の研究開発動向と比較（市場・製品）

第1層 アプリケーション

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・ｴﾝﾀｰﾃｲﾒﾝﾄ向け家庭用ﾛﾎﾞｯﾄ）
ヒト型ロボット「オプティマス」(イーロンマスク)、「EVE」(1X Technologies)

身体の制約からの解放：
メタバース、グリー(新たな仮想生活空間)
Avatarin（Newme）、Orihime

脳の制約からの解放
ニューラリンク（侵襲、サルの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）

第2層 ミドルウェア

OMG Robotics-DTF、ISO/TC 299 (Robotics), ROS2、UNESCO
OMG：Object Management Group　DTF：Domain Task Force

第3層 コア技術

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)
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

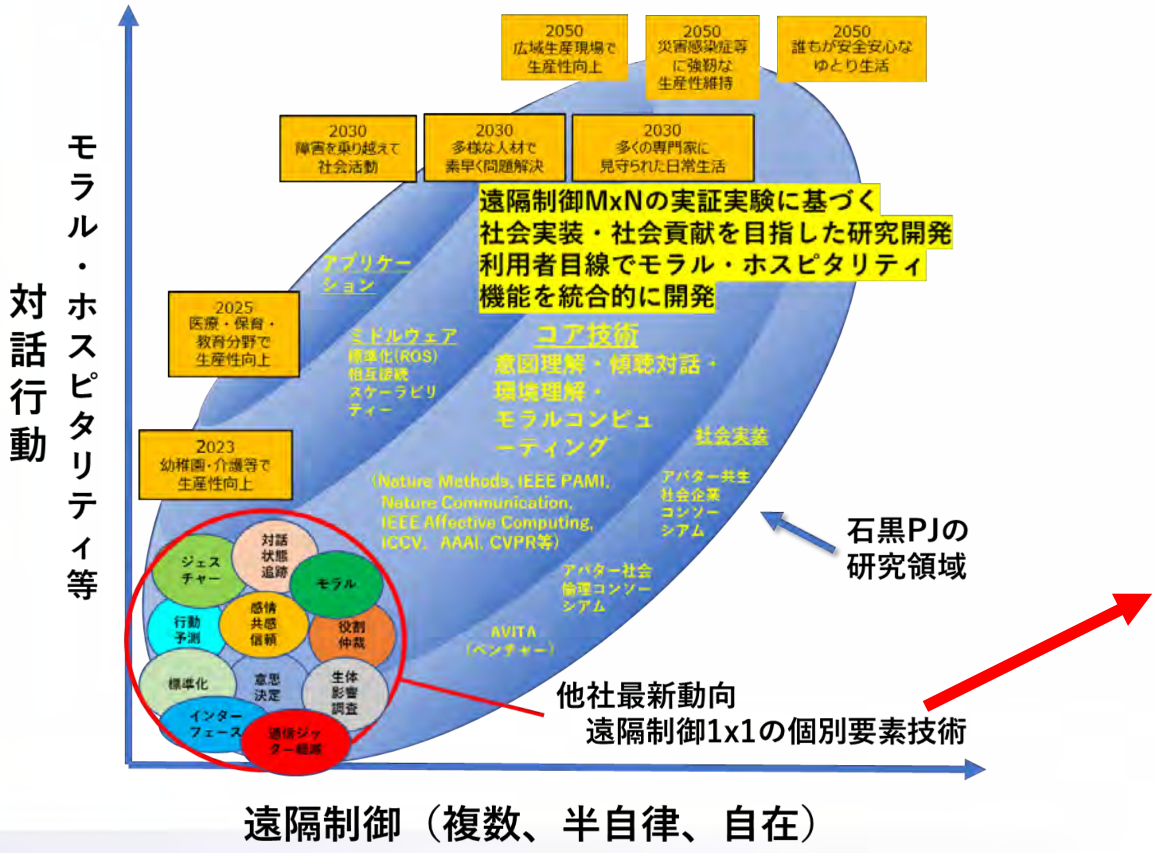
第4層 基礎研究・E³LSI課題

IEEE Neuroethics Framework

5.3.1 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

- **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。**



