

研究成果展開事業

－戦略的イノベーション創出推進プログラム－

(S-イノベ)

研究開発テーマ

「高齢社会を豊かにする科学・技術・

システムの創成」

研究開発テーマ事後評価用資料

プログラムオフィサー

伊福部達

(東京大学・高齢社会総合研究機構)

2020年(令和2年)5月25日

目次

I. 本テーマ「高齢社会」が始動するまで –P.O.の役割と経緯–

1. はじめに
2. プロジェクトの目標設定と評価基準
 - (1) 高齢者の社会参加を促す
 - (2) 何を、何で、どのような計画で進めるのか
 - (3) 研究開発テーマの進捗状況の把握
 - (4) 選考過程と採択課題
 - (5) 本格研究課題の選考
 - (6) POの研究開発テーマのマネジメントの内容と実施結果
3. 採択4課題の目的と成果の要点

II. 本格研究3課題（ステージⅢまで遂行したもの）

1. 課題1. 「高齢者の記憶と認知機能低下に対する生活支援ロボットシステムの開発」
 - (1) 背景・目的など
 - (2) 研究開発実施概要
 - (3) 主な成果
 - (4) 事業化の検討
 - (5) 開発・評価プラットフォームの構築
 - (6) 競合技術と本システムの特徴
 - (7) 今後の計画、実用化・事業化に向けて
 - (8) PO、PO 補佐、アドバイザーによる評価結果
2. 課題2：「高齢者の自立を支援し安全安心社会を実現する自律運転知能システム」
 - (1) 背景・特色・目的
 - (2) 本課題の位置づけと特色
 - (3) 研究開発実施概要
 - (4) 研究体制
 - (5) 研究計画とステージⅠ、Ⅱにおける成果の要点
 - (6) 主な成果
 - (7) 競合技術との違いと今後の計画
 - (8) 実用化・事業化に向けて
 - (9) PO・PO 補佐・アドバイザーによる評価結果
3. 課題3：高齢者の経験・知識・技能を社会の推進力とするための ICT 基盤「高齢者クラウド」の研究開発
 - (1) 背景・目的
 - (2) 研究開発実施概要
 - (3) 研究体制
 - (4) 実施計画と結果の要点
 - (5) 主な成果
 - (6) 「GBER」と「人材スカウター」の評価および競合技術
 - (7) 経済効果とQOL(生きがい)の評価
 - (8) 今後の計画、実用化・事業化に向けて
 - (9) PO・PO 補佐・アドバイザーによる評価結果

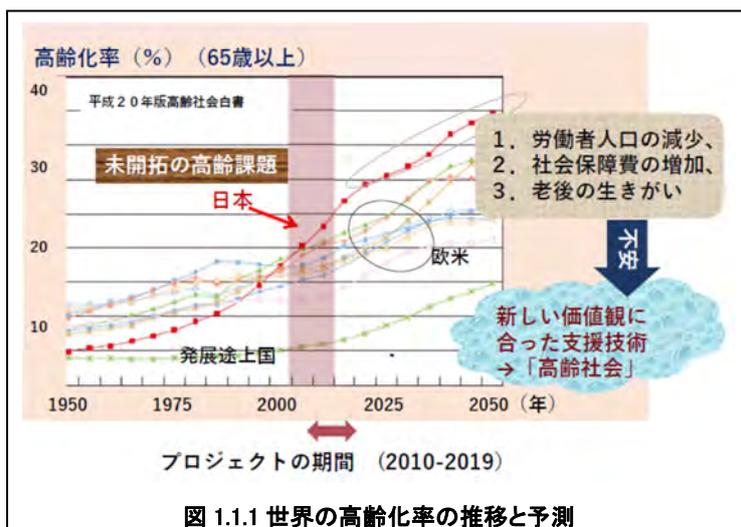
III. 本研究開発テーマとしての成果と今後の課題

1. 3課題の情報共有と連携による効果・有用性の考察
2. 本テーマを10年間続けたことの意義
3. 本テーマの中間評価における指摘や意見に対する対応
4. 国際化について–POの講演から–
5. おわりに–今後への期待–

I. 本テーマ「高齢社会」が始動するまで -P. O. の役割と経緯-

1. はじめに

標題の産学連携プロジェクトが発足した 2010 年は、日本の 65 歳以上の高齢者の人口比が世界で初の 20% を超え、超高齢社会に突入しようとしていた (図 1.1.1)。そのため、「労働者人口」の減少と「社会保障費」の増加、そして長い老後の「生きがい」をどこに求める



かが緊急を要する現実的な課題になっていた。この課題に少しでも応えようと、JST (日本科学技術振興機構) の「戦略的イノベーション創出推進プログラム」の一つのテーマとして高齢社会問題の取り組みが提案された。

提案代表の伊福部達は約 40 年にわたり障害者を技術で支援する福祉工学研究を行ってきたことからその経験を

活かして欲しいと依頼され、テーマの名称から目標、方法、評価の設定までを任された。

テーマ名としては標題の「高齢社会 (略称)」とし、大目標として元気な高齢者には「社会への参加」を促し、虚弱になった高齢者には「自立した生活」を支援することを提案し、我が国が力を入れてきた情報システムやロボット技術を活かすことにより、マイナス面をプラスに転換させる道を探ることとした。

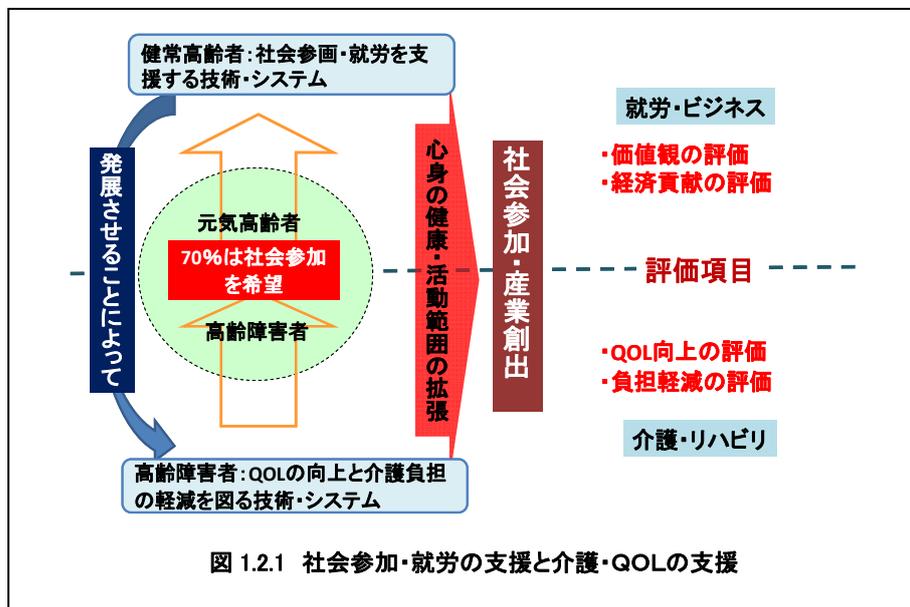
有識者に集まってもらって 3 回にわたる公開ワークショップを通じて議論し合い、また同時期に東京大学内に設立された「高齢社会総合研究機構」のメンバーからも多くの助言を得て、約半年をかけてテーマを具体化していった。その結果を JST の会議で報告した後、伊福部が本テーマの領域代表 (プログラムオフィサー、以下 P0) を依頼され、次の段階である公募要項の作成に入った。ここで、本テーマは 2010 年度から 2019 年度までの 10 年間も続く長いプロジェクトであることから、3 名 (途中から 2 名) の P0 補佐を設けることにした。

本報告では、P0 の立場から、テーマの目標、アプローチ、経緯、今までの成果を示し、本テーマが、我が国の「経済発展」と個人の「生きがい」を両立させるのにどこまで貢献しているかを概説する。その後、現在 (2019 年 3 月) まで進められた 3 課題については、各課題のプログラム・マネージャー (PM) から具体的な成果や今後について纏めてもらい、本報告書の II 章に掲載した。

2. プロジェクトの目標設定と評価基準

(1) 高齢者の社会参加を促す

本テーマの社会参加を促進することにより、生きる上で必須な「動く」、「食べる」という行動も促されるので結果として健康維持につながる。それが若い人を助けることになれば、社会保障費の軽減や労働者人口の増加にもつながる。そして何より、老後の「生きがい」に結び付くことが期待された。一方では、医療の進歩や食生活の改善のおかげで数十年前に比べると高齢者は心身共に10歳以上も若くなっているという論文が次々と紹介されていた。また、高齢者の中で70%を超える人たちが社会参加や再就労を希望していることなどの調査結果が得られていた。このことから社会参加の重要性は裏付けられていたし、何より新しい産業が生まれ経済への貢献も大きくなると考えた。



このような観点から、図 1.2.1 に示したように、元気な高齢者には「心身を支援しながら社会参加・就労を促す」に重点を置くことにした。そこで開発された

支援技術・システムを発展させることで、虚弱になった高齢者の「QOLの向上と介護負担などの軽減を図る」に生かすこととした。さらに、その技術やシステムを新しい産業の創出に結び付けるという道筋を立てた。そして、プロジェクトの最終的な評価は「経済発展への貢献」や「介護負担の軽減」という社会的な面と「生きがいの増加」や「QOLの向上」という個人的な面を軸にするのが妥当であろうと判断した(図 1.2.1 右側)。なお、この目標設定と評価基準についてはテーマの発足時から変わることなかった。

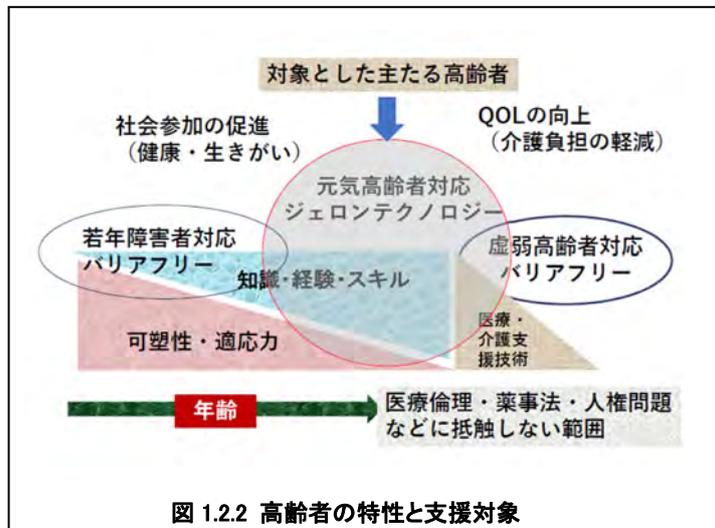


図 1.2.2 高齢者の特性と支援対象

しかし、高齢者の何を生かして、何を支援するかは、高齢者の多様性を考えると一概に決めることはできないし、元気か虚弱かの判定は簡単なものではない。図 1.2.2 に示したように、若いときにある機能が弱ったり失ったりしても、それを補う「可塑性」による代償機能に期待できるので、その代償機能をいかに生かすかが障害者支援のキーポイント

になる。一方、高齢者を支援する場合には、長年にわたって獲得した知識、経験、技能（スキル）を生かす視点が重要になると考えた。ただし、元気といっても心身機能は漸進的に低下していくので、高齢化による心身機能の低下を把握し、快適な生活を送るのを支援する「ジェロンテクノロジー(高齢者支援技術)」は本テーマでは不可欠となる。ここで、多くの技術系企業が参画しやすくするために、ジェロンテクノロジーは薬事法、人権、倫理などの問題にできるだけ抵触しない範囲とした。このような考察を経て、次に何をどのような技術・システムで支援するかという具体的な課題への絞り込みを行った。

(2) 何を、何で、どのような計画で進めるのか

支援する技術・システムの対象として、米国の数学者ノバート・ウィーナーが 1948 年に提唱したサイバネティクス概念を参考にして、「感覚」、「脳」、「運動」の身体機能をあげた。これは PO (伊福部) が取り組んできた福祉工学の骨格となる概念でもあったので、その概念をプロジェクトでも活かすことを認めてもらった。また、2001 年の WHO (世界保健機構) の提唱に基づき、コミュニティで社会参加をする上で必要な「情報獲得」、「コミュニケーション」、「移動」の生活機能を支援するという立場を採った。言うまでもなく、情報獲得は感覚に、コミュニケーションは脳に、移動は運動に連動する。

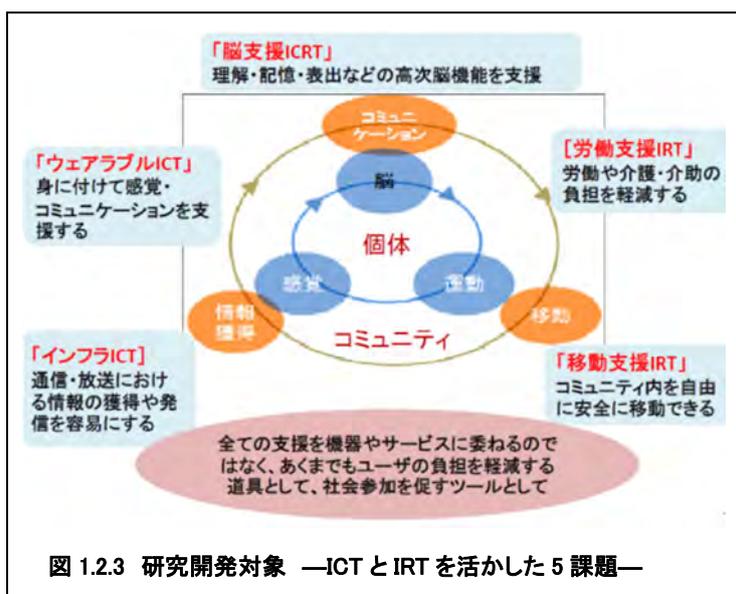
さらに、最近、著しい進歩を遂げている ICT (情報通信技術) と IRT (情報ロボット技術) を生かすことが、我が国の産業発展にも貢献すると考えた。ただし、従来から障害者や高齢者を支援する工学分野は、ニーズや基礎科学が曖昧なまま進められていることが多く、成功例は極めて数少ない。つまり大学や国研ではテクノロジーで何を解決したらよいか不明のままであり、また、産業界でも、実用化されたといってもマーケットが小さいためにどのように普及させれば良いかが不明であった。その理由の一つとして、現場や当事者を分析し把握する努力が足りなかったことと考え、成果を検証する自治体や施設などの現場とタイアップしてもらうことを義務付け、具体的な現場を明示してもらった。

最終的に、図 1.2.3 に示したような五つの課題、すなわち「ウェアラブル ICT」、「インフラ ICT」、「労働支援 IRT」、「移動支援 IRT」、「脳機能支援 ICT・IRT」に絞り込んだ。また、それらがユーザや社会に受容される上で必要になる薬事法、PL 法、道路交通法などの法制度の見直しを提言してもらうことにした。

<5 課題の具体例>

図 1.2.3 に示したように、5 つの具体例は以下の通りである。

- (a) 身に付けて感覚・コミュニケーションおよび健康を支援する「ウェアラブル ICT」
例：コミュニケーション能力を補強するために、衰えた視・聴覚および発話の機能を支援したり、健康の管理をしたりするウェアラブル技術
- (b) 通信・放送における情報の獲得や発信を容易にする「インフラ ICT」
例：獲得した知識、経験、技能（スキル）を伝承するために、それらを活かした就労や社会参加を促すと共に再現・提示するのを助けるネットワーク技術
- (c) 労働や介護・介助の負担を軽減する「労働支援 IRT」
例：身体への負担を軽減するために、日常生活や仕事場における労働・作業を補助したり、人間の介護・介助を支援したりするロボット技術
- (d) コミュニティ内を自由に安全に移動できる「移動支援 IRT」
例：行動範囲を広げるために、運転環境をセンシング・提示し、認知・判断・操作を容易にして事故を軽減させるモビリティ技術
- (e) 理解・記憶・表出を補助し促進させる「脳機能支援 ICT・IRT」
例：物忘れなど脳機能の衰えを補助するために、記憶やスケジュールを管理したり、行動中に授受した感覚・言語情報を代替記憶し再現したりする支援技術



応募する際には、上記の5つの技術のうち、どの技術に関係(複数でも可)しているかを明示してもらった。なお、ICTやIRTを活用する上で、全ての支援を機器やサービスに委ねるのではなく、あくまでもユーザの負担を軽減する道具として、社会参画を促すツールとして位置づけ、それらの有用性を実証できる現場も明示してもらった。

(3) 研究開発テーマの進捗状況の把握

①各ステージにおける課題と研究開発の方法

本プロジェクトのステージⅠでは「高齢者の認知・行動とニーズの把握」、ステージⅡでは、「機器・サービスの開発と改良」、ステージⅢでは「社会実装による評価と産業化」の3段階で進めることにした(図1.2.4)。なお、この3つのステージは「科学」、「技術」、「システム」にも対応する。

ステージⅠでは、高齢者の価値観の変容や認知・行動を把握する基礎研究を行いながら、その結果に基づいて高齢社会で必要となる支援機器やサービスシステムを提案する。

ステージⅡでは、開発された支援機器・サービスシステムを高齢者に使用してもらい、問題が残されていれば再び仕様の変更を行い、実用性の観点からそれらを評価する。

ステージⅢでは、提案された支援機器やサービスシステムを高齢社会で活用した場合の効果

や従来制度との整合性を考慮しながら社会実験を行い、社会的な受容性と経済への波及効果を検証し、問題がなければ実用化・製品化の段階に入る。

とくに、ステージⅢでは、持続可能なビジネスモデルを提案し、その検証と評価に重点を置いた。ただし、いずれのステージでも現場で活用した場合の効果を検証した上で、問題が残されてい

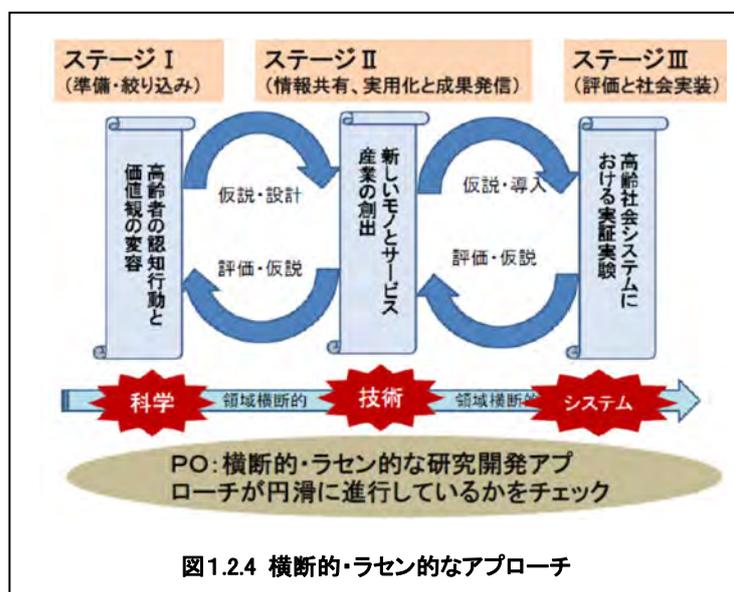


図1.2.4 横断的・ラセン的なアプローチ

ればそれを見直すという新知見と新技術が循環するような「らせん的な方法論」に従うこととした。

② 医療との関わり

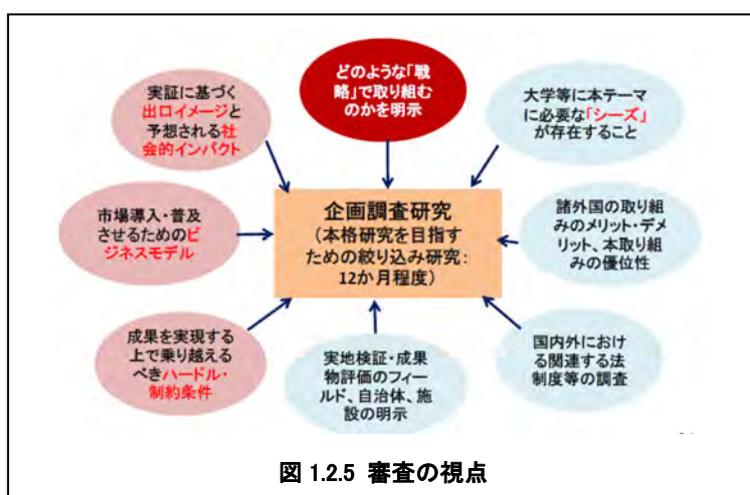
一方では、これらの支援機器やサービスシステムを発展させることで、障害を持つようになった高齢者の支援にも活かす方法を提案してもらった。従って、「QOLの向上」と「介護負担の軽減」に関わる提案も研究対象とした。

ただし、医療に関わる技術は薬事法・倫理・人権などの問題に抵触する場合があります。課題解決への過程が非常に複雑になる。本テーマでは、医療に抵触しない範囲で介護とリハビリテーションを支援する技術を対象とした。さらに、高齢化は日本ばかりでなく世界的な傾向にあることから、海外での取り組み等についても常に動向を把握し、本テーマにより創成される新しい技術・システムが将来、輸出産業などにも活かされることを期待した。

