

革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）

終了時評価報告書（平成30年度）

「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム」

平成31年3月27日

P M 名：山海 嘉之

P M補佐名：神藤 富雄

1. 研究開発プログラムの全体計画

(1) 研究開発プログラムの構想

当該 ImPACT プログラムの目標は、技術的観点からは「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックスシステム」を研究開発することであり、プログラム全体の出口目標としては、我が国が直面する「重介護問題」を解決し「重介護ゼロ社会」を実現するという「Social Innovation」を達成することである。

以下に、書式項目に従って説明する。

① 解決すべき社会的課題

少子超高齢社会が直面する要介護者の重介護は、医療・介護でも解決できず、家族や社会による多大な負担（介護負担（要介護者の心的負担を含む）、社会コスト負担等）を容認しながら乗り越えざるを得ない深刻な社会的課題である。少子高齢化が進むにつれ、介護者の減少、厳しい介護が強えられる要介護者の増加や患者の増加が進み、介護する側にも介護される側にも大きな負担を強いられ、社会コストの増加も相まって、その解決は喫緊の社会的課題となっている。また、労働現場の高齢化や厳しい作業は将来的な重介護予備群の増加を招くため、その予防的措置も重要な社会的課題である。

今後さらに深刻さを増すこの「重介護」という社会的課題は、我が国のみならず、世界の未解決課題でもある。

② 上記の社会的課題を解決し、産業や社会のあり方に大きな変革をもたらす PM の構想

PM の構想は、課題先進国である我が国が直面している上記の社会的課題「重介護問題」を解決する手法・テクノロジーを創り出し、これを新産業として創出することで、上記課題を解決しながら産業育成を行い、好循環のイノベーションを推進し続けるという社会変革・産業変革の実現を目指すものである。このような社会的課題を解決し健やかで快適な生活として『重介護ゼロ社会』（PM が本概念を創造）を実現するため、要介護者の自立度を高め、さらに介護者の負担を激減させる人・ロボット・情報系の融合複合支援技術を研究開発し、社会変革・産業変革に向けた生活支援インフラ化・社会実装に挑戦する。

「重介護問題」は複合課題であり、その解決のためには、要介護者・介護者・情報・インタフェース・デバイス・システムなどの観点から複合的に革新技術の研究開発を行う必要がある。また、医療と非医療の取り扱い（その境界がグレーゾーンとして拡大）や関係省庁が関わる各種制度や社会の仕組み等の課題が複合的に混在した課題を扱う必要がある。残念ながら、従来の縦割り・積み上げ方式の技術づくりや規格・規制では解決することは困難である。そこで PM は、あるべき姿の未来社会を描き、その未来から現状を見据え、上記課題の解決に必要な革新的技術をバックキャストさせながら重介護という複合課題の解決に向けて研究開発を推進する。これによ

り、「人支援産業」「人・ロボット・情報系が融合複合した IoH/IoT (Internet of Humans/Internet of Things) 産業」などが新産業『サイバニクス産業』として創出され、『人』+『サイバー・フィジカル空間』が融合し、人とテクノロジーが共生する未来社会『Society 5.0/5.1』が実現されていくと考えている。人とモノを融合して扱う基盤技術として、人・ロボット・情報系の融合複合技術であるサイバニクス技術が拡充され、脳神経科学、生理学、IoH/IoT、ロボティクス、バイタルセンシング、AI、ビッグデータ、デジタルヘルス、国際標準化などが有機的に繋がり、従来の積み上げ方式の技術づくりの延長線では実現できない実問題の解決に向けた好循環イノベーションのスパイラルが動き始め、大きな社会変革へとつながっていく。このような取り組みの成果は、将来的に広く産業や社会に波及していくことになる。

③ 出口目標及び出口に至る将来的なシナリオ

当該 ImPACT プログラムでは、研究開発成果である革新的サイバニックスシステムを駆使することで、プログラム終了後5年を目処に我が国が直面する「重介護問題」の解決を図りながら新産業領域として段階的に研究開発成果の世界展開を実現し、当該革新技術を中心に、「重介護ゼロ社会」の実現に向けた産業変革・社会変革を実現することを出口目標としている。

プログラム期間中から成果の一部を実社会で検証しながら、基礎と実際を常にフィードバックさせることで研究開発を推進しており、既に、一部の技術成果に対しては実社会で小規模ではあるが検証・進化のためフィードバックを動かし始めている。当該プログラム終了時（2019年3月）までには、当該革新技術で構成される各種インタフェース／デバイス／システムを必要に応じて国際規格 ISO13482/13485 等に準拠させ実フィールドでの検証を行い、さらにこれらが全体統合されることにより実社会で適用可能な水準で当該革新的サイバニックスシステム（個と全体が統合されたシステム）の構築・検証を行う。このように出口目標を実現させるために検証・改善・進化ループを構成しているが、プログラム終了時までに当該革新的サイバニックスシステム（個と全体が統合されたシステム）ができあがり重介護ゼロ社会に向けて新産業創出を加速する CEJ (Cybernetics Excellence Japan：新産業創出連携体) が設立されれば、プログラム終了後もこれを活用していくことで、重介護ゼロ社会を実現することのできる「人支援産業」「人・ロボット・情報系の融合複合産業」が創出され、超高齢社会の様々な課題を好循環で解決していく超スマート社会のモデル「サイバニックスシティ」やイノベーションエコシステムの構築といったハイインパクトな産業変革・社会変革を実現することが可能となる。

出口目標の実現に関しては、上記の過程に加え、世界経済フォーラムがサンフランシスコに設立した第4次産業革命センターとの連携（コアメンバーとして参画）や各国主要機関（政府、企業、大学等）との連携を通して、当該革新的サイバニックスシステムで得られるヒトとモノの情報を IoH/IoT ビッグデータとして国際ハーモナイゼーションさせる取り組みを推進する。

上記の出口に至るシナリオをまとめるとその要点は以下のようになる。

- 1) あるべき姿の未来「重介護ゼロ社会」に立ち、その未来から現在を見通して、解決すべき課題を明確化し、これらを解決することで、上記の出口目標の達成に挑戦

→ バックキャストिंग手法で推進

2) 出口目標の達成に向けて革新的サイバニックシステム(サイバニックインタフェース／デバイス／システム)を研究開発 → 各種個別研究開発の推進

3) 実社会での検証と研究開発を同時展開させ、検証・改善・進化ループを回しながら、重介護ゼロ社会に向けて当該革新的サイバニックシステム(個と全体が統合されたシステム)を研究開発・創出

→ 研究開発と実展開の間での検証・改善・進化ループとシステム統合の推進

4) 重介護ゼロ社会の実現に向け、当該革新的サイバニックシステムをコアとして連動して機能し新産業創出を加速する CEJ (Cybernetics Excellence Japan: 新産業創出連携体)を設立 → 研究成果の社会実装を加速し好循環のイノベーションスパイラルを形成

シナリオとして実施してきたこと、および実施予定の詳細な事項については、以下に示す。

<2016 年度～2018 年度>

・プログラム期間中から成果の一部を実社会で検証しながら、基礎と実際にフィードバックさせることで研究開発を推進しており、既に、一部の技術成果に対しては実社会で小規模ではあるが検証・進化のためフィードバックを動かし始めている。当該プログラム終了時(2019 年 3 月)までには、当該革新技术で構成される各種インタフェース／デバイス／システムを必要に応じて国際規格 ISO13482/13485 等に準拠させ実フィールドでの検証を行い、さらにこれらが全体統合されることにより実社会で適用可能な水準で当該革新的サイバニックシステム(個と全体が統合されたシステム)の構築・検証を行う。

・プログラム終了時までには当該革新的サイバニックシステム(個と全体が統合されたシステム)ができあがり重介護ゼロ社会に向けて新産業創出を加速する CEJ (Cybernetics Excellence Japan: 新産業創出連携体)が設立(CEJ ファンド設立)

- ・G7 において内閣府とともに Society5.0 の取り組みを協働し、先導的に活動
- ・CEJ ファンドの取り組みとして、サイバニクス産業の拡充のための連携体制を強化
- ・つくば地区における関連研究機関の成果をサイバニクス産業と連携させ、それぞれの活動を事業化まで導くための事業プロデュース
- ・ImPACT 成果など革新的技術を実装する近未来技術社会実装事業の採択に向けた取り組みを実施し、実現
- ・サイバニクス技術の開拓を推進する若手人材を育成するための取り組みとして、卓越大学院の採択を実現し、『CYBERDYNE 学位プログラム(仮)』が準備されることとなった
- ・関係省庁の審議官、局長等との打ち合わせを通して、超スマートシティの延長線として、スーパーシティ構想の立案を支援
- ・スーパーシティ構想の担当大臣との打ち合わせを実施
- ・スーパーシティ採択に向けた準備

- ・ G20 の開催に合わせ、ImPACT 成果の世界への発信としてサイバニクス EXPO の実施に向け準備を開始

- ・ 日米欧での ImPACT 成果であるサイバニックデバイスのプラットフォーム化を推進するとともに、アジア地区における横展開を推進。これにより、日米欧そしてアジア地区(マレーシアから開始、2019 年 3 月にはタイの首相と打ち合わせ予定)におけるサイバニクス産業の拡充を開始

<2019 年度～2025 年度:ImPACT 終了後>

- ・ ImPACT 成果の本格的な社会実装に向け、研究開発成果の実用化を実施
- ・ ImPACT 成果である各種サイバニックシステム/サイバニックインタフェース/サイバニックデバイスから得られる様々な IoH/IoT 情報を集積・解析・AI 処理し、人間ではほぼ不可能な相関関係や因果関係の発見をさせ続ける(例:疾患発症の予測、重介護状態を回避する条件の特定、脳卒中・心疾患の早期発見、認知症の早期発見、長寿の条件の特定など)。
- ・ つくば地区に、筑波大学とは別の新たな人材育成機関を設立し、サイバニクス産業分野の開拓者養成をスピーディーに行えるようにする
- ・ 日米欧アジアの関連業界との連携を推進し、サイバニクス分野において、人材育成、産業創出、研究開発を推進できるよう契約等を進め、業界づくりを実施する
- ・ 世界の関連学会との連携により、定期的な当該産業領域の研究開発成果や取り組みの情報発信
- ・ 日米欧アジアの官民における各種保険システム(介護保険システム、医療保険システム、労務関連系の保険システム)と連動した革新技术と社会保障システムとの一体化・連携を推進
- ・ 金融庁との打ち合わせを行い、新産業創出分野における株式市場での空売りファンドの介入を制限する法整備に注力し、新産業が育ちやすい国として、我が国の株式市場を再整備する
- ・ IoH/IoT 化されたサイバニクス技術の社会実装を通して、人やモノや環境から得られる様々な情報を集積・解析・AI 処理する拠点を世界の連携地域に整備し、高度にデータ産業化されたサイバニクス産業へと進化させ、ロボット産業、IT 産業に続く新たな産業創出と社会への定着を図ることで、産業や社会のあり方を変革していく
- ・ CEJ により支援されたサイバニクス産業に関連するスタートアップの強化と上場支援を行い、産業基盤の強化を図る
- ・ スーパーシティ構想に連動させた取り組みを進めることで、政府の政策が力強く推進できるよう注力し、つくば市にスーパーシティ『サイバニックシティ』を構築する。この場を、重介護ゼロ社会を実現する先行モデル都市として整備し、社会課題の解決と産業創出と人材育成の同時展開に取り組み、我が国のイノベーション推進の拠点として強化する。

④ 解決のための発想・アイデア及びブレークスルーのポイント

当該プログラムでは、「無」を「有」にする研究開発の色合いが濃いため、従来技術の改良によって何%改善したかという観点ではなく、人や社会にとって新たな価値を生み出す研究開発に力点を置いている。

我が国では、超高齢社会が直面する重介護という課題を、従来の技術・手法の延長線上で規模を拡大させたり高効率化したりすることで解決しようとしてきたが、これまでの人海戦術や長時間労働での対応は限界に達しており、従来の延長線にある技術や手法における「発想の壁」を超えて課題解決に挑むことが切望されている。従来の科学技術の研究開発手法は縦割り型の手法であるが、実際に社会が抱える問題のほとんどは複合課題である。特に、人を対象とするものについては人との物理的・情動的インタラクションが生じるため、技術開発においては「人に対する物理的・情動的インタラクション」を扱うことができる技術開発、すなわち、「人・ロボット・情報系の融合複合」技術（サイバニクス技術）を基盤技術として、人とテクノロジーを身体的・神経・心理・社会的に繋ぎ機能させる技術を開発するという発想で、社会が直面する「重介護問題という壁」の突破に挑戦する。これは人の身体機能を改善・再生・拡張・補助する技術開発であり、残存機能の大幅な改善や重介護・重作業における支援技術が実現されれば、その支援技術により要介護者の自立度の向上が促進されることも期待出来る。これにより、最近重要視されている第4次産業革命のコア技術であるIoT（Internet of Things）を超えて、IoH（Internet of Humans）という概念が加わった「IoH/IoT」という発想で、「革新的サイバニクスシステム」の研究開発を推進し「重介護ゼロ社会」の実現に向けた取り組みを当該 ImPACT プログラムで実施する。

従来の延長線上の取り組みでは解決できなかった複合課題を解決するための新たな手法として用いられるサイバニクスを駆使した研究開発手法は、従来無かったものを新たに創り出すという点でその飛躍の程度は非常に大きい。超高齢社会における重介護という課題解決については世界中で取り組まれてきた課題であるが、現状では、人海戦術や従来手法の拡充で対応するなど、方法論そのものの限界に直面していたため、それを突破するためには応分の技術開発の難しさがあり、初めての取り組みの繰り返しや手探りでの取り組みでの繰り返しが続くため、難易度は非常に高い。プログラム期間中に目標とする技術の研究開発を推進し、目的達成に向けて全力を尽くすことになるが、成功を想定していても想定外の未知の要因が常に加わることが考えられるため、失敗の可能性はある。

成功のカギとなるポイント：課題解決のために発想した新たな技術が実現できるかどうかを早い段階で検証し、可能性を見出した場合には、最終出口に到達できる技術として確立するために選択と集中を繰り返すこと、課題解決のための技術開発に関して個別技術と全体システムを常に連動させながらスパイラルを構成するような研究開発ができるかどうかということ、課題解決を推進するための研究開発に必要な機関選定等が速やかに行われるかどうかということ、など。

（２）研究開発プログラムの達成目標

当該 ImPACT プログラム全体の達成目標は、技術的観点からは「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニクスシステム」を研究開発することであり、出口目標としては、我が国が直面する「重介護問題」を解決し、「重介護ゼロ社会」を実現するという「Social Innovation」をもたらすことである。

重介護ゼロ社会の実現のため、「介護する側」および「介護される側」の両観点からのアプロー

チで、当該研究開発プログラム「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム」(サイバニックインタフェース (脳神経系情報と AI ロボットや電子デバイスを繋ぐインタフェース)、サイバニックデバイス (介護される側／介護する側の機能改善・拡張および生活支援(移動／排泄／生理管理等)を実現するデバイス)、サイバニックシステム (IoH/IoT によりヒトとモノに関するビッグデータを扱う情報基盤システム・システム統合化))を研究開発し、プログラム期間中に段階的にこれらの社会実装を開始し、イノベーション推進および新産業創出・社会変革を推進するための仕組み作り (CEJ 設立)を行うことを達成目標とする。

補足：サイバニックシステムは、人・ロボット・情報系が融合複合した新領域【サイバニクス】を駆使して研究開発されたシステムであり、IoH/IoT で人とテクノロジーが脳神経系、生理系、身体系、生活環境系からスパコンまで一体的に繋がったサイバー・フィジカル空間を扱う。ヒトとモノに関するビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された情報基盤／インタラクティブシステムであり、Society5.0 のコア技術としても位置付けられる。

当該プログラム推進に関しては、常に全体を一つの塊として扱うこととなるが、ImPACT プログラムがプロジェクトに分けることを推奨しているため、以下のようにプロジェクト 1 (PJ1)、プロジェクト 2 (PJ2)、プロジェクト 3 (PJ3) に分類し (サイバニックインタフェース (PJ1)／サイバニックデバイス (PJ2) を結合した個別システムと、IoH/IoT によりヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム)、それぞれ達成目標を明記する。(具体的な取り組みについては、下記「(4) 具体的な取組」の項で述べることになっている)

【プロジェクト 1 : PJ1】 サイバニックインタフェース (脳神経系情報と AI ロボットや電子デバイスを繋ぐインタフェース) :

脳・神経・筋系情報を身体の末梢で入出力処理し、単独またはサイバニックデバイス／システムと連動して機能するインタフェースの研究開発を行う。脳神経系情報／生理情報／生活環境情報を扱う革新的サイバニックインタフェースを実現すること、および、単独で機能させる場合には必要に応じて国際規格に準拠させ社会実装可能な性能を示すことをプロジェクト期間中の目標とする。

【プロジェクト 2 : PJ2】 サイバニックデバイス (人とロボット・情報系を融合複合させる革新技術が搭載され、人の残存能力の改善・拡張／自立度向上／介護負担低減を実現するデバイス) :

人とロボット・情報系を融合複合させるサイバニクス技術を用いることで、人の残存能力の改善・拡張による自立度向上／革新的支援技術による自立度向上／介護者負担の大幅低減を実現ことができ、サイバニックインタフェースと連動または単独で機能するデバイスの研究開発を行う。当該革新的サイバニックデバイスを実現すること、個別事例において重介護状態から改善

されることを示すこと、および、必要に応じて国際規格に準拠させ社会実装可能な性能を示すことをプロジェクト期間中の目標とする。

【プロジェクト3：PJ3】 サイバニックシステム（IoH/IoTによりヒトとモノのビッグデータを集積・AI処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム）：

サイバニックインタフェース、サイバニックデバイスを用いて IoH/IoT 化の技術開発を進め、脳神経系・生理系・生活環境系からスパコンまでが一体的に繋がったサイバー・フィジカル融合空間を新たに構築し、ヒトとモノのビッグデータを集積・AI処理・管理する情報統合基盤としてサイバニックシステムの研究開発を行う。当該革新的サイバニックシステムを実現すること、取得されるデータを用いて当該システムの基本性能を基礎試験により確認すること、および、一部を実システムとして運用を開始することをプロジェクト期間中の目標とする。

全体的な達成目標を箇条書きにすると以下ようになる。

- ・ 要介護者の脳神経系・筋系の機能改善・機能再生のためのサイバニックデバイスを研究開発し、必要に応じて国際規格に準拠させ社会実装を進めること
- ・ 自立度（当該プログラムに合致した新たな自立度評価法の提案）や心理状態（当該プログラムに合致した新たな心理評価法の提案）が向上し、さらに介護者の負担（介助評価）が改善されること
- ・ 生活支援（移動／排泄／生理管理等の生活支援）のための当該革新技術により、重介護状態から改善される事例を示すこと
- ・ 当該革新技術が地域社会（医療福祉施設、家庭、訪問看護等）で活用できることを2箇所以上の異なる実フィールドで実証すること
- ・ 当初目的とした領域に対応させた個別システム（サイバニックインタフェース／サイバニックデバイスを中心）、全体を統合したサイバニックシステムを研究開発するとともに、必要に応じて国際規格（様々な数値基準で構成される ISO13485、ISO13482 等）に準拠させること
- ・ 産業変革・社会変革に繋がるイノベーション推進のための支援組織・新産業（サイバニクス産業）創出連携体としての役割を担う CEJ（Cybernetics Excellence Japan）を設立すること
- ・ 本プログラム全体を通じて、我が国の各界が今後イノベーションに取り組む際の行動モデルとして示すことに寄与すること

（3）研究開発プログラムの全体構成図

従来のボトムアップ型研究開発アプローチでは、既存マーケットが存在する場合には、より高性能にするかより安価にするかという改良を続けていくことになるが、これでは「あるべき姿」のゴールに到達できるかどうかは不明である。

当該プログラムでは、バックキャスト方式で課題を明確化し、プログラム遂行を実施している。当該プログラムでは、社会が直面する課題として、「重介護問題」を解決し「重介護ゼ

ロ社会」を実現するという「Social Innovation」を達成すべきであるとの考えから、人や社会が求める「あるべき姿」の「重介護ゼロ社会」という未来から現在を見通し、解決すべき課題を明確化し、その解決のための手法を研究開発することで目標達成に挑戦している。難題を突破する場合もあれば、他の手法で回避する場合もあり、日常的に舵取りを行う研究開発マネジメントが重要となる。目標を達成するために、様々な手法をこだわりなく適用し、異分野との融合を加速させ、新結合させながら目標達成を行いイノベーションに導く。（図 1 を参照）