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」

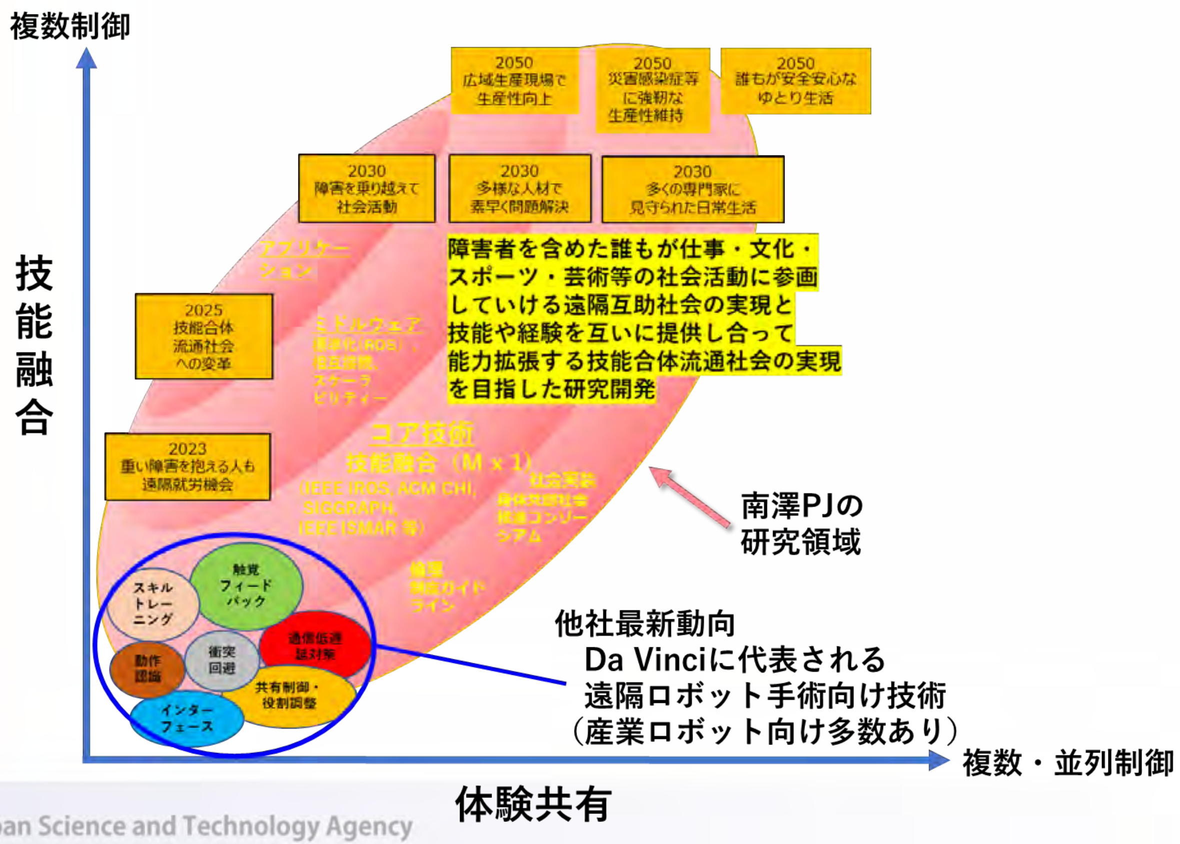
IROS2022
「会話ジェスチャー」「眼球運動」
「対話状態追跡」

HRI2021, 2022
「視線行動」
「共感共有」

5.3.2 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

- **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。**



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」

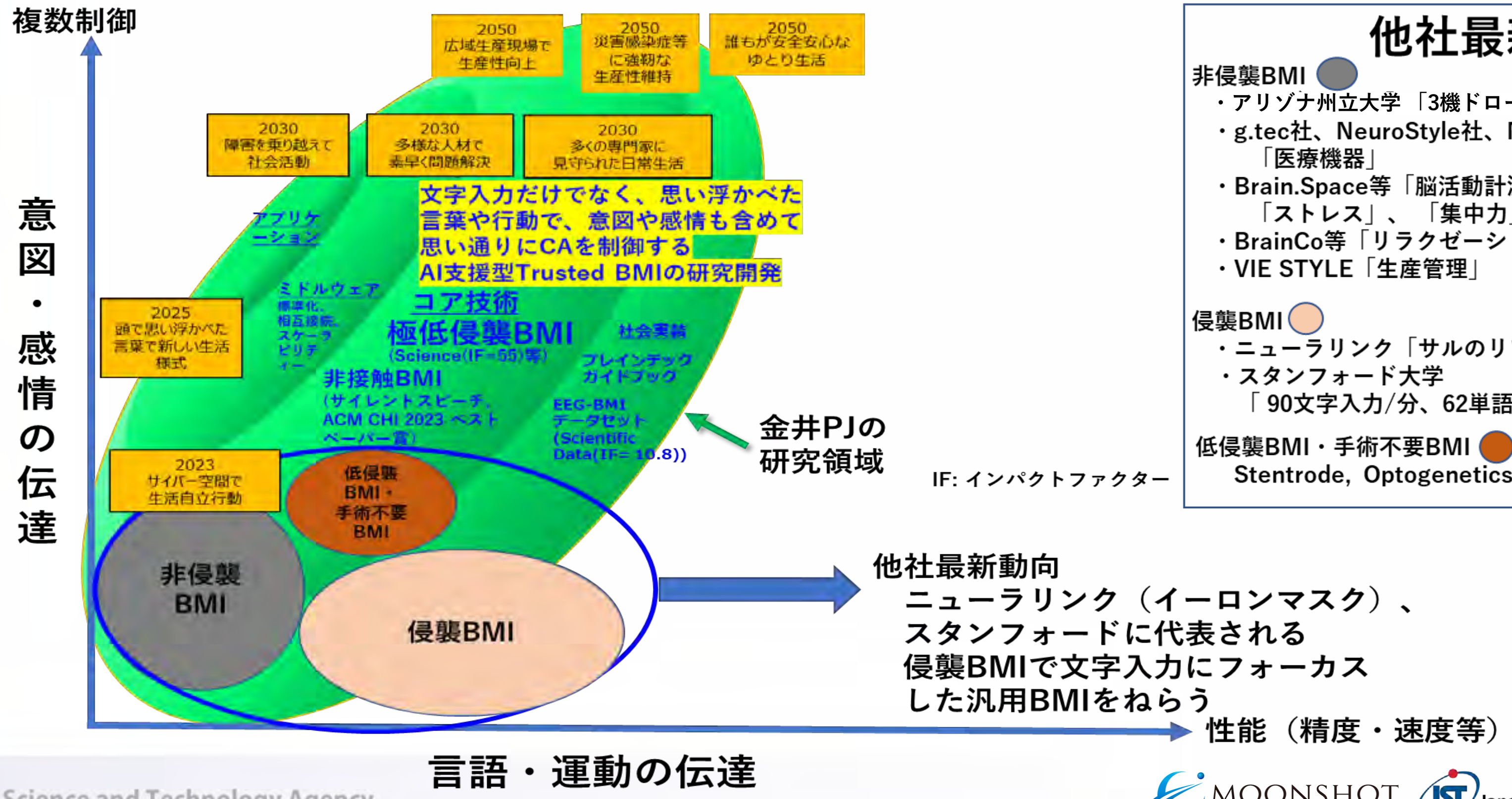
CHI2023-2021
「インターフェース」
（身体性認知、触覚共有、1xNの認識など）

HRI2021
「触覚フィードバック」（ハグロボット）

5.3.3 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

- **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ー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。**



IF: インパクトファクター

他社最新動向

非侵襲BMI
- アリゾナ州立大学 「3機ドローン制御」
- g.tec社、NeuroStyle社、Neurolutions社「医療機器」