(4) 選考過程と採択課題

公募期間を2010年の10月27日から11月26日とし公募を行った結果、54件の応募があり、この応募の内容は、提案した5課題(図1.2.4)にほぼ均等に分類されていた。POと3人のPO補佐および7名のアドバイザーからなる審査員が決定され、第1次の書類だけの審査から18件が選ばれた。

① 企画調査研究



課題が予想以上に多かったので、本格的な研究を目指すための絞り込みとして「企画調査研究」を実施した。この第2次審査では、書類選出された18件の研究代表者に内容を全審査員の前で発表してもらい、その時の質疑応答を通じて、また審査委員の意見や議論を通じて8件に絞られた。

ここでは要点だけを示すが、図1.2.5の最上と左側の4項目について重点的な評価を行った。なお、審査委員の人選については、本テーマの多様性、横断性を鑑み、かつ、学識者や行政さらに企業からの人材を登用した(表1.2.1)。2011年2月11日のキックオフパーティを終えて、プロジェクトの本格的なスタートとなった。

しかし、その丁度1か月後(2011年3月11日)に、我が国は東日本大震災と呼ばれる強大な地震に見舞われ、国を挙げて震災復興に全力を注ぐことになった。そのため、当初に計上されていたプロジェクト予算も大幅に減額され、採択する課題も少数に絞られることになった。どの課題を継続するかという審議が続いたが、結果的として「インフラ ICT」、「労働支援 IRT」、「移動支援 IRT」、「脳機能支援 ICT・IRT」の4課題を残すことにした。なお、「ウェアラブル ICT」は予算の関係上、採用を断念した。

表 1.2.1 PO補佐・アドバイザーの構成と所属

| 役 割 | 氏名 | 所属 (終了時点) | 役職 | 任期 |
|------|-------|-----------------------------|-------|---------------------|
| PO補佐 | 秋山 弘子 | 東京大学 名誉教授 (法) 高齢社会共創センター | センター長 | 平成22年11月 ～令和2年3月 |

| | | | | |
|--------|--------|-------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| PO 補佐 | 後藤 芳一 | 日本福祉大学 大学院医療・福祉マネジメント研究科、機械振興機構 | 客員教授 次長（兼務） | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 3 月 |
| PO 補佐 | 田中 理 | 横浜市総合リハビリテーションセンター | 顧問 | 平成 22 年 11 月 ～（退任） |
| アドバイザー | 板生 清 | 東京大学 | 名誉教授 | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 3 月 |
| アドバイザー | 清水 孝一 | 早稲田大学 大学院 | 教授 | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 |
| アドバイザー | 田中 敏明 | 北海道科学大学 保健医療学部 | 教授 | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 3 月 |
| アドバイザー | 土井 美和子 | 国立研究開発法人情報通信研究機構 | 監事 | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 3 月 |
| アドバイザー | 正木 信夫 | 株式会社 ATR-promotions 脳活動イメージングセンタ | センタ長 | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 3 月 |
| アドバイザー | 三澤 裕 | 一般社団法人 日本医療機器テクノロジー協会 | 専務理事 | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 3 月 |
| アドバイザー | 吉村 洋 | 東北大学ベンチャーパートナーズ株式会社 | 代表取締役 社長 | 平成 22 年 11 月 ～令和 2 年 3 月 |

<審査委員の選出理由と役割>

なお、以下に、人選にあたっての基本的な考え方と背景について述べる。まず、本テーマはカバーすべき範囲が極めて広いことから、それぞれの分野で第一人者である 3 人の PO 補佐を置くことにした。

○PO 補佐の秋山弘子は米国イリノイ大学で長年にわたり老年学（ジェロントロジー）を教授していた社会心理学者であり、ジェロントロジーの諸問題を多くの社会実験を通して検証してきた実績があることから、本テーマを大局的に評価するに相応しいと考えた。

○PO 補佐の後藤芳一は長年にわたり行政（経済産業省）の立場から福祉機器開発の支援や制度設計を進めており、本テーマにおける産学連携の在り方や経済効果等を評価するにはもっとも相応しいと考えた。なお、ステージⅡで東京大学・工学部・機械工学科の特任教授と日本福祉大学の教授を経て、現在は機械振興機構の次長を兼ねる。

○PO 補佐の田中理は一貫してリハビリ現場で支援機器の開発と評価を行ってきた工学系研究者であり、現場におけるニーズや当事者が求めているシーズを的確に把握できる者であることから、本テーマの現場における有用性を評価するに相応しいと考えた。ただし、ステージⅢに入る前に役割を終了している。

さらに、PO 補佐以外に 7 名のアドバイザー（AD）を選出した。

○ADの板生清は旧電電公社においてセンサやネットワークを人間の支援に生かす研究を進め、大学では人間-自然インタフェースの分野を切り開いたもので、ジェロントロジーの諸問題を「システム」として捉える最適な技術系研究者である。

○ADの清水孝一は米国と日本の大学において一貫して生体計測やスポーツ科学の教育・研究を実践してきた者で、ジェロントロジーで欠かせない高齢者の身体機能の諸特性を計測・評価できる医工連携分野の研究者である。

○ADの田中敏明は理学療法士でありながら工学博士を有している者で、一貫して現場において高齢者支援を運動力学や認知工学の分野から実践してきており、高齢者の身体機能特性を的確に把握できる医工連携分野の研究者である。

○ADの土井美和子は企業において長年にわたり医療機器やヒューマンインタフェースの研究開発に携わっており、行政においてもこの分野に多くの提言をしてきた者であり、企業化に関する評価を行うには最も相応しい。

○ADの正木信夫は音響認知工学の分野を脳科学の観点から開拓した者で、また、ATRの脳活動イメージングセンター長を務めており、高齢者の認知行動を科学的に把握する上で欠かせない研究者である。

○ADの三澤裕は企業において長年にわたり医療機器とくに生体計測機器を開発してきた技術系研究者であり、本テーマを実用化や産業化に向けて多くの提言をできる研究者である。

○ADの吉村洋は長年にわたり企業において技術開発とその製品化を進めており、退社した後は北欧における福祉技術・政策の調査研究に携わっていた者で、極めて広い立場から本テーマを評価できる者である。

(5) 本格研究課題の選考

約1年間の企画調査研究を実施後、その全体的な評価として、(a) 研究の目的達成度、(b) 本格研究につながる成果が得られたか、(c) 新しい産業創出の可能性の観点から審査を行った。その上で、本格研究課題としての評価として、図1.1.6の最下段と右側に示した4項目を重視した。

ただし、高齢者自身が身に付けて弱った機能を支援し就労を助ける「ウェアラブル健康管理ICT」については該当する課題がなかったため、今後、何らかの形で本研究開発テーマに導入することとした。なお、「軽労化スーツ」の課題は実用化の段階に入ったこともあり、後述するように、ステージIを終えて終了している。

表1.2.2 および図1.2.6に本格研究に採択された4課題の研究リーダー（以下、プロジェクトマネージャー：PMと呼ぶ）の所属や研究課題を示した。

(6) P0の研究開発テーマのマネジメントの内容と実施結果

「学」は高齢者の機能解析と支援機器やサービスシステムの評価に中心をおき、「産」は「学」で得られた知見に基づき設計・制作を行い、その有用性を「産学連携」により実地で検証してもらった。P0は、この学による「解析・評価」と産にける「設計・実証」のループが円滑に進められているかを①「中間評価」や②「サイトビジット」により随時チェックし、③「テーマ推進会議」を通じて、各課題の情報共有と連携体制が旨く働いているかをチェックした。具体的な評価内容と実施結果は以下の通りである。すなわち、

- ① 中間評価では、P0、P0 補佐、アドバイザー全員、JST の関係者の出席のもと、各チームリーダーからの発表と質疑による進捗状況の把握と評価を実施した。なお、研究開発担当者は全員参加可能とした。また、この評価は産学連携を推進させる役割も持っており、各ステージ毎に 6 - 8 回、全ステージで約 25 回にわたり行った。毎回、会議に基づいて問題点や今後進めるべきことを記した評価資料を作成し、全課題の PM には次回の報告会までに答えを出すよう要望した。
- ② サイトビジット(年 1-2 回)は、P0、P0 補佐、AD、JST の関係者の出席のもと、各チーム個別にそのチームの研究参画機関全員からの進捗状況の把握と評価、研究開発施設・設備視察を行い、今後の進め方を議論し、提言や助言を行うものである。本テーマの終了まで P0 等や JST の関係者によるサイトビジットを約 50 回にわたり実施し、施設・設備の視察および研究開発の状況を把握し、それに基づいた指導・助言を行った。
- ③年に一度「テーマ推進会議」を開いて各課題で情報を共有してもらい、P0 はこの情報共有が円滑に進められているかを随時チェックした。さらに、本研究開発テーマの目標を目指すよう指導を行ってきた。ここでは、P0、P0 補佐、AD および JST の関係者の出席のもと、各チーム個別に PM と企業側の開発リーダーからその年の開発実施計画書を発表してもらい、その評価を行うとともに情報共有と連携方法を提言した。

その結果に基づいて、早期に社会実装が可能な課題か、基礎研究が必要な長期にわたる課題かの判断を行った。この過程で、必要となる技術がある場合には、それを遂行できる企業や大学等を追加で参入させた。また、社会実装する成果が得られた時には本テーマから終了してもらい、逆に課題の遂行に必要な無いと判断された場合、参画している企業や大学等を撤退させた。

なお、産業創出や社会参加の観点はいうまでもないが、各課題から生まれた技術・システムをコミュニティの中で如何に有機的に生かしながら「生きがいや QOL の向上」と「社会保障や介護負担の軽減」に取り組んでいるかを総合的に評価するよう心がけた。

3. 採択 4 課題の目的と成果の要点

ここでは 4 課題の課題名とその要点や特長だけを述べる。なお、ステージ II 以降に継続して遂行された 3 課題については、II 章で詳しく述べた。

(1) 課題1「生活支援ロボット(略称)」

本課題では、認知機能や記憶力の低下した高齢者を対象として、生活に必要な情報を伝えることにより、自立・自律した生活を維持し、適切な行動を促すことを目的とする生活支援ロボットを開発する。施設などで現場での徹底的な評価を繰り返しなら改良化を進め、その有用性を示すとともに、導入サービスや供給体制を含めたトータルシステムとして事業化されるような高齢者支援産業の創出を試みる。詳細はⅡの1で記述している。

(2) 課題2「自律運転知能システム(略称)」

本課題では、高齢者の運転能力の低下を助けるために、必要に応じて運転に介入する自律運転知能システムを研究開発する。完全自動運転車と異なり、介入時以外では自ら運転操作をする方式を採っているため、高齢者の運転の楽しみを奪うことなく、認知・行動機能の低下を遅らせる効果も期待される。詳細はⅡの2で記述している。

(3) 課題3「高齢者クラウド(略称)」

本課題では、高齢者が獲得した知識・経験・スキルを生かして、就労や社会参加を促したり、若い人にそれらを継承させたりすることによって、高齢者を社会の推進力とするジョブマッチング方式を開発する。高齢者の生きがいや自立度の向上、介護負担の低減に繋げることを目標としている。試行錯誤を繰り返しながらハイスキル人材用の「人材スカウター」とそれ以外の「GBER」というジョブマッチングのプラットフォームを構築している。詳細はⅡの3で記述している。

(4) 課題4 高齢社会での社会参加支援のための軽労化技術の研究開発と評価システムの構築(以下、略称:「軽労化スーツ」)

PM: 田中 孝之(北海道大学 大学院情報科学研究科)

開発リーダー: 山岸 孝幸(三菱電機エンジニアリング株式会社)

本課題は平成25年度で終了していることから、その目的、開発過程および成果について本項で述べておく。

① 背景・目的

高齢者の過度の負担や疲労を取り除くことで作業の質を高めることが可能である軽労化技術を高齢者に適用することで、自立生活と社会参加が可能な豊かな高齢社会を実現する。人の手による仕事の価値を見直し、Secure(安全なアシスト)、Sustainable(人が本来持つべき身体機能を維持するアシスト)、Subliminal:(親和性が高く、人の感覚を鈍らせない、さりげないアシスト)の3つのコンセプト「3Sアシスト」を提唱する。具体的には

農作業や除雪作業のための筋力補助スーツと設計・評価システムを開発し、他のアシスト技術へも適用可能な評価基準を構築する。

② 研究開発実施概要

<開発プロセス>

図 1.3.1 の左図に示したように、まず、3S アシストの概念は「スマートスーツ」と名付けた軽労化スーツで実現した。これは腰部の 3 次元運動補助として、腰の屈伸、ひねり、膝



の屈伸を補助することを目的としており、背筋や腰周り、大腿の筋負担を 20~40%軽減することを目標としている。この軽労化機能を実現するために、スーツの素材そのものがコンプライアンス(弾性)のあるバネのような働きをして、重たいものを持ち上げるときには、

腰に負担がかからないようにバネによる力が強くなり、逆に軽いもの場合にはバネの力も弱くなるという機能を開発した。

また、より人体への負担を軽減するためにスーツに取り付けた小型のモータが作動し、持ち上げる物の重量によりモータの力が適応的に重量の負担を軽くするように働く機能も有している。モーションセンサで得たデータを基に、前屈(腰部屈曲)、屈伸(脚部屈曲)、およびこれらの複合動作(腰・脚部屈曲)のときにどこの関節や筋にどれだけの負担がかかるかを生体力学に基づいたシミュレーションを行い、負担のかかる部位に最適な補助力調整ができるようにした。これは、図 1.3.1 の右図に示したように、「セミアクティブ・アシスト」と呼ぶ本方式独自の技術であり、弾性材の伸長に伴う弾性力を補助力とし、その伸長量を 2 個の小型モータによって調整することで補助力を制御する機構である。

③ 主な成果

<開発したスーツの諸特性>

2 個のモータを腰の中心に左右独立に配置することで、腰部を 3 次元的にサポートできるので、多様な動きでも腰部をアシストできる。また、利用者の姿勢を計測するセンサを内蔵しており、補助力が動作を妨げないように、弾性体の発する補助力を調整できるようにした。さらに、補助力の調整は、ワイヤを介してアクチュエータによって弾性体の伸長量を

制御することで実現した。総重量は 1.2kg と軽量であり、ニッケル水素電池を使って 1 個のモータ当たり 50N の力を出せた (表 1.3.1 参照)。

<作業時における負担評価>

負担がどの程度軽減されたかは、作業時に使う筋の活動量を筋電位の変化で評価した。いうまでもなく、筋電位が減少するほど、ロボットが筋力を支援していることになる。ただ、ここで注意しなければならないのは、筋力への負担が少なくなることは、筋肉の活動を弱めてしまう可能性があることである。スポーツトレーニングでは、筋力へ負担をかける

表1.3.1 軽労化スーツ機構部の仕様と筋負荷軽減率

| | |
|--------------------|-------------------|
| 総重量 (うち駆動部・制御部) | 1.9 kg (1.0kg) |
| バッテリー | NiH12V |
| モータ最大張力 | 50N × 2 基 |
| 腰部筋負担軽減率 (屈曲時) | 15~30% |
| 腰部筋負担軽減率 (回旋時) | 10% |

ことで筋肉量を増やすという訓練が行われていることから、負担軽減の効果は多角的に評価する必要がある。

上記のことを考慮しながら筋電位から評価した結果によると、農作業の前屈運動の補助では、背筋を最大で40%、体幹全体で14%のアシスト効果 (筋活動電位軽減率) が得られ、競走馬調教機種や除雪作業における負担軽減にも大きな効果があることが分かった。農業よりも複雑で多様な作業

を伴う「酪農フィールドの搾乳作業」でも同様の実証評価を行ったところ、腰前屈動作で背筋50%補助、膝屈伸動作で大腿60%補助の効果が得られている。以上から、図1.3.2 に示したように、介護、建設、除雪および救助などで高負担のかかる作業に応用できる可能性が示された。なお、北海道特有の仕事である競走馬調教などにも活かせることが分かった。

④ 今後の計画、実用化・事業化に向けて

類似の軽労化技術は多く提案されているが、他の提案と比べて機構が複雑でなく着脱が容易で素材が軽いことから衣服を身に着ける要領で利用できる点にある。農業のみで市場を予測すると、アンケート結果から北海道内では年齢・性別を問わず 66%の農家が軽労化技術を強く求めていることが分かっている。これを全国に拡張して考えると、農業者人口は約 300 万人を維持すると言われており、その 66%が軽労化技術を希望し、さらにその内 1%が購入したと



図 1.3.2 色々な場面でのスマートスーツの適用例

仮定すると年間 2 万着の販売が見込まれる。従って単価を数万円程度と想定すると、最大年間 10 億円程度の売り上げとなる。

ただし、農作業に限定せず、介護用、除雪用、さらにはリハビリやスポーツ用に用途を広げることで、売り上げの増加が見込まれることから、本軽量化技術は改良しながらも製品化を急ぐべきと判断し、事業化への段階に進むことにした。

なお、S イノベを終了した後、本課題の事業化は順調に進み、軽労化スーツという分野を牽引している。詳しくは、Ⅲ章の 3 節で、テーマ中間評価（2018 年 3 月）における評価委員の指摘に答える形で述べた。

II. 本格研究 3 課題（ステージⅢまで遂行した課題）

以下に述べる 3 課題はステージⅡとステージⅢを通して遂行されたものであり、本最終報告書の評価対象になる。各課題の PM から提出された成果報告書を基に 1 課題 10 ページ前後に纏め、終わりに P0 を含むアドバイザーによる評価結果を示した。

1. 課題 1. 「高齢者の記憶と認知機能低下に対する生活支援ロボットシステムの開発」

PM： 井上 剛伸（国立障害者リハビリテーションセンター研究所）

開発リーダー：大中 慎一（日本電気株式会社）

参画機関：国立障害者リハビリテーションセンター、日本電気株式会社、東京大学、産業技術総合研究所、株式会社生活科学運営、フランスベッド株式会社

（1）背景・目的など

日本は世界一高齢化率の高い国になって久しいが、それに伴い認知症高齢者数も増加の一途をたどり 2012 年で 462 万人、認知症の予備群とされる MCI (Mild Cognitive Impairment) は 400 万人以上と推計されている。2025 年には、認知症者の数はさらに増え、高齢者の約 5 人に 1 人が認知症との推計も示されている（図 2.1.1）。

本課題では、主に MCI を対象として、服薬やスケジュールなど生活に必要な情報を伝えるコミュニケーション・ロボットを開発し、施設など現場での徹底的な評価を繰り返しながら、改良化を進める。地域の力、人の力で支えるのを助ける意味でも、新たな技術・システムを導入することは、軽度の認知機能障害のある高齢者を支援し、自立した生活を促進させる上で極めて重要になるアプローチになる。



なお、政府では認知症施策推進関係閣僚会議を設置し、認知症施策推進大綱を 2019 年 6 月に決定している。この中では、「共生」と「予防」を車の両輪として施策を推進することが謳われており、住み慣れた地域の中で尊厳が守られ、自分らしく暮らし続けることができる社会を目指すことが示されている。

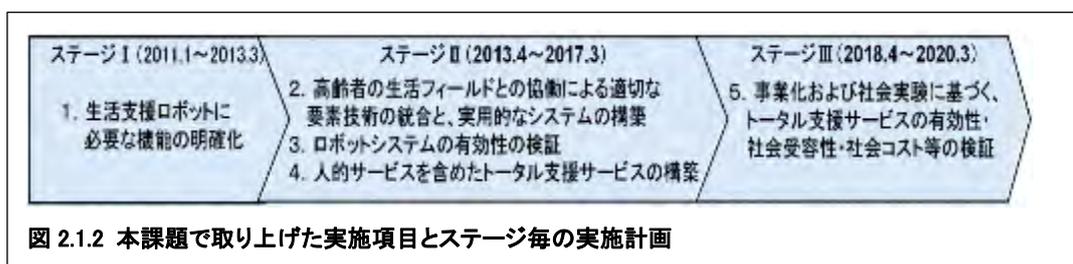
さらに、アルツハイマー病に関しては、その進行を遅延する薬が開発され、その効果が認められたことから早期診断技術の開発が進められている。

また、運動・栄養・睡眠等の介入により、認知症の発症を抑制したり、MCI の認知機能を改善させたりする可能性があることも報告されている。MCI や軽度認知症を早期に発見することにより、それらを緩やかに進行させることが予測される。逆説的のようであるが、このような時代背景の変化によって MCI の人数がさらに増加することも予想される。

以上の背景を基に、本課題で開発した生活支援ロボット・システムを、どのような場面で、どのように生かせば、どのような高齢者で有用性があるかを明確にするとともに、導入サービスや供給体制を含めたトータルシステムとして事業化されるような高齢者支援産業の創出を目指した。

(2) 研究開発実施概要

本課題では、上記の目的を達成するために、コミュニケーションロボット・システムの利用場面を初期段階から想定し、そのフィールドにて研究開発を行うフィールド・ベースト・イノベーションの手法を基本とすることとした。



開発目標としては、図 2.1.2 に示したように、5 項目を設定し、ステージ毎に成果を纏めた。なお、ステージⅢで実施した社会実験では、地域コミュニティの住民との協働によるア

クションリサーチの手法を取り入れ、地域に根ざしたロボットシステムの導入と評価を行った。

図 2.1.3 に示したように、研究実施体制は現場を中心として産・学・官が有機的に繋がるように考慮した。日本電気株式会社 (NEC) ではシステム開発を行い、東京大学と産業技術研究所では新たな技術開発を担当し、国立障害者リハビリテーションセンター研究所では効果の検証と社会実験を担当した。