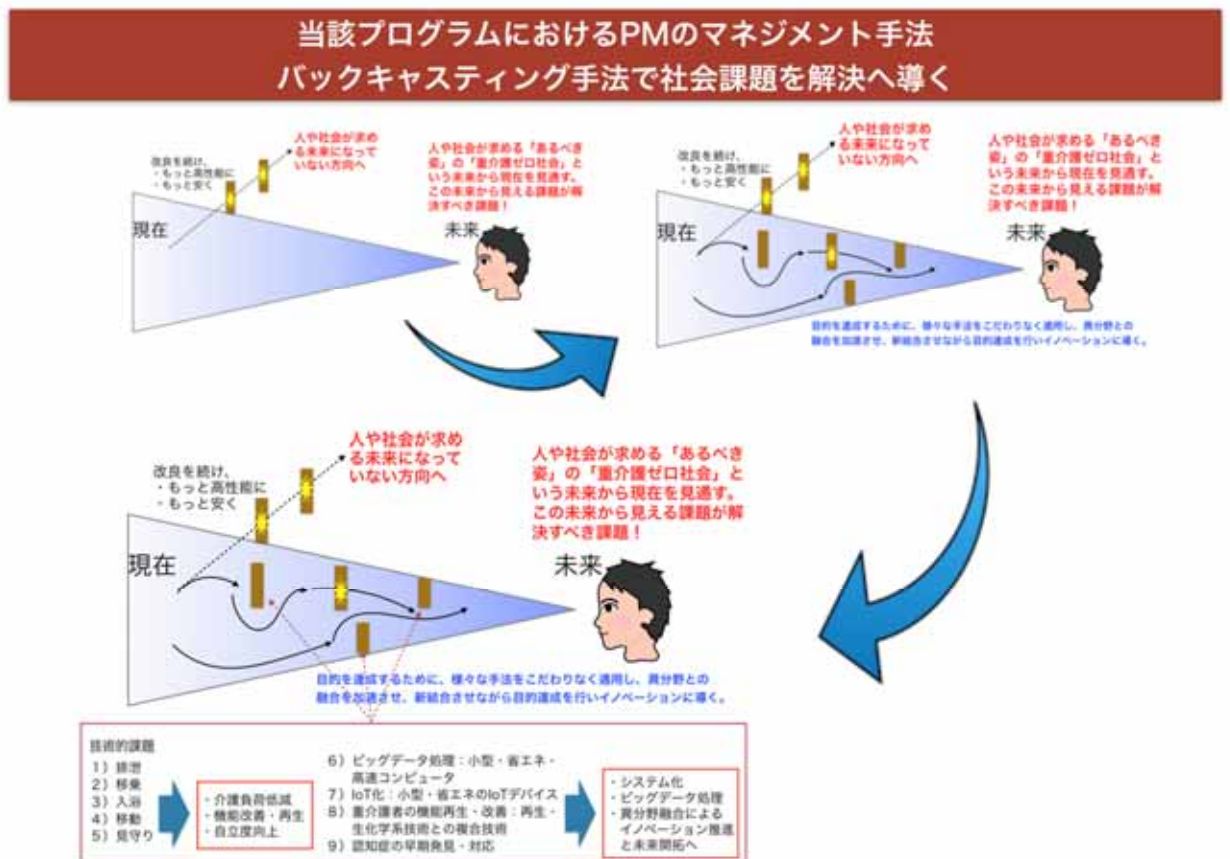


図1. PM がバックキャストで発想するプログラム全体の構成手法と課題の絞り込み

我が国が次の科学技術戦略として進めようとしている「Society5.0」とも連動させ、図2～図3に示されるような流れであるべき姿としての未来ビジョンを描き、現状の問題を解決するための技術課題を明確化し、研究開発を推進している。



図2. PM がバックキャストでイメージ化した構想図



図3. PMが描く達成目標のイメージ図

研究開発プログラムの構成と各プロジェクトとの関係：

当該プログラムにおいて、PJ1「サイバニックインタフェース」は、脳神経系、生理系、感覚系、身体系の情報の授受、提示、管理技術として機能する。PJ2「サイバニックデバイス」は、人の残存している機能の改善、機能の拡張、作業の支援技術として機能する。PJ3「サイバニックシステム」では、PJ1とPJ2がシステム統合され、人に関するビッグデータを扱う情報基盤（ICTとRT）として機能する。ImPACT推進コアによる研究実施体制として、先端技術開発機関群があり、研究開発成果の安全検証・国際標準化・実証フィールドの提供等を行う。

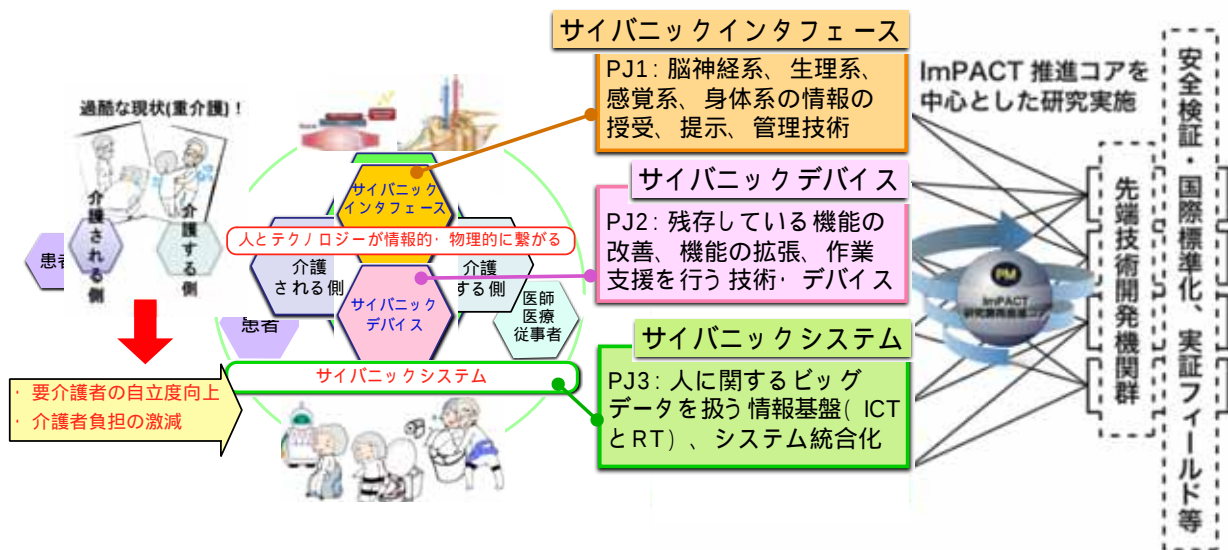


図4. 図3に基づいて構成された当該研究開発プログラムの全体構成図

(4) 具体的な取組

当該プログラムで研究開発される「重介護ゼロ社会を実現するための革新的サイバニックシステム」は、システムとしてループを描くように研究開発が推進され全体構成されるため、個別プロジェクトに分けることは難しいが、書式に従ってプロジェクトごとに分けて記載すると、上述の全体構成図のように「サイバニックインタフェース (PJ1)」と「サイバニックデバイス (PJ2)」と個別と全体を合わせて捉えた「サイバニックシステム (PJ3)」として、大きく3つのプロジェクトで構成される。段階的に実フィールドでの検証を行い、可能な限り当該プログラム期間内に具体的な取組として社会実装を推進していく。

当該プログラムの「重介護ゼロ社会を実現するための革新的サイバニックシステム」は、人の脳神経系情報とロボットが繋がり情動的・物理的インタラクションを実現させる革新技術、最先端の人-ロボット一体化技術、非侵襲バイタルセンシング技術、AI ロボット技術をコア技術として異分野との新結合を進め、以下のような先進性を有するシステムとして構成される。

- ・ IoH/IoT で人とテクノロジーを脳神経系、生理系、身体系、生活環境系からスパコンまでが一体的に繋がったシステムであり、人に関するビッグデータを集積・処理・管理する情報基盤との統合化システムである。(IoH:Internet of Humans、IoT:Internet of Things)
 - 生活支援インフラ化することで、人のデータに関する国際拠点化／国際ハーモナイゼーションを推進でき、機能改善手法の示唆、重介護状態の回避条件、脳卒中・心疾患の早期発見や予防など社会変革へと展開
- ・ 介護される側・患者の身体機能を改善・補助・拡張したりできるシステムである。
 - 医療・非医療での活用が可能な水準へと展開 (国際的水準で)

- ・厚労省や経産省が絞り込んだ要介護者が必要としている支援技術（排泄、移乗、入浴、移動、見守り）を実現するシステムであり、体系的な管理・運用が可能なシステムである。

→ 重介護者の自立度向上・機能改善、介護者の負担低減が可能

以下に、プロジェクトごとの概要と目標を記す。

① プロジェクト1：サイバニックインタフェースの研究開発

i) 研究開発の概要

介護される側（要介護者）、および、介護する側に対する生活支援（移動／排泄／生理管理等の生活支援）のため、脳・神経・筋系情報を身体の末梢で入出力処理し、単独またはサイバニックデバイス／システムと連動して機能するインタフェースの研究開発を行う。

ii) 成果目標

生活支援（移動／排泄／生理管理等の生活支援）のためのサイバニックインタフェース（脳神経系情報とAIロボットや電子デバイスを繋ぐインタフェース）を中心に、人の情報として脳神経系情報／生理情報／生活環境情報を扱う革新的サイバニックインタフェースを実現すること、および、単独で機能させる場合には必要に応じて国際規格に準拠させ社会実装可能な性能を示すことをプロジェクト期間中の目標とする。

目標達成に関しては、下記のような基準で評価を行う。

【目標達成の判断基準】

- ・ 人の意思を反映した脳・神経・筋系情報をリアルタイムで入出力処理できること
 - 健常者だけではなく、脳・神経・筋系に重度の疾患のあるALS患者などにも適用できること
- ・ 単独またはサイバニックデバイス／システムと連動して機能することができること
 - 重介護が必要とされる方の生理系を管理するためのバイタルセンシングなど

【到達すべき数値を含む国際的な安全基準・水準】

- ・ 必要に応じて、安全規格や国際規格等（様々な数値基準から構成されるISO13485、ISO13482等）に準拠させること

【研究開発事例】

- ・ 非侵襲次世代型生体電位信号計測・制御用サイバニックインタフェース
- ・ 手のひらサイズで動脈硬化度・心機能の計測が可能なバイタルセンシング用インタフェース（当該機器は医療機器としての承認が必要。）
- ・ 小型高感度の圧・音情報検出用見守り情報収集インタフェース

・高分解能・超低ノイズ・低消費電力サイバニック生体電位信号検出インタフェース(半導体モジュール)

② プロジェクト2：サイバニックデバイスの研究開発

i) 研究開発の概要

介護される側（要介護者）、および、介護する側に対する生活支援(移動／排泄／生理管理等の生活支援)のためサイバニックインタフェース／デバイスと連動または単独で機能する種々のデバイスであり、また、人の残存する能力を改善・拡張・増幅・補助するデバイスであるサイバニックデバイス（人とロボット・情報系を融合複合させる革新技术が搭載され、人の残存能力の改善・拡張／自立度向上／介護負担低減を実現するデバイス）の研究開発を行う。

ii) 成果目標

当該革新的サイバニックデバイスを実現すること、個別事例において重介護状態から改善されることを示すこと、および、必要に応じて国際規格に準拠させ社会実装可能な性能を示すことをプロジェクト期間中の目標とする。

目標達成に関しては、下記のような基準で評価を行う。

【目標達成の判断基準】

- ・ 単独またはサイバニックインタフェースと連動して機能し、要介護者、および、介護者に対する生活支援(移動／排泄等の生活支援)をすることができること
 - 介護者が要介護者を移乗介護する際の力補助・腰部負荷低減を実現する介護支援用装着型デバイス（脳・神経・筋系からの生体電位信号を検出し処理するサイバニックインタフェースと連動して機能。CE マーキング、ISO13482 の取得を予定）
 - トイレまでの移動・排泄支援を行うデバイス（人工知能、サイバニックインタフェースと連動して機能）
 - 脳・神経・筋系の残存機能を高めるためのデバイス（脳・神経・筋系からの生体電位信号を検出し処理するサイバニックインタフェースと連動して機能）

【到達すべき数値を含む国際的な安全基準・水準】

- ・ 必要に応じて、安全規格や国際規格等(様々な数値基準から構成される ISO13485、ISO13482 等)に準拠させること

【研究開発事例】

- ・ 重介護を要する小児等の歩行機能改善を可能とする HAL 下肢タイプ（2S サイズを含む）
- ・ 移動型 IoH/IoT デバイス（ロボカート）
- ・ トイレドッキング機能付き排泄支援ロボ
- ・ 介護時腰部負荷低減のための腰部装着型デバイス（HAL 腰タイプ介護支援用）

- ・要介護者（重介護者）の脳神経・筋系の残存機能を高めるための腰部装着型デバイス（HAL 腰タイプ自立支援用）
- ・サイバニックデバイス／ロボットのための通信機能付き安全・小型・高出力リチウムイオンバッテリー（世界最高のエネルギー密度、業界標準化を目指す）

③ プロジェクト3：サイバニックシステムの研究開発

i) 研究開発の概要

サイバニックインタフェース、サイバニックデバイスを用いて IoH/IoT 化の技術開発を進め、脳神経系・生理系・生活環境系からスパコンまでが一体的に繋がったサイバー・フィジカル融合空間を新たに構築し、ヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する情報統合基盤としてサイバニックシステム（IoH/IoT によりヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム）の研究開発を行う。

ii) 成果目標

当該革新的サイバニックシステムを実現すること、取得されるデータを用いて当該システムの基本性能を基礎試験により確認すること、および、一部を実システムとして運用を開始することをプロジェクト期間中の目標とする。

【研究開発事例】

- ・歩行動作統合管理 IoH/IoT システム（メディカル・ケアピット）
- ・IoH/IoT によりヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム

(5) 研究開発プログラムの全体ロードマップ

■ 全体ロードマップ H26.6.24～H30.12（主なもの）

（基礎研究開発・試作・検証・実展開がスパイラルを描くようにフィードバックされながら課題達成をくり返していくことになる）

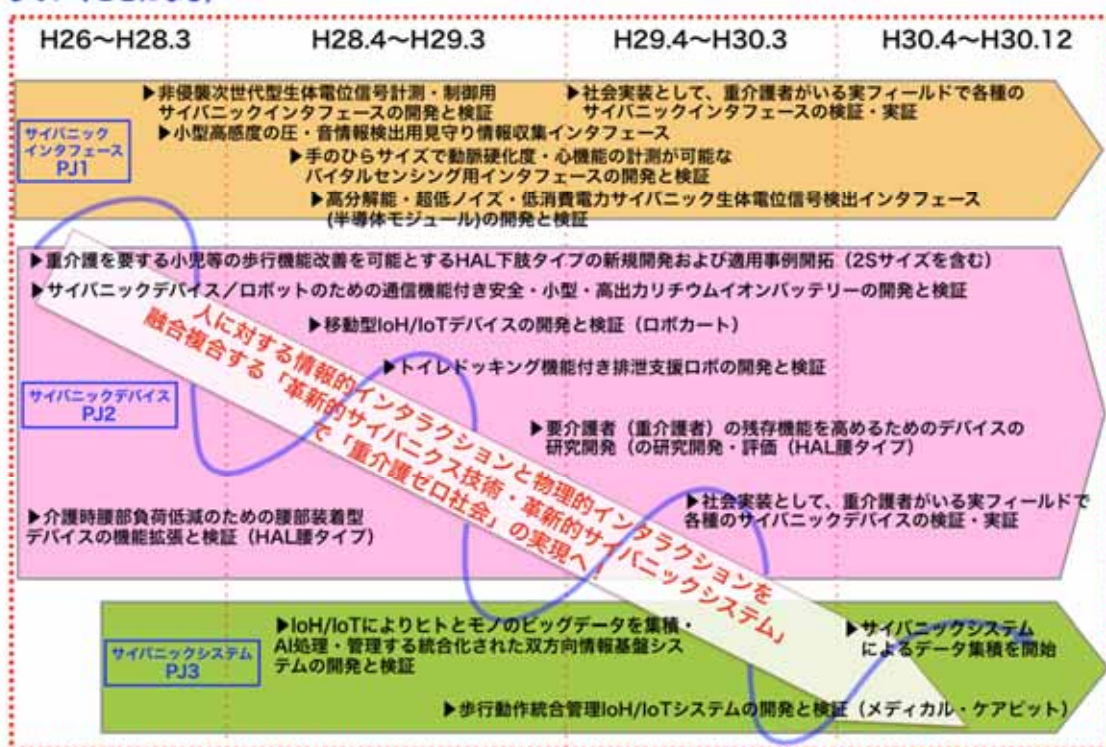


図5. プログラム全体のロードマップ

(6) 研究開発プログラムのマイルストーン

	H26. 6. 24 (PM 決定) -H27. 3	H27. 4 -H28. 3	H28. 4 -H29. 3	H29. 4 -H30. 3	H30. 4 -H30. 12
PJ1 サイバニック インタフェース 研究開発		脳神経系・筋系情報を入出力処理できる インタフェースを実現 サイバニックデバイス／システムと連動して機能 するためのインタフェースを実現 サイバニックインタフェースを研究開発し、 必要に応じて国際規格に準拠させること			
PJ2 サイバニックデバイス 研究開発		単独またはサイバニックインタフェースと連動して機能し、要介護 者、および、介護者に対する生活支援(移動／排泄／生理管理等の 生活支援)を実現			
PJ3 サイバニックシステム の研究開発	IoT/IoT によりヒトとモノの ビッグデータを集積・AI 処 理・管理する統合化された 双方向情報基盤システム: PJ1、PJ2、PJ3 が統合され 生活インフラ化されること で、人のデータに関する国 際拠点化を推進でき、機 能改善手法の示唆、重介 護状態の回避条件の特 定、疾病の予測等へと展 開)		サイバニックインタフェース、サイバニックデバイスを 用いて IoT/IoT 化を進め、これらにより得られるビッグ データを集積・解析・人工知能処理し、新しい機能改善 手法の示唆、重介護状態を回避する条件の特定等を可能 とするシステムを研究開発する 研究開発したサイバニックシステムの基本性能を基礎試 験によって確認する		

(注：研究開発成果の実フィールドでの検証は、期間内に段階的に実施)

(7) 研究開発プログラム実施期間

平成 26 年 6 月 24 日（採択日）から平成 31 年 3 月 31 日まで

2. 研究開発プロジェクト毎の実施状況及び成果

当該プログラムで研究開発される「重介護ゼロ社会を実現するための革新的サイバニックシステム」は、上述の全体構成図のように「サイバニックインタフェース（PJ1）」と「サイバニックデバイス（PJ2）」と個別と全体を合わせて捉えた「サイバニックシステム（PJ3）」として、大きく3つの

プロジェクトで構成される。重介護ゼロ社会の実現のため、「介護する側」および「介護される側」の両観点からのアプローチで各プロジェクトの目標を達成した。

(1) サイバニックインタフェースの研究開発プロジェクト

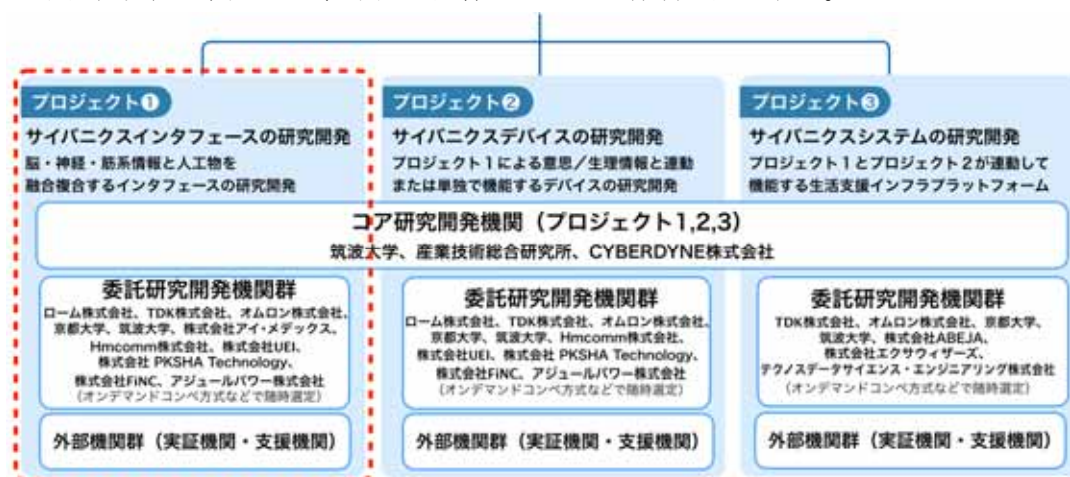
① プロジェクトの計画

脳・神経・筋系情報等を身体末梢で入出力処理し、単独またはサイバニックデバイス／システムと連動して機能するサイバニックインタフェース（脳神経系情報とAIロボットや電子デバイスを繋ぐインタフェース）を中心に、人の情報として脳神経系情報／生理情報／生活環境情報を扱う革新的サイバニックインタフェースを実現すること、および、単独で機能させる場合には必要に応じて国際規格に準拠させ社会実装可能な性能を示すことをプロジェクト期間中の目標とする。以下について研究開発を進める。