- Brain.Space等「脳活動計測プラットフォーム」、「ストレス」、「集中力」
- BrainCo等「リラクゼーション」
- VIE STYLE「生産管理」 ほか

侵襲BMI
- ニューラリンク「サルのリアルタイムカーソル操作」
- スタンフォード大学「 90文字入力/分、62単語入力/分）」ほか

低侵襲BMI・手術不要BMI
Stentrode，Optogeneticsほか

5.4.1 JSTとドバイ未来財団（Dubai Future Foundation）との連携について

趣旨

・ ムーンショット目標1（JST）において、「2050年までに人が身体、脳、空間、時間の制約を確保された社会を実現」を掲げ研究を実施しており、そこで、①1人の障がい者でも複数のロボットアバターを使える技術や②より人間らしい動作が可能なロボットアバター等を研究開発中。

・ UAEについては、AIとロボットの研究所を創設するなど、先端技術に対しても熱心に取り組んでいる。こうした中、日UAEの研究者間の議論から、世界的なロボットアバターのムーブメントを起こすため、アバター分野で協力をしていくことにお互いの魅力を感じたことから、研究開発を進展させるため、連携を進める。

1．協力内容

① 対話アバターのUAEでの実証実験（博物館・美術館、空港等）

② 分身ロボットカフェのUAEでの実証実験（空港など）

③ 非侵襲型BMI（ブレイン・マシン・インターフェース）の実証　　等

2．両者のメリット

（日本） ドバイは1都市で、様々な背景の人の社会受容性などが検証できる。
特に、ドバイ国際空港はアジア、欧州、アフリカを結ぶ国際的なハブ空港（年間8000万人利用）大規模な実験が可能である。