また、現場として全国で自立型の有料老人ホームを運営する株式会社生活科学運営と伊豆市健康福祉部を中心に据え、フィールドで実践しやすいように配慮した。

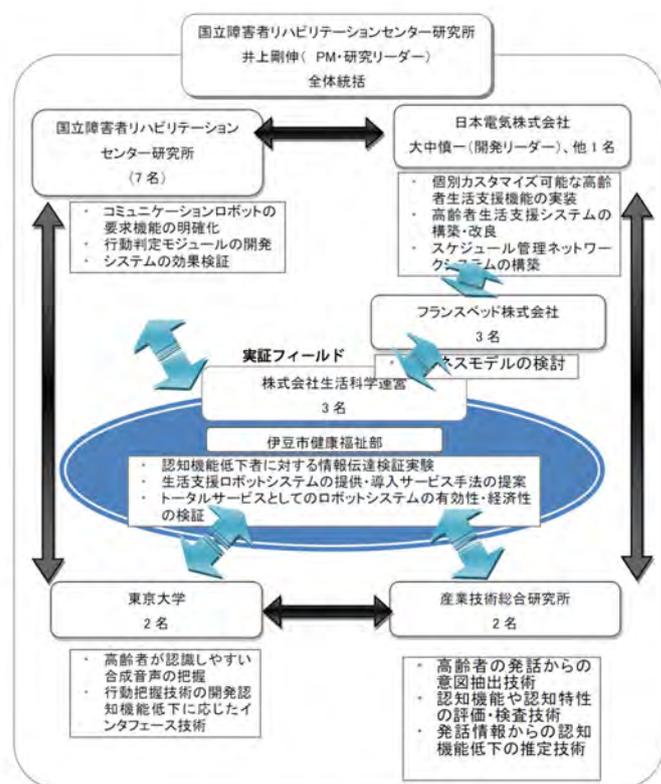


図 2.1.3 実施体制

さらに全国で福祉用具のレンタル事業を展開するフランスベッド株式会社の参画により、エンドユーザとメーカーをつなぐ役割を担うことで、導入や運用にかかるサービス体制を構築しやすいようにした。

(3) 主な成果

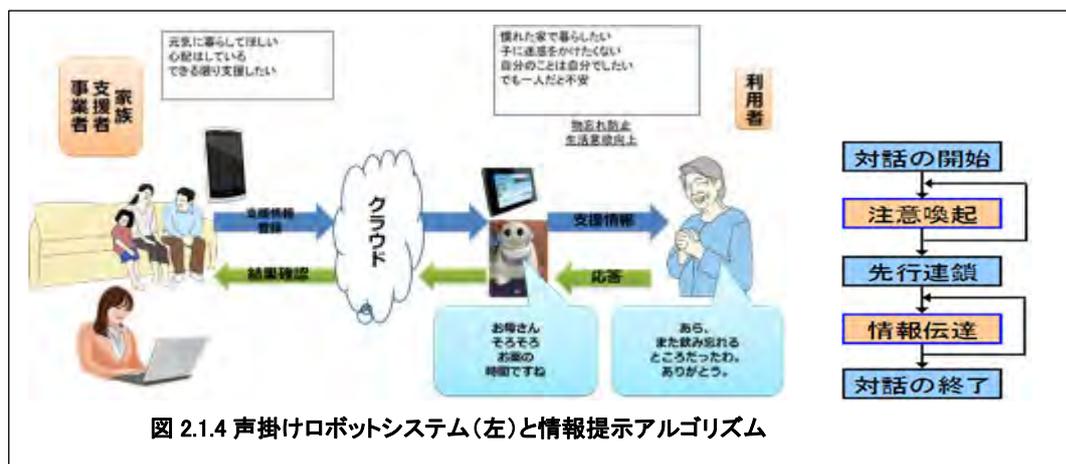
① 開発した声がけロボットシステムの開発プロセスとその効果の検証

本課題で開発した声がけロボットシステムを図 2.1.4 に示す。このロボット「PaPeRoi」(NEC 製)には、音声認識技術、合成音声技術、領きなどの動きやLEDの点滅等による視覚を通じた表現技術が搭載されており、人と会話できるコミュニケーション機能を備えている。本ロボットを核として、「クラウド」ネットワークで事業者、支援者、家族にもつながる声がけシステムを構築した。

<ステージ I : ロボットの設計方針>

ロボット開発に先立ち、本ステージ I においては、自立型有料老人ホームにて、観察、実験、介入を行うことで、高齢者や支援者の状況を的確に把握し、高齢者への情報支援を可能とするロボットの声や話し方、情報の伝え方、音声認識手法などの機能を明確にした。一方、伊豆市においては、高齢者 124 名に対するグループインタビュー、本人、家族、ケアスタッフを交えたワークショップ等を通じて、172 項目のニーズ、36 種類の支援シナリオを作成し、要求機能を決定した。

情報提示にあたっては、人の会話の構造をもとに、「注意喚起」、「先行連鎖」、「情報伝達」



の 3 段階からなる対話型情報提示アルゴリズムを採用した (図 2.1.4 右図)。

「注意喚起」は、介護の専門職の声がけに相当し、今回のシステムでも、利用者の名前を呼びかけ、利用者の返答が無い場合は繰り返すこととした。「先行連鎖」は、伝達したい情報に関連した情報を、情報伝達に先立って提示することである。その後、「情報伝達」を行い、聞き取れたかどうかを確認し、確認できていない場合には繰り返し情報提示を行うこととした。図 2.1.5 に、20 名の実験参加者に、この対話型情報提示アルゴリズムを適用し

たときの情報取得率と認知症機能スコアとの関係を求めた例を示す。情報提示が1回だけの時でも平均で情報取得率は90%を越えた。

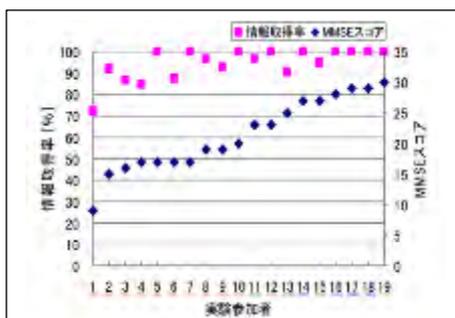


図 2.1.5 MMSE スコア◆、1回提示での情報取得率■

<ステージⅡ：ロボットシステムの設計と評価>

本ステージでは、利用現場へのプロトタイプを導入評価と効果の検証、課題の抽出と改善を繰り返すとともに、本システムの運用に必要な要件を抽出

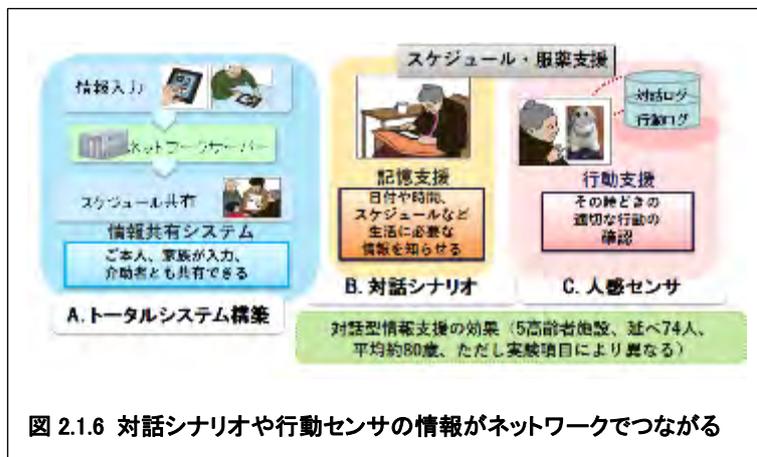


図 2.1.6 対話シナリオや行動センサの情報がネットワークでつながる

し、サービスモデルを構築した。実験における安全確保が可能な自立型有料老人ホームにて、図 2.1.6 に示したロボットシステムを用いて、1ヶ月にわたり介入実験を実施した。サービスモデルも含めて、本システムが機能することを確かめ、さらにその効果を

確認する実験を実施した。また、データとしての結果のみならず、子供や孫またはペットとして名前を呼び、利用者がロボット受け入れる状況等を、支援の現場のスタッフが実感として捉えられることの重要性も確認する事ができた。以上の結果を基に、ロボットを中心としたトータルシステムの有用性を確認したので、その設計と導入マニュアル作成を行うこととした。

<ステージⅢ：ロボットシステム構築と評価>

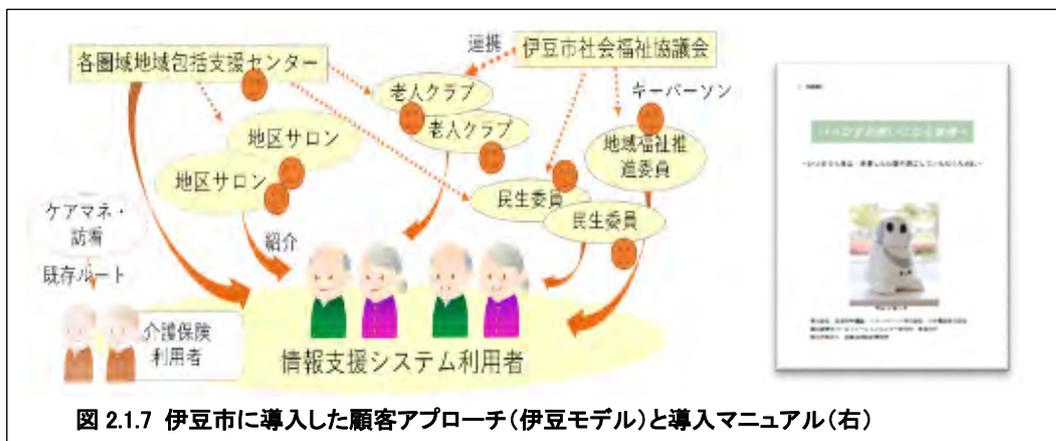


図 2.1.7 伊豆市に導入した顧客アプローチ(伊豆モデル)と導入マニュアル(右)

トータルシステムとしては、図 2.1.7 の左側に示したように、地域に根差したシステムを構築し、同図の右に示したような導入マニュアルを作成した。これを基に、伊豆市での社会実験に向けて、地域が抱える高齢者に関する課題の発掘、本システムを活用するためのステークホルダーや地域のリソースの抽出、本システムを真に必要としている潜在的な利用者の発掘を目指して、アクションリサーチを展開した。まず、予備的な検証実験を行ったところ、下記のような幾つかの優位性を示す結果が得られた。

①伊豆市（4名）及び自立型高齢者施設（7名）の被験者に対し、1か月間のロボット導入によるシステムの効果検証実験を実施した。その結果、図 2.1.8(a)に示したように介入前の平均服薬行動達成率は93.6%（SD±7.1）で介入後に96.4%（SD±5.2）となり、全体でシステム導入後に服薬行動達成率は増加傾向を示した。

② 実験参加者の内5名に関して、発話量を量的に評価し、情報支援ロボットシステムが発話量に与える影響について比較を行った。方法として5名分のロボット導入前後の各1日の音声データから、発話頻度を算出した（ただし、訪問者や電話の相手との発話を除く）結果、介入前の発話頻度は13回/日で、介入後に24.2回/日となり、統計学的にも有意な差を示した（ $P=0.042$ ）。（図 1.8. (b)）。なお、訪問者や電話の相手を含んでも同様の結果であり、システム導入後に発話量は増加傾向を示すことが分かった。

③高齢者施設2名の被験者について、3か月間にわたりシステムを導入し、施設スタッフによる声掛け頻度を記録した。その結果に基づき、安否確認声掛け頻度をシステム導入前後で比較し、記録が得られた有効データ日数のうち声掛けが必要であった頻度の割合を算出することで介護負担がどこまで軽減されるかを検証した。その結果、2名ではあるが、声掛け頻度はシステム導入により低下傾向を示した（図 2.1.8(c)）。

④ アクションリサーチの展開では、開発した声がけロボットシステムを必要としている在宅高齢者を発掘し、30名規模に対して6ヶ月間の利用によりその効果を確かめた。評価は高齢者のQOLを多面的に捉え、身体面、心理面、社会面、役割・機能面、社会的ネットワークについて、量的、質的な指標を用いて実施した。これまでの実験結果から、QOL尺度（SF12）、抑うつ症状尺度、孤独感尺度、服薬達成率の向上傾向などが見

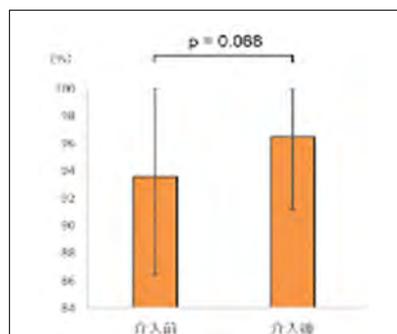
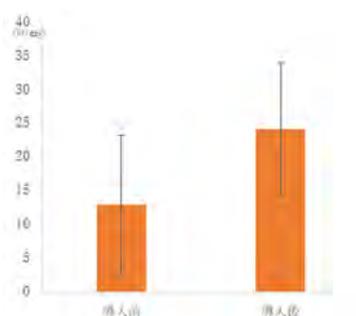
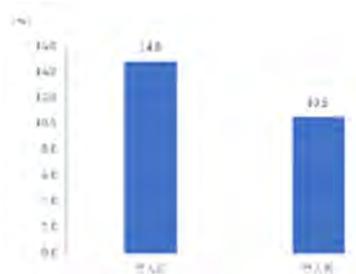


図 2.1.8 (a) 平均服薬行動達成率



(b) 発話量(訪問者・電話相手除く)



(c) 安否確認声掛け割合

られた。図 2.1.9 に例を示したように、服薬行動達成率については増加傾向、孤独感については顕著に向上するという傾向が示された。

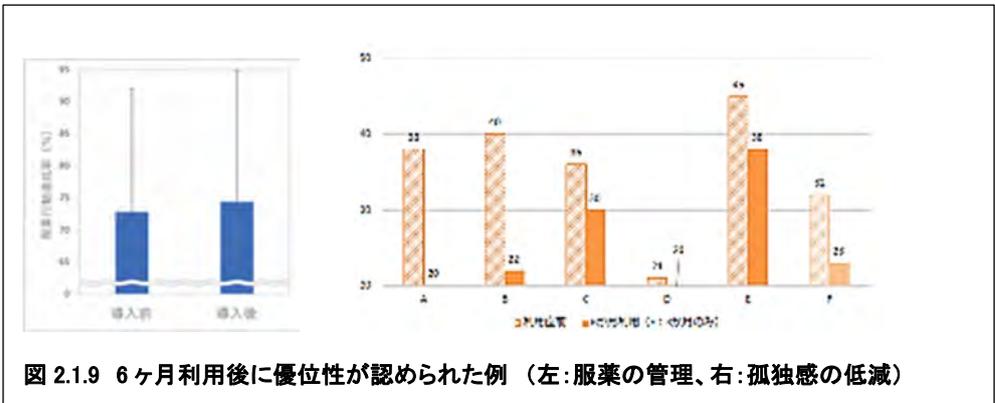


図 2.1.9 6ヶ月利用後に優位性が認められた例 (左:服薬の管理、右:孤独感の低減)

以上から、アクションリサーチの成果として、声がけロボット

トシステムの地域での利用モデル (伊豆モデル) の有用性を実証することができた。

(4) 事業化モデルの検討



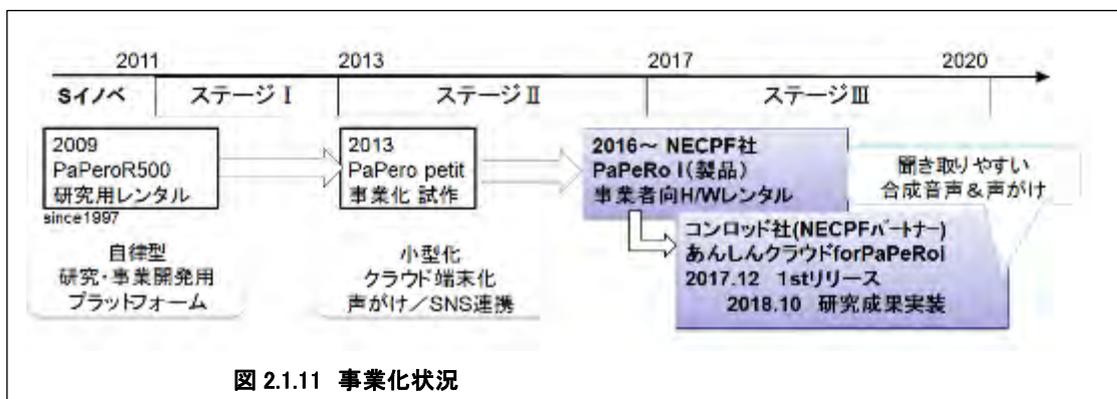
図 2.1.10 提案したステークホルダー型ビジネスモデル

事業化検討に関しては、ステージIで得た調査結果、ステージIIの介入実験で得た結果をもとに実現可能な3つのビジネスモデル仮説を立てた。

仮説の3モデルについて、ステージIIIの社会実験におけるステークホルダーおよび社会実験参加者の意見をもとにして、検証と修正を行い、図 2.1.10 に示したようなステーク

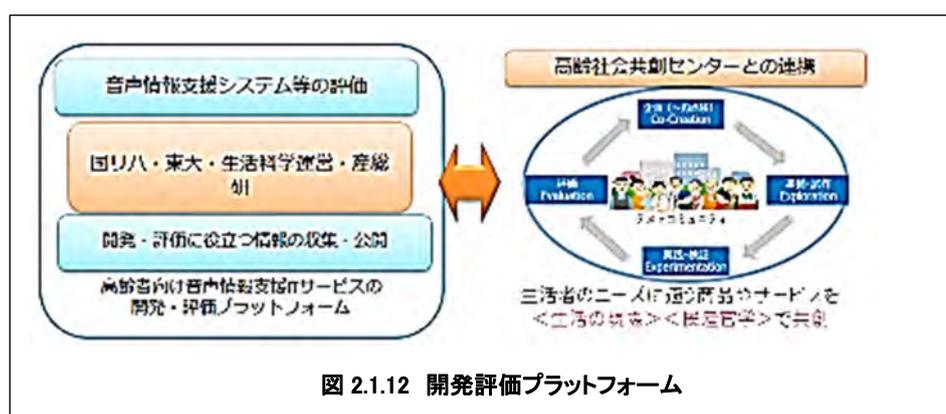
ホルダー型ビジネスモデルに絞り込んだ。さらに、このビジネスモデルを基に、顧客アプローチ及び提供導入方法に関して社会実験で確認することができ、事業化につながる成果を得ることができた。事業化による経済的効果としては、マーケットサイズ 110 万人、市場規模 1,000 億円と推計した。3年間の社会実験の二年目である 2018 年には、図 2.1.11 に

示したように、研究成果を部分的に実装した生活支援ロボットシステムが一般向けにサービスリリースされた。



(5) 開発・評価プラットフォームの構築

現在、本プロジェクトで培った知見をまとめることで、今後高齢者を対象とした同様のシステム開発を行う際に、役立つ評価プラットフォームを構築している。図 2.1.12 に示したように、このプラットフォームを利用する際、東京大学・高齢社会総合研究機構と JST とで推進している「高齢社会共創センター（代表：秋山弘子）」のオープンイノベーションのプラットフォームおよびリビングラボとの協働で実施することとした。ここで情報パッケージは本プロジェクトで得られた知見をまとめ、高齢社会共創センターと共有することとした。また、鎌倉リビングラボにおいては、高齢者向け音声情報支援 IT サービスの評価を実践し、評価に関わるノウハウを蓄積し、プラットフォームとすることとした。



(6) 競合技術と本システムの特徴

技術開発の観点では、10年にわたる研究開発期間の間に、コミュニケーションロボットや音声対話の技術的環境は大きく変化した。中でも AI（深層学習）に基づく音声認識手法の進歩と、スマートスピーカをはじめとする音声アシスタント端末の普及は、開始当初の予想を上回るものであった。

これらは、音声認識精度の向上により実用化の機運が高まったことにより、GAF Aをはじめとする巨大企業が膨大な資金を伴って研究開発に注力するとともに、インターネット上でユーザから収集した学習用データが大幅に増えるという好循環が生まれたことによるものと考えられる。

なお、図 2.1.13 (左図) に幾つかの例を示したように、コミュニケーションロボットは操作型のものとしては遠隔型と非遠隔型、自立型のものとしては生物的と非生物的なものに大別できる。用途や特徴はそれぞれ異なるが、この7種類のロボットを15名の健常高齢