- ・非侵襲次世代型生体電位信号計測・制御用サイバニックインタフェース
- ・手のひらサイズで動脈硬化度・心機能の計測が可能なバイタルセンシング用インタフェース(当該機器は医療機器としての承認が必要。)
- ・小型高感度の圧・音情報検出用見守り情報収集インタフェース
- ・高分解能・超低ノイズ・低消費電力サイバニック生体電位信号検出インタフェース(半導体モジュール)

② プロジェクトの体制

当該プログラムにおける各プロジェクトは、下図に示されるようにプロジェクト1（PJ1）、プロジェクト2（PJ2）、プロジェクト3（PJ3）として実施される。PJ1（サイバニックインタフェースの研究開発）に関しては、下図の赤枠に示される体制で実施する。



研究開発機関：筑波大学サイバックス研究センター、産総研、CYBERDYNE、アイ・メデックス、ローム、TDK、オムロン、京都大学医学部附属病院、筑波大学附属病院、Hmcomm、UEI、PKSHA、FiNC、アジュールパワー

各研究開発機関の役割：

- ・筑波大学サイバニクス研究センター：サイバニクインタフェースの各要素技術の基礎研究開発および評価法の研究開発
 - ・産総研：生活支援ロボットの安全に関する研究開発、安全性基準適合性評価手法の研究開発
 - ・CYBERDYNE：生体電位信号を検出し活用する技術を元に、国際規格 ISO13482/ISO13485 に準拠したサイバニクインタフェースの研究開発と社会実装
 - ・アイメディクス：サイバニクインタフェースのための接触型小型電極の研究開発
 - ・ローム：サイバニク生体電位信号検出インタフェース(半導体モジュール)の研究開発
 - ・オムロン：サイバニクデバイスのためのインタフェースおよびライフセンシングインタフェースの研究開発
 - ・京都大学医学部附属病院：重介護の要因となる脳神経系疾患の治療前／治療中／治療後におけるサイバニクインタフェースの有用性・有効性を実証するための研究開発
 - ・筑波大学附属病院：重介護の要因となる脳神経系疾患の治療前／治療中／治療後におけるサイバニクインタフェースの有用性・有効性を実証するための研究開発
- ※下記の研究開発機関については、「(3)サイバニクシステムの研究開発」の要素技術としてのサイバニクインタフェースの機関として記載している。
- ・Hmcomm：音声認識技術の研究開発
 - ・UEI：サイバニクシステムのための複眼カメラでの3次元画像処理の研究開発および三次元画像のCG表現
 - ・PKSHA：深層学習技術を用いた画像認識
 - ・FiNC：深層学習技術を利用した、食事の栄養素およびカロリー管理システムの研究開発
 - ・アジュールパワー：Smart Cybernic デバイスの研究開発
- ※図中の TDK は、PJ2 サイバニクデバイスのプロジェクト体制の欄に記載。

③ プロジェクトの進捗状況、獲得成果及び目標達成への貢献度

- ・非侵襲次世代型生体電位信号計測・制御用サイバニクインタフェース

進捗状況、獲得成果に関しては、脳神経系からの情報を皮膚の上から非侵襲で検出が可能な針電極と同等の性能の超高感度センシング技術の開発に成功した。また、進行性の神経疾患患者(ALS 患者等)や将来増加が予想される高齢寝たきり予備群などの身体がピクリとも動かない重度の意思伝達困難者のコミュニケーション支援・外部機器制御が行えるサイバニクインタフェースとして研究開発することにも成功した。重介護を要する進行性の神経疾患患者(ALS 患者等)が家庭内等で広く活用できる研究開発成果として仕上げ、介護施設や患者会等での評価を経て、2018 年 9 月より市場投入が開始されたことにより、プロジェクトの「社会実装可能な性能を示す」という目標については、

達成できた。また、基礎研究開発の成果として、心機能という重要なバイタル情報である心電を衣服の上から非接触で計測することにも成功している。

本サイバニックインタフェースは、ALS 患者等とのコミュニケーションを容易におこなえるようにすることで要介護者の自立度向上、介護者の負担軽減という本プログラムの目標に貢献した。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
3	8

・バイタルセンシング用インタフェース

進捗状況、獲得成果としては、動脈硬化度の計測を手のひらサイズで実現可能なバイタルセンシングインタフェースを研究開発した。心電信号および脈波信号より動脈硬化度を計測するための装置については、医療機器化を進めるためPMDAの承認申請を行い、2018年12月10日に厚生労働省より、医療機器承認を得られた。これにより、「社会実装可能な性能を示す」という目標は達成された。従来の動脈硬化度計測は専用の設置型の医療機器で行われているが、本インタフェースは手のひらサイズで従来の計測原理を用いなくて、新たな手法として光と生体電位を用いて動脈硬化度を捉えることに成功した(薬事対応が終われば、病院と職場・家庭で等価な生体情報を扱うことが可能)。

本インタフェースは、医療機器化が達成できた段階で要介護者・在宅高齢者への適用が実現できる。重介護状態に陥る前の計測が家庭・職場で可能となることで予防的な意味で本プログラムの目標である重介護ゼロ社会に実現に大きく貢献すると考える。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
3	8

・小型高感度の圧・音情報検出用見守り情報収集インタフェース

本インタフェースは、高齢者介護施設などで入居者の状態などの生活環境情報や見守り情報を24時間体制で収集することを目的としている。

進捗状況・獲得成果に関しては、コア機能としての高感度の圧・音情報検出機能を、MEMS技術を駆使して半導体化する段階に到達し、通信機能、バッテリー等を搭載したインタフェースとして構築することを実現した(環境設置型、介護者に装着するペンダント型)。さらに、構築したインタフェースは社会実装への取り組みとして企業向けへの出荷も開始され、当該プロジェクトの「社会実装可能な性能を示す」という目標は達成できた。

本インタフェースは今後増加すると考えられる認知症患者を介護する施設等において、介護する側の過酷な管理活動を緩和するための見守り情報収集インタフェースとして、本プログラムの目標である重介護ゼロ社会の実現に大きく寄与すると考えられる。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
3	8

・サイバニック生体電位信号検出インタフェース（半導体モジュール）

当該サイバニックインタフェース（高分解能・超低ノイズ・超低消費電力サイバニック生体電位信号検出インタフェース（半導体モジュール））では、可変ゲインアンプも集積して、オフセット電圧、温度ドリフト、インピーダンス、周波数特性、ハムノイズ耐性などを考慮して生体電位信号向けに半導体回路を最適化することで、設計・解析段階では超低オフセット/超低ドリフトを実現し極微小レベルの信号計測が超低消費電力で可能であること確認できた。

今後の展開として、他のサイバニックインタフェース／デバイスと連動して機能するように、デジタル系とアナログ系で構成される当該半導体モジュールの高機能化・システム化を加速し、当該革新的サイバニックシステムと統合できるよう研究開発を進め、IoT (Internet of Things:モノのインターネット) を超えて、「IoH (Internet of Humans:ヒトのインターネット)」という「人の情報」を扱うことができる基本モジュールとして様々な展開を行って行き、要介護者（重介護者）の生体情報の長時間計測を可能にし、介護者の負担軽減に寄与する。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
1	5

④ 競合する技術・アプローチに対するベンチマーク

本項目では、競合する技術・アプローチに対するベンチマークを記載することになっているため、当該研究開発成果が独自なものであって比較できるベンチマークが見つけない場合でも、取り巻く環境・状況の説明を加えながら可能な限りベンチマークに触れて説明を行う。

脳・神経・筋系情報等を身体の末梢で入出力処理し、単独またはサイバニックデバイス／システムと連動して機能するサイバニックインタフェース（脳神経系情報とAIロボットや電子デバイスを繋ぐインタフェース）を中心に、人の情報として脳神経系情報／生理情報／生活環境情報を扱う革新的サイバニックインタフェースの研究開発を行った。

<非侵襲次世代型生体電位信号計測・制御用サイバニックインタフェース>

重介護状態の ALS 患者では運動ニューロンが活動しなくなっていくため、このような ALS 患者の神経系由来の微弱な生体電位信号を検出するためには、従来技術では皮膚に針電極を刺して信号検出を行わざるを得ないが、これでは医療検査のために行うことはできても、患者の身体を侵襲してしまうため日常的に計測を行うわけにはいかない。また、大型の医療機器となってしまうため、家庭内で日常的に用いることは不可能である。ベンチマークとしては、このような大型で侵襲型の機器となる。

当該サイバニックインタフェース（非侵襲次世代型生体電位信号計測・制御用サイバニックインタフェース）では、非侵襲で針電極に匹敵する感度で神経系由来の生体電位を検出し、単独で周辺機器と連動したりサイバニックデバイスと連動したりして機能するインタフェースを実現する。これにより、身体が全く動かなくなった場合でも、「非侵襲」で超微弱な脳神経系からの生体電位信号を検出しながら文字入力、ナースコール、機器操作などを実現することが可能となる。従来の侵襲型の針電極に匹敵する性能を、日常的に活用でき小型かつ「非侵襲」で実現できる当該サイバニックインタフェースは世界にも類はない。（参考：非侵襲、手のひらサイズ、8ch、ノイズのある実環境でも微小生体電位信号計測を実現）

＜獲得成果の革新性・独創性＞

非侵襲、手のひらサイズ、8ch、ノイズのある実環境でも微小生体電位信号計測を実現。これにより、身体が全く動かなくなった場合でも、「非侵襲」で超微弱な脳神経系からの生体電位信号を検出しながら文字入力、ナースコール、機器操作などを実現することが可能となる。従来の侵襲型の針電極に匹敵する感度での計測を実現でき、また日常用途で小型かつ「非侵襲」での計測を実現できる当該サイバニックインタフェースは世界にも類はない。

＜手のひらサイズで動脈硬化度・心機能の計測が可能なバイタルセンシング用サイバニックインタフェース＞

脳卒中は、重介護状態に陥る最大の要因である。脳卒中の原因は、小さな血液の塊である血栓が脳の血管に詰まることで生じる。血栓は、心臓が不整脈状態にある時に心臓内部で生成されやすい。動脈硬化が進むと血管が細くなり、心臓からはがれ落ちた血栓は動脈硬化した脳血管に詰まることになる。現在、動脈硬化度や心機能は、病院に設置された大型の医療機器を用いて専門家によって計測されている。高血圧患者の原因を絞り込むためには有用ではあるが、病院で専門家が用いる従来の装置では、個人が日常的に動脈硬化度や心機能を捉えることができないため早期発見や予防はほぼ不可能である。ベンチマークとしては、このような大型の医療機器が対象となる。

当該サイバニックインタフェースは、新しい原理で小型化に成功し、従来は病院でしか計測できなかった動脈硬化度・心機能という生理情報を、病院においても日常生活においても簡便にバイタル情報として取得し、IoH/IoTにより収集されるヒトとモノのビッグデータを集積・解析・AI処理・管理するサイバニックシステムと連動させ（単独でも活用可能）、重介護状態

を回避するための早期発見や予防等を促進するためのフィードバックを可能とするインタフェースとなっており、世界に類を見ないものである。

(参考：新しい計測原理での動脈硬化度、不整脈、小型計測、手のひらサイズ、IoH/IoT 化によるデータ通信)

<獲得成果の革新性・独創性>

新しい原理による動脈硬化度・心機能の計測を手のひらサイズのインタフェースで実現。病院でしか計測できなかった動脈硬化度・心機能を家庭や職場での日常生活においても簡便にバイタル情報として取得し、IoH/IoTにより収集される人とモノのビッグデータを集積・解析・AI処理・管理するサイバニックシステムと連動させ (単独でも活用可能)、重介護状態を回避するための早期発見や予防等を促進するためのフィードバックを可能とするインタフェースとなっており、世界に類を見ないものである。

<小型高感度の圧・音情報検出用見守り情報収集インタフェース>

医療機関、介護施設、自宅等において重介護状態にある患者の見守りを行う介護者・家族は、患者の叫び声、呼吸音、しゃべり声、位置（徘徊等）、姿勢（転倒等の有無）などの変化に敏感に対応するため、ピンと張り詰めた状態での見守りを 24 時間体制で毎日続けなければならない。このような過酷な管理活動を緩和するため、現在は、温度、湿度、照度、気圧、音圧、加速度等の計測を行う種々のセンサを搭載した装着型や設置型の見守り装置が使用されているが、徘徊や転倒等の有無などの検出には、音圧センサと気圧センサの精度が十分ではなく、患者の状態を把握することは困難である。ベンチマークとしては、このような従来の見守り装置が対象となる。

当該インタフェースは上記 6 種類のセンシングが可能な小型な設置型または装着型のものとして構築されており、独自の高感度・低ノイズ設計により、音圧センサ、気圧センサは世界トップレベルの精度を達成した。これらの高精度な計測技術により、当該サイバニックインタフェースは重介護状態にある患者の介護者・家族を過酷な見守り活動から解放し、さらには IoH/IoT により収集されるヒトとモノのビッグデータを集積・解析・AI 処理・管理するサイバニックシステムと連動させることで、重介護状態を回避するための早期発見や予防等を促進するためのフィードバックを可能とするインタフェースとなっており、世界に類を見ないものである。

<獲得成果の革新性・独創性>

従来の見守り装置に比べ、音圧センサと気圧センサの精度を向上させ、対象者の徘徊や転倒等の有無などの検出も可能とし、認知症患者等の介護者・家族を過酷な見守り活動から開放可能。

IoH/IoTにより収集されるヒトとモノのビッグデータを集積・解析・AI処理・管理するサイバニックシステムと連動させることで、重介護状態を回避するための早期発見や予防等を促進するためのフィードバックを可能とするインタフェースとなっており、世界に類を見ないものである。

＜高分解能・超低ノイズ・低消費電力サイバニック生体電位信号検出インタフェース(半導体モジュール)＞

人の脳神経系情報／生理情報を計測するインタフェースに搭載される半導体モジュールは、高分解能・低ノイズ・低消費電力である必要がある。現在、生体電位信号の計測が可能でかつ入手可能な高分解能、低消費電力、低ノイズであるアナログ半導体モジュール(業界トップクラス)は、24bit、実効 SNR100dB、消費電力はおおよそ数 mW レベルまで到達している。しかし、この市販の半導体モジュールのオフセット電圧や温度ドリフトが大きいいため、数 μV レベルの計測が限界である。ベンチマークとしては、上記の市販されている最先端のアナログ半導体が対象となる。

当該サイバニックインタフェース (高分解能・超低ノイズ・超低消費電力サイバニック生体電位信号検出インタフェース(半導体モジュール)) では、オフセット、超低ドリフト、高インピーダンス、周波数特性などを考慮して生体電位信号向けに半導体回路を最適化することで、設計・解析段階では超低オフセット/ドリフトを実現し $1\mu\text{V}$ 以下の信号計測を狙えることが確認できた。この技術により、重介護状態の神経筋難病患者等の極めて微弱な生体電位信号を、高分解能・超低ノイズ・超低消費電力で計測することが可能となる。日常的に超低消費電力 (世界最高レベル) で活用できる当該サイバニックインタフェースのようなデバイスは世界にも類はない。これにより、重介護状態の神経筋難病患者等の極めて微弱な生体電位信号が計測可能となる。

(研究開発成果の参考データ：24bit ADC、SNR100dB、0.5mW 以下の低省電力、5mm 角)

＜獲得成果の革新性・独創性＞

微弱な生体電位信号を長時間安定的に計測するためには、高分解能で高い SNR を有し、低消費電力であるということが重要となるが、当該インタフェースは必要条件をクリアし、 $1\mu\text{V}$ 以下の信号計測、超低オフセット/ドリフト、0.5mW 以下の低消費電力の 3 条件を世界最高水準でバランス良く実現。特に、消費電力においては世界水準を超える性能を実現している。これにより、長期間にわたりウェアラブルで微弱な生体電位情報を取得したり、埋め込み等への展開も可能となる革新性を有している。このように、生体に特化させた当該インタフェースチップは、別途準備中の超小型バッテリーとの組み合わせや、他のデバイス等への組込など独特の展開を可能とするもので、生体に特化した独創性のあるインタフェースチップとなっている。

(2) サイバニックデバイスの研究開発プロジェクト

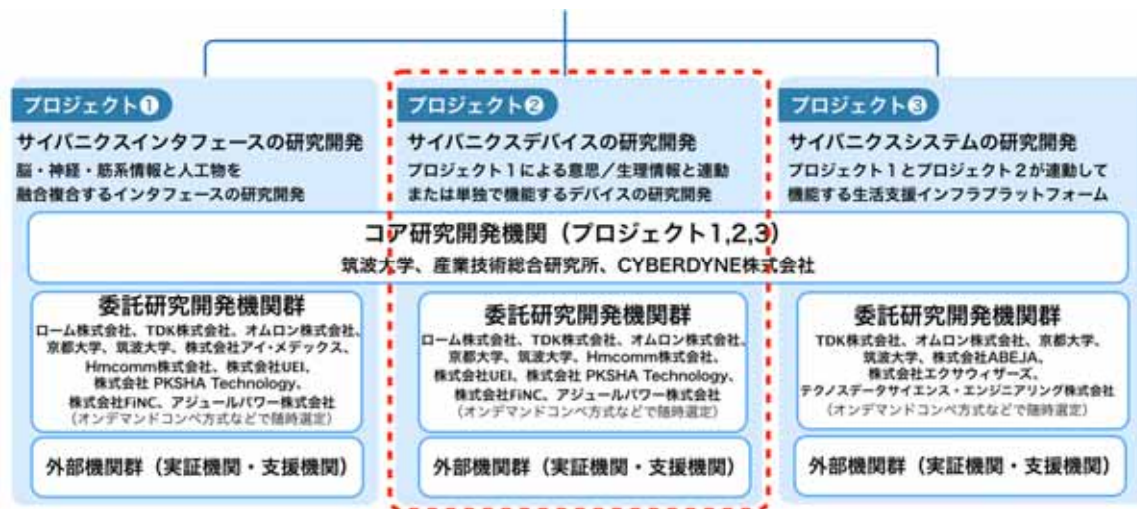
① プロジェクトの計画

人・ロボット・情報系を融合複合させるサイバニクス技術を用いることで、人の残存能力の改善・拡張による自立度向上／革新的支援技術による自立度向上／介護者負担の大幅低減を実現することができ、サイバニックインタフェース／デバイスと連動または単独で機能するサイバニックデバイス（人とロボット・情報系を融合複合させる革新技術が搭載され、人の残存能力の改善・拡張／自立度向上／介護負担低減を実現するデバイス）の研究開発を行う。また、その要素技術として重要となるバッテリーの研究開発も推進する。当該革新的サイバニックデバイスを実現すること、個別事例において重介護状態から改善されることを示すこと、および、必要に応じて国際規格に準拠させ社会実装可能な性能を示すことをプロジェクト期間中の目標とする。当該研究では、主に以下について研究開発を推進している。

- ・ 重介護を要する小児等の歩行機能改善を可能とする HAL 下肢タイプ（2S サイズを含む）
- ・ 移動型 IoH/IoT デバイス（ロボカート）
- ・ トイレドッキング機能付き排泄支援ロボ
- ・ 介護時腰部負担低減のための腰部装着型デバイス（HAL 腰タイプ介護支援用）
- ・ 脳神経・筋系の残存機能を高めるための腰部装着型デバイス（HAL 腰タイプ自立支援用）
- ・ サイバニックデバイス／ロボットのための通信機能付き安全・小型・高出力リチウムイオンバッテリー（世界最高水準のエネルギー密度、業界標準化を目指す）

② プロジェクトの体制

PJ2（サイバニックデバイスの研究開発）に関しては、下図の赤枠に示される体制で実施する。



研究開発機関：筑波大学サイバニクス研究センター、産総研、CYBERDYNE、ローム、TDK、オムロン、京都大学医学部附属病院、筑波大学附属病院、Hmcomm、UEI、PKSHA、FiNC、アジュールパワー

各研究開発機関の役割：

- ・ 筑波大学サイバニクス研究センター：サイバニックデバイスの各要素技術の基礎研究開発および評価法の研究開発

- ・産総研：生活支援ロボットの安全に関する研究開発、安全性基準適合性評価手法の研究開発
 - ・CYBERDYNE：生体電位信号を検出し活用する技術を元に、国際規格 ISO13482/ISO13485 に準拠したサイバニックデバイスの研究開発と社会実装
 - ・TDK：サイバニックデバイスのための小型バッテリーおよび電子デバイスの開発
 - ・京都大学医学部附属病院：重介護の要因となる脳神経系疾患の治療前／治療中／治療後におけるサイバニックデバイスの有用性・有効性を実証するための研究開発
 - ・筑波大学附属病院：重介護の要因となる脳神経系疾患の治療前／治療中／治療後におけるサイバニックデバイスの有用性・有効性を実証するための研究開発
- ※下記の研究開発機関の成果については、「(3)サイバニックシステムの研究開発」の要素技術としてのサイバニックインタフェースの成果として記載している。
- ・Hmcomm：音声認識技術の研究開発
 - ・UEI：サイバニックシステムのための複眼カメラでの3次元画像処理の研究開発および三次元画像のCG表現
 - ・PKSHA：深層学習技術を用いた画像認識
 - ・FiNC：深層学習技術を利用した、食事の栄養素およびカロリー管理システムの研究開発
 - ・アジュールパワー：Smart Cybernic デバイスの研究開発