（UAE側） 日本のロボットアバター製作に関わる技術力の交流

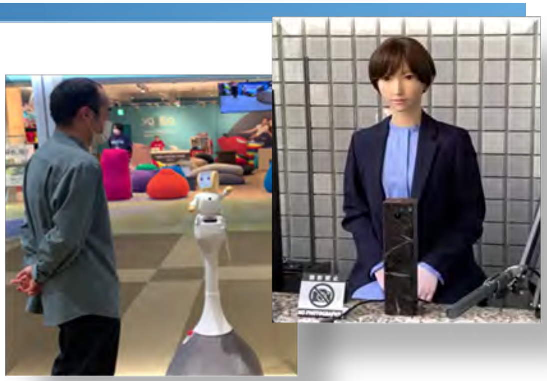
3．その他

- JSTとDubai Future FoundationでMOCを締結
- さらに実証実験を実施する研究開発機関を含む共同研究契約等の締結も進行中

5.4.2 ドバイで実施する具体的な実証実験の内容

具体的にドバイ側と調整している実証実験(初期)の内容

- 人間そっくりに開発したロボットアバターをドバイ未来研究所(DFL)の受付で動かし実際に働かせる。
- 日本から遠隔操作できるロボットアバターを、ドバイのショッピングモールで動かし、日本の製品を販売。
- ドバイ未来博物館における観光案内を実施。日本からロボットアバターを遠隔操作して、日本から観光客としてドバイ未来博物館を体験。



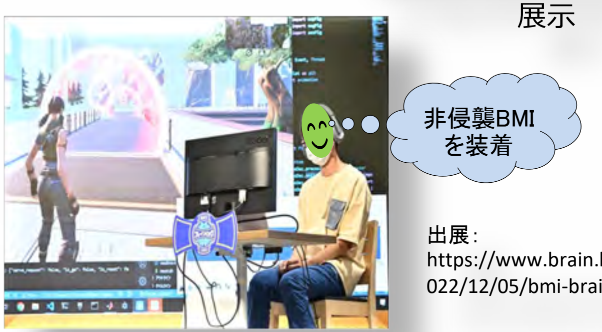
サイバネティックアバターによる受付や接客

今後さらに検討していく内容

- パイロットによる複数アバター操作及び接客業務:
  —1対N対応の実証実験で複数のアバターを自在に操る、
  —2人で力を合わせる遠隔共創作業、
  などの新たな働き方の可能性を検証(カフェを想定)
- 非侵襲のBMIによるサイバー空間上のアバター操作・スポーツ競技

「分身ロボットカフェ DAWN ver.β」
実証実験風景

G7仙台科学技術大臣会合の
展示



出展:
https://www.brain.bio.keio.ac.jp/2022/12/05/bmi-brainpic/

<参考>規模(想定)
- 実施規模:DFLおよびドバイ未来博物館(年間100万人)が対象
  空港で実施できた場合は利用客(年間8000万人)が対象

5.4.3 (参考)ドバイ未来財団(DFF: Dubai Future Foundation)について

- 2016年に、未来形成を制度化するために誕生
- **組織**

– DFF評議会会長:H.H Shaikh Hamadan bin Mohammed bin Rashid Al Maktoum
シェイク・ハムダーン・ビン・ムハンマド・ビン・ラシード・アル・マクトゥーム陛下
(ドバイ皇太子)

– DFF Deputy Managing Director:H.E Omar bin Sultan Al Olama
オマール・ビン・スルタン・アル・オラマ閣下(UAE AI大臣)

– DFF CEO:Khalfan Belhoul (MoC署名者)

DFF評議会議長
(ドバイ皇太子)

- **戦略的重点分野**

– DFFは、アクセラレーター プログラム、インキュベーター、ラボ、規制サンドボックス、ナレッジ プラットフォームを含むまとまりのあるイノベーション エコシステムを構築

– これらはすべて、現状に挑戦し、将来のリーダーとディスラプターによって強化される未来に対応した都市を設計することを目的としている。

– 大きく 5 つの戦略的ビジネス ユニットに分類
    - 未来、予測と想像(Future, Foresight & Imagination)
    - コンテンツと知識の普及(Content & Knowledge Dissemination)
    - 人材育成(Capacity Building)
    - 未来デザイン・加速
    (Future Design & Acceleration (Dubai Future Labs(ドバイ未来研究所))
    - Future Experience (Museum of the Future(ドバイ未来博物館))

DFF Deputy Managing Director
(AI大臣)