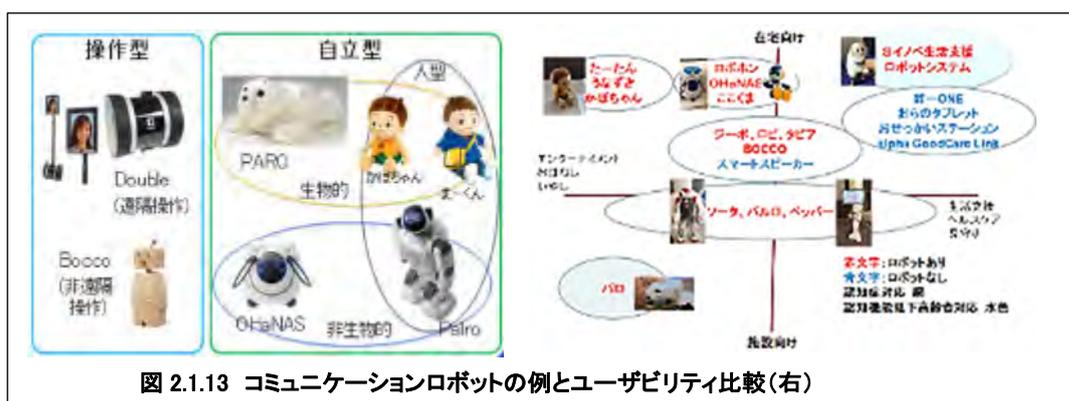


図 2.1.13 コミュニケーションロボットの例とユーザビリティ比較(右)

者 (年齢中央値 72 歳、男 5 名、女 10 名) について使ってもらい、ユーザビリティ (SUS 方式) の観点から報告してもらった。その結果、SUS の得点 (Cronbach' s α) では 55~73 であり、標準偏差が大きく有意な差は見られなかった。

また、パートナーロボットを除いて、「在宅向け」、「施設向け」、「癒し系」、「見守り系」の 2 次元軸で配置すると、図 2.1.13 右図のようになる。このようにコミュニケーションロボットは年代の枠を超え、利用される場所も多様になりつつ広がってきている。ただし、このような商用サービスの利用者としては、初期においては技術に詳しいアーリーアダプタが多数を占め、普及期においても比較的若い層をターゲットとせざるを得ず、高齢者の利用を想定したものは現時点でもほとんど無い。

それに対して、本課題において、認知症を含む高齢者とのコミュニケーションにターゲットを絞って研究開発を行い、長期間の実証実験を通じて多くの知見が得られたことは、MCI は言うまでもなく、もの忘れ高齢者、独居老人などの支援に大きな役割を果たすと考えている。このような成果を社会実装するためには、メーカー、流通事業者、自治体、有料老人ホーム運営事業者、大学、研究機関という多様なかつ必要な機関が連携したステークホルダー型の体制を構築することが最も重要であることを実証することができた。

<成果のアウトリーチ>

成果のアウトリーチという観点では、G8 認知症サミットの日本イベントにおいて本プロジェクトの成果を報告できたことや WHO 主催の閣僚級会議にて声明を発表できた点、スウェーデン国王夫妻の視察にてロボットシステムをご覧頂けた点、外務省の PR ビデオに採用

された点など、多くのインパクトのある出力を出すことができたことも重要な成果と考えている。

(7) 今後の計画、実用化・事業化に向けて

実用化・事業化の際にポイントとなる研究成果は、「聞き取りやすい音声合成」、「介護エキスパートの声掛けを参考にした声掛けプロトコル」、「提供導入手法」の三つの基本要素と、社会実験で構築した「地域モデル」である。しかし、以下に示すように、今後の課題も残されたが、現在、それらを改良する方法を提案し、取り組みを実施している。

① 機器開発の改良

機器開発の観点では、最新の認知科学の知見を取り入れ、対象者の認知機能の特徴にあわせた情報提示方法の開発を進める必要がある。そのために、情報把握に関する認知過程の検証と、ロボット等からの情報提示方法との関連を明らかにするプロジェクトを計画している。

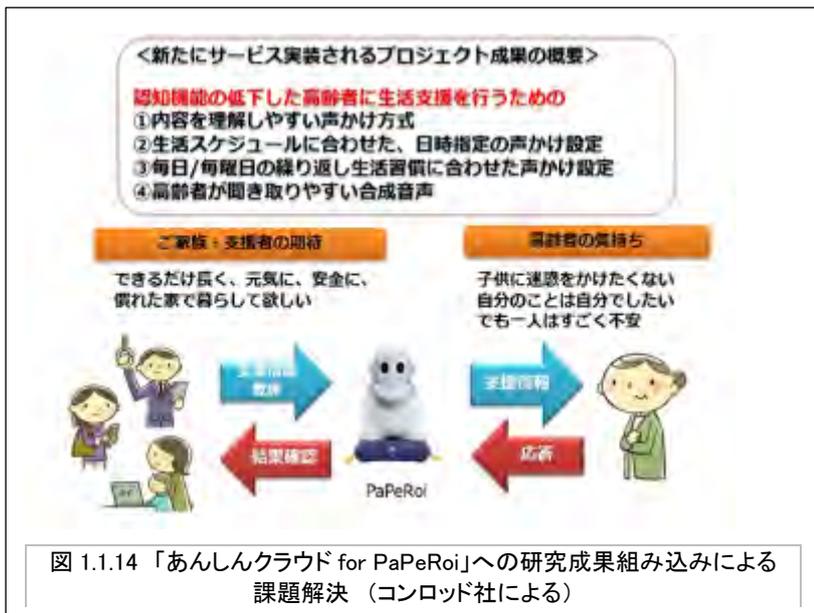
② 家族モデルから地域モデルへ

事業化については、前述のように、2018年10月に研究成果が部分的にサービスリリースされた。そこでは、「聞き取りやすい音声合成」および「声掛けプロトコル」が採用されている。また、社会実験から抽出された「よく使われる声掛け文章」が文例として実装されているため、それらをそのまま使ったり、編集して利用者により合わせたりすることもできるようになっている。ただし、当該サービスの利用モデルは基本的に「家族モデル」である。すなわち、申し込みから設置および運用に関しては親と別に暮らす家族がおこなうモデルである。

今後は、「提供導入手法」も含めたサービスの事業化と、「地域モデル」を採用する事業化の実現に向けた活動をおこなう必要がある。ここで「提供導入手法」に関しては、マニュアルやシステムのインタフェースに含める形で提供する方法と、コンサルテーションのようなサービスとして提供する形があると考えている。将来は「地域モデル」が実現して地域で暮らす高齢者を支える団体による支援活動の中で活用されることで、支援者がおこなうことが困難である宅内における毎日複数回の声掛けをシステムが行い、高齢者の自立を支援するツールとなることが期待される。

③ システムの普及に向けて

本課題で開発したロボットシステムを含めて、高齢者に対して情報を支援するシステムの普及に向けた取り組みを計画している。一つは専門職への啓発であり、リハビリテーションや介護の専門職を対象とする機器の情報提供や、普及に向けた課題の抽出、個別適合のためのシステム作りを進める予定である。また、地域での運用については、在宅高齢者の自立促進をさらに進めるために、家族と地域のステークホルダとの連携による情報支援モデルを構築する予定である。NECとそのグループ会社はMCIに限らず、高齢者全般にわたる見守りサービスとしてコミュニケーションロボット（PaPeRoi）を活用する範囲を広げることによって、さらに強固なビジネスモデルを展開している。



例えば、図 2.1.15 に示したように、本システムを実装した「あんしんクラウド for PaPeRoi」サービスが 2019 年 10 月に一般向けにリリースされており、本課題の研究成果の一部を活用した事業化が一つ実現している。その中にも本課題の一部の成果が実装されており、このような社会実装により結果として高齢者マーケットも広がると考えている。なお、コンロッド社は PaPeRoi をレンタルしている NEC プラットフォームズ社のパートナー企業である。

今後、これらの取り組みは、本プロジェクトで構築した開発・評価プラットフォームをベースとして、生活者のニーズに適う商品やサービスを<生活の現場><民産官学>で共創する趣旨の「高齢社会共創センター」が JST の支援の下で設立されているが、このセンターとの連携などを通して、広い地域に行き渡るように進めている。

(8) PO、PO 補佐、アドバイザーによる評価結果

① 研究開発の目的達成度と成果

高齢者の多様な価値観や QOL に応える技術は、公益性と市場性を両立させなければならない難題であるが、コア技術であるコミュニケーションロボットの開発から市場への製品・サービスのリリースまでの目標をほぼ達成している。とくに、現場から出発するアクション

ンリサーチによる開発手法と得られた顧客/ステークホルダー開発モデルは先進的で、蓄積した手法は他の多様な製品サービス開発にも活用できる。また、家族の一員としてのニーズを掘り起こし、急増しつつある独居老人の孤独感を解消するためのシステムとしても有意義であることが示された。さらに、コミュニケーションロボットの新市場を先導し、この業界を一つの産業として確立する道を拓きつつあり、本課題の社会的かつ経済的な意義は高い。

② 新産業及び新事業創出へ向けて

当事者の認知機能低下を自動的に評価しながらシステム自体がそれに適応していけるようにAI深層学習を導入するなどして、人間-ロボット系をよりインタラクティブにする工夫が求められる。また、経済的に格差のある地域における多様性に適応させるためには、公的支援も導入しながらトータルとして市場性が見込まれるように設計すべきであろう。さらに、ロボットを使うと他の方法よりも認知機能のレベルが改善できたというエビデンスを示し、AIスピーカや類似ロボットなどの競合技術への対応法や共存法を考えることにより、本課題の特色を明確にすることも必要である。

一方で、本コミュニケーションロボットをサービス事業として継続させる場合、個人負担や行政による一部負担が必要になる。したがって、行政が経済的な支援を続けるためには、コミュニケーションロボットを利用した場合の個人における費用対効果および介護負担軽減などの経済的な効果を明確にすることが不可欠になる。今後とも、その効果を裏付ける実証データを求めていきながら、サービスを継続させる道筋を示していく必要がある。

③ 総合評価

本課題では、ユーザ目線の目標設定からサービス事業モデル構築までをアクションリサーチの手法で行ったことから、認知機能の低下した高齢者支援にロボットをどのように生かすべきかを示す有用な指針となる。また、効果検証の指標や評価システムも国際的であるので、国際的なオープンイノベーションを構築できる可能性がでてきた。

今後、認知機能低下の自動的な評価とシステム適応性の取り組みを行い、競合技術との差別化を図りながら優位性を明確にし、一方では、このコミュニケーションロボットのサービス事業による個人のQOLの向上と介護負担の軽減など行政に対しての経済的な効果を示していくことが不可欠となる。その上で独居や地方における高齢者の増加と多様性をも踏まえた本サービス事業の戦略立案を行うべきであろう。

残された課題も多いが、昨今、多様な高齢者支援を目的とするロボットやスマートスピーカ等で見られる声掛けサービスが提案されて来ている中で、高齢者向けの支援ロボットシステムの先鞭を付けたことは高く評価されるべきである。さらに、徹底した現場における評価に基づいてコミュニケーションロボットの有用性を示し、その市場の在り方を提言した意義は大きい。

2. 課題2：「高齢者の自立を支援し安全安心社会を実現する自律運転知能システム」

PM：井上 秀雄（神奈川工科大学）、開発リーダー：遠藤照昌（トヨタ自動車）

参画機関：トヨタ自動車(株)、東京農工大学、東京大学、神奈川工科大学、

(株)豊田中央研究所、(一財)日本自動車研究所

(1) 背景・特色・目的

自動車は高齢者の日常の足となっており、特に公共交通機関に恵まれない地方では欠かせない。しかし、今後20年で高齢ドライバーは倍増すると見られており、加齢による身体能力の低下にともなう事故のリスクが高まっている。本課題では高齢者の運転能力の低下を助けるために、必要に応じて運転に介入する自律運転知能システムの開発・実用化を目標とした。

それを実現するために、従来の予防安全技術に加えて、次の3点の機能を持ったシステムを開発する。すなわち①カメラ、レーダ、GPSなどで得た「道路環境情報」および②地図やヒヤリハット時の周辺映像(約14万件)からなる「デジタルデータ」から「危険度(Risk)」を計算する。③その値がある大きくなると、事故を未然に防ぐ自律運転知能を持った「熟練ドライバモデル」が適切に運転に介入しだすシステムである。

完全自動運転車と異なり、介入時以外では自ら運転操作をする「シェアードコントロール方式 (Sheared Control Systems)」を採っているので、高齢者の運転の楽しみを奪うことなく、認知・行動機能の低下を遅らせる効果も期待される。また、高齢者だけではなく誰もが利用できる所以個人や社会の受容性も高い。

課題終了後の5年程度で、普及を想定して、地方・地域における公道での実証実験 (FOT: Field Operational Test) を実施し、本システムの実用性や個人的かつ社会的な受容性を評価する。

(2) 本課題の位置づけと特色

最近、類似する自動運転の研究開発は目覚ましいものがあるので、それらとの違いや本課題の位置づけと特色を先に述べておく。図2.2.1に示したように、運転支援・自動運転技術の開発は大きく二つのアプローチがある。一つはあらゆる環境で完全に、もしくは限られた運行設計領域において、人間のドライバーを不要にする概念で完全自動運転とも言える。

現在、米欧が盛んに研究開発を進めている自動運転車のアプローチでもある。

もう一つは、人間の能力を置き換えるのではなく増大させるという考え方であり、現在の運転支援システムの高度進化形である。これは、人間のドライバーが常にクルマをコントロールする前提で、ドライバーとシ



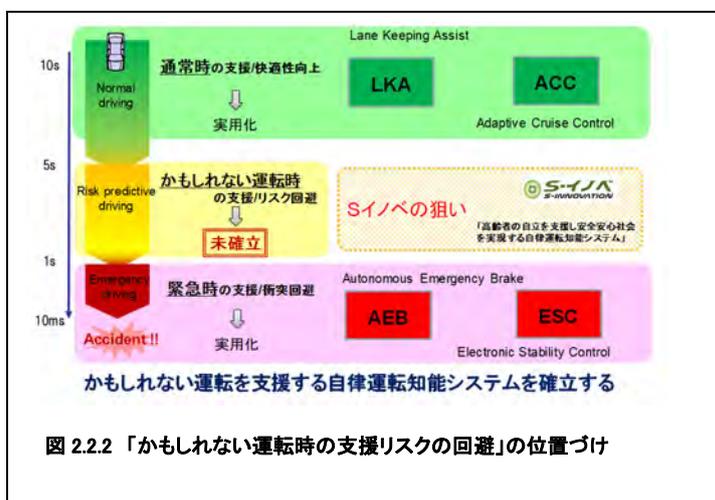
図 2.2.1 協調運転と自動運転

システムによる操作協調を正確な運転に繋げるといえるものである。本課題の自律運転知能システムの考え方と同一であり、日本独自のものと言える。

一方、高齢ドライバーを対象としたアンケートから、高齢者は日常的に使う生活道路での支援を求めていることが分かっており、高齢者自身が運転をしている中で、支援を期待していることが明らかとなっている。したがって、高齢者が運転支援に希望していることは、完全自動運転車とは別の形態である。このような背景から、シェアード・コントロールを軸として、支援システムを発展させていくことが高齢者にとっては妥当なアプローチであり、本課題の特徴でもある。

(3) 研究開発実施概要

① システムの設計の要点



システム設計にあたって、日本の地方の道路は現在の高速道路向けの自動運転技術だけでは対応できないという点を考慮した。見えない陰からの歩行者の飛び出しや前方の自転車の行動予測など、リスクを予測して対応する技術、すなわち「かもしれない運転」(図 2.2.2 参照) 技術が必要である。そのために、各種センサにより取得した周辺

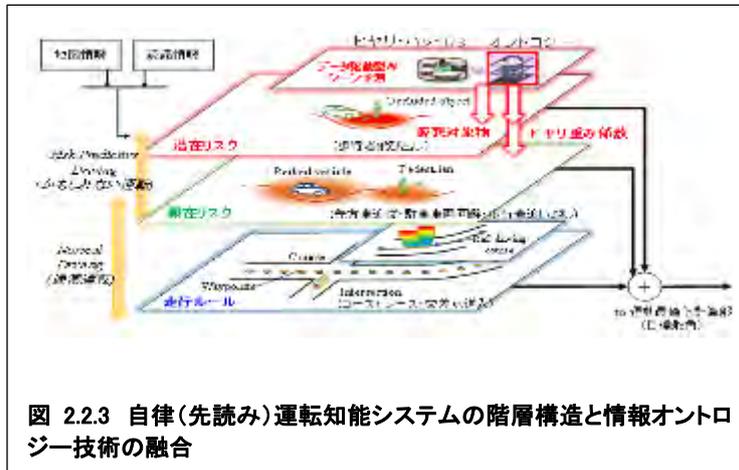
情報や GPS など得た環境情報に基づいて計算したリスクポテンシャルフィールドの物理モデルに加えて、運転時のヒヤリハットデータ（約 14 万件、東京農工大学収集）から構築した情報モデルからリスクを予測し、必要な時に運転に介入するという方法を採用している。

また、人間・機械協調運転技術（Shared Control）では、熟練ドライバー並みの運転能力を持つシステムが高齢ドライバーの運転能力低下を予測し、何をどのくらい支援すればよいかという運転支援量を決定する構造になっている。

一方、自律運転知能システムや自動運転には 3D の高精細地図があることは望ましいが、整備に莫大な費用がかかり、高齢者が困っている地方の生活道路までの高精細地図作成は困難である。そこで、本課題ではカーナビなどの地図情報とカメラ等を利用した廉価な環境認識技術を積極的に活かすかという点に力を入れた。後述するように、交差点等停止位置の認識精度では大変良い結果が得られている。これらの技術は、将来、自律運転知能システムばかりでなく完全自動運転に必要な技術になると予測している。

② シェアード・コントロールにおける運転の3階層

その支援システムを実現するための運転階層を、図 2.2.3 に示したように、3 つに分けて考えると設計指針が整理される。



1 層目は「基本走行ポテンシャルの層」で、ここでリスクの低い通常の運転領域において運動力学モデルによって熟練ドライバーのコース取りを再現する。ただし、この層では、ACC (Adaptive Cruise Control)、LKA (Lane Keeping Assist) と呼ばれる通常時の支援技術として既に上市されている。

2 層と 3 層は、顕在・潜在リスクポテンシャルの層で、衝突が起きるかも知れない領域において、リスク最小化問題というアプローチで設計されている。ただし、2 層目では、緊急回避運転として AEB (Autonomous Emergency Brake) や ESC (Electronic Stability Control) と呼ばれる緊急回避の支援技術が既に普及している。

この中で、我々が焦点を当てた運転階層は、3 層目の「かもしれない運転」である。既に実用化されている 1 層と 2 層の技術を活かしながら、3 層の自律運転知能システムでは、熟練ドライバーの運転行動に着目し、熟練ドライバーが実施するリスク予測し、そしてその予測に応じた先読み運転を具現化することを目標としている。なお、この目標の中で、東京農工大が集めたヒヤリハット時の膨大なデータは大変重要な意義を持っている。これは単純な大規模データではなく意志あるデータの集合体であり、このデータの分析を詳細に行なう事で、リスク予測アルゴリズムの研究を加速させた。

また、自動車の知能化のためには、一般的には車載センサと共にデジタル地図が必要不可欠とされている。このようなことから、近年、自動車専用道路を中心に高精度地図が整備されてきている。しかし、その整備には膨大な時間と人手が必要になるため、現在の計画では全国の道路の 2% 程度を占める高速道路と一部の国道のみが高精度地図の整備対象となっているに過ぎない。さらに、センサに関連するデータ形式によっては高精度地図のデータ量も膨大になり、全国規模での一般道のデータを車載する事が難しくなる可能性も指摘されている。

このような背景のもと本課題では一般道での知能化自動車の実用化を目的として、軽量で整備が容易なリーンな地図情報 (LeanMap) 基盤技術を東京大学が中心になって研究を加速させた。

(4) 研究体制

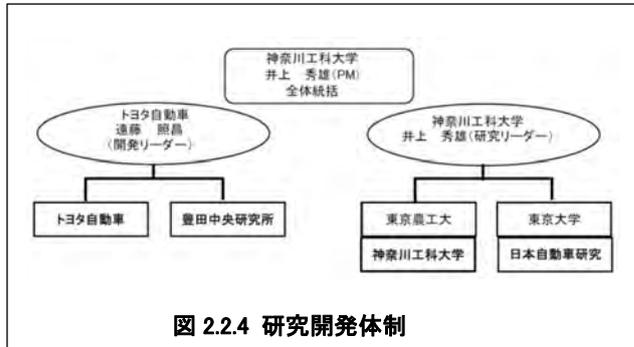


図 2.2.4 研究開発体制

本研究は、図 2.2.4 に示したように、トヨタ自動車、東京農工大学、東京大学、豊田中央研究所、日本自動車研究所、神奈川工科大学の産学連携のもと、2011 年から 6 年間（ステージⅠとⅡ）、公道評価のために前述の技術を織り込んだプロトタイプの実験車開発を続け、さらに 3 年をかけて実証実験（ステージⅢ）を進めた。

ここで、トヨタ自動車の先端技術のシーズ探索を行なう部署における FP (Future Project) 部主査の井上秀雄（ステージⅢから、神奈川工科大学・日本自動車研究所・教授）が本課題の PM としての纏め役を果たした。また、東京大学大学院新領域創成科学研究科・人間環境学専攻・教授であり、高齢社会総合研究機構・機構長を務める鎌田実がジェロントロジー（老年学）と機械工学／交通工学の視点から適切な助言をし、また東京農工大学工学部・機械システム工学科・スマートモビリティ研究拠点の教授永井正夫（ステージⅢから、(財)日本自動車研究所 所長）が“Vehicle Dynamics and Control”の研究分野第一人者として参加した。