※図中のローム、オムロンは、インタフェースの研究開発を通じ、デバイスの要素にもなっているため、PJ1 サイバニックインタフェースのプロジェクト体制の欄に役割を記載している。

③ プロジェクトの進捗状況、獲得成果及び目標達成への貢献度

- ・重介護を要する小児等の歩行機能改善を可能とするHAL下肢タイプ（2Sサイズを含む）
進捗状況・獲得成果に関しては、小児から適用できるよう小型化・高性能化に成功した。
すでに、安全規格や適用範囲について当局とも相談し、社会実装に向けて準備を進めた。

介護期間が長くなる小児などへの適用により、自立した生活が可能になれば、重介護ゼロ社会に実現に大きく寄与できる。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
3	7

- ・移動型 IoH/IoT デバイス（ロボカート）
進捗状況・獲得成果に関しては、転倒しやすい歩行困難者であっても歩行時の安全を確保しつつ、歩行者と一定の距離を保ちながら移動する移動支援ロボット（歩行器型）の開発に成功した。人との距離を非接触であっても一定に保つ自律走行機能、歩行中の人の動作情報

(歩容、歩数、クリアランス)を自動的に取得する機能(内蔵型モーションキャプチャ機能)の基礎システムを研究開発することができた。

このような状況であるため、当該プロジェクトの「社会実装可能な性能を示す」という目標については、各機能を引き続き試作・研究開発・統合し、自立歩行に向けた歩行訓練を行う方の歩行改善支援技術として、実フィールドでの検証を進め、プログラム期間中に、ImPACT成果として社会実装に向けた実証を行えたため、目標達成できたと考える。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
1	6

・トイレドッキング機能付き排泄支援ロボ

進捗状況・獲得成果に関しては、各モジュールの改良・試作及び検証をおこない、超小型電子技術、環境認知機能、ロボット制御機能等を統合し、プロトタイプ開発を通して基礎検証を行い、実証試験モデルが完成し、実証試験を開始した。これにより、当該プロジェクトの「社会実装可能な性能を示す」という目標については、期間中に達成できる見通しである。「支援技術による自立度の向上」、及び、「介護者負担の大幅低減」を促進する技術として、重介護ゼロ社会の実現に大きく寄与すると考える。

本デバイスは、既存のトイレ(便座)を完全に覆うことができる超高剛性薄型中抜き構造と新開発インホイールモータ機構により構成されており、歩行困難者は車椅子からトイレ(便座)に移乗することなく本デバイスに乗ったまま直接トイレ(便座)を覆うようにドッキングすることで、介助者に頼らないで排泄を行うことが可能となる。介助者に頼らないで自分で排泄し、尊厳をもって自立度が向上した生活を送り、また、車椅子から便座への移乗／便座から車椅子への移乗を狭いトイレ空間で難しい体位を取りながら行う介助作業から解放できることは、介護現場での大きな課題解決となる。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
1	6

・介護時腰部負担低減のための腰部装着型デバイス(HAL 腰タイプ介護支援用)

進捗状況・獲得成果に関しては、「介護者負担の大幅低減」を実現する技術として、介護時腰部負担低減が可能なデバイスの開発に成功し、国際規格 ISO13482 と CE マーキングの認証を取得し、当該プロジェクトの「社会実装可能な性能を示す」という目標は達成できた。社会実装への取り組みの中で、入浴介助支援への対応が必要との現場からのフィードバックがあったため、入浴介助支援のための防水機能も実現した。これにより、重介護ゼロ社会実現

のための介護者の負担軽減に大きく寄与すると考える。

当該 ImPACT が目指す好循環のイノベーションには、基礎と実用が同時展開されることで研究開発された革新的技術の改善・進化のループが回り始めることが重要であるため、当該プログラム期間中は更に研究開発・社会実装の推進に挑戦し続ける。今後の展開として、小型軽量化、高機能化（通信機能の強化、強度向上、高出力化等）、サイバニックシステムとの統合化を進めるとともに、介護現場での活用を通して本デバイスの有効性・有用性を評価し、当初目標を超えた本デバイスの社会への普及、実フィールドからのフィードバック情報をもとに更なる機能向上を図る。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
5	8

- ・ 脳神経・筋系の残存機能を高めるための腰部装着型デバイス（HAL 腰タイプ自立支援用）

この研究開発では、上記の「介護時腰部負担低減のための腰部装着型デバイス（HAL 腰タイプ）」の研究開発が大きく進展し、実現場への社会実装によるフィードバックを通じて、当初の技術展開の予想を超えて、上記デバイス（腰タイプ）が要介護者の身体機能改善にも有効である可能性があることを発見できたため、新たな課題設定を行った極めて興味深い取り組みとなっている。

プログラム期間中の中期の段階で研究課題として展開したが、進捗状況に関しては当初予定を大きく上回るペースで研究開発が進んでいる。

要介護者（重介護者）の残存機能を高め、新たに可能となった運動機能改善を促進する機能を有する「腰部装着型デバイス」の開発に成功した。すでに、評価先の施設では、寝たきり水準の高齢者への適用を通して、驚異的な結果が得られており、社会実装が開始された。

したがって、当該プロジェクトの「社会実装可能な性能を示す」という目標については、達成できた。

今後の展開として、「要介護者（重介護者）の残存機能を向上」させるため、高機能化（機能改善に伴うバイタル情報取得など）、サイバニックシステムとの統合化、運用技術の研究開発、寝たきり予防の検証、評価先の拡大を通して、社会実装の取り組みを加速する。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
1	8

- ・ サイバニックデバイス／ロボットのための通信機能付き安全・小型・高出力リチウムイオンバッテリー（世界最高のエネルギー密度、業界標準化を目指す）

進捗状況に関しては当初予定を上回るペースで研究開発が進んでいる。将来、一般にも活用できることを視野に、当該プログラムで想定しているサイバニックデバイス／ロボット用のバッテリーとするために、正極部材の選定を含むセルレベルからの設計を行うことで業界

最高の高エネルギー密度化を実現した。したがって、当該プロジェクトの「社会実装可能な性能を示す」という目標については、達成できた。

今後の展開として、さらなる高エネルギー密度化、インテリジェント化(状態管理機能、通信機能等)を進め、高出力が求められるロボットに標準搭載されるバッテリーとしてデファクト化(国際安全規格への対応も含む)を推進する。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
4	7

④ 競合する技術・アプローチに対するベンチマーク

本項目では、サイバニックインタフェースのベンチマークと同様に、当該研究開発成果が独自なものであって、比較できるベンチマークが見つけない場合でも、取り巻く環境・状況の説明を加えながら可能な限りベンチマークに触れて説明を行う。

人・ロボット・情報系を融合複合させるサイバニクス技術を用いることで、人の残存能力の改善・拡張による自立度向上／革新的支援技術による自立度向上／介護者負担の大幅低減を実現することができ、サイバニックインタフェース／デバイスと連動または単独で機能するサイバニックデバイス（人とロボット・情報系を融合複合させる革新技術が搭載され、人の残存能力の改善・拡張／自立度向上／介護負担低減を実現するデバイス）の研究開発を行っている。また、その要素技術として重要となるバッテリーの研究開発を行っている。

<HAL下肢タイプ（2Sサイズを含む）、HAL腰タイプ>

HAL下肢タイプ（2Sサイズを含む）は、通常よりも遥かに早く身体機能が低下し重介護を要する進行性の神経・筋難病疾患の方や重介護を要する小児等の身体機能・歩行機能等を機能改善・機能再生させることのできるサイバニックデバイスである。脳神経系からの動作意思を反映した微弱な生体電位信号で機能し、装着者の筋紡錘などの感覚神経を賦活化させ、神経と神経の間のシナプス結合、神経と筋肉の間のシナプス結合を強化・調整し、脳・神経・筋系疾患患者の機能改善・機能再生を促進する効果が治験によって確認され、医療機器承認、保険適用を達成している。また、腰部装着型デバイス（HAL腰タイプ）は、介護する側の腰部負担低減、および、介護される側の体幹等の運動機能改善支援・自立支援のための腰部装着型デバイスとして一つのデバイスが介護する側にも介護される側にも両方に展開することのできる画期的なサイバニックデバイスである。

これらのサイバニックデバイス「HAL」は、特許の観点からも他の追随を許さない状況（公益社団法人発明協会によって本特許が、「サイボーグ型ロボット技術の発明」として全国発

明表彰を受賞：自動車・ITなどすべての発明の中から精査され授与される表彰）であり、他に類するデバイスが存在しない独特の技術・アプローチのデバイスである。

（参考：身体機能・歩行機能等を機能改善・機能再生、医療機器承認、保険適用、介護する側の腰部負荷低減、介護される側の体幹等の運動機能改善支援・自立支援）

＜獲得成果の革新性・独創性＞

これまで機能改善・機能再生が困難であるとされてきた進行性の神経・筋難病疾患の方や重介護を要する小児等の身体機能・歩行機能等の機能改善・機能再生を可能とすることができた。 進行性の神経・筋難病疾患の方や重介護を要する小児等の身体機能・歩行機能等を機能改善・機能再生を臨床試験により実証した。装着型ロボットというものではなく、装着型サイボーグという新領域のコア技術を充実させ、フル活用することで機能改善・機能再生というサイバニクス治療を医療業界に実際展開するとともに、寝たきり予備軍の要介護者の立ち座り・歩行機能を改善することで自立度を向上させることができる当該サイバニックデバイスは世界に類を見ない。
--

＜移動型IoH/IoTデバイス（ロボカート）、トイレドッキング機能付き排泄支援ロボ＞

歩行能力の衰えた高齢者や下肢に麻痺などがある歩行困難者は、歩行時に転倒する危険性が高く、転倒による怪我がもとで自立度がさらに低下する場合があるため、杖や歩行器等の器具を用いて移動能力を補う。しかし、身体能力の衰えた歩行困難者が自力で器具を使用するため依然として転倒の危険性は高く、見守りや介護者による補助が必要となる。上記よりさらに移動能力の衰えた歩行困難者は、移動のために電動や手動の車椅子を使用する場合がある。しかし、排泄などの日常生活に必要な行為においても介助者を頼らなければならず、介助者は狭いトイレ空間で難しい体位を取りながら移乗介護を行う必要があるため、介護現場での大きな課題となっている。このように、歩行機能の衰えにより患者の自立度は著しく低下し、歩行器や、電動車椅子などを用いても介護や見守りを要する。ベンチマークとしては、このような従来の移動能力を補う器具・機器が対象となる。

移動型IoH/IoTデバイス（ロボカート）は、非接触計測による人との距離を一定に保つ自律走行機能と歩行中の人の動作情報（歩数、歩行距離等）を自動的に取得する機能（内蔵型モーションキャプチャ機能）を有し、転倒しやすい歩行困難者であっても歩行時の安全を確保することが可能となる。さらに、IoH/IoTにより収集されるヒトとモノのビッグデータを集積・解析・AI処理・管理するサイバニックシステムと連動させることで、インタラクティブなバイオフィードバックによる歩行改善支援デバイスとしても展開可能である。

トイレドッキング機能付き排泄支援ロボは、既存のトイレ（便座）を完全に覆うことができる超高剛性薄型中抜き構造と新開発インホイールモータ機構により、トイレにドッキングできる機能を有し、歩行困難者は介護者に頼らずに排泄を行うことが可能となる。

このように、当該サイバニックデバイスは、新しい計測原理および機構により、歩行困難者の移動能力を拡張し、自立度向上と介護負担低減を実現するものであり、世界に類を見ないものである。

(参考：非接触計測による人との距離を一定に保つ自律走行機能、内蔵型モーションキャプチャ機能、超高剛性薄型中抜き構造、新開発インホイールモータ機構、IoH/IoT化によるデータ通信)

<獲得成果の革新性・独創性>

既存のトイレ（便座）を完全に覆うことができる超高剛性薄型中抜き構造と新開発インホイールモータ機構により、トイレにドッキングできる機能を有し、歩行困難者は介護者に頼らずに排泄を行うことが可能となる。このような発想のデバイスは世界に類を見ない。さらに、新しい計測原理および機構により、歩行困難者の移動能力を拡張し、自立度向上と介護負担低減を実現するものであり、世界に類を見ないものである。

<サイバニックデバイス／ロボットのための通信機能付き安全・小型・高出力リチウムイオンバッテリー>

本リチウムイオンバッテリーは、高エネルギー密度化の実現（形状自由度の高いマルチタブ捲回型セル構造タイプでは世界最高レベル）、アクチュエータ用に大電流対応が可能な組電池として、また人に装着可能な安全性を有するバッテリーパックとして研究開発に成功した。バッテリーに関する安全規格については、セルおよびパックの各種安全性試験等に合格したことを確認。

また、IoT化の中で、バッテリーに対してもより高い安全性が要求される。そのため、インテリジェント機能(状態管理機能、通信機能等)を付加し、今後ロボット等に標準搭載されるバッテリー機能としてデファクト化(国際安全規格への対応も含む)を推進している。

<獲得成果の革新性・独創性>

高い容量維持率で超長寿命。また、実用面でも人と協働するロボットのアクチュエータ用バッテリーとしての安全性、メンテナンス性（状態を計測、通信し、きめ細かく管理可能）は世界最高峰。
重介護ゼロ社会に向けての人支援デバイス用バッテリーとしては、安全性を重視しつつ、容量を確保したバッテリーはなく、バッテリー内部の状態まで通信・管理可能なバッテリーシステムは独創的（多数のロボットが存在する未来社会を先取りし、効率的な運用を可能とする独創性がある）である。

（３）サイバニックシステムの研究開発プロジェクト

① プロジェクトの計画

サイバニックインタフェース、サイバニックデバイスを用いて IoH/IoT 化の技術開発を進め、脳神経系・生理系・生活環境系からスパコンまでが一体的に繋がったサイバー・フィジカル融合空間を新たに構築し、ヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する情報統合基盤としてサイバニックシステム（IoH/IoT によりヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム）の研究開発を行う。当該革新的サイバニックシステムを実現すること、

取得されるデータを用いて当該システムの基本性能を基礎試験により確認すること、および、一部を実システムとして運用を開始することをプロジェクト期間中の目標とする。当該研究では、主に以下について研究開発を推進している。

- ・歩行動作統合管理 IoH/IoT システム（メディカル・ケアピット）
- ・IoH/IoT によりヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム

② プロジェクトの体制

PJ3（サイバニックシステムの研究開発）に関しては、下図の赤枠に示される体制で実施する。



研究開発機関：筑波大学サイバニクス研究センター、産総研、CYBERDYNE、TDK、オムロン、京都大学医学部附属病院、筑波大学附属病院、ABEJA、エクサウィザーズ、テクノスデータサイエンス・エンジニアリング

各研究開発機関の役割：

- ・筑波大学サイバニクス研究センター：サイバニックシステムの各要素技術の基礎研究開発および評価法の研究開発。サイバニックインターフェース・デバイスを連動させ、IoH/IoTにより身体・脳神経系、生理、生活情報を人に関するビッグデータとして集積し、人工知能処理によるデータ解析を行う情報基盤システムに関する研究開発
- ・産総研：生活支援ロボットの安全に関する研究開発、安全性基準適合性評価手法の研究開発
- ・CYBERDYNE：生体電位信号を検出し活用する技術を元に、国際規格 ISO13482/ISO13485 に準拠したサイバニックシステムの研究開発と社会実装
- ・京都大学医学部附属病院：重介護の要因となる脳神経系疾患の治療前／治療中／治療後におけるサイバニックシステムの有用性・有効性を実証するための研究開発

- ・筑波大学附属病院：重介護の要因となる脳神経系疾患の治療前／治療中／治療後におけるサイバニックシステムの有用性・有効性を実証するための研究開発
- ・ABEJA：サイバニクスシステムのためのオンプレミス・クラウド混在型ビッグデータ AI 処理系の研究開発
- ・エクサウィザーズ：サイバニックシステム高度化のための深層学習を用いた動画行動解析基盤の研究開発
- ・テクノスデータサイエンス・エンジニアリング：サイバニックシステムのための統計処理・相関・因果関係を解析する AI 用演算サーバの研究開発

※図中のオムロン、TDK は、インタフェース、デバイスがシステムの要素にもなっているので、それぞれ PJ1 サイバニックインタフェース、PJ2 サイバニックデバイスのプロジェクト体制の欄に役割を記載している。

③ プロジェクトの進捗状況、獲得成果及び目標達成への貢献度

- ・歩行動作統合管理 IoH/IoT システム（メディカル・ケアピット）

当該システムは、重介護状態の歩行困難者（予備軍を含む）の歩行動作に伴う身体的・生理的データが計測でき、その中に入って歩行機能の改善を促進することができる歩行動作統合管理 IoH/IoT システムである。運動負荷機能付き（傾斜機能付き）トレッドミル方式で、ハーネスによる転倒防止機能・左右のバランスを保つ独立免荷機能を備え、歩行時の人の姿勢安定をリアルタイムで制御可能であり、歩行時の脚の状態を把握するためのモーションキャプチャ機能および歩容解析機能（Gait Analysis System）を有している。当該システムは、HAL 下肢タイプと同時に使用した場合には、HAL から取得したデータと当該システムで取得した身体・生理情報とを合わせてモニタリング可能なシステムである。

進捗状況に関しては、公募により当該研究開発を加速する期間が選定され、当初予定を大きく上回るペースで研究開発が進み、各メカ機構の原理確認と Gait Analysis System の基本機能を確認し、歩行動作統合管理 IoH/IoT システムとして動作およびデータ計測可能であることを確認した。また、試験モデルの実証評価を筑波大学附属病院にて開始している。したがって、当該システムを実現し、運用を開始するという目標を達成することができた。

獲得成果としては、歩行運動情報や歩容解析を可能とするだけでなく、ヒト情報に関するビッグデータを収集するプラットフォームとなり得る実システムを構築し、実証評価する段階まで研究開発運用を進捗させたことが挙げられる。これにより、総合的に機能改善の状況把握が可能となり、計測の時間短縮及び介護者・補助者の負担の大幅な削減が可能となる。

目標達成への貢献度としては、当該システムは、要介護者が歩行機能改善に向けて歩行動作を行う際、その歩容と、HAL を使用している場合は身体・生体情報を計測可能であり、ヒト情報に関するビッグデータを収集するプラットフォームと成り得る。これは、重介護状態の予防方法や疾病の早期発見のためのデータ解析の前段階として、IoH/IoT ビッグデータの収集を加速可能な点から意義深く、歩行困難者が歩行動作を行う際の介護者の負担軽減も見込める点から重要性も高い。また、当該システムを実システムとして構築し、筑波大学附属病院における実証評価を行う段階まで進捗した点から、目標達成への貢献度も高い。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時のTRL	プロジェクト終了時のTRL
1	7

・IoH/IoTによりヒトとモノのビッグデータを集積・AI処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム

サイバニックインタフェース、サイバニックデバイスをICTとRTの基盤技術を用いて統合しIoH/IoT化し、種々のデータをネットワーク環境の中でビッグデータとして扱えるようシステム化することで、生活支援インフラ化を推進する。膨大なヒューマンデータを集約し、データ間の相関関係や因果関係を小型スパコンで計算させて、人間ではほぼ不可能な相関関係や因果関係の発見をさせ続ける(例:疾患発症の予測、重介護状態を回避する条件の特定、脳卒中・心疾患の早期発見、認知症の早期発見、長寿の条件の特定など)。

本研究開発において、オンプレミス演算システムと統合クラウドシステムから構成される基礎システムを研究開発した。オンプレミス演算システムは、高度なパイプライン処理が可能な複数の演算ユニットから構成される。各演算ユニットは、生体情報を含む時系列の統計データ、音声、画像、動画などのIoH/IoTビッグデータに対し、それぞれ異なる演算処理を行い、重介護ゼロ社会に資する計算を行う。統合クラウドシステムは、複数のクラウドサーバシステムから構成され、オンプレミス演算システムの演算結果を統合・管理し、基礎システムとユーザーとのインタフェースとして機能する。