(5) 研究計画とステージⅠ、Ⅱにおける成果の要点



図 2.2.5 各ステージにおける研究開発内容

研究計画としては、図 2.2.5 に示したように、本課題の 10 年プロジェクトを 3 つのステージで構成し、基礎・応用・評価を 3 年×3 工程で研究開発を進めた。

ステージⅠは原理・要素研究の基礎フェーズ、ステージⅡはプロトタイプ車両構築の応用フェーズ、ステージⅢは公道実証&テーマ進化の評価フェーズとした。

<ステージⅠ：原理・要素研究>

本ステージでは、まず、具体的なユースケースシナリオの抽出を行ない、本課題で取り組むべきシナリオとして、22の基本シーンに分類した。その上で、環境認識に必要な各種のセンサーなどの要素技術の研究開発を行った。

<ステージⅡ：プロト車両>

本ステージでは、基本シーンの中で、見通しの悪い交差点・駐車車両からの歩行者飛び出し、一時停止線停止の3つのシーンに焦点をあて、シェアードコントロールを実現するプロトタイプ車両の設計指針を立てた(図2.2.6)。さらに、周囲の状況をセンシングする技術、GPS等による走行空間の情報およびヒヤリハットデータによる先読み技術を導入した公道実証実験用FOT車両4台、および技術課題解決・システム改良のための研究開発用機能検証実験車6台の計10台の実験車を試作した(図2.2.7)。

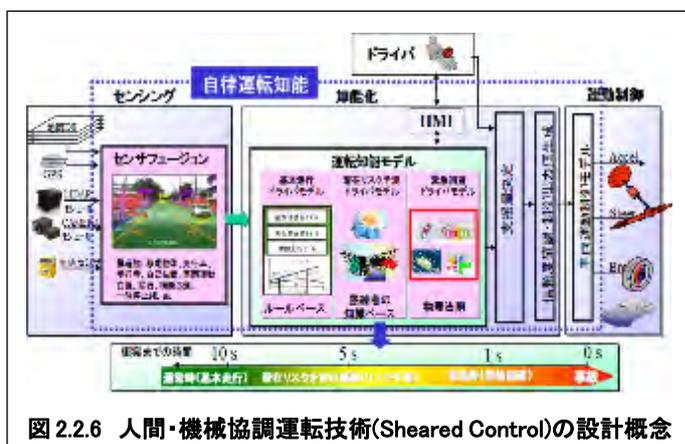


図 2.2.6 人間・機械協調運転技術(Shared Control)の設計概念



図 2.2.7 各種センサーと先読み技術を搭載した実験車(トヨタ プリウス)

<ステージⅢ：FOT (Field Operational Test) の実施>

最集段階のステージⅢでは、前掲の図 2.2.5 の右側に示したように、公道での実証実験(FOT)を通して、本システムの問題点を明らかにして改良化を行い、技術的な実用性の観点から評価した。ここでは、(a) リスク回避のための地図・認識技術、(b) 潜在リスク予測技術、(c) リスク回避に最適なドライバモデル技術の開発を目的として、プロジェクトに参加した3大学周辺の公道コースで120名以上の65歳以上の高齢者を集めFOTを実施した。

実施にあたっては、あらかじめ実験車の仕様・実験の説明方法・アンケート様式からデータ収集の仕方に至るまで細部にわたって共通プロトコルを定め(前掲の図 2.2.5 の右図のPre-FOT)、各大学で収集のデータが相互でデータ分析が行える共通のプラットフォームを構築した。その上で、公道での高齢者実験試行(Pilot-FOT)を経て、多拠点公道での地域特性評価を実施した。

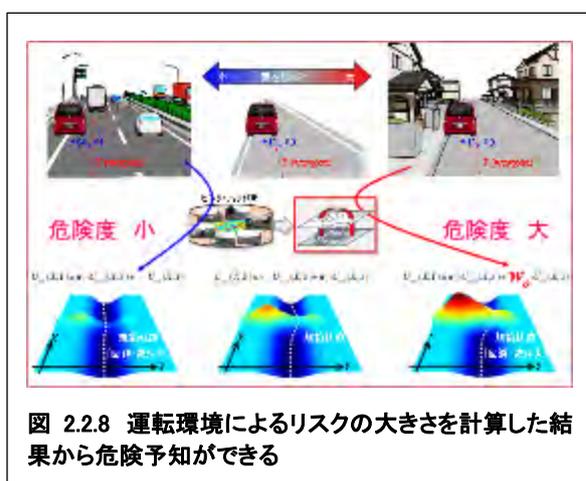
実証実験は改良と評価を繰り返しながら進められ、膨大な数のデータとそれに基づいた成果が得られた。その結果から結論を述べると、一般高齢ドライバにおいても、システムの支援により熟練ドライバの先読み運転相当の交差点での安全通過速度が確保できることが

確認された。また、定性的にはシステム介入による速度制御に関しても、総じて違和感を唱えておらず、個人的かつ社会的な受容性についても一定のレベルに達したと判断した。

本課題における研究開発アプローチは当初計画から変わることなく継続され、以下に列挙するように、研究成果をグローバルな社会貢献へ活かすことができる6つの世界トップとなる成果を得た。なお、本課題における研究・開発に要した期間は日本では長い部類に入るが、これは欧州の標準的大規模プロジェクトに匹敵しており、約10年続けたS-Iノベと本課題の意義は極めて大きい。ここでは、ステージⅢを含む全ステージを通して得られた6成果について、その要点だけを示す。

(6) 主な成果

① ヒヤリハットデータベースによる危険予測のための人工知能 (AI)



⇒大規模な成り行きデータの取りではなく、明かに熟練運転車の意志が読み取れるヒヤリハット時の環境データの取得と、そのデータの人工知能 (AI) による分析から得られた危険予測法である。

本予測法の例を図 2.2.8 に示したような、追い越し場面を想定して述べる。左図の高速道路では運転者は一般にルールを守るし、高速道路内に何かが飛び出してくるというリスクが小さい、すなわちリスクポテンシャルは小さいと計算される。それ

に対して、右図のように住宅街では、人も含めて色々なモノが飛び出してくる可能性が高く、その場合にはリスクポテンシャルは大きいと計算される。本危険予測法は、各種のセンサーで捉えた環境データ、地図や GPS で得たデジタルデータおよびヒヤリハット時の映像データから走行環境の属性情報に応じてリスクポテンシャルを計算する方法であり、ステージⅠとⅡの成果が十分に活かされている。

② 運転リスク予測制御技術

⇒歩行者の飛出しリスクを予測するというチャレンジのある研究である。

歩行者の飛び出しをどう回避するかは、本課題でも最重要なものとして捉えて、予測アルゴリズムはとくに注意を払って開発した。その結果、図 2.2.9 に示したように、急に子供が飛び出してくるような可能性のある場合（上図）はリスクポテンシャルは高くなり、高齢者がゆっくり道路に向かった歩いてくる場合（中図）にはリスクはそれほど高くなるという危険予測回避アルゴリズムを研究した。言うまでもなく、周囲に誰もいなく人が道路に入る可能性が小さい時にはリスクは低く設定されるという機能を備えている。

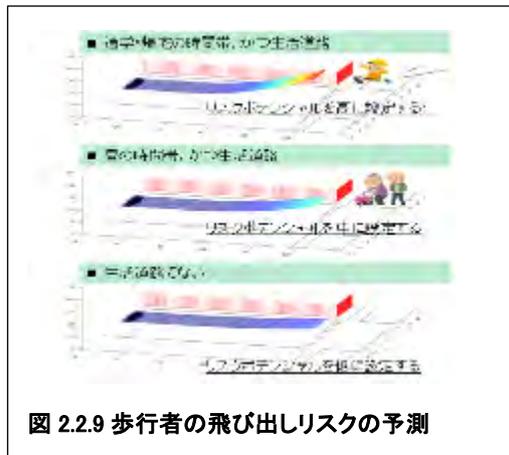


図 2.2.9 歩行者の飛び出しリスクの予測

以上は、危険予測法のシミュレーションの例であるが、試作した実験車を用いて、色々な実環境でどの場面でどの位の効果があるのかを FOT を通じて具体的に調べ、その有用性を評価した。但し、実環境では検証すべき複雑なシーンが残存するため、今後の個別研究で引き続き検討を行っていく。

③ リーン地図利用の環境認識技術

⇒一般道をシンプルな構成（低価格）で地方の高齢者にも使ってもらおう提案。

選んだ地域は、図 2.2.10 に示したように、3 か所であり、それぞれの特徴は以下の通り



図 2.2.10 3 地域(小金井市、柏の葉、厚木市)で高齢ドライバー(146 人)に使ってもらった時のアンケート調査の結果

である。(a)柏の葉 (UT) : 歩車共存状況下の歩行者が少なめであり、中央線が有り道路の車も少なめである。(b)小金井 (TUAT) : 歩車共存状況下の歩行者が多めであり、中央線有り道路の車も多めである。(c)厚木 (KAIT) : 歩車共存状況下の歩行者が少なめであるが、中央線が有り道路の車は多めである。

多くの実験結果が得られたが、その中の一例として、交差点における通過速度が「先読みブレーキ」によって、どのように変わったかを示した (図 2.2.11)。地域に差はあるものの、交差点を先読みし、運転速度が遅くなっていることを確認した。とくに厚木市のような車の多い所では、運転速度が遅くなっていることが分かる。

④人間・機械協調運転技術

⇒運転したいという高齢者のモチベーション維持と安全の向上。

ステージ I から累積すると試験に参加してもらった高齢者の数も 800 名弱近くになり、

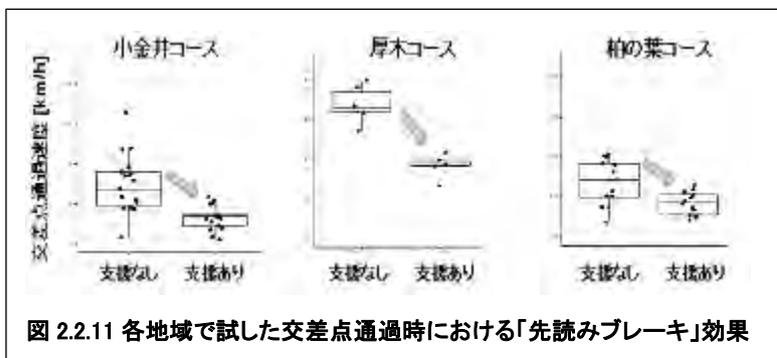


図 2.2.11 各地域で試した交差点通過時における「先読みブレーキ」効果

幅広いプロファイルにもとづいた実証試験を行ってきた。高齢者といっても、元気高齢者から虚弱高齢者まで入れるとその範囲は極めて広いので一括りにして議論することは難しい。ただし、膨大な人数

による評価実験を通して得られた結果ら、図 2.2.12 に纏めて示したようにシェアードコントロールが高齢運転者に恩恵を与えることが想像される。

このような恩恵は高齢者の多様性にもつながる。とくに、認知症とされるほどではなく

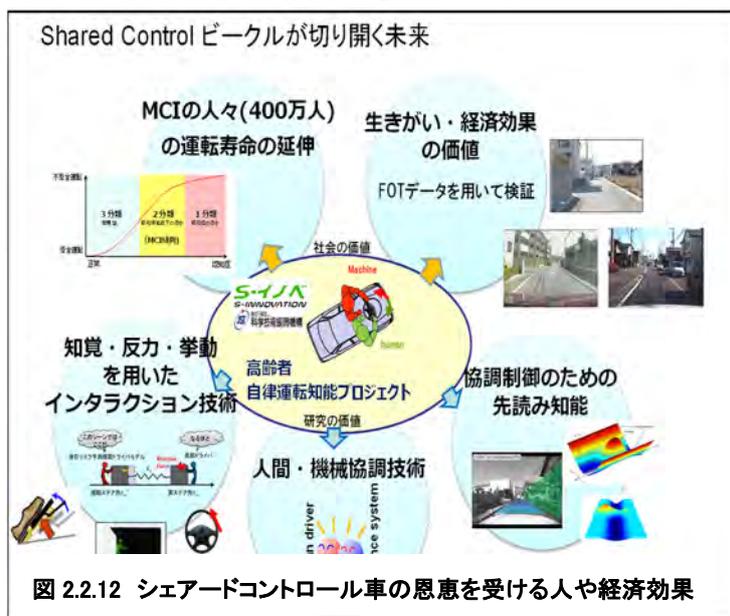


図 2.2.12 シェアードコントロール車の恩恵を受ける人や経済効果

運転に困難をきたす程度でもない、いわゆる MCI (軽度認知障害) の傾向のある高齢者はその一対応である。MCI は今後数百万人に増加すると言われていているが、このような高齢者の運転能力を維持し、運転モチベーションを高めることが期待される。

今後は得られたデータから、最適化した支援量を導き出し、潜在リスクに応じて位置、速度、加速度をパラメータ設定

することを目標とし、個別研究として各機関で継続して行っていく予定である。

⑤ 産学連携で一元化した開発環境

⇒Closed Open Style と名付けた、共通の研究アーキテクチャ(実験車システム環境)の効果。

産学共同で研究開発を行ってきた相乗効果としては、学域単独では準備できない実験車両など研究資源の確保できたことや、起業からは製品としての車両制御技術に関する情報を提示できたことが、研究の加速をもたらした。企業としては学術的な視点からの検証やSイノベで築いてきた基盤(コンセプト・技術)をベースに設計・試作を行うことができた。

このような Closed Open Style は、これからの産学連携研究のモデルとなろう。なお、本課題は、NEDO 次世代人工知能プロジェクト事業・名古屋大 COI・内閣府 SIP プロジェクトに関連する国プロとも連携することにもなり、Closed Open Style は事業化に向けた研究を大きく発展させる役割も果たした。

⑥ 若きリーダーエンジニア育成

⇒若手技術者の技術賞受賞多数生まれ、企業、大学の枠を越えたエンジニアを創出した。

例えば、本課題のトヨタ自動車の若手を含む全ての技術者は、自動運転・先進安全開発関連の部署で、本課題を遂行し続けている。

以上の S イノベ（本課題）の 10 年にわたるプロジェクトを総括し、得られた 6 つの成果を纏めると図 2.2.13 に示したようになる。

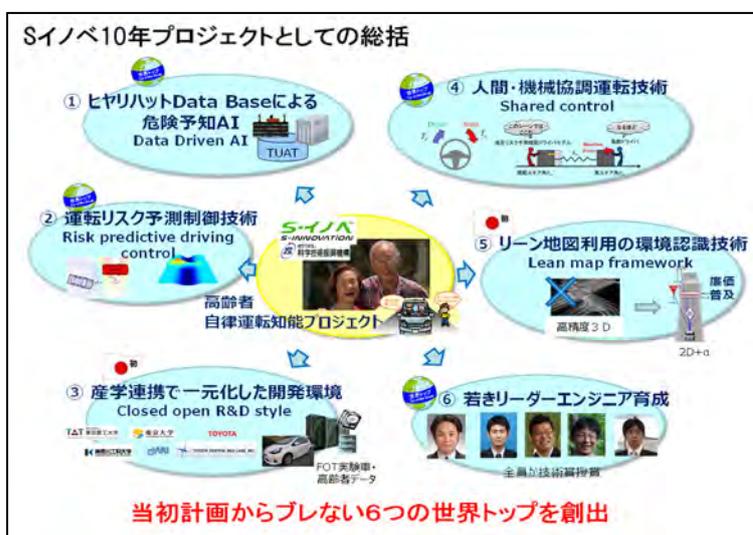


図 2.2.13 本課題から生まれた6つの成果

(7) 競合技術との違いと今後の計画

近年、米欧を中心として、AI を用いた自動運転の技術が実用化されつつあり、図 2.2.14 に示したように、自動化がレベル 1 からレベル 4、5 と上がっていくことが予想される。しかし、自動運転レベルが上がるにつれてクルマの使われ方も変わり、従来の運転価値の考え方も大きく変化していくものと思われる。前述したように、ヒトとクルマが連続である協調運転 (Sheared Control) と違って、ヒトとクルマが分離される自動運転 (Automated Drive) は、運転するよりも移動手段としてのメリットのみに価値が置かれてくるようになる。しかし、一方では決められたア

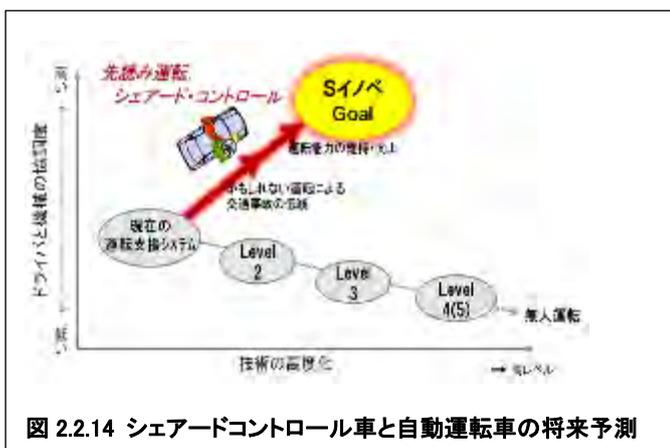


図 2.2.14 シェアードコントロール車と自動運転車の将来予測

ルゴリズムで安全に目的地に到達するだけでなく、自由に寄り道をして気ままに好きなところに行きたいという欲求は残ると考えている。むしろ自動化が進むにつれてこの運転欲求さらに高まるかもしれない。

本課題で繰り返し述べたように、その欲求があるからこそ運転能力が維持・向上し、それによって認知・判断・行動の機能低下を緩やかにする効果も期待できる。本課題(Sイノベ)のゴールはこのような価値を重視したものであり、自動運転とは一線を画すアプローチである。

このような考え方に基づいた運転協調システムは世界初であるが、その背景には、日本では機械を単なる道具としてではなく、愛着をもって受け容れるという文化があるように思われる。また、機械とのインタラクションに無意識的に意味付けをしてコミュニケーションをとりたいというのは誰もが本来備えた欲求であると想像されるので、協調運転の考え方は全世界に広がっていくものと期待される。

なお、類似の国のプロジェクトとしては、高度運転支援を目指した名古屋 COI (Center of Innovation) がある。COI では、本課題が目指している方向とほぼ同様であるが、基礎研究を中心として、個別的な適合方法を探っているという点で異なる。大学での研究が主体で、本課題における産学連携の体制とは取り組み方が異なる。

一方、自動車メーカー各社も独自に高度運転支援の研究も行っているが、これらは本課題とのコンセプトやアプローチも異なり高齢者を対象とする本課題との類似性は少ない。

(8) 実用化・事業化に向けて

今後の実用化・事業化に向けてはリスクポテンシャル技術を第1段として、次世代先進安全技術のプランナ技術への応用を進め、潜在リスク予測技術については、交差点事故防止へ向けた将来先進安全技術への技術展開を目指す。具体的には、地方・地域で利用されることを念頭に、普及を想定している。また、システムが製品化されてからも、市場からのデータを吸い上げ、その効果を追跡調査、交通事故ゼロ社会を目指してシステムの進化を果たしていきたい。さらに、本課題では、企業、大学のそれぞれの枠を越え、優れたエンジニアが育ったが、このアプローチを高齢社会の課題解決策として日本から世界へ発信していきたい。

なお、補足として、Sイノベでの情報発信の例としては「国・政策」への情報発信では東京大学の鎌田教授および日本自動車研究所の永井所長が内閣府・国土交通省・経済産業省・警察庁など本課題に直接関係する省庁に対して、有識者として関与する立場から広く発信した。

また、課題間連携で注目された例としては2018年4月、東京大学高齢社会総合研究機構(秋山弘子教授)が中心となり町内会、NPO法人タウンサポート鎌倉今泉台が運営する「鎌倉リビング・ラボ」をスウェーデン王国カール16世グスタフ国王陛下・王妃陛下と高円宮妃久子様が訪問した際にSイノベの他課題である「生活支援ロボットシステム」などとも

にデモをしたことが挙げられる。国王陛下にSイノベで開発中のFOT車両に乗車いただき、国王陛下・王妃陛下に向け、研究開発の概要の説明・日本の高齢者のモビリティ問題への取組を紹介するとともに、マスコミへの情報発信を行い大きな反響を得た。

(9) P0、P0 補佐及びアドバイザーによる評価の結果

① 研究開発の目標達成度と成果

目的の機能を備えたプロトタイプ車両を数台開発し、テストコースおよび公道による試乗運転を繰り返し、問題点の抽出と改良を行った。いわゆる完全自動運転車と異なり、介入時以外では自ら運転操作をする「シェアードコントロール方式」を採っているため、高齢者の運転の楽しみを奪うことなく、かつ認知・行動機能の低下を遅らせる効果も期待される。そのため個人的だけでなく社会的な受容性も得られやすく、さらに高齢者だけでなく障害者や初心者なども利用できる「ユニバーサルデザイン」になっていることから、大きなマーケットへ広がることが期待される。また、本プロジェクトが独自に開発したのヒヤリハットデータベースとポテンシャルモデルによるリスク予測技術は、全ての自動車の安全性向上に貢献することも期待される。