進捗状況に関しては、当初予定を大きく上回るペースで研究開発が進み、身体・脳神経系、生理、生活情報等の人に関する基礎データの収集を開始した。オンプレミス演算システムは、最大約8PFLOPS(8x1PFLOPS ハードウェアスペック、専用統計演算機能付)という最高水準の計算性能を有するシステムとして構築した。各演算ユニットのソフトウェアに関して、機関選定を行なった上で下記に示すような研究開発を進め、収集した実データの一部を統計解析し相関係数を算出する基礎試験により性能を確認し、実運用開始可能な段階まで進捗させた。

- ・サイバニックシステムのための統計処理・相関・因果関係を解析するAI用演算サーバの研究開発：
 - ・ピアソン、スピアマン、相関比、順位相関比、クラメールの5つのアルゴリズムと計量尺度/名義尺度/名義尺度の組合せにより、IoH/IoTビッグデータの各データ項目同士の相関係数を算出するプログラムを研究開発した
 - ・基礎試験により、アルゴリズムが正常に動作し、実用可能な性能を有していることを確認した
- ・音声認識技術：
 - ・要介護者の音声データから、要介護者の感情をクラス(喜怒哀平常)に分けて認識し、発話内容予測を予測して候補を提示し、発話をテキスト化する音声認識を行うプログラムを研究開発した
 - ・感情認識機能、発話内容予測、音声認識などの各機能について基礎検証を行った

・深層学習技術を用いた画像認識：

- ・画像内に写っている人物について、顔画像から7クラス(喜び、悲しみ、怒り、不快、驚き、恐怖、ニュートラル)の感情および人物同一性を認識し、全体画像から姿勢の推定も行うプログラムを研究開発した
- ・各機能について基礎検証を進め、感情認識機能は人より高い予測精度を達成した。また、高精度な顔領域検出機能および人物同一性認識機能を実現した

・サイバニックスシステム高度化のための深層学習を用いた動画行動解析基盤の研究開発：

- ・画像内に写っている人物の介護動作について、深層学習を用いたアノテーションを行うプログラムを研究開発した
- ・基礎検証により、動画から人物の姿勢や仕草が検出可能であることを確認した

・サイバニックスシステムのための複眼カメラでの3次元画像処理の研究開発および3次元画像のCG表現：

- ・ステレオカメラ画像から深度推定を行い、オブジェクトディテクション技術によって検出した物体を静止物と移動物に弁別し、移動物をマスクすることで適切な空間把握を実現するプログラムを研究開発した。
- ・基礎検証により、各機能が正常に動作することを確認した。

・食事画像から、食事を構成する材料およびその分量を認識し、食事に含まれる栄養素とカロリーを算出：

- ・入力画像内の食事画像から、食事を構成する材料およびその分量を認識し、食事に含まれる栄養素とカロリーを算出するプログラムを研究開発した
- ・基礎検証により、入力画像から代表レシピ(食材の種類、量、栄養素)を推定し、画像内の食材を検出することで、栄養価を算出する一連の機能が実現できたことを確認した

統合クラウドシステムは、商用クラウド基盤を用いて基礎システムを構築し、オンプレミス演算システムの演算結果を受け取り、ユーザーに演算結果を提供可能な基礎性能を機能を有することを確認できた。また、IoH/IoT ビッグデータを大量かつリアルタイムに処理するための基盤技術に関して、機関選定を行い、下記のような研究開発も行なった。

・サイバニックスシステムのためのオンプレミス・クラウド混在型ビッグデータ AI 処理系の研究開発：

- ・商用クラウドシステムと複数データセンターによる分散受信による IoH/IoT ビッグデータの高速保存基盤と、オンプレミス系の演算負荷に応じて、クラウド上の計算資源を適切に利用するハイブリッド処理基盤の基礎システムを研究開発した
- ・模擬環境における計算負荷試験により、オンプレミス系の計算負荷が一定値を超えた際に適切にクラウド上に負荷をオフロード可能であることを確認した。

双方向情報基盤システムの基礎システムに関して、基礎試験を終え、実運用開始可能な段階まで進捗したため、当該革新的サイバニックシステムを実現し、取得されるデータを用いて当該システムの基本性能を基礎試験により確認するという目標を達成することができた。

獲得成果としては、情報統合基盤システムの研究開発において、最大 8PFLOPS (8x1PFLOPS ハードウェアスペック、専用統計演算機能付) の演算性能を有するオンプレミス演算システムと統合クラウドシステムから構成される基礎システムを構築できたこと、および、種々の IoH/IoT ビッグデータを演算処理可能なソフトウェア群を研究開発し、基礎試験によりそれぞれの性能を確認し、実運用可能な段階まで研究開発を進捗させたことが挙げられる。

目標達成への貢献度としては、本研究開発は、種々の IoH/IoT ビッグデータをそれぞれ適切に演算処理し、重介護ゼロ社会の実現に資する計算を行うものであり、重介護状態の予防方法や疾病の早期発見のための指標の発見が期待できる点から意義深く、重要性も高い。また、基礎的なシステム構築と検証を行えた点で、目標達成への貢献度も高い。

<研究開発の進展状況>

プロジェクト開始時の T R L	プロジェクト終了時の T R L
1	5

④ 競合する技術・アプローチに対するベンチマーク

本項目では、サイバニックインタフェース／デバイスのベンチマークと同様に、当該研究開発成果が独自のものであって、比較できるベンチマークが極めて見つけにくい状況であるが、取り巻く環境・状況の説明を加えながら可能な限りベンチマークに触れて説明を行う。

<歩行動作統合管理 IoH/IoT システム（メディカル・ケアピット）>

従来のトレッドミル、免荷装置、モーションキャプチャなどの装置・機器は、それぞれ個別の目的と機能を有しているものであるため、購入して当該システムとして構成できるよう組み合わせようとしても、機能面（HAL から取得されるデータの統合管理機能を含めた機能、独立免荷機能、運動負荷機能、姿勢安定のリアルタイム制御機能等）、費用面、大きさ・重量などによる設置場所の制約の面などからも現実的ではないため、それらの装置・機器を歩行動作統合管理 IoH/IoT システムのベンチマーク対象とみなすことは困難である。

当該システムは、歩行困難者の歩行動作に伴う（HAL からの脳神経系・筋系情報も含めた）身体的・生理的データが測定でき、かつ Gait Analysis System からの情報も収集可能な統合管理システムであり、これだけの情報を収集管理可能で、かつ、ハーネスによる転倒防止機能・左右のバランスを保つ独立免荷機能を備えているにもかかわらずコンパクトな構造にまとめられているシステムは世界に類を見ないものである。

＜獲得成果の革新性・独創性＞

当該システムにより、歩行機能に障害がある方の機能改善治療中の脳神経系・身体系に由来する歩行機能情報・生理情報を取得・管理すること、さらに患者・歩行機能障害者の機能改善の状態や治療・介入の効果等によりどのように身体機能が改善しているかなどを知ること、また治療中の患者のサポートを行う作業量を大幅に低減できることなどが可能となり、IoH/IoT 化された当該システムから得られる人のビッグデータを取得・統合管理する上でのプラットフォームに成り得るものであり、革新的なシステムである。

また、当該システムには、歩行困難者が歩行機能獲得に向けて歩行動作を行う際に必要な、トレッドミル機能と左右独立免荷機能を有し、人的な補助を大きく低減できるだけでなく、病名や症状や個人差等に伴う様々な IoH/IoT ビッグデータの集積・解析・AI 処理等に繋がる独特のプラットフォームとなっており、このようなシステムは世界に類がない。

＜IoH/IoT によりヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された双方向情報基盤システム＞

医療・ヘルスケア分野において、ICT、ビッグデータ、人工知能(AI)を最大限活用した治療支援への活用、健康医療情報・データ分析、健康医療サービス支援、創薬支援など、様々な試みが盛んになってきている。これらをベンチマーク対象と考えることもできるが、当該システムは、サイバニックインターフェース・デバイスを連動させ、IoH/IoT により、これまで取得が困難であった人に関する身体・脳神経系情報（サイバニックインタフェースや HAL 下肢タイプ等によって取得できる人体内外の生体情報）をはじめ、生理、生活情報をビッグデータとして集積できることが大きな特徴であり、また、集積したデータをスパコンで解析・処理し、人間では発見がほぼ不可能な相関関係や因果関係を発見させ続けることが可能なシステムとなっている。当該システムは、脳神経系・生理系・生活環境系からスパコンまでが一体的に繋がり、新たなサイバー・フィジカル融合空間を構築するシステムであり、世界に類を見ないものである。

＜獲得成果の革新性・独創性＞

サイバニックインターフェース・デバイスの IoH/IoT 化により、これまで取得が困難であった人に関する身体・脳神経系情報、生理情報、生活情報等を集積・解析・AI 処理を可能とするシステムとなっており、専用の超高速統計処理機能により、ヒューマンビッグデータの高度な統計演算も可能となるなど、人間では発見がほぼ不可能な多次元の各種情報間の相関関係などを計算させ、継続的に計算させ続けることが可能となる。

当該システムは、脳神経系・生理系・生活環境系からスパコンまでが一体的に繋がり、従来のサイバー・フィジカル空間での取り組みを越え、当該革新的サイバニックシステム（デバイス/インタフェース）および取得される IoH/IoT ビッグデータによって、『人』+『サイバー・フィジカル空間』が融合した新たなフレームワークが誕生するということになり、世界に類を見ない独特の成果となっている。

3. 研究開発プログラムの全体成果

（１）目標達成の状況

（目標達成できた場合の要因分析、目標達成が困難となった場合の原因分析も記載）

当該プログラムは、下記に示される ImPACT プログラムの趣旨に基づいて計画され実施されており、ImPACT の究極的な目的である「イノベーションに最も適した国」「起業、創業の精神に満ちあふれた国」の実現に資する取り組みにもなっている。また、成果事例や当該取り組みの手法等が、我が国の今後イノベーションに取り組む際の行動モデルとして示すことができるよう、様々な点に配慮しながらプログラムを推進した。

革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)の概要 – 公募要領より –

(1)目的

現在、我が国は、激しい国際競争にさらされ、また、**深刻な社会経済的課題に直面している。**

これらを克服するため、我が国の将来の産業や社会のあり方に大きな変革をもたらすことが重要であり、チャレンジ、オープン、イノベーションといった姿勢・取組を促す行動が求められている。

「革新的研究開発推進プログラム」(以下「ImPACT」という。)は、その具体的な行動の一つであり、**研究開発現場のマインドセットの変換、内向き志向からチャレンジ精神への大転換、自前主義からオープンイノベーションへの転換を目的とした「実現すれば社会に変革をもたらす非連続的なイノベーションを生み出す新たな仕組み」である。**

ImPACTの究極的な目的は、「イノベーションに最も適した国」「起業、創業の精神に満ちあふれた国」の実現である。勿論これはImPACTのみで達成できるものでないことから、ImPACTで生み出す成功事例を、我が国の各界が今後イノベーションに取り組む際の行動モデルとして示すことも目指す。

【当該プ

『当該 ImPACT プログラム全体の達成目標は、技術的観点からは「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックスシステム」を研究開発することであり、出口目標としては、我が国が直面する「重介護問題」を解決し、「重介護ゼロ社会」を実現するという「Social Innovation」をもたらすことである。

重介護ゼロ社会の実現のため、「介護する側」および「介護される側」の両観点からのアプローチで、当該研究開発プログラム「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックスシステム」(サイバニックスインタフェース(脳神経系情報と AI ロボットや電子デバイスを繋ぐインタフェース)、サイバニックスデバイス(介護される側／介護する側の機能改善・拡張および生活支援(移動／排泄／生理管理等)を実現するデバイス)、サイバニックスシステム(IoH/IoTによりヒトとモノに関するビッグデータを扱う情報基盤システム・システム統合化))を研究開発し、プログラム期間中に段階的にこれらの社会実装を開始し、イノベーション推進および新産業創出・社会変革を推進するための仕組み作り(CEJ 設立)を行うことを達成目標とする。』

【研究開発プログラム全体の目標達成の状況】について

研究開発プログラムの全体に対する現時点での目標達成の見通しについては、下記(下図に全体成果の外観を示す)に示すように、当初計画に従って順調に研究開発プログラムの成果が得られてきており、さらに実証的な取り組み事例を通してエビデンスも示され、当該研究開発プログラムの

全体の目標は達成されたと考えている。



図6．プログラム全体の研究成果を俯瞰

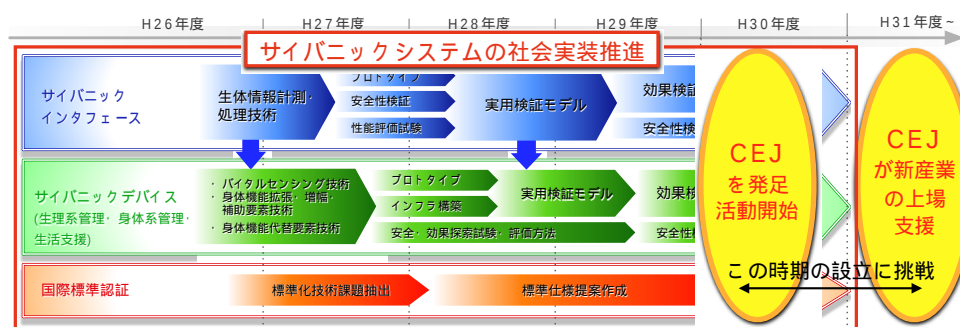


図7．研究開発の進捗の流れおよびCEJ創出に向けた取り組みを含む全体成果

研究開発の進捗の流れ、産業変革・社会変革に繋がる好循環のイノベーションスパイラルを推進するCEJ (Cybernetics Excellence Japan: 新産業創出連携体)の創出 (CEJはサイバニクス産業創出に向けた取り組みとなる行動モデルとしても位置付けられ、挑戦型企業との連携・協業・上場支援を加速させ、産業変革・社会変革を推進)

上記の「2. 研究開発プロジェクトの計画及び実施状況」では、研究開発プロジェクト毎に個別の研究開発成果のベンチマークや性能等について説明した。ここでは、上述のようにプロジェクト単位ではなく研究開発プログラムの全体成果の説明として見通しを述べることになっているため、これまでの内容で説明は足りていると思われるが、実際に適用した事例を交えて、当該研究成果が

有効に機能している状況をエビデンスとしても示しておく。研究開発されたサイバニックインタフェース／サイバニックデバイスを、個別サイバニックシステムとしてシステム化することで実際に適用できるようにし、研究開発成果が有効に機能しているエビデンスを示す事例にもなっている。ここでは、要素技術ではなく全体の成果として、「介護される側に対する機能改善・機能再生の事例」、「介護する側に対する介護負担低減（生活支援）の事例」、「個別サイバニックシステムを統合システムしたサイバニックシステムの事例」、「国内外の規格策定に向けた取り組み」、「イノベーション推進、新産業創出推進および社会変革に向けた取り組みの事例」についてそれぞれ状況を説明する。

【介護される側に対する機能改善・機能再生の事例】

・手術後に廃用が進み、立ち座りができなくなった86歳の要介護者に、腰部装着型 HAL（サイバニックデバイス）を適用した。「寝たきり」予備軍の当該高齢者は、通常はこのまま「寝たきり」になり重介護状態の要介護者となる。新たに研究開発することができた HAL 腰タイプの自立支援用をこの状況にある「寝たきり」を目の当たりにしている当該高齢者に適用したところ、脳神経系・筋系の改善が促進され、驚異的なことに、スタスタと健常者とほぼ同等の歩行機能の獲得を実現することができ、大幅に歩行機能が改善できる事例を確認した。このような事例は存在証明でもあり、インパクトのあるエビデンスが得られた世界初の取り組みとなる。

・2歳の時の交通事故により、完全脊髄損傷と診断され、ピクリとも動くことなく、生体電位信号も検出されず、すでに10年以上経過した歩行障害児に対して、新たに研究開発に成功した「小型 HAL 下肢タイプ（身長100cmから適用可能）：HAL 下肢タイプ 2S サイズ」を適用した。臨床現場の常識では手の施しようはない状況であるが、HAL 適用の際の脳運動野での脳活動現象などを考慮して活用を続けた。3時間後、驚異的なことに、脚が動き始めたことを確認することができた。完全脊髄損傷と診断され、事故以降、全く下半身を動かすことができなかった状況でなぜそのような状況が生じたのかということを検討しながら、従来不可能とされていたことを可能とすることができたことに対して当該技術の革新性を再確認するきっかけとなった。このような事例は存在証明でもありインパクトのあるエビデンスが得られた世界初の取り組みにもなっている。子供は脳の可塑性も高く、高齢者は逆に可塑性は低いと考えられるが、当該技術の誕生により、国内外に対して、小児から高齢者まで一体的に扱うプラットフォームとして展開することができるため、世界規模で、脳神経系・筋系の疾患を有する方が機能改善・機能再生していく際の様々な情報を集積・解析・AI処理することも可能となる。最近では、関連医学会においても機能を再生させるという「機能再生」の議論が活発化し、当該革新的サイバニックシステムと再生医療や薬剤など全く異なる異分野との連携により新たなイノベーション推進への取り組みも始まっている。

これらの成果から、小児から高齢者まで重介護状態にある人の機能改善・機能再生に伴う脳研究への貢献も可能となると考えられる。今後は、国際規格（ISO13482, IEC60601, ISO13485 等）の取得や PMDA への相談等を通じて、社会実装をさらに推進していく。

【介護する側に対する介護負担低減（生活支援）の事例】

・動脈硬化度や心機能等の生理情報の取得を可能とするバイタルセンシング用インタフェースとし

て、手のひらサイズの従来にないサイバニックインタフェースを研究開発し、試作検証、PMDA との打ち合わせを経て、IEC60601、ISO 関連規格への対応を進めながら、医療機器化を進める段階に到達した。医療機器化は、当該研究開発成果が所望の性能を有することを示すエビデンスにもなっている。医療機器化が達成できた段階で、要介護者・在宅高齢者への適用を実現する予定である。

・ トイレドッキング機能付き排泄支援／搬送支援ロボ、移動型 IoH/IoT デバイス（ロボカート）等の移動ロボット機能を有するサイバニックデバイスについては、新たに研究開発したインホイールモータによる駆動系、新たに研究開発したビジョンシステムと環境認知手法が共通技術で使われるため、プロトタイプを開発してそれぞれの基本性能を確認した。そして、これらの技術に加え通信機能を搭載した個別サイバニックシステムとして構成し、想定している実環境で試験を行った。評価者による動作評価・ビデオ撮影を行い、これをエビデンスとして基礎性能が所望の性能を有していることを関係者で共有することができた。

・ 非侵襲次世代型生体電位信号計測・制御用サイバニックインタフェース（サイバニックスイッチ）に関しては、重介護を要する重度の ALS 患者を対象に適用試験を行なった。当該インタフェースをコンピュータなどの機器に接続し、文字入力ができること、環境機器を制御できることなどの基本性能を確認するための試験を患者会・難病専門家などを交えて行った。関係者から予定通りの性能が得られたことをエビデンスとして確認した。

・ 腰部装着型 HAL に関しては、当初は介護支援用デバイスとして研究開発してきたが、プログラム等を新たに研究開発することで要介護者の自立度を向上させることが可能であることを確認するために、86歳の寝たきり状態に入る段階の高齢者に適用することで、その有効性を確認することができた（【介護される側に対する機能改善・機能再生の事例】として述べた通り）。このデバイスの当初の研究開発目的である介護負担の低減に関して有効であることについては、実フィールドの利用者からのデータ（介護職員の方で病気のために一度は退職を覚悟した方が腰部装着型の HAL を使用することによって職場復帰に成功した事例も含む）を元に確認することができた。さらに、実現場からの様々なフィードバックも参考にすることができ、防水（生活防水）機能を搭載した腰部装着型 HAL の研究開発に成功した。これにより入浴介助が可能となったため、現在、外部機関において、当該 HAL による入浴介助の有用性が高いことを確認した。

【個別サイバニックシステムを統合したサイバニックシステムの事例】

・ 歩行動作統合管理 IoH/IoT システム（メディカル・ケアピット）は、非侵襲で人の歩行動作やバイタル情報の計測に加え、アクティブに人の重心移動に介入することができる機能を有しており、これとサイバニックデバイス／システムでもある HAL を統合することにより、人の運動・生理系の情報収集および人の脳神経系・筋系に対するインタラクティブなバイオフィードバックの成立を実現させることができる。駆動系、アクティブ重心制御系の検証のため実システムを準備し、すでに実フィールドで評価を開始しており、研究開発は順調に進捗した。また、目標とする歩行動作統合管理 IoH/IoT システム（メディカル・ケアピット）の社会実装を開始した。今後は、IoH/IoT によるヒトとモノのビッグデータを集積・解析・AI 処理することができるサイバニックシステムを構築し、機能の強化を図る。

【国内外の規格策定に向けた取り組み】

一般に、革新技術の機器にはその革新性が理由となり、国際規格自体が存在しない（既存領域には国際規格が存在し、改良機能が加わっている程度であれば、既存規格が調整されることになる）。

当該プログラムで研究開発する革新的サイバニックシステム（インタフェース、デバイス）に関しては、国際規格が存在しないことが多く、特に、医療と非医療が混在するグレーゾーンに関しては、規制当局の承認・認証機関や第三者認証機関からの承認／認証が必要なものの場合は特に難しい状況になる。承認／認証を行う機関が参照すべき国際規格が準備されていないため、革新技術の社会実装が大きく阻まれてしまうことになる。このような仕組みにどのようにして対応するかによって、生み出された革新技術の社会へのゲートが開くか否かが大きく別れる。

PM は、このような状況を鑑み、我が国が世界のリーダーシップの役割を果たせるようにするにはどうすべきかを考え、PM と CYBERDYNE 社の若手研究者が国際標準化機構 ISO のエキスパートメンバー、JIS の規格策定委員となり、日常的に基礎的研究開発と国際規格化についてディスカッションを行う仕組みを準備してきた。その結果、2014 年の秋には、下記のような世界初の Cyborg-type Robot／Personal Care Robot の国際規格の策定に尽力し貢献した結果が ISO の機関誌の特集として掲載された。



図 8．国際標準化機構 ISO のエキスパートメンバーとして HAL の国際規格策定を推進
HAL：サイバニックシステム／デバイスとしての Personal Care Robot

JIS 規格は国際的には後手に回っている状況であるため、ISO の規格に合わせる形で対応せざるを得なかったが、今回、腰部装着型 HAL に関しては、ISO に先駆けて CYBERDYNE 社の提案により JIS 規格化が実現できたことは誇らしい（図 9）。現在、若手が中心となり、ISO とも JIS とも円滑に関わりながら継続的に力強く活動できる環境を企業側に構築してもらっている。様々な革新技術が適切に社会実装されるためのシナリオについて、日常的に国内外の関係者から動向等を情報収集し打ち合わせを行っており、先手先手で国際規格策定に関してアクションできるよう慎重な取り組みに注力している（重介護が関係する医療系、福祉系、保険系については、さらに複雑な仕組みをマネジメントしなければならない）。

イノベーション推進には、技術だけではなく、社会の様々な仕組みへの対応や変革をセットで考え、行動していかなければならない。

装着型ロボットの性能評価
JIS 規格策定を主導！
(JIS B 8456-1)

HAL 下肢タイプ
の国際規格化を主導後、
さらに、

HAL 腰タイプ
の国際規格化を提案・主導

介護する側も：介護支援
介護される側も：自立支援

装着型ロボットの性能評価に関する規格 日本が世界に先駆け制定、ISOでの審議も始動

日経Roboticsより抜粋(2017年11月号)

CYBERDYNEやATOUN (旧アタテイプリング)といった企業が手掛ける装着型ロボットのパワーアシストスーツ。重い荷物を運ぶ運送業や物流業、建設会社や介護などの現場で導入が進みつつある¹⁾。この性能基準について世界初の規格がこのほど固まった。腰の動作を支援するタイプのアシストスーツに関するもので、2017年10月に日本のJIS規格「JIS B 8456-1」として発行される²⁾。

アシストスーツは世界的にも日本メーカーが先行していることもあり、ISOなどの国際規格に先んじて国内向けのJISが発行した。今後、ISO化することを視野にISOのロボット関連の「TC 299」内の「WG4」で今回の規格内容を提案中。将来的にサービスロボットの性能に関する国際規格「ISO 18646」の「新Part」として策定される見込み³⁾。

規格化を主導したCYBERDYNE 研究開発部門の舘原厚太氏という。

アシストスーツは安全規格については「ISO 13482」(JIS版は「JIS B 8445」)として既に策定済み。このため最低限の技術水準は明らかになっていたが、性能の指標についてはメーカーごとにバラバラであり、導入を検討するユーザーにとっては各製品を比較しにくい状況にあった。今回のJIS規格が発行されることで、各社のアシストスーツのマニュアルやカタログにJIS規格にのっとった仕様が掲載されることが期待でき、より製品の選択をしやすくなる。

JISでの規格化はCYBERDYNEが提案して日本規格協会での委員会が発足。その後、イノフィスやATOUN、クボタといったメーカーが参画し、大林組や日本空港ビルデング²⁾といったCYBERDYNE製品のユーザー企業、

産業技術総合研究所などの研究機関も加わって策定された。

規格内ではアシストスーツの基本的な仕様として駆動方式(電動、空気圧、油圧)、動力源(内蔵か外部からの供給)、操作するための入力方式(生体信号、運動入力、触覚入力)などを整理した。最大の肝であるアシスト力などの性能面については、人型の専用の試験装置を開発し、これで統一して計測するようにした(図1)。股関節と膝関節にはアクチュエータを備え、腰部で圧縮力やモーメントを計測する。(図解 参照) 図1

1) 産経、[「福田康平のリンダ」が「スガ」のHALタイプを10台導入、50人が交代利用し腰痛防止、新業務の自動化の新戦略も」、[日経Robotics]、2017年3月号、pp.12-15。

2) 産経、[「日本郵政が物流拠点に「パワーアシストスーツ」8台、米語など最大30kgの重荷物の仕分けに2機種」、同上、2017年5月号、pp.16-18。

3) 舘原ほか、[「JIS B 8456-1: 世界初の腰部型ロボット製品規格」、第35回 日本ロボット学会学術講演会予報集、352-04、2017年9月。



図 9. 当該腰部装着型ロボット HAL の JIS 規格の策定への取り組み
CYBERDYNE 社が当該ロボットに関する JIS 規格化を提案

【イノベーション推進、新産業創出推進および社会変革に向けた取り組みの事例】

当初計画に従って、産業変革・社会変革に繋がる好循環のイノベーションスパイラルを推進する仕組み、かつ、イノベーション推進および新産業創出推進を強化するイノベーションエコサイクルを構成する重要な要素として、「サイバニクス産業」創出連携体としての役割を担う CEJ (Cybernetics Excellence Japan) を設立した。これにより、CEJ は、サイバニクス産業という領域開拓に貢献できる様々な挑戦型企業（革新的な技術やサービスの企業）やアントレプレナーの育成を支援、必要に応じて企業間連携・協業、上場などを円滑に支援できるようになる。2018 年 7 月には CEJ ファンドの組成を達成し、JST からの提案で JST が出資する案件について CEJ と連携することで、当該 ImPACT プログラム終了後の出口目標達成のため、新産業創出・イノベーション推進の強化にも取り組んでいる。

PM は、「バックキャストिंग」による取り組みを中心に、あるべき姿の未来を実現し社会変革を実現するために、革新技術の研究開発と社会実装の両方が展開できるような取り組みを通して、好循環のイノベーション推進サイクルの構築に挑戦してきた。PM が推進する取り組みは、【サイバニクス：人・ロボット・情報系の融合複合技術】を駆使することで、人とロボット（物理系）と情報系とのインタラクションを日常化する新産業（サイバニクス産業）創出に資する取り組みであり、脳神経科学、生理学、IoH/IoT、ロボティクス、バイタルセンシング、AI、ビッグデータ、デジタルヘルス、国際標準化などが有機的に繋がった産業領域となる。このような社会変革に向けた取り組みが活発化するに伴い、最近では、ハーバードビジネススクール（HBS）、コロンビア大学ビジネススクール、南カリフォルニア大学ビジネススクール、ペンシルバニア大学ビジネススクールが異分野における新結合による「イノベーション推進の行動モデル」として取り組みを捉え、ハーバードビジネススクール（HBS）では、PM の活動の一部はケーススタディのテキストブックとなっている。毎年、学生の集団が来日し、ビジネススクールの教育プログラムが動き始めている。このような国際的な学術・教育開発活動の動きを通じて社会変革の息吹が日々伝わってきている。

2016 年は、G7 において各国の全ての科学技術担当大臣・イノベーション担当大臣に、基調講演とクローズドミーティングを実施している。内閣府とも打ち合わせをしながら準備された我が国の取り組み『Society5.0』については基調講演で説明し、さらに、クローズドミーティングでは ImPACT の取り組みである「サイバニクス技術」「ロボティクス技術」「グローバルヘルス」について説明してきた。それらを元に共同声明へと繋がることとなった。その後、イノベーション推進を加速させるために、欧州では、科学技術大臣や厚労大臣と、サイバニクスシステムが取得する「人の情報」（IoH）の International Harmonization について打ち合わせを行ってきた。

本プログラムの成果が「サイバニクス産業」（人支援産業、人・ロボット・情報系が融合複合した IoH/IoT 産業）という新産業の創出へと確実に繋がるよう、引き続き活動していく。

また、国内外での講演、アウトリーチ活動を通じ、研究開発と社会実装のための諸活動を同時展開する戦略的な行動モデルなどを情報発信している。

(2) 参考指標

① 民間企業等とのマッチング及び橋渡しの状況

	総計値	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
企業の研究者数	延べ 282	0	42	50	82	108
協力企業数 ※	延べ 45	3	6	7	19	20

※ 研究開発に参画する企業だけでなく、研究成果の展開に意欲を示し、秘密保持契約等を具体的に結んだ企業の数

② 論文

	総計値	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
全 体 数	134	2	17	26	40	49

③ 学会発表

	総計値	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
全 体 数	179	2	16	33	75	53
学会賞等の受賞数		0	6	4	0	2

④ 国際学会における招待講演

	総計値	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
全 体 数	30	1	4	6	7	12

⑤ 特許出願数

	総計値	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
全 体 数	31	2	3	13	6	7

⑥ 新聞・メディアから社会への発信数（社会インパクト：Social Impact Factor）

	総計値	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
全 体 数	147	1	29	53	33	31

⑦ 標準化等の取組状況

国際規格標準化活動：CYBERDYNE 社が Expert として以下に参加し、主導的に推進。

- ・ IEC/TC62/SC62A/JWG9（IEC TR 60601-4-1；自律性を有する医療機器のリスクマネジメント）
- ・ IEC/TC62/SC62D/JWG36（IEC 80601-2-78；リハビリテーションロボットの安全）
- ・ ISO/TC 299/WG2（ISO 13482；生活支援ロボットの安全）
- ・ 腰補助用装着型身体アシストロボットの性能要求事項の標準化（新市場創造型標準

化制度【JSA 支援スキーム】)

最近の成果事例：重介護状態を含む要介護者を介護するための介護支援用腰部装着型 HAL を含む腰補助用装着型身体アシストロボットの安全性、性能及び表示の基準を定めた JIS 規格が「JIS B 8456-1」として 2017 年 10 月 20 日に制定された。

⑧ アウトリーチ等の状況

	総計値	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
アウトリーチ回数	87	8	22	14	11	32

⑨ その他特筆すべき取り組み

- ・サイバニクス・ロボット分野を重点分野として、国内外の科学技術政策に位置付けることに貢献
- ・日本再興戦略2016、総合科学技術・イノベーション会議におけるSociety5.0の基本方針と連携した取り組みを行う中、G7科学技術大臣会合(Tsukuba、2016年5月15日～17日)での基調講演、各国大臣による閣僚会議でのグローバルヘルス戦略の提言(サイバニクス・ロボット技術等)など、全日程に渡ってG7科学技術大臣等にインプット。早速、英国大使館も動き、7月にはロンドンでの会議、同日程でオーストリアでは国務大臣との会合を実施
- ・G7を契機としてドイツ・フランスなどの関係大臣(連邦厚労大臣・科学技術大臣)と内閣府が推進する「Society5.0」を軸とした関係関連分野の開拓について打ち合わせを実施
- ・我が国の国際知財戦略推進委員会の委員長として独Industry4.0や米国IIC(Industrial Internet Consortium)の動向を踏まえ、我が国が世界を牽引していくための世界戦略の取り組みについて検討・提言を実施
- ・ロボット革命国際シンポジウム(我が国のロボット革命実現会議、ロボット革命イニシアティブ協議会(評議員、幹事として参画)と連動)での講演や、サイバニクス分野の開拓に関して国内外の国会議員・大臣経験者・キーパーソン(学術、業界)等との意見交換を実施
- ・世界経済フォーラム(ダボス会議)でGlobal Future Council(Human Enhancement)を担当し、精力的に未来開拓に挑戦

4. 研究開発プログラム予算の推移

研究項目	当初	最終的な計画 値	備考
サイバニックインタフェース・デバイス・システムの基礎研究開発（筑波大学）	590 百万円	582 百万円	研究見直しにより 8 百万円減額
サイバニックシステムに対する安全性検証手法の開発（産総研）	110 百万円	108 百万円	研究見直しにより 2 百万円減額
国際規格に準拠したサイバニックインタフェース・デバイス・システムの研究開発（CYBERDYNE）	480 百万円	480 百万円	
PJ1（サイバニックインタフェース）、PJ2（サイバニックデバイス）（オンデマンドコンペ方式）、PJ3（サイバニックシステム）（オンデマンドコンペ方式）	2,310 百万円 （うち、PJ1, 2 として 1,890 百万円 PJ3 として 420 百万円）	2,319 百万円 （うち、PJ1, PJ2 として 1,809 百万円分 PJ3 として 510 百万円）	研究見直しにより 9 百万円増額 PJ1, PJ2の研究促進のため2017年9月に公募を行い、外部評価者による機関選定、推進会議による承認により、当該研究予算の中からCYBERDYNE社に513百万円分の委託研究業務を追加した

- ・ コア研究開発機関として選定した基礎研究開発を行う筑波大学サイバニクス研究センター、安全性検証手法開発等を行う産総研、研究開発および社会実装を行う CYBERDYNE 社はプログ

ラム期間を通して委託研究開発を行う。それ以外の機関は、委託研究開発先を目的達成に向けて適宜、変更・追加を行うオンデマンドコンペ方式での機関選定を行った。また、技術的に高度なPMの要求を満たすことができる機関がない分野も一部出てきたため、オンデマンドコンペ方式と合わせて公募方式も採用した。

- ・ 2015年度は、PJ1, PJ2に関するオンデマンドコンペ方式による委託研究機関としてTDK、オムロン、ローム、アイ・メデックスを選定した。
- ・ 2017年度は、研究開発成果が出始め、実フィールドでの評価が可能となって来たため、京都大学医学部附属病院および筑波大学附属病院を実施機関として選定した。
- ・ その後、PJ3(サイバニックシステム)およびそれに使用するためのデータ作成するためのPJ1、PJ2の委託研究機関として、筑波大学、UEI、PKSHA Technology、ABEJA、エクサウィザーズ、テクノスデータ、Hmcomm、FiNC、アジュールパワーを選定した。

5. 研究開発プログラムの推進体制

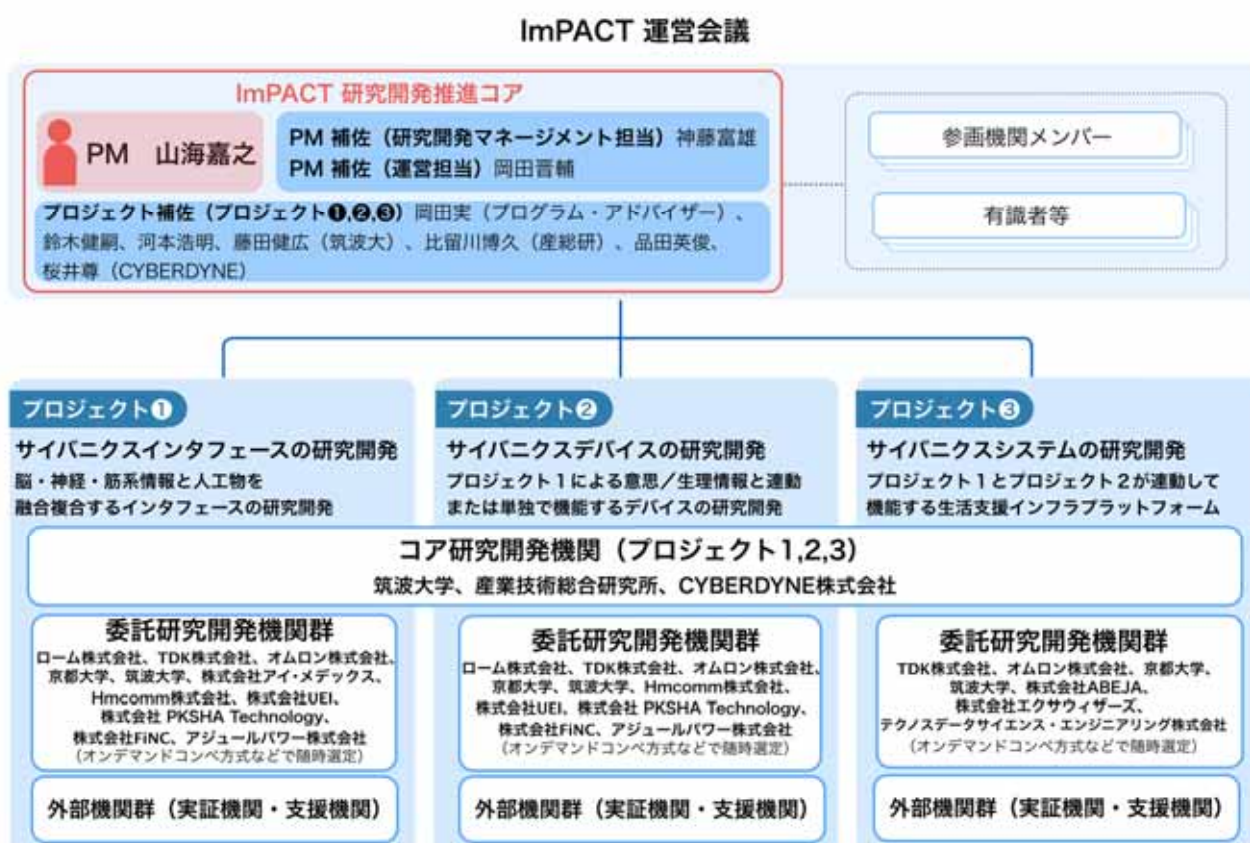


図10. 当該研究開発プログラムの実施体制図

PM によるプログラム全体のマネジメントは、極めて重要であり、その実効性を担保するため、全プロジェクトに共通の以下のようなマネジメント手法をとることとした。

- i) PM 主導のもと、リアルタイムで課題解決と目的達成が進むよう「ImPACT 研究開発推進コア」を設置した。
- ii) ImPACT 研究開発推進コアにリアルタイムで諸課題がフィードバックされるよう情報管理を行い、計画に沿って生じるイベントに対して、イベントドリブンでの即時対応を実施。また、課題実施をする際に、要求・状況に応じて、オンデマンドで、当初の課題について、時間軸に沿って小課題と到達点に分解し、さらに、小課題を要素毎に分解して、個別課題に関して研究開発先と適宜フィードバックを実施してマネジメントを行った。これらに対しては、場合によっては、同時並行で達成見込みのある研究開発先にも参画してもらうことでリスクヘッジする。これらのアクションについては、推進コアは研究開発先の状況をリアルタイムでウォッチし、オンデマンドで他の機関との連携をはかるよう指示したり、他の機関に委託したりするなどして、日常的にオンデマンドで小規模のコンペや連携が生じるよう全体マネジメントを行った。
- iii) 第 1 回目の時間軸上・要素毎のマネジメントループで小課題を積み上げ、全体の実現可能性を把握し、2 回目以降のループで、目標達成するための加速化と実効性の担保のため、研究開発先の集約・入れ替え等も視野に入れたマネジメントを実施し、分解された個別案件毎のオンデマンドでのコンペを日常的に行いながら、複数での同時並行性、実施スピードを基本としてプログラム全体をマネジメントした。

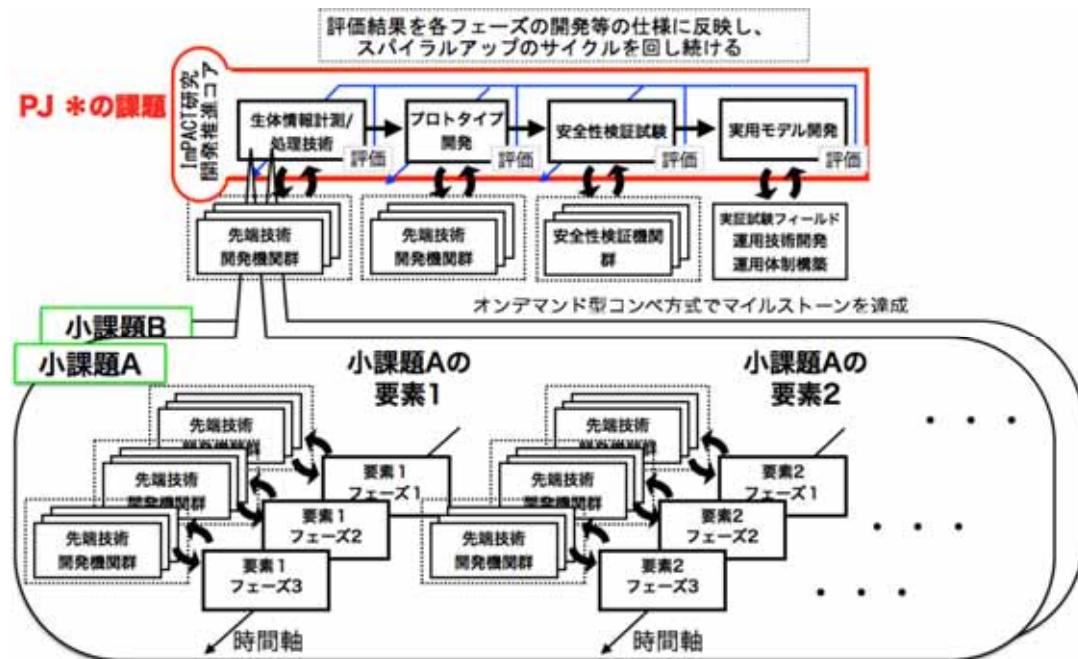


図 1 1. 当該 ImPACT 研究開発推進コアによるプロジェクトマネジメント手法

6. 研究開発プログラムの実施管理状況

(1) 研究開発プログラムのガバナンス

① 進捗状況の把握及び指導・管理状況

実施体制で述べたように3つのプロジェクトは連動し、PM及び推進コアメンバーが3つのプロジェクトを統括し実施管理しており、プロジェクト毎にPLを置く体制をとっていないため、各コア研究開発機関の状況を記載することとする。