② 新産業及び新事業創出へ向けて

以前から指摘されているように、高齢者の場合、心身機能の多様性が顕著となり各人の運転操作に大きな差が出てくるので、人間情報学の視点からこの多様性を把握し、本システムに生かす開発研究は続けるべきである。また、雪道・凍結路や買い物難民が多い地域など、地域や風土の多様性を考慮したデータベースに基づいて、センサフュージョンやリスクポテンシャルを学習・設定させる実用化も今後の課題であろう。現在、注目を集めている自動運転も、完全自動運転として一般道路で利用できるまでには障壁が高いことから、高齢者が自律して安全に運転ができる自動車の要望は社会的にも極めて高くなっている。そのため、本課題の目的である「高齢者向け自動車」として何を特色としたのかを、分かりやすく社会にアピールする方策が不可欠である。なお、参加機関の間で開発環境とシステムプラットフォームを共有して研究を遂行する独自の体制「クローズドオープンスタイル」の有用性を示しており、これからの連携研究開発にも有効なモデルとして提唱していくべきであろう。

③ 総合評価

完全自動運転車の開発アプローチとは一線を画し、本方式では運転者と自動車の最適なシェアードコントロール方式を追究した。また、高齢者に限らず運転者全員を支援するユニバーサルデザインを目指し、熟練ドライバモデルと独自のリスク予測技術を生かした「先読み」介入を実現するという現実的なアプローチをとっている。このことから個人的かつ社会的な受容性やマーケット拡大の観点からみても実現性が高く、産業化への道も諸外国よりも

早いことが期待される。したがって、いわゆる「自動運転」と自ら運転する高齢者のための「自律運転」との相違については、市場導入に先立って十分に広報活動することが必須となる。また、オープンロードスタイルによる研究開発アプローチや、今後の産業化により蓄積される実績は自動運転車にも活かされ、諸外国へも波及することが予想されるので、本課題の社会・経済へ与えるインパクトは極めて大きいと言える。

3. 課題3：高齢者の経験・知識・技能を社会の推進力とするための ICT 基盤「高齢者クラウド」の研究開発

PM： 廣瀬 通孝（東京大学）

開発リーダー：小林 正朋（日本アイ・ビー・エム株式会社）

参画機関：東京大学、日本アイ・ビー・エム株式会社、株式会社サーキュレーション

（1）背景・目的など

日本では 2050 年頃に労働力人口が 5 割を切ると言われている一方で、元気高齢者の割合や総数は増加の一途を辿っている。定年を迎えた人や高齢者の多くは、働く場所は自宅から近いところ、あるいは自宅のできる仕事を希望するようになり、仕事の時間もフルタイムよりもパートタイムや随時希望する機会が確実に増えてくる（図 2.3.1）。しかも、高齢者が獲得した知識・経験・技能（スキル）は人それぞれであり、価値観も極めて多様である。とくに元気な高齢者はフルタイムで働くことは難しくても、多様な就労機会が提供されていれば経験・スキルを組み合わせた短時間労働などの形で社会に参加し貢献することができる。

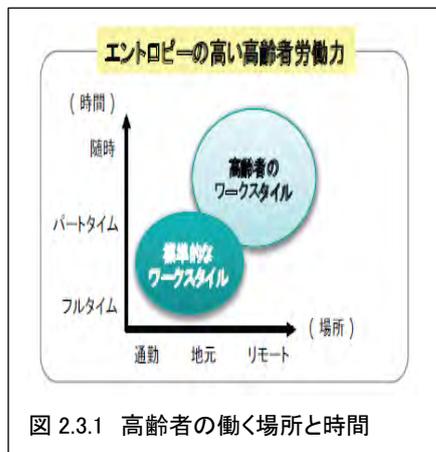


図 2.3.1 高齢者の働く場所と時間

本課題は、主に情報通信技術（ICT）を駆使して、高齢者スキルの活用および時間や場所の制約を超え

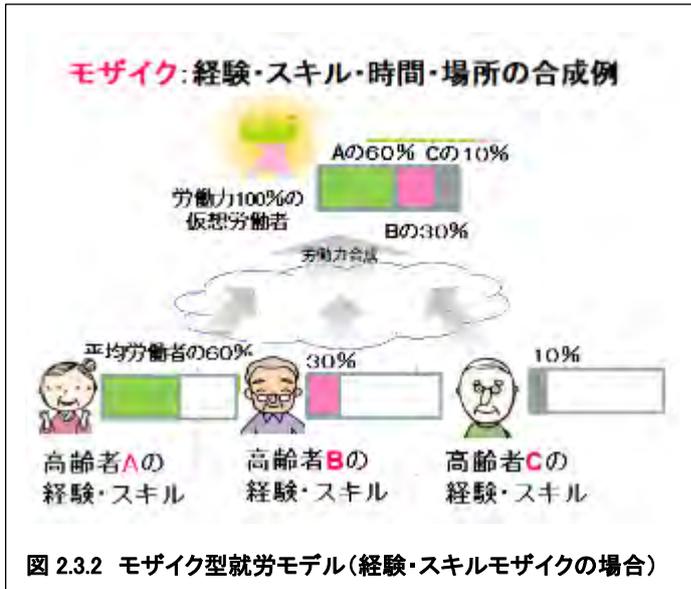
た就労環境を実現するためのプラットフォームを構築することが目的である。高齢者が生きがいを持って働くことができ、若年層を助ける労働力なれば、結果的に、高齢者の健康や自立度を向上させ、介護負担を低減させ、新たなビジネスが生まれることが期待される。本課題の終わりでは、「高齢者クラウド」と称して構築したジョブマッチング・プラットフォームが、個人的な満足度、社会的な経済効果にどこまで貢献するかを評価する。

なお、「高齢者クラウド」は、Cloud Computing（クラウドコンピューティング）と Crowdsourcing（クラウドソーシング）の二つの「クラウド」の意味を掛け合わせた、高齢者自身の力とテクノロジーの力の両方の活用によって超高齢社会を支えることを目指す造語である。

（2）研究開発実施概要

① モザイクモデルの提案

目的を実現するために、まず、本課題では「モザイク型就労」モデルを提案した。このモザイクモデルは、個々人の多様な経験・スキルなどのデータを基に、複数の高齢者の力を ICT



によって組み合わせ、標準的な労働者の能力を持つ「仮想労働者」を作り上げるという考え方である。

図 2.3.2 示したように、ある仕事に対する平均的な若年労働者に比べて、経験・スキルについては、Aさんは60%位、Bさんは30%位、Cさんは10%位の能力があったとすると、それらを「モザイク状」に組み合わせることにより、その仕事に必要な経験・スキルが100%ある仮想労働者を作り上げることができる。このような組み合わせを、経験

やスキルばかりでなく、身体機能（認知・行動）、行動範囲（場所・時間）などでも同様に調べ、その結果をモザイク状に組み合わせることにより、ニーズにあった仮想労働者を作るという考え方である。

② プラットフォームの構成

このモザイク型就労型であるジョブマッチング・プラットフォームを実現するためには、シーズである人材が所持する経験・スキルとニーズである仕事及要求する経験・スキルなどを取得する「知識取得インタフェース」がまず必要になる（図 2.3.3）。また、取得した高齢者の知識データベースを活用した就労の創出や社会参加を促す「知識伝達インタフェース」も必要になる。なお、知識の伝達に必要となる情報テクノロジーは台頭しつつあるものの、高齢人材活用



手段としては普及していないのが現状である。

そこで本課題は、図 2.3.4 に示したように、知識取得インタフェースと知識伝達インタフェースの中間に最適なジョブマッチングを行うための「知識

構造化プラットフォーム」を備えた3層構造とした。ただし、メンバシップ型雇用を前提としている日本の労働市場では、必要となる人材や仕事の情報が十分にデータ化されていないことから、就労のためのマッチング自体も暗黙知に頼ることが多い。したがって本課題では、知識構造化プラットフォームにどのようなアルゴリズムを開拓すればよいかを追

究することが大目標となる。そして、知識構造化プラットフォームから「新規ビジネスが創造」され、「社会参加」が促進されるような道筋をつけることが大きな目的となる。

以下に改めて3層の役割を示す。



図 2.3.4 本課題を実現する3層構造

<知識取得インタフェース>

このインタフェースでは、いちいち書類に書いて自己申告するような手間のかかる方法は取らないで、日常会話のようにテレビやスマートホンに向かって対話している中で、高齢者の特性を推定していく方法を目指している。提案した知識取得方法については、成果の項で述べる。

<知識構造化プラットフォーム>

これは一種の検索機能であることから、IBM が開発した人物の文書検索システムを高齢者用に拡張している。

これは、知識取得インタフェースで得た自己の生活記録「ライフログ」やネット等で得た記録「ソーシャルログ」から高齢者が持つスキルのキーワードや内容の概略を求める方法である。

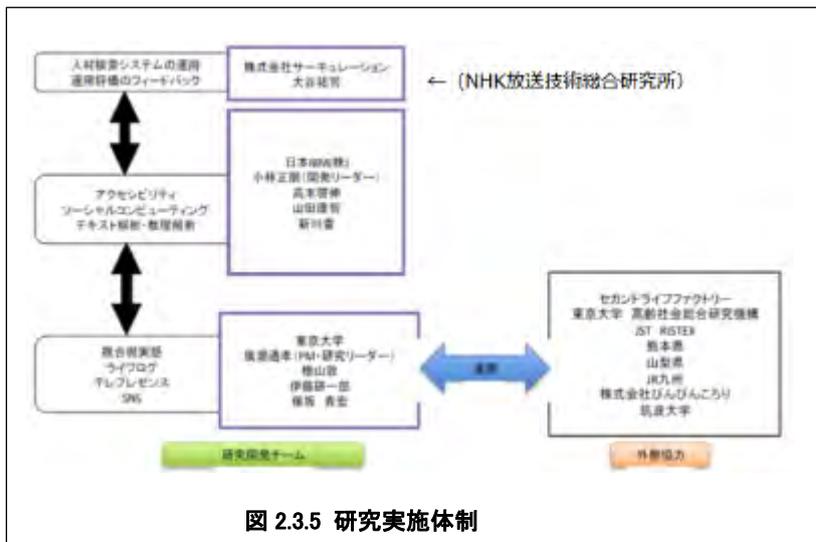
実際に多くの高齢者の取得データを基にして調べた結果、ある人物が各種タスクへどの程度の適性があるかを的確に推定できることを確認している。さらに、シニア就労モデルの特徴である「スキルを補い合うチーム形成」、「スキルが近いもの同士のタイムシェア就労」へ応用できることも実例を通して確認している。

<知識伝達インタフェース>

知識情報を伝達するインタフェース、とくにディスプレイとしては直接的手法として、ある技能に熟練した高齢者が遠隔地からロボットなどを操作して直接的に技能を伝える「テレグジスタンス」方式を開発する。また、間接的手法として、高齢者の人格や知識を持つ「アバタ（仮想人格）」を作り、それを介して伝達する「仮想人格」方式など最新のロボットやバーチャルリアリティの技術を生かして開発する。

(3) 研究体制

図 2.3.4 に示したように、研究体制としては PM である東京大学・情報理工学系研究室の廣瀬通孝教授とそこの研究室を中心とし、企業側からは日本 IBM 東京基礎研究所の小林正朋が開発リーダーとなった。ただし、ステージ I では NHK 放送技



術総合研究所の研究者が情報取得のためにテレビを活かす「Teleda」方式により高齢者のデータベース作成に携わった。ただし、2013年9月よりNHK技研は体制から

抜け、2016年10月に実施機関として株式会社サーキュレーションが参画した。

情報取得の社会実装するための研究実施場所としては、東大・高齢社会総合研究機構が取り組むJSTのRISTEX（社会実装研究プロジェクト）とそこから誕生した一般社団法人セカンドファクトリー、および後述するジョブマッチングシステム「人材スカウタ」を実施した（株）サーキュレーションからなる。

（4）実施計画と結果の要点

本課題における研究開発は、ステージⅠで要素技術の開発、ステージⅡでプラットフォーム基盤の開発、ステージⅢで社会実装と実証実験、の大きく分けて三段階を経て実施された（図 2.3.6）。

<ステージⅠ：要素技術の開発>

本ステージでは人材情報および仕事情報のデータ化や遠隔就労への応用を想定し、単に使いやすだけでなく高齢者の情報開示・情報伝達を促すインタフェース技術の研究に注力した。

○知識取得インタフェースとしては、高齢者に負荷を与えないで、かつ容易に知識取得が行えるように、(A)物理ハードル、(B)概念的ハードル、(C)心理的ハードルを低くする方法を開発した。具体的には、高齢者が普段使う音声通話やメール等の伝統的なインタフェースを介して情報を聞き出す「Question First」という手法を提案した。

○知識構造プラットフォームでは取得したメタデータにタグ付等を行い、プラットフォームで使いやすい構造にした。ただし、自動付与は精度に問題があり、手動付与は効率に問題があるので、高齢者にとって使いやすいインタラクティブな「Q&A方式」を開発することにした。この手法で、質問に対する答えからWhyとHowという情報とともに、Whenを時計から、Whereを測位センサから、Whatをカメラや加速度センサから取得して、5W1H情報を取得する方法を確立した。

＜ステージⅡ：プラットフォーム基盤の開発＞

本ステージでは、ステージⅠの成果にもとづき、ウェアラブル端末や SNS 等通じて取得した高齢者の「ライフログ」と「ソーシャルログ」から、それぞれの社会活動レベルや日常

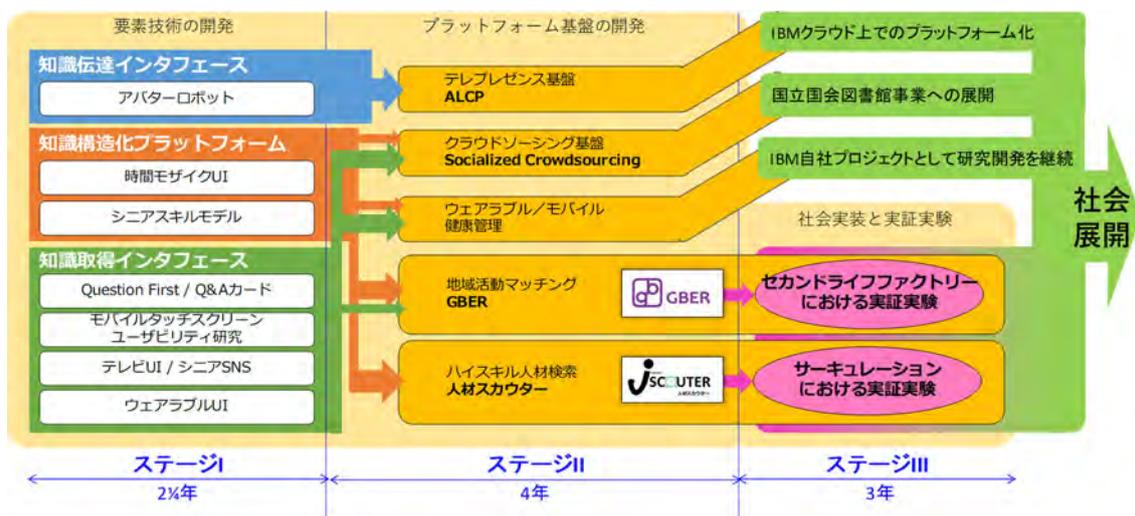


図 2.3.6 3ステージの目標と成果の項目

活動レベルを表す指標を作成した。その結果、現場において実際に ICT 支援対象の拡大が強く求められているのは、「ハイスキル就労」と「いきがい就労」という 2 類型に分類されること明らかになった。それを基に、モザイク型就労モデルの実証例として、「人材スカウター」および GBER (Gathering Brisk Elderly in the Region) と名付けた就労・社会参加システムの原型を構築した。

○知識伝達インタフェースとしては、テレグジスタンス（遠隔操作）、バーチャルリアリティのアバタ（化身）などの先端技術を活かした方式を試験的に実施し、インタフェースとしての有用性を評価した。

＜ステージⅢ：社会実装と評価＞

本ステージでは、ステージⅡで構築した GBER と人材スカウターの 2 類型を基にジョブマッチングを実証する場として、それぞれ「株式会社サーキュレーション」と「一般社団法人セカンドライフファクトリー」の協力を得て、社会実装と実証実験を通して、それらの有用性を評価した。双方の現場における「活用人材が一部に集中する」という問題と「職域・働き方が限定される」という問題を解決することに重点を置いて、改良化を進めた。

最後に、本課題「高齢者クラウド」で取り組んだ研究開発を基に、社会的（マクロ）な効果である「社会保障コスト」をどこまで減らすことができ、個人的（ミクロ）な効果である「高齢者の生きがい (QoL)」をどこまで向上させることができるかを考察した。

(5) 主な成果

<ステージⅠ：要素技術の開発>

① 要素技術としては、図 2.3.6 のステージⅠに示したように、(a) ウェアラブル UI (ユーザインタフェース)、(b) NHK 放送技術研究所のテレビ UI/シニアインタフェース SNS および(c) モバイルタッチスクリーンを対象とし、それぞれのユーザビリティ研究を実施した。それらの結果に基づいてジョブマッチングに必要なプロフィール情報を得るために、「Question First/Q&A (質問・応答形式)」による知識取得インタフェースを具体化した。



② Question First/Q&A をベースとして、東京大学・高齢社会総合研究機構の協力の元で柏市において高齢者の働ける時間や持っているスキルを活用した「時間モザイクモデル」と「スキルモデル」を知識構造化プラットフォーム上で実施し、Question First/Q&A の有用性を確認した (図 2.3.7)。

③ 知識伝達インタフェースの要素技術として「アバターロボット」を遠隔講義で活かし、実際に鉄道博物館において、離れた所にいる解説者が館内の見学者に移動指示を行いながら展示物の説明を「遠隔解説」することで効率よく知識伝達ができることを確認した。また、「仮想人格」の手法を用いて、知識を持った高齢者自身が仮想的に情報発信している状況を作り出すことにより、知識情報が誰にも直感的に理解しやすいことを確認した。

一方、製造業や伝統工芸の分野での「技能伝達」の場合、知識や経験のように言語化できるものだけでなく身体知のようなノンバーバルな技能情報を伝達するための「テレグジスタンス」を試作し評価した。具体的には、図 2.3.8 に示したように、ウェアラブルコンピュータと各種のセンサを高齢の熟練職人に装着し、得られた技能データを、力覚ディスプレイなどを介して技能未熟者に提示するインタフェースの試作し、従来方式と比較してその有効性を示した。



図 2.3.8 ウェアラブル技能伝達システム

<ステージⅡ：プラットフォーム基盤の開発>

本ステージではプラットフォーム・システム開発に注力した。具体的には、前掲の図 2.3.6 のステージⅡに纏めたように、①アバタロボットを中心とする ACLP (Augmented Live Communication Platform) を実現した。これはステージⅢで IBM クラウドでのプラットフォーム公開に至っている。また、②高齢者と若年者が協働するクラウドソーシング「みんなでデイジー」を実用化した。これはステージⅢで国会点字図書館に収められた。さらに、③センサ端末や SN で取得されるライフログやソーシャルログから社会活動レベルや日常行動レベル、健康状態レベルを計測するための指標を構築した。これは、ステージⅢで IBM が「Aging in Place 事業」へ展開した。

<ステージⅢ：社会実装と評価>

前掲の図 2.3.6 のステージⅢの上図に示したように、成果としては、①宮城県仙台市と兵庫県西宮市のシニアコミュニティ同士を結ぶ遠隔講義実証実験において 6 ヶ月間に渡りテレプレゼンス基盤「ALCP」を活用した。②コミュニケーションを支援するいくつかのインタフェース技術の導入によって高齢者でもテレプレゼンス技術を活用した協働が可能であることを示した。さらに、③クラウドソーシング基盤にコミュニティ要素を付加するプラグイン・ソフトウェアである「Socialized Crowdsourcing」については、日本点字図書館をフィールドとして 2013 年 10 月に障害者向け音声読み上げ図書制作プラットフォーム「みんなでデイジー」としての運用を開始した (図 2.3.9)。

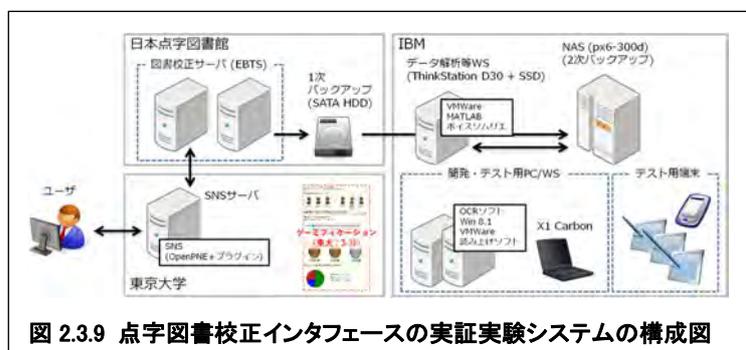


図 2.3.9 点字図書校正インタフェースの実証実験システムの構成図

図書制作において、開始当初 2 年半の実績を分析した結果、参加者コミュニティ全体の 34%にすぎない高齢者がこの期間に完了した約 1,700 万件の校正作業のうち 61%を実施するなど、高齢者がクラウドソーシング

を通してアクティブに社会貢献できることを示した。本システムは 2015 年度には国立国会図書館へ移管、2017 年度の多館展開を経た後、現時点 (2020 年) でも運用を継続している。