研究開発機関 (研究開発責任者)	各コア研究機関との調整状況
筑波大学 (山海嘉之)	PMの所属する機関であることから、日常的に基礎研究開発の進捗状況を把握し調整することができた。
産業技術総合 研究所 (比留川博久)	年2～3回の頻度での訪問打ち合わせを行い、日常的にはメール・電話等により、研究開発状況の報告・相談を受け、適宜調整を行った。産総研で開発された SafeML 技術を重介護分野でのサイバニクデバイス等の設計における安全性評価に適用できるかどうかのフィージビリティスタディに役立てた。
CYBERDYNE (市橋史行)	PMとは日常的に研究開発の進捗報告および計画調整が行われ、2016年のG7での大臣らの訪問等のため計画の見直し・前倒しにも柔軟に対応し、PMが進める革新的技術開発・イノベーション推進の中心的機関として機能した。PMの方針のもと、サイバニクインタフェース/デバイス/システム全般にわたり、筑波大学、産業技術総合研究所、委託研究開発機関等と共に社会実装に向けた取り組み(必要に応じて国際規格・国内規格の策定活動等の標準化活動および規格への準拠等の対応を含む)を中心に据えて研究開発を進めた。

	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
運営会議等の開催数	0	11	11	7	7
研究開発機関等の打ち合わせ回数	4	15	10	21	24
＜PMと委託候補機関による 対面での打ち合わせ回数＞	＜38＞	＜69＞	＜72＞	＜104＞	＜105＞
《ImPACT 研究開発推進コア と委託候補機関による対面 での打ち合わせ回数》		《33》	《21》	《36》	《46》

② 新たな発想・アイデアの採用に関する取り組み

PMは、各研究開発機関が研究開発課題に取り組む中で、新たな発想・アイデアが生まれやすく、また、提案しやすくなるよう適切にガイドし、頻繁に各機関とディスカッションができる状況を作った。各機関の得意分野や能力を把握した上で、各機関で新たに発見された課題や

進捗状況などの情報を収集しながら、解決が困難な課題とならないよう PM は適切に課題を調整し取り組むべき内容を提示して、目標達成のためには、各機関の力量に応じて、解決すべき課題を、達成できるように適切に分解することが重要なため、その点についてそれぞれの力量を見極めながら進める工夫をしている。これにより、各機関は自らの強みを活かし、さらに強化しながら、挑戦的な研究開発課題に取り組むことが可能となった。

また、PM は、各機関から新たな発想・アイデアが提案された際には、一旦は積極的に採用する姿勢で臨み、関係者がアイデアや発想をさらに発言しやすい環境を作りつつ、そのアイデア・発想によって目的達成がどれくらい効果的に実現できるかを様々な観点からシミュレーションし、その後ブレインストーミングを経て、実際に試し（概念実証等）を行うか否かを検討することにした。

また、日常的に、ImPACT という枠組みを超えて、国内外の独特なチャレンジを行なっている機関や個人などとも出会う機会を増やし、常に複眼的視野を磨いてきた。

③ 研究開発機関等の評価及び追加変更の状況

	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
参画研究機関数	1	7	7	14	15
参画研究者数	33	82	82	131	133
うち中止（解任）					
追加（新任）	筑波大	産総研、サイバーダイ ン、オムロン、ロー ム、TDK、 アイ・メデ ックス		京大医学部附属病 院、筑波大附属病 院、筑波大（サイバ ニクス研究センタ ー）、UEI、PKSHA Technology、 ABEJA、エクサウィ ザーズ、テクノス データ	Hmcomm、FiNC、ア ジュールパワー

④ 「選択と集中」に向けた取り組み

本プログラムの今後の展開方向として、「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニクスシステム」の研究開発および社会実装をさらに進め、今後も一貫して「サイバニクス産業」（人支援産業、人・ロボット・情報系が融合複合した IoH/IoT 産業）という新産業の創出への取り組みと、課題解決のために発想した新たな研究分野の開拓を推進していく。

「選択と集中」に向けた取り組みに関して、「人・ロボット・情報系の融合複合領域」というヒトやモノとの物理的・情動的インタラクションをベースとする新産業領域「サイバニクス産

業」は、いわゆる、「サイバー空間とフィジカル空間」に「人」を融合複合した領域であり、少子超高齢社会での社会課題を解決するため、今後も当該領域でのイノベーション推進に焦点を絞った。また、適時に適切な規模で研究開発機関を選定し決定していくため、オンデマンドコンペ方式を採用した（ImPACT 以前の従来の国プロでは、一旦契約をすると、途中でメンバー交代が難しいとされてきたが、本方式では、必要に応じて半年レベルであっても契約を行い、研究開発成果の状況に応じて研究開発機関・期間の調整を行うこともあるため、支援機関や内閣府とも相談しながら契約に至るまでの手順の簡素化に向けた提言も行った）。

（２）研究成果の展開に向けた取り組み

①これまでの取り組み

プログラムの目的に従って、速やかに研究成果を事業化する取り組みとして CEJ を設立し、事業推進を加速できる体制を整備した。様々なソーシャルビジネス企業の設立・上場を支援し、各国政府・自治体・公的機関も可能であれば出資者として参画出来るような我が国の新産業創出を飛躍的に加速させる枠組みの構築を行った。

②今後の方針と具体的な取り組み計画

本プログラムでは、ImPACT 研究開発推進コアが中心となってプロジェクト達成のための各種活動（研究関連、国内外連携関連、現場調査、政府・自治体等関係部署との連携関連、学界・産業会との連携関連、製品化のための各種許認可関連等）を実施してきた。今後は PM が「サイバニクス産業」を推進する機関等と共に、超高齢社会の様々な課題を好循環で解決していく超スマート社会のモデル「サイバニクシティ」やイノベーションエコシステムの構築といったハイインパクトな産業変革・社会変革に向けた取り組みを推進していく。

7. PMの自己評価

（１）PMが実施管理を行った研究開発プログラム（研究成果）に関する評価

① 産業や社会のあり方変革（漸進的ではなく、非連続的なイノベーション）をもたらす見通しは得られたか。以下の視点を踏まえて記載すること。

深刻化する少子超高齢社会での重介護という社会課題に対し、人・ロボット・情報系が融合複合した革新的サイバニクス技術を駆使することで、人海戦術を中心とした現状の延長線ではなく、要介護者・患者の自立度を高め（残存機能の大幅な向上、各種支援技術）、介護する側の負担を大幅に低減させる革新的サイバニクスシステム（インタフェース/デバイス/システム）の研究開発を推進してきた。具体的な成果の例として、脳・神経系とロボット系や情報系が繋がり、ベッドから立ち上がれなくなった重介護を要する高齢者の下肢機能・歩行機能の飛躍的な改善（重度

化防止・自立支援を超える改善)、完全脊髄損傷の小児患者の運動機能再生(医学・工学にまたがる新たな基礎領域の開拓)などの画期的な成果や、段階的に、関連技術の医療機器化、安全・国際規格等、保険制度、介護業界での自立支援・重度化防止・インセンティブ強化措置(政府方針、閣議・法制化)への対応、G7 や世界経済フォーラムを通じた国際連携推進、社会実装推進など、産業や社会のあり方に変革をもたらす取り組みとなった。

さらに当初計画を進展させ、予防や早期発見や対応策創出に資するサイバニックシステムの研究開発に挑戦してきた。要介護者・患者・介護者の様々な情報を取得できるよう、バイタルセンサーを含め各種デバイスの「IoH/IoT 化」(Internet of Humans / Internet of Things: ヒトとモノのインターネット)の研究開発・社会実装を進め、重介護ゼロ社会を実現するための先行モデルとなるような技術開発を行うとともに、Society5.0 を推進する取り組みとして、ヒトとモノのビッグデータを集積・解析・AI 処理への展開が可能なサイバニックシステムを構築した。

また、当初計画の「サイバニクス産業」を推進するための新産業創出連携体「CEJ: Cybernetics Excellence Japan (ファンド機能・支援機能、JST とも連携)」の設立を達成した。このように「技術的取り組み」と「社会的取り組み」の同時展開、基礎と実際のフィードバックによる好循環のイノベーションエコシステムの構築、重介護ゼロ社会の実現のための革新的サイバニックシステムの研究開発やロールモデルとしての仕組み作りを通して、社会変革や産業変革を実現するための見通しを得ることができた。

注) サイバニクス(人・ロボット・情報系の融合複合)は、脳科学・神経科学、運動生理学、ロボット工学、IT、再生医療、行動科学、倫理、安全、心理学、社会科学など、様々な学術領域を融合複合させた新学術分野。

・将来の産業や社会のあり方の変革をもたらすような革新性を有する研究成果が獲得されたか。

脳・神経系とロボット系や情報系が繋がり、重介護ゼロ社会を実現するための先行モデルとなるような取り組み(Society5.0 に向けた取り組み)として、要介護者・患者の自立度を高め(残存機能の大幅な向上、各種支援技術)、介護する側の負担を大幅に低減させる革新的サイバニックシステム(インタフェース/デバイス/システム)、さらに当初計画を進展させ、IoH/IoT 化を強化するサイバニックシステムの研究開発を行い、下記のような革新性のある研究開発成果を得ることができた(図 12)。



図 12. 当該 ImPACT プログラムで獲得された成果事例

サイバニックシステム(インタフェース/デバイス/システム)

インタフェース：

- ・ 進行性神経・筋難病疾患など(ALS、SMA、筋ジストロフィー等)の完全寝たきりの重介護状態の方の意思伝達や環境制御を可能とし、各種サイバニックデバイスとの接続を可能とする非侵襲次世代型生体電位信号計測・制御用サイバニックインタフェース
- ・ 重篤な要介護の多くを占める脳卒中の原因の一つである動脈硬化や心不全を捉えるための世界最小の動脈硬化度・心機能の計測が可能なバイタルセンシング用インタフェース(医療機器承認および保険適用を実現)
- ・ 小型高感度の気温・気圧・湿度・音圧・加速度(移動/活動)情報を検出する環境情報・見守り情報収集インタフェース
- ・ さらに計画を加速：皮下への埋め込みも考慮した世界最高水準の低消費電力・高分解能・低ノイズのサイバニック生体電位信号検出インタフェース(5mm 角半導体モジュール)の評価用チップ

デバイス：

- ・ 重介護を要する小児等の歩行機能改善を可能とする HAL 下肢タイプ (2S サイズを含む)
- ・ 移動型 IoH/IoT デバイス (ロボカート)
- ・ 介護負担の大幅な低減が期待できるトイレドッキング機能付き排泄支援ロボ
- ・ 介護時腰部負荷低減のための腰部装着型デバイス (HAL 腰タイプ介護支援用)
- ・ 脳神経・筋系の残存機能を高めるための腰部装着型デバイス (HAL 腰タイプ自立支援用)
- ・ サイバニックデバイス/ロボットのための通信機能付き安全・小型・高出力リチウムイオン

バッテリー（世界最高水準のエネルギー密度、業界標準化を目指す）

システム：

- ・ 機能改善時の脳神経系・身体系・生理系の推移情報を取得・転送可能な IoH/IoT 化歩行動作統合管理システム（メディカル・ケアピット）
- ・ さらに計画を加速：IoH/IoT 化されたサイバニックインタフェース／デバイス／システムから得られるヒトとモノのビッグデータを集積・AI 処理・管理する統合化された統合情報基盤となる基礎システムの構築（最大約 8PFLOPS（8x1PFLOPS ハードウェアスペック、専用統計演算機能付））

革新的研究成果の例：

神経断裂・挫滅による完全脊損小児患者などに対する機能改善を実現した事例などは、従来では不可能とされたことであり、特筆に値する。また、HAL 腰タイプ自立支援用による運動訓練の結果、寝たきり高齢者の飛躍的な歩行機能改善を実現した技術も介護者負担の大幅低減が期待されるものである。

・ **産業や社会のあり方変革に向けた戦略が具体的かつ明確となったか。**

あるべき姿の未来（出口）を描き、その未来から現在を見据え、どのようにすれば社会課題を解決し産業や社会のあり方を変革することができるかを、バックキャストさせながら手法や技術課題や社会課題を明確化し、どのように解決していくかを計画・実行してきた。バックキャスト手法により、当該 ImPACT プログラムを遂行するための戦略を立て、技術的な取り組み、社会的な取り組みを同時展開し、当初に計画した目標を達成しながら、さらに次のステップの取り組みへと進化・発展させるに至った。具体的には、サイバニクス産業を推進するための新産業創出連携体 CEJ の設立や、社会制度（政策への還元、法整備、規制改革、保険制度など）への反映など、産業や社会のあり方変革に資する結果を得ることができたという状況を鑑み、当該 ImPACT プログラムにおける戦略は、産業変革・社会変革に向けた戦略として具体的かつ明確であったと判断される。

・ **戦略の実現に向けた課題が整理・明確化されたか。**

ImPACT が目指す目的は公募要領で示された「イノベーションに最も適した国」「起業、創業の精神に満ちあふれた国」の実現であり、本 ImPACT プログラムでは重介護ゼロ社会の実現に向けた取り組みとして、下記のように、「技術的取り組み」と「社会的取り組み」の観点からそれぞれの課題を明確化し課題解決を実現するという戦略を立て、その達成に向けて課題を整理・明確化していく。関係省庁の調査結果、患者会からのヒアリング、病院・介護専門施設からのヒアリング等を通して、当該プログラムの目標達成のために、技術的課題をサイバニックインタフェース／デバイス／システムの研究開発として位置付け、実施する研究開発課題を整理・明確化し、

さらに社会に存在していなかった研究開発成果を社会実装する際に必要となる社会的課題を整理・明確化してきた。そして、これらの技術的課題の解決に向けた取り組みを実施するとともに、難題となるこれらの社会的課題の解決を実現してきた。

技術的取り組みの課題：

- 1) 関係省庁の調査結果、患者会からのヒアリング、病院・介護専門施設からのヒアリング等を通して、重介護を要する方の脳神経系・身体系などの機能改善・機能再生を実現するための技術を創り出すこと
- 2) 関係省庁の調査結果、患者会からのヒアリング、病院・介護専門施設からのヒアリング等を通して、介護する側、介護される側の両方の観点から、支援技術を創り出すこと
- 3) 人・ロボット系・情報系が融合複合し、脳神経系からロボット、スパコンまでが繋がっていくような次の時代の技術を創り出し、Society5.0をさらに発展させる取り組みに挑戦すること
- 4) 1)～3)を実現するためには、従来の縦割りの技術領域では対応が困難であるため、人・ロボット系・情報系の融合複合技術を扱う新学術領域「サイバニクス」を駆使することで、革新的サイバニックシステム（サイバニックインタフェース／デバイス／システム）の研究開発を推進すること
- 5) 公的資金によるプロジェクトにありがちな「一旦採択されれば期間終了まで契約が継続する」というマネジメントではなく、研究開発の状況に応じて適宜契約を変更しながら舵取りができるよう調整する方式で進めていくこと

社会的取り組みの課題：

市場が存在しない革新的な技術に対して、新たな市場創出を実現するための「社会的取り組み」として、

- 1) 安全・国際規格への適合、関連規格の策定・調整
- 2) 法整備、規制の調整
- 3) 新産業創出のための仕組み作り（支援機能、ファンド機能など）
- 4) 革新技術の社会実装のための保険制度への取り組み（革新技術による治療や支援に対する公的保険、民間保険の適用）
- 5) 縦割り行政の中で推進される関連する各種プロジェクトを繋ぎながら全体として政府の政策と合致するよう調整するための取り組み等を実施していくこと

・ **技術的課題を克服するためのアイデア・着眼点の斬新さ、技術的サプライズは存在したか。**

実社会では、技術的課題の克服だけでは不十分なこともあるため、技術的課題と社会的課題の両面から当該プログラムを推進するというアイデア・着眼点、単純に表現すれば脳神経系からスパコンまでを繋いでしまうための IoH/IoT というアイデア・着眼点、人の内側情報と目に見える

動作情報と生活情報を一体的に扱う技術として人・ロボット・情報系を融合複合する技術を創り出すというアイデア・着眼点、ImPACT が求める社会実装・イノベーション推進への取り組みを実現するための CEJ(Cybernetics Excellence Japan) という支援組織を設立するというアイデア・着眼点など、複数の斬新なアイデア・着眼点が存在している。また、従来不可能とされた神経断裂・挫滅による完全脊損患者などに対する機能改善を実現した技術、寝たきり高齢者の飛躍的な機能改善を実現した技術、トイレにドッキングする人工知能ロボットなどは、社会にインパクトを与える技術的サプライズである。更に、「再生医療」と革新的サイバニックシステムとの組み合わせなど究極の異業種連携というアイデア・着眼点は、これからの医療イノベーションのあり方を示す事例になるであろう。

- ・ **戦略の実現に向けた道行き（ロードマップ）が適切に描けたか。**

予定通り、「技術的取り組み」や「社会的取り組み」に対する成果も得られ、段階的に成果の社会実装を進めてきており、戦略の実現に向けたロードマップは適切に描けたと考える。

- ・ **戦略の実現に向けた産業界との連携・橋渡し等が行われたか。**

ImPACT と連動した取り組みとして文科省の地域イノベーション・エコシステム形成プログラムの事業プロデューサーにも任命され、産官学の連携や産業界の連携を連動させてきた。また、ImPACT の成果の社会実装を推進するための「近未来技術等社会実装事業」（内閣府事業）への参画など、産業界との連携強化ができる取り組みを実施してきた。また、CEJ を設立し、サイバニクス産業分野のベンチャー支援を開始した。

- ・ **知財・標準化戦略は明確かつ適正か。**

知財に関しては、アイデア段階から知財専門家との打ち合わせを行いながら知財・商標登録の権利化を進めている。また、特許庁の国際知財戦略委員会の委員長（ロボット分野）および国際知財動向調査委員会の委員長（装着型デバイス分野）として、当該分野の JIS 規格の提案・策定を含め、日本の知財戦略強化に貢献するとともに、国際標準化機構(ISO)のエキスパートメンバー、ロボット革命イニシアティブ協議会の評議委員・幹事として、戦略的に明確かつ適切に活動した。さらに、必要に応じて研究開発したインタフェース・デバイスの認証取得・標準化への取り組みも適宜進めていること等から、知財・標準化の戦略については明確かつ適正に推進できたと考える。

② 上記①以外の派生的な効果（派生的に生み出された成果、新たな学術的知見の創出、その他失敗から得られた知見等）としてどのようなものが得られたか。

1) 腫瘍摘出の手術後にベッドで療養し続けた結果、ベッドから立ち上がれなくなってしまった方への成果の適用から得られた知見について述べる。介護する側への支援技術として研究開発した腰部装着型の HAL 腰タイプを、この寝たきりになり始めた 86 歳という要介護状態の高齢者に、1 日 30 分程度を 1 ヶ月間適用したところ、身体機能が劇的に改善し、自力でスッと立ち上がりスタスタと健康な方と同等の歩行能力へと機能改善した。この結果は素晴らしいものであるが、業界の専門家の予想を超えた成果であり、寝たきり予防への大きな取り組みとして関連学会においても注目され始め、新たな基礎研究を推進するきっかけを投げかける学術的知見の創出となっている。

飛躍的な機能の改善がありうるものが存在証明として示されることで、予想していなかった出来事として、介護業界における自立支援の重要性の認知の拡大や、自立支援・重度化防止・インセンティブ強化措置に関する政府方針の発表や、閣議決定による法制化が進んだことなど従来では考えられない波及的な効果があった。

2) 幼児期に交通事故で完全脊損となった小児に対して新規研究開発されたサイバニックデバイスである腰タイプの HAL および小型の下肢タイプ HAL を段階的に 1 年以上適用した結果、全く動かなかった下肢が自分の意思で動き始めたという驚異的な成果も得られた。当初は、少しの反応が期待できると考えたが、完全脊損の状態であっても、ゆっくりではあるが明示的に膝をあげたり、上半身の体幹機能が改善したりするなど、機能改善ができることが示された。この結果は極めて素晴らしいものであるが、業界の専門家の予想を超えた成果であり、完全脊損という信号伝達路が破断・挫滅している状態でなぜ機能の再生が起こり始めたかという点で、新たな基礎研究を推進するきっかけを投げかける学術的知見の創出となっている。このような取り組みを通して、ImPACT 期間中に、iPS 細胞などの幹細胞による再生医療を推進する著名な医学研究者グループとの打ち合わせが始まるなど、今後予想を超えた取り組みとして異業種連携によるイノベーション推進へと発展していくことが期待される。

また小児に対して適用された小型の HAL は、小児の脳神経系の可塑性を促す新たなデバイスであるが、国会においても質疑応答の対象となり、国会議員や大臣や関係省庁からの問い合わせもある等、社会実装を加速するための派生的な効果があった。

3) これらの成果を段階的に社会に示してきたが、最近では、ノーベル賞受賞学者の本庶佑教授から医療革命を推進するための「医療機器革命」の推進責任者を依頼されるなど、新たな学術的知見の創出に向けた取り組みとして異業種連携が始まるといった派生的効果もあった。

(2) PM 自身の活動（プログラム・マネジメント）に関する評価

- ① <目標設定> 産業や社会のあり方変革を目指した研究開発プログラムとして、目標設定の水準は妥当であったか。

産業や社会のあり方変革を目指し、PMは我が国が直面する少子高齢化に起因する「重介護問題」を解決するため、「重介護ゼロ社会の実現に向けた取り組み」として、「技術的取り組み」と「社会的取り組み」の両方を実施することを目標とした。

技術的取り組みの観点では、要介護者・患者の自立度を高め(残存機能の大幅な向上、各種支援技術)、介護者の負担を大幅に低減させる革新的サイバニックシステム(インタフェース/デバイス/システム：人・ロボット・情報系の融合複合技術)を研究開発し、それらの社会実装を推進する。さらに当初計画が進展できれば、IoH/IoT化(Internet of Humans / Internet of Things：ヒトとモノのインターネット)を強化するサイバニックシステムの研究開発を行い、要介護者・患者・介護者の様々な情報を取得することで、ヒトとモノのビッグデータを集積・解析・AI処理への展開が可能となる。この展開により、予防や早期発見や対応策創出に資するサイバニックシステムとして、要介護者・患者に関するヒトとモノのビッグデータを扱う情報基盤システムを構築し統合化を進めることが可能となる。

また、社会的取り組みの観点では、安全・国際規格への適合、関連規格の策定・調整、法整備、規制の調整、新産業創出(サイバニクス産業)のための仕組み作り(支援機能、ファンド機能など)、革新技術の社会実装のための保険制度への取り組み(革新技術による治療や支援に対する公的保険、民間保険の適用)、縦割り行政の中で推進される関連する各種プロジェクトを繋ぎながら全体として政府の政策と合致するよう調整するための取り組み等を推進することを目標としている(下記図13を参照)。

我が国が直面する少子高齢社会における重介護という社会課題を解決するため、上記のような人・ロボット・情報系が融合複合したサイバニクス技術による研究開発は、Society5.0が目指す「サイバー・フィジカル空間」を「人」を中心にさらに拡張させた取り組みとなっており、そのような観点から、社会課題の解決と新産業創出の同時実現を目指すものであり、目標設定の水準としてはImPACTにふさわしい破壊的社会変革をもたらす妥当なものであったと確信している。

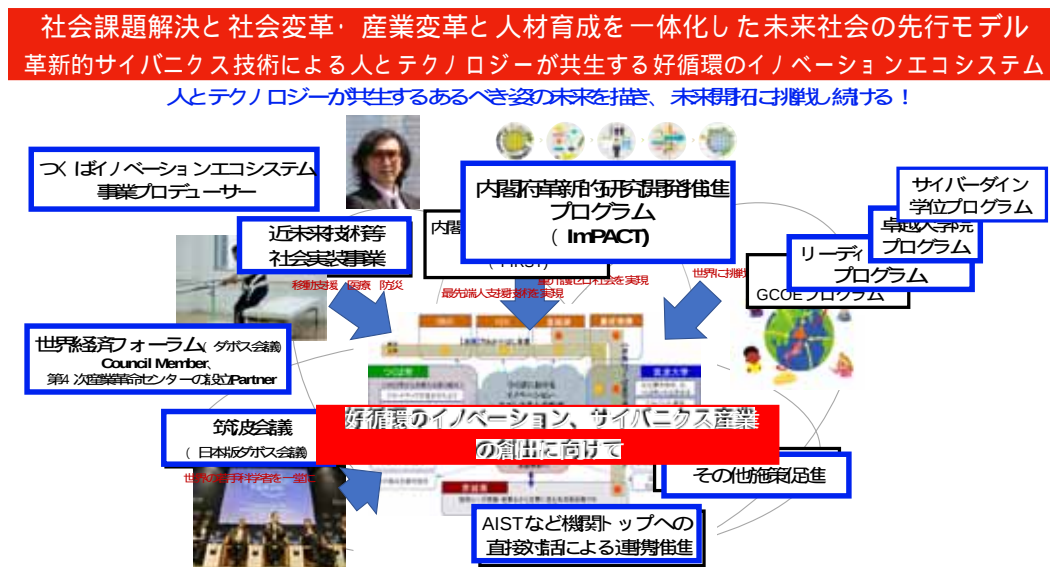


図 13. 当該 ImPACT プログラムの PM として、別途推進されている関連事業をつなぎながら
政府の政策と合致するよう調整する取り組み

② <作り込み> トップ研究者の採用や異分野研究者との融合、外部専門家から助言聴取など、国内外から独創的なアイデアや最先端の知見等を結集して研究開発を推進できたか。また、研究開発の実施体制は適切であったか。

PMは、これまで、文科省が最も強化する教育研究拠点形成事業の一つである GCOE プログラム「サイバニクス国際教育研究拠点」のリーダーとして、脳・神経科学、行動科学、ロボット工学、情報技術（IT）、人工知能、システム統合技術、生理学、心理学、哲学、倫理、法学、経営などの異分野を融合複合した新領域である「サイバニクス」を立ち上げた実績があり、トップクラスの異分野研究者とは日常的に話し合いをしたり協働したりしている。また、毎年 100 件程度、国内外の企業や機関と先進技術に関する意見交換を行っており、医療・介護分野、安全分野、材料分野、電気・電子分野、センサー・半導体分野、ロボット分野、バイオ分野などの科学技術分野および産業分野、経営分野にも幅広く精通している。当該 ImPACT プログラムを開始後、ワークショップや意見交換会を開催し、関連業界の多くの専門家との打ち合わせを通して、それらの中から本プログラムに必要なトップレベルの技術を有し、プログラムへの参加意思の強い機関を選定し、最先端の知見を結集した適切な体制で研究開発を推進してきた。また、コア研究開発機関メンバーからなる ImPACT 研究開発推進コアを組織し、PM が推進する研究開発が円滑かつ適切に実施できる体制を整備した。

③ <進捗管理> 研究開発の進捗状況や国内外における研究開発動向（ベンチマーク）等に応じ、各プロジェクトの加速、減速、中止、方向転換等を果敢に行うことができたか。

PM はトータルで 70 回以上にも及ぶ機関との打ち合わせを通じ、随時進捗を把握しながら、プログラムマネジメントを行った。当初より、研究開発を推進する各機関とも基本的に 1 年以内の契約で目標達成を評価しながら、達成できた場合には検討の上、契約継続したり、契約終了したりするという取捨選択をダイナミックに行う方式をとっていたため、各プロジェクトの加速、減速、中止、方向転換等を果敢に行ってきた。また、各プロジェクトの進捗状況やプログラムの再設計・微修正等に応じて新規に機関選定を行うことも果敢に実施してきた。

④ <関係者の巻き込み> 研究開発に関連する産業界を巻き込み、それら関係者の自発的な研究開発投資を誘発することはできたか。

本 ImPACT プログラムでは、従来の縦割りの延長線での研究開発ではなく、脳神経系・生理系・身体系・生活系を対象として、人・ロボット・情報系が融合複合した取り組みであり、新産業の創出を推進する取り組みとなっている。そのため、本 ImPACT プログラムの目標達成のためには、異業種の連携が重要であった。そこで、医学業界、介護業界、産業界、政府・行政機関、金融・財界など、社会課題の解決のために必要となる様々な業界を巻き込んできた。過去を振り返れば、ロボット技術が誕生した時代はロボット研究自体が揶揄されるほどの小さな取り組みで

あったが、今や成熟したロボット産業となっており、既にロボットは社会のパーツになっている。IT 業界についても同様のことが言える。「ロボット産業」、「IT 産業」に続く新産業として、本 ImPACT プログラムでは「サイバニクス産業」を創出することを推進しており、新たな産業創出を求める多くの企業や機関が積極的に参画し自発的な研究開発投資や自発的な活動を誘発する状況になった。そのため、サイバニクス産業の創出に挑戦する多くのスタートアップや企業の中で、有力な候補を選定し、支援・育成する「サイバニクス・エクセレンス・ジャパン(CEJ ファンド)」を設立するに至った。最近では、JST から協働で取り組んでいきたいとの要望もあり、現在そのような枠組みでの活動も始まっている。このように、本 ImPACT プログラムの推進に伴って協働しながら領域開拓を目指す機関も増えてきており、特に AI 系については活発化しており、関係者の自発的な研究開発投資を誘発することができていると考えている。ちなみに、この約 2 年間でサイバニクス分野の開拓について、AI 系の未上場の企業 16 社と面談やディスカッションを繰り返し、機関選定を行ってきたが、そのうち既に 2 社が上場し、新たな資金調達を 4 社が実施し、当該分野の活発化を実感している。

⑤ <成果の展開>得られた研究成果の産業界への橋渡しや将来的な実用化・事業化に向けた戦略（知財及び標準化を含む。）及び体制が構築できたか。

ImPACT が目指す目的は「イノベーションに最も適した国」「起業、創業の精神に満ちあふれた国」の実現であり、「我が国の将来の産業や社会のあり方に大きな変革をもたらすことが重要」であるとしている。そのため、PM は、産業界への橋渡しや実用化・事業化に向けた戦略として、基礎と実際との間でフィードバックを行わせながら社会実装ループを構成してきた。また、上述のように、技術的取り組みと社会的取り組みを同時展開するという戦略で、得られた研究成果を社会に実装できるよう工夫してきた。また、PM は、学术界（医療福祉、工学、経営等）、政財官界（国内外の関係大臣・議員、経団連・経済同友会等の関連企業、関係省庁）、マスコミ界、国際団体（世界経済フォーラム、WHO、G7）との幅広い人的ネットワークを構築し、Society5.0 に向けた新領域開拓・イノベーション推進・規制改革・政策提言等、異なる業界を繋いでいく活動を通して、まだ市場形成が出来ていない革新的研究成果の社会実装ループの構築に積極的に取り組んだ。さらに、得られた研究成果が広く利用されるよう、イノベーションエコシステム構築に向けた拠点形成・プラットフォームづくり（CEJ 等）を行い、戦略的な体制構築を行ってきた。

⑥ <PM 支援機能の活用>PM 補佐や JST、外部支援の活用など PM 支援機能を有効に活用できたか。

PM は、PM 補佐および JST と緊密に情報連携を行うことで、研究開発を進める上で必要な支援機能を十分に有効活用することができた。また、外部支援として有識者からの進捗管理等の審議・検討を受けることで、研究開発を適切に進めることができた。また、「ImPACT 研究開発推進コア」を組織し、コア研究開発機関の主要メンバーによる支援も活用し、研究開発を加速させた。

⑦ <アウトリーチ>アウトリーチ活動等が積極的に行われ、研究開発の意義・重要性に関し、関連する産業界や一般の理解が深まったか。

PMは、テレビ、新聞、雑誌等の取材に可能な範囲で対応し、また学会での基調講演・招待講演等のほか、市民講座や関連する各種集会等でもアウトリーチ活動を行うなど、当該 ImPACT プログラムの意義・重要性、専門的な内容等を分かりやすく伝えるよう心がけ、関連する産業界や一般の方の理解促進に努めた。H26 年度～30 年度の期間に 250 件以上の取材対応および基調講演等を行っている。G7 での基調講演、世界経済フォーラムでの講演、世界最大級の ICT 展示会 CeBIT でのドイツ・メルケル首相や安倍首相等への説明、ドイツ連邦厚労大臣等への説明、科学技術担当大臣等への説明、サンクトペテルブルク国際経済フォーラムでの安倍首相・松山科学技術政策担当大臣・ロシア政府要人等への説明を通して、当該研究開発成果・Society5.0 のアピールやアウトリーチ活動を国内外で積極的に取り組んだ。

⑧ <人材育成>若手や女性を含め研究人材の育成にどの程度貢献できたか。また、基礎研究からイノベーションを生み出す取り組みに関する参画研究者の意識改革がどのように進んだか。

ImPACT プログラムの公募要領には、「若手」というキーワードや「女性」というキーワードは全く含まれていなかったものの、老若男女を問わず人材育成については日常的に取り組んでいる。予算措置がされているリーディング大学院プログラムや卓越大学院プログラムの柱としてサイバニクス分野があるが、これらのプログラムに在籍する若手研究人材の育成に関しては、当該 ImPACT プログラムでの取り組みと連動させた研究開発を行わせている。H30 年には、Forbes ジャパンが選ぶ世界に影響を与える 30 歳未満の日本の 30 人「30 UNDER 30 JAPAN」（ヘルスケア & サイエンス部門）を受賞した当該分野の若手研究人材が「サイバニクス研究者」として紹介されており、新領域【サイバニクス】分野の研究人材の育成に大いに貢献できた。サイバニクス技術の開拓を推進する若手人材を育成するための取り組みについては、GCOE プログラム「サイバニクス国際教育研究拠点」、リーディング大学院プログラムに続き、卓越大学院の採択を実現し、文部科学省への説明においてもサイバニクス産業を推進する『CYBERDYNE 学位プログラム(仮)』が準備されることとなった。また、当該プログラムの研究開発は常に基礎と実務が同時展開されることが重要であるため、参画研究者は PM と相談しながら研究開発計画を見直しながら調整等を進め、出口イメージを描いた状態からのバックキャスト手法を意識して基礎研究の段階からイノベーションを生み出す取り組みを実践してきている。このような意識改革によって、従来とは異なり、基礎からイノベーションを生み出す取り組みの重要性や複眼的なものの見方を獲得することに繋がった。

⑨ <全体>更なる研究開発の発展や、我が国の産業競争力の強化、困難な社会課題の解決に向け、どれほどの貢献ができたか。

少子超高齢社会が直面する要介護者の重介護は、医療・介護でも解決できず、家族や社会による多大な負担（介護負担（要介護者の心的負担を含む）、社会コスト負担等）を容認しながら乗り越えざるを得ない深刻で解決が困難な社会課題である。当該 ImPACT プログラムでは、この重介護問題を解決に向けて「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックスシステム」の研究開発を推進し、研究開発成果の社会実装を着実に進めてきた。その結果、世界初のサイボーグ型ロボットの医療機器化に成功し、進行性の神経筋難病疾患に対するサイバニクス治療を実現するための医療用 HAL を公的な医療保険を適用しながら活用できる段階へと発展させ、重介護を余儀なくされる難病患者に貢献することができた。さらに、寝たきり状態で自発呼吸も会話もできない重介護状態の方が自分の意思でナースコールをしたり、介助者や家族とコミュニケーションをしたりすることができるサイバニックスインタフェース「Cyin」を研究開発し、民間保険会社との協働によって社会実装を開始することができ、重介護状態の方の自立度向上に対する貢献が始まった。革新的サイバニックスシステム（サイバニックスインタフェース／デバイス／システム）を中核に据え、ロボット産業や IT 産業の次の段階の新産業「サイバニクス産業」の創出に向けた取り組みを推進している。当初計画からも記載している新産業創出連携体「CEJ（サイバニクスエクセレンスジャパン：Cybernetics Excellence Japan）」の取り組みとして、サイバニクス分野の産業を育成し国際産業競争力の強化にも資する新たなファンドを設立し、「サイバニクス分野」の産業競争力を強化しようとするスタートアップや挑戦型企业への支援を通して社会への貢献を行えるようにした。また、サイバニクス分野の人材育成のために、大学院博士課程の学生を対象とした「サイバニクス未来開拓型人材育成プログラム（奨学金×AI 等最先端技術インターンシップ）」を開始し、新領域を開拓する人材育成に対して広く社会に貢献できるようにした。

⑩ <全体>目標通りの成果が得られなかった事例等の原因分析や解析が適切に行われ、そこから得られた知見や教訓を次の挑戦に活かすことが出来るか。失敗を通して次の挑戦につながる道筋は描けたか。

当初計画の中で描いた道筋では、限られた時間の中であっても全力で挑戦し続けることを想定し当該プログラムの進行計画を立案したが、内閣府の ImPACT 推進担当者が変わるなどの不連続なイベントや、プログラム内での予算の移動等に関しても ImPACT 事務局・委員会からの決定を待つ期間が数ヶ月を超えるようなことがあると、目標達成に必要な時間を大きく失ってしまう場合がある。

そのような場合でも、当初目的を達成するための取り組みに挑戦し続けることが重要であり、実現に向けてやり通すという責任と強い思いでの研究開発姿勢が、次の挑戦においても活かすことができる大切なことであると考えている。

さらに、失敗という感覚はないが、社会実装への舵取りと、ベンチマークでの優位性獲得のどちらを重視するか、あるいはベンチマークの優位性を海外企業とタッグを組むことで実現することの是非など、日常的に悩ましく思うことがあり、一部では不完全燃焼の思いを持つ研究開発もある。しかし、フル稼働での研究開発を行って到達した状態をベースに、さらなる挑戦への思い

が湧き出す結果となっており、その意味では次の挑戦につながる道筋を常に描き続けることができたと考える。

（３）その他、ImPACT プログラム全体に対する所感・提言（自由記載）

今回の ImPACT の取り組みでは、社会実装とイノベーション推進の観点から出口戦略を持ちながら基礎と実際の両方を推進しなければならないかなり高度なマネジメントを要するプログラムであった。研究開発においては、シーズオリエンテッドでの研究推進とニーズオリエンテッドの研究推進に大別できるが、ImPACT の取り組みではその両方の観点から研究開発を同時展開する必要があった。このことは極めて重要なことで、基礎と実際とは常に相互にフィードバックされながら動いていることをしっかりと認識して研究開発を進めなければならないことを意味している。さらに、技術的な取り組みだけではなく社会的な取り組みも実現できなければ、社会実装とイノベーション推進が実現できないため、その点においても ImPACT の PM は全力を尽くしながら取り組んでいく必要があった。これらを総合的に見てみると、今回の ImPACT の取り組みは従来の研究開発の推進スタイルを超えた取り組みとなっている。基礎と実際と社会実装とイノベーション推進への取り組みを同時展開しなければならなかったため、多くの PM にとっては大変だったかもしれないが、目的を達成し、さらなる挑戦へと舵取りを進めている PM にとっては様々な観点から能力を高めることができたという点で非常に素晴らしいプログラムであったと考える。我が国の科学技術政策を考える上で極めて重要な PM の育成にもなっており、社会課題の解決に向けた革新的な研究開発と社会実装を通したイノベーション推進の点からも、次に続くプログラムのモデルになる取り組みであったと考える。

ImPACT では、「革新」を Keyword として、イノベーション推進、社会実装、社会変革・産業変革を実現しようとする取り組みとなっており、ワクワクするような挑戦をし続けることができた。FIRST に続き、ImPACT では、社会課題を解決するという極めて重要な科学技術への取り組みを推進させたプログラムとして高く評価できる。

希望を述べるならば、もっと大胆に PM や研究開発機関が活動できるように、ImPACT プログラム全体をマネージする側が、PM の意向を適切に推進できるようにスピーディーに対応してもらえていればと考える。

今回の ImPACT の取り組みを次のプログラムに活かすとすれば、基礎と実際と社会実装とイノベーション推進への取り組みを、少なくとも「技術的取り組み」と「社会的取り組み」の２つの側面から同時展開できる能力を PM・PD・PO 等には求める必要があると考える。

科学技術やイノベーションに軸足を置く我が国にとっては、そのような多岐にわたる能力を有する人材の確保・育成は極めて重要であり、FIRST、ImPACT と繋がる大胆で諸外国からも注目される取り組みはこれからも継続的に推進していくべきものとする。