ステージⅢの主たる成果である、④地域活動マッチングシステム「GBER (Gathering Brisk Elderly in the Region)」および⑤ハイスキル人材検索システム「人材スカウター」については、その原理とともに社会実装したときの評価と経済効果を次項で少し詳しく述べる。

(6) 「GBER」と「人材スカウター」の評価および競合技術

GBER は地域における求人やボランティア等の社会参加機会と元気高齢者とのマッチングを目的としたシステムであり、就労可能な日程を発信するカレンダーUI、生活圏内の活動

を検索するマップ UI、興味関心を手軽に入力可能な Q&A カード等の画面を提供するサービス（図 2.3.10 右側）からなっている。

「人材スカウター」は高度な経験・スキルを持つシニア人材を主な対象とした人材検索システムであり、マッチング担当者の暗黙知として適切な検索キーワードを導出する過程を学習する機能を持つ。また、これらは単にソフトウェア技術の開発のみならず、実証実験・社会展開を通じた事例の創出やコミュニティの構築、そこから得られた種々の知見も本課題の重要な成果である。

① GBER の評価方法と結果

「GBER」は Q/A から得られた知識取得インタフェースで得たデータから、高齢者の「興



図 2.3.10 地域活動マッチングシステム「GBER」。左図:実装した様子、右図:情報取得画面

味あり」と「興味なし」にタグ付して「興味ベクトル」を算出し、できるだけその高齢者の興味とマッチングするような社会参加の内容を決めた（図 2.3.11 の左側）。なお、興味ベクトルは随時更新されるようにした。具体的には、一般社団法人セカンドライフファク

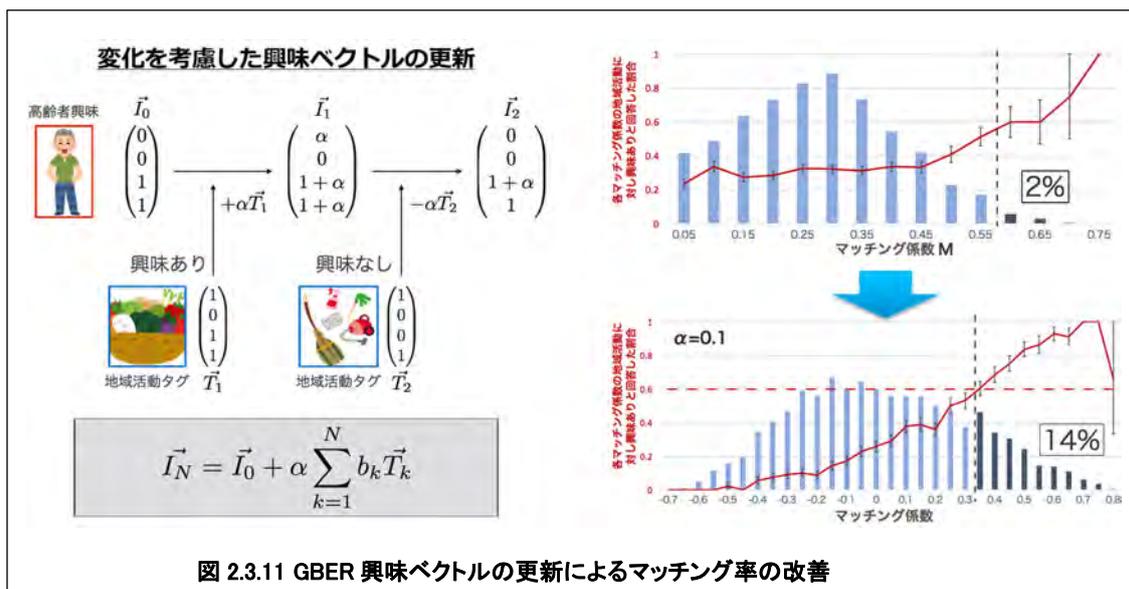


図 2.3.11 GBER 興味ベクトルの更新によるマッチング率の改善

トリー（SLF）との連携により 2016 年 4 月に実証運用を開始し、2019 年 10 月までの 3 年半にのべ 3,441 件のマッチングを実現した。また、変化を考慮した興味ベクトル更新手法の効果を評価した結果、マッチング率が 2%から 14%へ改善されるという結果を得た（図 2.3.11 の右側）。これらの成果をふまえ「GBER」をオープンソース・ソフトウェアとして「GitHub」上で公開したところ、色々な活用事例が生まれている。

② 「人材スカウター」の評価方法と結果

一方、「人材スカウター」は株式会社サーキュレーションとの連携により 1 年半に渡る実証運用を行い、マッチング暗黙知の学習の結果としてロングテール（多職種・少人数）領域

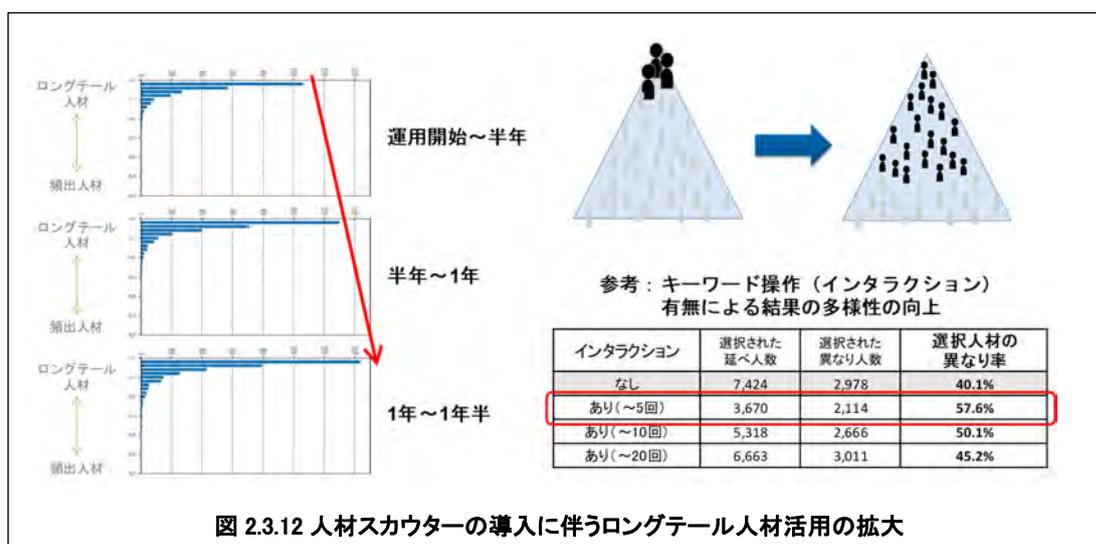


図 2.3.12 人材スカウターの導入に伴うロングテール人材活用の拡大

人材の選択頻度が増す、すなわち詳細なマッチングの実現により活用人材の裾野が拡大される効果を示唆した。図 2.3.12 の左図に示したように、運用の 1 年から 1 年半で多職種・少人数のロングテール人材が 40%ほど増えていることが分かる。また、キーワード操作の有無により、選択された延べ人数と選択されたがキーワードと異なっていた延べ人数の比を計算した結果、インタラクションが 5 回ほどになるとキーワードと異なっても選択された人数の割合が、40.1%から 57.6%に増加し、選択人材の多様性が向上し得ることを示した（図 2.3.12 の右下）。

以上から、図 2.3.13 に示したように、ハイスキル就労領域（人材スカウター）／いきがい就労領域（GBER）のそれぞれの実証目標は、如何に「活用人材の裾野」を拡大し、かつ如何に「職域・運用」を拡大するかが重要であることが確認された。

現実には図 2.3.14 に示した 65 歳以上就業者の職域毎の

人口分布概観（ただし、2010 年時点）にあるように、現在でも中間領域の就業割合が高いことが想像される。その意味では、人材スカウターと GBER の両フィールドを起点としてさらなる実証課題に取り組み、両類型の「活用人材の裾野拡大」と「職域・働き方の拡大」を目指すことが今後の目標になる。

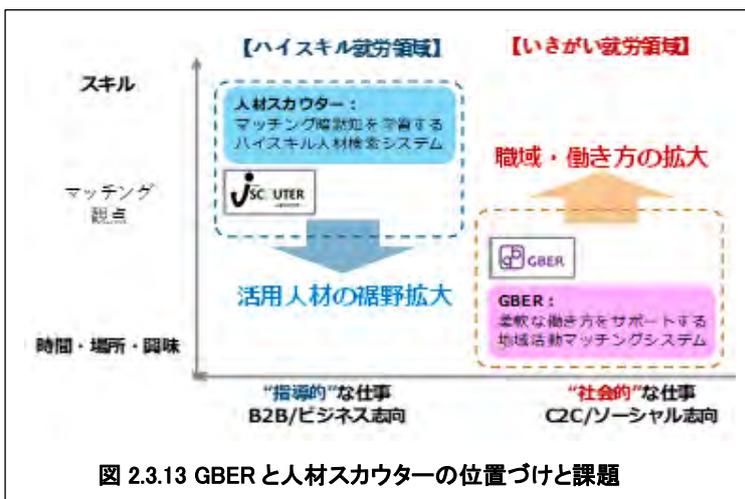


図 2.3.13 GBER と人材スカウターの位置づけと課題

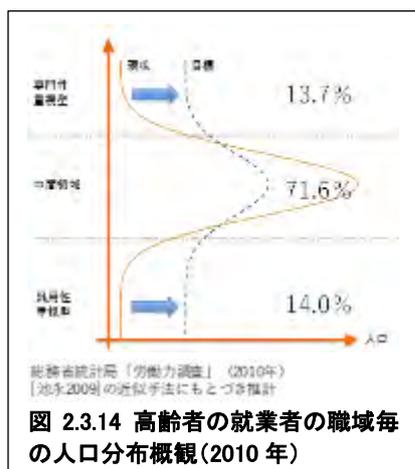


図 2.3.14 高齢者の就業者の職域毎の人口分布概観(2010 年)

③ 競合領域

研究開発開始当初から比べると、クラウドソーシング領域に関わるフリーランス就労マッチングサービスが誕生してきている。それらは、顧客がワーカーを検索するものと、ワーカーが顧客を検索するものに大きく分けられる。ただし、サービス利用者は主に若者が想定されている。それらのサービスは図 2.3.15 に示したように、時間・場所・得意な能力のいずれかの「こ

だわり」の条件で仕事を探すという視点で分類することができる。これらの個別サービスも詳細は省略するが、いずれも「高齢者クラウド」の GBER がモデルとなる領域である。GBER が接続する「高齢者クラウド」プラットフォームをこれらの民間サービスに提供していくことで、シニア就労を多面的に加速していくことができ

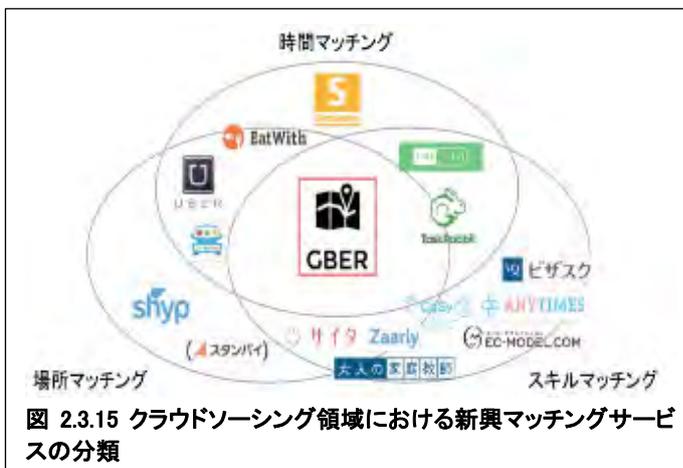


図 2.3.15 クラウドソーシング領域における新興マッチングサービスの分類

るようになると考えている。

(7) 経済効果と QOL(生きがい)の評価

本プロジェクトにおける GBER は主に空き時間を活かした社会的な業務を行うシニア人材のマッチング支援を目的としているが、就労意思とネット環境を持つ高齢者は、図 2.3.16 の右側に示したように、約 775 万人と推定されている。

一方、GBER の運用フィールドを拡大することにより対象人口の 5%に新規就労の機会を提供したと仮定すると、約 38.8 万人の効果があることになる。

図 2.3.16 の左側に示したように、一人あたり経済効果を「人材スカウター」

が対象とするハイスキル就業の 1/10 とし、労働者人口を考慮すると、その効果は約 1,651 億円となる。

なお、GBER は元より生きがいを目的とした地域就労・社会参加の機会向上のためのシステムであることから、GBER の利用件数および利用フィールドの拡大は利用者 QoL の向上に直結するのは言うまでもない。



図 2.3.16 人材スカウターと GBER の経済効果の概算

(8) 今後の計画、実用化・事業化に向けて

10 年間に渡る実施期間を通し、図 2.3.17 に整理して示したように、本課題は世の中の動向に呼応して何度か軌道修正を加え、連携体制を更新してきた。特に、オープンソース化を行った「GBER」については研究開発チームを超えた活用が広がっている。

例えば、①九州旅客鉄道(JR九州)、②熊本県、③KDDI 株式会社、④ニューメディア開発協会をはじめとする事業者や自治体が「GBER」のソフトウェアやアルゴリズムの利用を開始、もしくは開始の意向を表明した。また、日本アイ・ビー・エム株式会社では

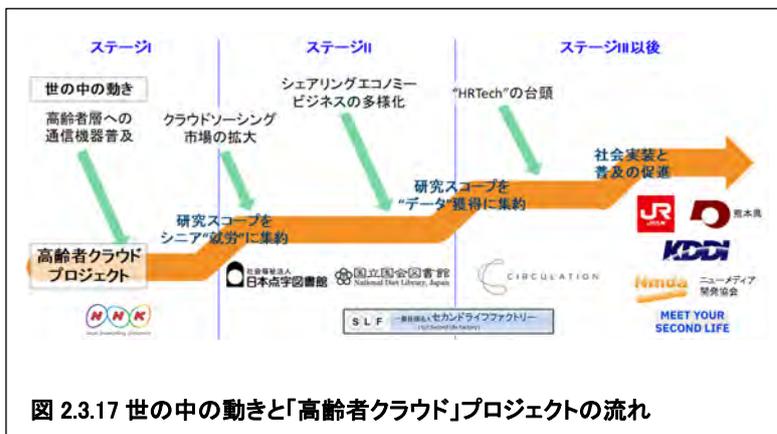


図 2.3.17 世の中の動きと「高齢者クラウド」プロジェクトの流れ

「高齢者クラウド」の知見に基づき IBM Watson を用いたビジネス・プロトタイプ「MEET YOUR SECOND LIFE」を開発・公開し、新たな事業展開を図ってい

る。さらに、同社の東京研究所内には「高齢社会工学部門」が生まれ、本格的な体制作りが始まっている。

アカデミアにおいては日本バーチャルリアリティ学会およびヒューマンインタフェース学会において研究会「超高齢社会のVRの活用」を設立（委員長はP0）、人工知能学会やHCI InternationalにおいてOSを主催するなど新たな研究分野の確立へ向けた活動を続けてきており、産学両面から「高齢者クラウド」成果の波及を目指しており、本課題を通して一つのイノベーションを創出する成果が得られたといえる。

（9）P0、P0 補佐およびアドバイザーによる評価結果

① 研究開発の目標達成度と成果

知識・経験・スキルなど極めて多様な高齢者を対象として、その多様性を組み合わせて仮想労働者を生み出す「モザイクモデル」を具体化し、高齢者に「生きがい」を与えながらその活力を「経済効果」に活かすという未踏な目標に幾つかの答えを提示した。また、多岐にわたり試行錯誤を繰り返しながらハイスキル人材用の「人材スカウター」とそれ以外の「GBER」というプラットフォームに集約した。

さらに、健康状態を監視しながら就労を促し、技能伝達のためにVRやテレグジスタンスなどを活用し熟練者のスキルを遠隔地の若い人に伝達することなども試行している。本課題で提案したモザイクモデルによるジョブマッチング・プラットフォームは、新しい「働き方モデル」を具現化する上でも広く生かされるであろう。

③ 新産業及び新技術創出へ向けて

提案した人材スカウターとGBERのプラットフォームだけでは社会参加や就労に繋がらない人たちも出て来る可能性があるので、この2つでできるジョブとそれ以外で必要となるジョブを定義することが必要となろう。また、開発途中で生まれた「遠隔ICT」、「技能伝達」、「健康指標分析」などの成果をジョブマッチングにどのように位置づけるかを明確にする課題も残されている。人材スカウターはこれまでの経験や知見を活かしたシニアの就労支援方法として市場性があるが、GBERは民間が乗り出しにくく、シルバー人材センターなどの公的資金やボランティアを含めてトータルとしての経済的持続性を図ることが重要である。すなわちGBERは地域ユーザ主体なので、人材スカウターとは異なるビジネスモデルを構築する必要がある。その上で、就労の増加に伴う社会レベルの「経済効果」と健康や満足度の向上に関する個人レベルの「生きがい」の2つを軸にして評価すべきであろう。

④ 総合評価

「モザイクモデル」を基礎にしながら実現可能性の高い「人材スカウター」と「GBER」という二つのプラットフォームに集約させたことは本課題の大きな成果である。ただし、その成果を有効に生かすためには、シニア人材であるユーザの特性と要望や近未来の社会的

ニーズに関する「データベース」を取得し、それに基づいて人材スカウターと GBER が補完し合うジョブマッチング方式を構築するという継続的な研究開発が必須となる。その結果として、将来、ユーザの「生きがい」の増加と「経済発展」への貢献度を具体的に評価すべきであろう。残された課題も多いが、高齢者のための新しい社会参加や働き方のモデルに明確な指針を与えたことは高く評価できる。

Ⅲ. 本研究開発テーマとしての成果と今後の課題

1. 情報共有と3課題の連携による本テーマの社会実装と有用性の考察

以上のことを踏まえて、図 3.1.1 に示したように、3 課題の成果を情報共有しながら連携し、新しい価値観にあった社会システムに向けてトータルとして評価した場合、どのような経済効果が生まれ、高齢者の生きがいとどこまで寄与するかを考察する。例えば、以下の (A) (B) (C) のような仮説を立てて、それらがどこまで実証されるかを推論する。



図 3.1.1 3課題の情報共有と連携によるテーマの遂行

(A) ネットワークに繋がった生活支援ロボットにより MCI や認知症者が減り、社会との繋がりが促進される。その結果、4 割弱の高齢者が薬を飲んだりスケジュールを忘れていたりする「物忘れ」状態にあったのが、1 割以下に解消されることが予想されるので、本人と社会との繋がりが促進され、家族、介護者、施設事業者にも安心感を与える。さらに、以下の自律運転知能システムや

ジョブマッチングの成果により、社会参加ひいては就労の可能性も出て来る。

(B) 自律運転知能システム技術により社会参加における行動範囲が広がる。

例えば、10 万円程度の価格で、危険のある環境や状況に対応可能な自律運転システムを利用できるようになると、安心・安全に半径 100 キロメートル以内の遠距離の外出ができ、高齢ドライバの免許返納者が減り、社会参加の場と時間が広がる。同時に運転の楽しみを持続さ、その結果として認知・行動などの身体機能が持続する。

(C) ジョブマッチングにより自分に合った社会参加ができる。定年後でも自分の好きな場所や時間に知識、経験、スキルを伝えることができるので、国内の高齢非就業者 1866 万人のうち 40%が社会参加できるようになることが予想され、生きがいが増加し、健康寿命が延びることが期待される。さらに高齢の熟練職人の技能データを効果的に若い人たちに伝授しやすくなる。これは日本の生産性が世界の 20 位以下であるという指摘に対して、一つの答えを与えることになる。

以上の例のように、本テーマの核となる技術は「社会参加促進技術」といえる。この技術を実現することにより、高齢社会を心身ともに豊かにし、社会保障費の軽減にも貢献し、若い人たちへの知識・経験・スキルの継承に結びつき、トータルとして多くの新産業の創出につながるものと考えている。とくに身体的に虚弱になっていく「フレイル」の予防に効果が期待できるし、社会参加により心的な面も含む社会的フレイルの悪循環に陥ることを防ぐ効果も生まれて来るであろう（図 3.1.2）。

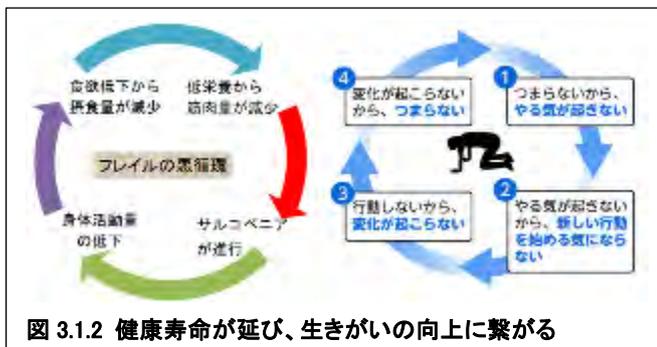


図 3.1.2 健康寿命が延び、生きがいの向上に繋がる

今後は、各課題間の情報共有を円滑にするとともに、JST のプロジェクト「高齢社会共創センター」などとも連携しながら現場での有用性を実証していく。それを基に、地域の特色や課題を考慮し、本研究開発テーマを地域に合わせて修正・改良することで、全国展開に繋がるような道筋を考えたい。

2. 本テーマを 10 年間続けたことの意義

図 3.2.1（図 1.2.4 の再掲）に示したように、本テーマの計画は、ステージⅠの「高齢者の認知・行動とシーズの把握」、ステージⅡの「機器・サービスの開発と改良」、ステージⅢの「社会実装による評価と事業化」の 3 段階とすることにした。1 年の企画調整研究の後、本格研究では大凡 3 年×3 段階で進めたので、合計 10 年間の長期間にわたるプロジェクトであった。結論からいうと、本テーマを事業化まで遂行するためには、以下の理由で 10 年という期間は必要不可欠であったと考えている。

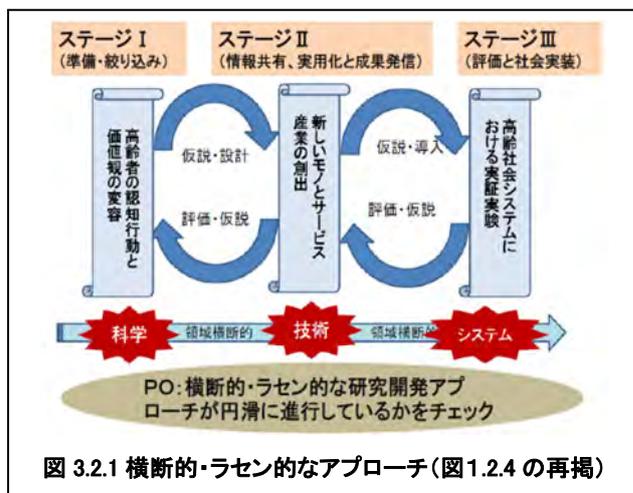


図 3.2.1 横断的・ラセン的なアプローチ(図1.2.4の再掲)

(1) 世界的にも本格的な取り組みが少なく、参考になるモデルが見当たらなかったこと。

日本は先進国の中で最も早く高齢社会に突入していることから、世界を見渡しても日本に合う参考になる先行モデルが無かった。そのために本アプローチが正しいのかどうかを随時チェックしながら進める必要があった。また、自動運転車、人工知能、ネットワーク

ビジネスの分野で米欧が大躍進しているというニュースが入るたびに、本テーマの特徴

が見えにくくなり、成果に遅れがあるのではないかという指摘が続いた。未踏であり、地域や風土さらに日本人の特性をも鑑みなければ解決しないテーマであるにも関わらず、そのことを理解してもらうことに多くの時間がかかった。

(2) 未知の脳機能や高齢者の多様性に関わっており、基礎科学が未熟であったこと。

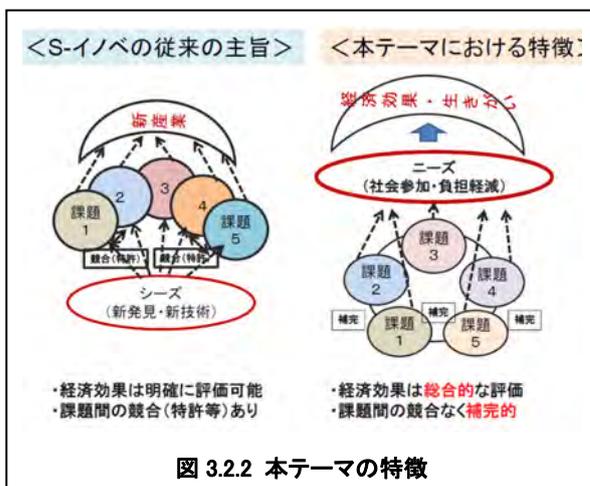
ステージⅠの「認知・行動の把握」では、あまりにもデータが不足していたことから、当初から難航は予想されていたので、「基礎と応用」が循環する方法論を採るよう指示した。しかし、想像以上に問題が複雑かつ多様であったので、全課題共に「認知・行動の把握」は全ステージにわたって続き、その全体像が見えるようになるまでに多くの時間を要した。

(3) 成果を可視化するのが難しい課題があったこと。

軽労化スーツや自動車などモノとして見える課題は進展状況も把握しやすいが、ロボットによるサービスやジョブマッチングのようにモノとしては見えにくい課題については評価が分かれることが多かった。また、身体的な機能低下を支援する技術はニーズを明確にしやすいが、認知機能のように精神的機能の低下を支援するような課題の場合は、ニーズが曖昧であり明確な結果を出しにくかったので、成果が評価されるのに時間がかかった。

(4) 複数の分野が異なるシーズにより課題解決を行うという新しいアプローチ。

従来のSイノベの多くは図3.2.2に示すように、既知の基礎となるシーズが明確であり、それから色々な応用を展開してイノベーションに繋げようというものであり、方法



論も明確であった。それに対して、本テーマは基礎となるシーズそのものが未知のものであり、しかも異なる複数のシーズを合わせて課題解決に挑むというアプローチである。したがって、そのアプローチ自体を模索しながら進めることになった。実際、技術・システムが異なる複数課題を同時に展開したときの有効性を定量的に示すまでには、10年間を超える期間が必要であり、今後とも継続していかなければならないテーマと考えている。

<テーマ終了後のPMと開発リーダーの感想・意見の抜粋>

このような難題を前にして試行錯誤が続いたものの、ステージⅡを終えて技術やサービスの方法が確立されていった後、ステージⅢに入ってから目は見張るような成果が具体化され事業化されてきている。実際、各課題のPMと開発リーダーに「10年だからできたこと

や支援スタイルの妥当性」などをアンケートで質問したところ、以下のような返事が返ってきている。

課題1のPMは「高齢者の特性やニーズ、現場の状況等の把握から、システム開発、そしてアクションリサーチを駆使した社会実験の実施と効果検証という一連のイノベーションのプロセスを一貫してできたことは、多くの実りがあった。(途中省略) 必要な参画機関を選定し、異分野でのチームを構成することができたことも、S-イノベだからこそできた重要な要因である。(支援スタイルについて) 特に高齢者という多様なニーズや生活形態をもつ対象とのマッチングには、10年という期間が必要であった。(支援体制について) 約10年間という期間のなかで、新たなAI技術や新たなコミュニケーション・ロボットが出てきたが、本委託研究のユニークさを脅かす存在は出なかったと考えられる。そういう意味ではプログラムの支援方法は妥当であり、世界的にユニークな取り組みとなりつつは、また開発リーダーは「コミュニケーションロボットが、この10年の間に、自走機能も持つ研究用ロボットから、小型・低価格化、声がけ/見守り用途として製品レベルになり、ステージⅢにおいて研究成果の事業化が実現できたこと。これには10年間の期間が必要であった(一部省略)」と述べている。

課題2のPMは「3年を一単位として、10年後のゴールを見据えた上でのマイルストーンをしっかりと定め、要素技術開発・システム化とプロト車への実装・実車走行試験 FOT のそれぞれに対し、無駄のない取り組みを実施することができた。(途中省略) 世界に先駆けて、……独創的な技術を牽引できたのも、10年後のゴールからのバックキャストによるものと考え。最近になって自動運転で、(本課題の) 重要性が語られはじめている現状をみると、本Sイノベプロジェクトが既に実現手法を示してきた価値が際立って見える。

(引き続きの支援では) 今回のプロジェクトを、大きな JST 成果として評価頂き、終了後の公的資金の支援プログラム(例えば、未来社会創造事業、A-STEP 等)で、本プロジェクトの第2弾として、継続を推奨して頂けると有難い」と述べている。

課題3の開発リーダーは「3年程度のプログラムと比較して、一つの課題の中で複数のサブテーマに取り組むことができた。……(株)日本IBMのR&D部門に高齢社会ソリューションを専門とする部署を新設することができ、本プログラム成果をより発展させるべく活動を継続している」、と述べていることから10年間をかけたという意義は十分に高いと考えている。

3. 本テーマの中間評価おける指摘や意見に対する対応

Ⅱ章の各課題の項では、テーマ評価委員会(2018年3月)で指摘された点に対して、どのように対処してきたかを述べている。ただし、指摘に対してどのように対応したかは、Ⅱ章で示しているのので、ここでは、未だに対応していなかったり、また説明不足だった点について補足する。

○指摘 1

(1) <総合所見>の「はじめに」で「各課題は残り2年で実装させるためには、今まで広げて行ってきた研究開発で明らかになった成果が、実社会のどこのどの分野で、受け入れられ、実施できるかを見極める作業が必要である。しかし、今の段階で、実装に向けての絞り込みは充分でなく、果たして有効な実装が可能かどうかの疑問が評価委員会の中で残った」という指摘があった。これに対しては、各課題ともステージⅢの実装と評価で事業化まで漕ぎつけた過程とその評価について具体的に答えている。

○指摘 2

<総合所見>の(2)「ニーズの多様性」で、福祉技術の多くは使われないままであったことや、当事者のニーズとの不適合や社会制度の制約にもあることに言及し、「今後、本研究開発の成果は、日本及び世界での活用を図るために、関連団体、省庁を超えた、全国的な組織づくりと取り組みが必要になる」と指摘している。さらに、「残りわずかの期間ではあるが、バラバラの要素技術が開発されて終わりとならぬよう、各チームのプロジェクトマネージャーと改めて意識を合わせられることをお願いしたい」と指摘された。このことはP0らは常に留意しながら進めてきおり、課題間の連携や情報共有については、テーマ推進会議を通じて出来る限りそれぞれの課題が他の課題を理解してもらうように努めた。

○指摘 3

<総合所見>(3) 個別課題の評価の内、ステージⅠで終了した「軽労化スーツ」の製品の状況を知りたい旨が書かれている。

その後の調査で、軽労化スーツはモータを使わないタイプのもは既に「スマートスーツ」という名で「株式会社スマートサポート」から3万円前後の価格で製品化されており、設立会社は売り上げを伸ばし続けている(参考 <https://smartsuit.org> 2020.1.21)。また、北大発ベンチャー企業奨励制度や2019年度の新商品トライアル制度などにも認定され、全国で約70か所の主に農業や農園で使われており、この分野を牽引している。ただし、その後、アシストスーツ(株式会社ダイヤ工業)や「マッスルスーツ」(株式会社イノフィス)のような類似の製品も幾つか現れている。その中で占めるシェアは、正確には把握してないが、本テーマは高齢者支援技術の一つの産業として確立させるのに貢献したと言える。

○指摘 4

個別課題の評価で、「全課題に対して臨床に携わっている職種からの助言」を求めるよう指摘している。

これは、リハビリテーション機器の評価を専門とするP0補佐の田中理氏が抜けたので、その補充に関する指摘である。しかし、アドバイザーの中にリハビリテーション工学を専門とし、現場でそれを活かしている田中敏明氏や医療計測・スポーツ科学を専門とする清水孝一氏が十分に役割を果たせると判断し、その補充はしないことにした。

○指摘5

<マネジメントについて>「課題間の連携については、全体会議が行われているようだが、うまく連携しているとは見受けられず、今後、機会を増やすなどの取り組みが必要と思われる」という指摘があった。これは指摘1とも関連するが、現在、P0 補佐である秋山弘子先生が構想している「高齢社会共創センター」とも連携しながら地域に合わせた修正や改良を進め全国展開の道筋を考えている。

なお、テーマ修了後のアンケートから、「年度ごとに開催された会議が、実質的に評価会と同等の内容となっており『課題同士の連携』という本来の目標を達成できていないと感じた……研究開発メンバーまで含む繋がりを作れば、たとえば課題Aの学生が課題Bの企業へインターンに行く等の形でプロジェクトを派生させていくきっかけになり得たのでは」という感想と提言があったが、今後の連携プロジェクトを遂行する上で重要なことであり、真摯に受け止めるべきである。

○指摘6

知財戦略や国際化戦略の重要性を指摘しているが、それについては特許数や国際会議での発表などを参考にして欲しい。また、課題①のロボットについては、高齢者とロボットとの会話から「実年齢に比べて、認知能力の低下がみられます」というような会話を誰が楽しむか？また、「家電量販店で売れるようなものを作るべき」などの指摘があった。これらについてはアクションリサーチという現場重視の実証実験により徹底的に評価し、対話内容や販売戦略についてもⅡ章の本文で述べた。なお、課題②の自律運転知能では、日本の自動運転技術は世界的に後手に回っているので「自動運転技術の開発に総力をかける意義がある」と指摘しているが、これについては自律運転と自動運転の違いや日本独自のアプローチについて繰り返し述べた。以上が、2018年のテーマ中間評価の指摘とその対応である。

4. 国際化について –P0の講演から–

ステージⅢの社会実装の段階に入った頃、本テーマが国際的にも注目され、得られた成果の発表依頼が増えた。それは各課題におけるPMなどが国際学会等で招待講演が多くなっていることから窺えるが、P0も同様に、基調講演や招待講演の依頼が国内ばかりでなく海外からも増えている。2018年と2019年の海外におけるP0の招待（基調）講演は以下の通りであり、依頼してきた国の事情を簡単に付記した。

○2018年5月に台湾で開かれた「Japan-Taiwan Gerontechnology forum（日台ジェロントロジーフォーラム）」で本テーマの課題で招待講演を行いその後、この分野で台湾と東大・高齢社会総合研究機構とが提携を結ぶことになった。

台湾の高齢化率は14%を超え高齢社会に入ったばかりであるが、アジアの中で2番目の高齢化率である。しかも、超高齢社会20%（日本は現在27.6%）を超えるのが僅か8年後と予測されており、我が国の高齢化速度よりも速いことから待ったなしの状況なのである

う。台湾の得意な ICT を如何に駆使したら良いかが議論されてきているのは当然のことであり、S イノベとしても手を貸すべきであろう。

○2018年10月には、中国の青島で開かれた第18回「日中科学技術フォーラム」で「China-Japan Forum for ICT based Aging Society (ICT 技術を使った高齢社会対応)」が JST と CAST (中国科学技術協会) の共催の基で開かれ、PO は基調講演を依頼された。参加者は 350 名を超えており、その多くは技術系の研究開発者と思われた。基調講演は 8 人いたが (図 3.4.1 上図)、日本からの技術系研究者は PO のみであったのに対して、中国は技術系とくに ICT やロボットを専門とする者が殆どであった。まだ、高齢化率は 12% (1 億 7 千万人) とそれほど高くはないが、「産めよ増やせよ」の時代から急に「一人っ子政策」の時代に移ったことから 2050 年までに人類が経験したことの無いような超高齢社会になることが予想されている。中国が進めている ICT 及び IoT の技術を生かして難局を迎えたいという意気込みが感じられた。

○2019年10月「Aging, living and wellbeing in Japan and Finland seminar (日本とフィンランドにおける高齢・生活・幸福に関するセミナー、フィンランド大使館) において本テーマの進展状態を1時間にわたり講演した。フィンランドの高齢化率は 21.7% と世界で 4 番目であり、北欧型福祉制度の基で高齢者支援が行われてきたが、高齢化速度があまりにも速いことから、ICT を駆使した福祉制度に重点を置きたいとのことである。

○2019年10月にはトルコのイズミル市で開催されたトルコ高齢者大会という数万人が集まる一種の行事に呼ばれ、その中の分科会である「Geron-technology Symposium」の基調講演を依頼され、本テーマの内容を発表した。



図 3.4.1 2018 年に中国・青島市で開かれた「日中科学技術フォーラム」での基調講演者(上)と 2019 年に中国・深圳市で同じタイトルのフォーラムが行われた時の会場の様子(下)

聴取者はそれほど多くはなかったが、講演のあと報道関係者から取材を受けた。トルコの高齢化の速度が速く、2016 年の統計では 8.3% であったので、現在は 10% 近くになっている。ただ、トルコの場合は、国土が広く高齢者が散在しており、とても今の医療介護では地方まで手が回らなく、何とか ICT を活かす道はないものかと専門達は言っていた。

○2019年10月に、再び中国の深圳市で第19回「日中科学技術フォーラム」が開催され、前年と同じテーマ「China-Japan Forum for ICT based Aging Society (ICT 技術を使った高齢化対策)」が取り上げられ、PO は招待講演を依頼された。前年と同じように多くの研究者や技術者が参加

し（図 3.4.1 下図）、もっと具体的な発表が多数あった。その中の中国系の行政からの発表用 PPT には以下のことが書かれていた。

「中国社会科学院高齢者研究所は、現在の中国介護市場のビジネスチャンスは約 62 兆円であるが、2030 年には 200 兆円での増加が見込まれると予測している。巨大な市場潜在財力がますます多くの不動産、保険、医薬及び介護サービスなどの様々な分野からの市場参入者を引き付けつつある。関連推計によれば、2014 年～2050 年の間に、高齢者人口の消費潜在力は 61 兆円ほどから 1632 兆円ほどに増加し、GDP に占める比率は 8% から 33% ほどに増加する。（1 元≒15.4 円として計算）

この内容からも、ICT ビジネスへの期待は極めて大きいことが窺える。中国における ICT 産業が飛躍的に伸びていることから、それを高齢社会産業に活かそうという国策は当然と思うが、このままでは日本は高齢社会支援技術の多くを中国から輸入することになる可能性があるだろう。

5. おわりに —今後への期待—

本研究開発テーマの立ち上げから 10 年が経ったが、前述したように、その間に AI（人工知能）、ヒト型ロボット、自動運転車、GAF A と呼ばれるインターネット企業群など、先端技術や新企業が急速に発展していった。このことから多くの会議を通して研究開発の方向や方法の修正と追加が繰り返され、本テーマでも類似する新技術との差別化どうしたら良いのかが盛んに議論された。

現在のステージⅢでは、3 課題が情報共有と連携を進めながら、それらを同じコミュニティで同時に活用することにより、本テーマを「経済への貢献」と「生きがい・QOL の向上」の軸で評価する段階に入った。同時に、地域の特色や課題を考慮して修正・改良することで、本システムを全国展開するような道筋を探っている。

プロジェクトを進めている期間に、高齢社会に対する日本人の見方や価値観が大きく変わり、人口減少社会とも連動して本テーマは行政の政策にも大きく関わってきている。「一億総活躍社会」、「生涯現役」、「人生 100 年時代」、「70 歳定年」、「働き方改革」などという言葉が飛び交い、老後を支える年金問題は誰にとっても大きな関心事となった。3 課題の「自律運転知能システム」、「生活支援ロボット」、「高齢者クラウド（ジョブマッチング）」は道半ばとはいえ、これからの時代に向けてその役割はますます大きくなると考えている。

ただし、高齢社会に向けて議論され改善されるべき課題は「衣・食・住」、「エネルギー」、「都市環境」など広範囲に及ぶ。さらに、本プロジェクトの成果を風土や文化の異なる各地域さらには諸外国にまで広げようとする途方もなく壮大な社会実験が必要になる。

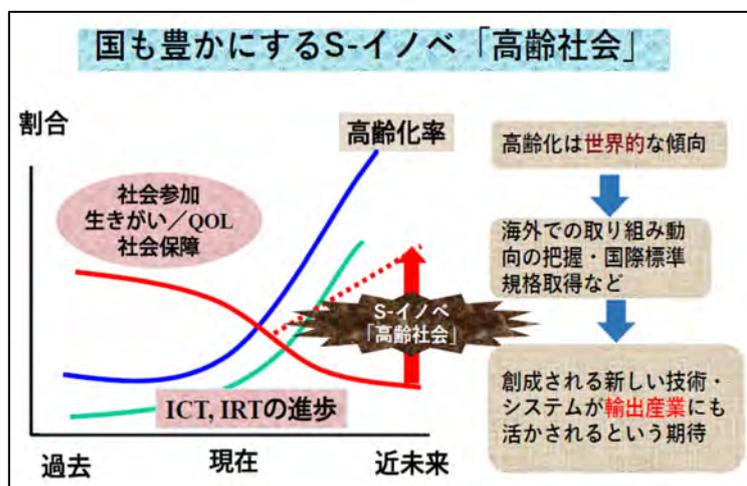


図 3.5.1 本テーマの経済的な役割・効果

一方、高齢化は日本ばかりでなく世界的な傾向にあることから、高齢者の社会参加を支援する技術・システムは将来大きなマーケットになり、やがては輸出産業にもつながるといった可能性もある(図 3.5.1)。このように本プロジェクトは色々な分野と複雑に絡み合いながら大きなテーマへと広がってきている。

ただし、時代の流れを考えると、この「高齢社会」の分野では10年という長期間に渡った国家的なプロジェクトはもう出てこないかも知れない。また、「SDGs」に関わるような広汎なテーマは提案されているが、「高齢社会」のような具体的な課題は大テーマの中に埋没しているように見える。具体的なテーマから具体的な成果が生まれて初めて、その成果が社会に還元されるものと考えている。私どもの取り組みを理解してもらい、国としてもこのようなテーマを継続し、さらに超高齢社会を豊かにする企業や研究者が増えてくれることを切に願っている。

なお、個々の内容は本プロジェクトの期間中にPO自身が著した「福祉工学への招待」(ミネルヴァ書房、2014)、「福祉工学の基礎」(コロナ社、2016)、“Sound-based Assistive Technology”(Springer, 2017)などで易しく解説している。また、本テーマで開発された、ハードウェア、アルゴリズムおよびシステムに関する詳細は中間報告として下記のホームページに載せたので参照されたい。

http://www.jst.go.jp/s-innova/research/hyoka/theme_midterm_2013/sanko/shiryo_01-1.pdf