2019 年 2 月　第 192 号

太陽グラントソントン

エグゼクティブ・ニュース

テーマ：高齢社会を豊かにする福祉工学のアプローチ

執筆者：東京大学 高齢社会総合研究機構 特任研究員　伊福部　達氏

要　旨　（以下の要旨は 2 分 20 秒でお読みいただけます。）

以前、目の不自由な人がドーム上の建物内で手を叩き、その反響音で建物の構造を当てる映像をテレビで見たことがあります。人間の隠れた能力の凄さを示す一例ですが、こうした潜在能力を活用し、障害者は元より高齢者についてもその能力を科学的に支援することで、高齢社会を豊かにすることが出来そうです。

本文では、高齢社会で必要な福祉技術とシステムの確立を主導されてきた伊福部達・東京大学特任研究員に、福祉工学のアプローチと役割を解説して頂きます。

福祉工学は、「生命維持」のための医療工学とは異なり、障害が生じても快適な生活が営める「身体補完」等を支援する工学です。福祉工学の原点は、1948 年にノバート・ウィナー（米）が提唱した「サイバネティクス」に端を発します。これは動物と自動機械で共通する点は、「計測（感覚）」、「処理（脳）」、「制御（運動）」の中で情報が循環するシステムである、と捉える考え方です。優れた人工の感覚、脳、手足が出来れば、人間の機能の再建に活かすことができ、同時にロボットにも活かすことができます。筆者が開発してきたものの例として、「聞く」のに障害がある人に音声を文字にして見せる「音声タイプライター」、「話す」のに九官鳥の発声法をヒントにした「人工喉頭」などがあります。

日本の高齢者の心身年齢は、数十年前に比べ 10 歳以上も若返っており、また元気な高齢者の 70%以上が未だ働きたいと希望しています。こうした中で筆者が代表の JST（科学技術振興機構）では、高齢者のための支援技術・システムを発展させることで、新しい産業の創出に結びつけるプロジェクトを立ち上げました。そこでは支援する課題を「ウエアラブル」、「移動」、「脳機能」、「労働」、「インフラ」の 5 つに絞りました。その内の 4 つの課題について、その成果の概要を以下に示します。

1「スマートスーツ」：筋肉や関節の動きに合わせてロボットスーツが伸縮し、作業負担を軽くするもので、既に実用段階である。2「自律運転知能システム」：危険な時に感じた「ヒヤリハット」の状態をデータ集積し、「熟練運転者モデル」を搭載した車で危険時のハンドルやブレーキを自動操作する。3「生活支援ロボット」：軽度認知症者に対話ロボットが定刻に話しかけ、対話内容で異常が認められた時にロボットから家族等へ通知する。4「高齢者クラウド」：高齢のため一人ではこなせない仕事を、複数人が得意な部分を活かし合い一人前の労働力にするジョブマッチング。

現在は、各課題について現実の社会に活かす段階に入り、地域の特性に応じた修正・改良による全国展開の道筋を探っています。高齢化は、日本ばかりではなく世界の潮流でもあるので、高齢者の社会参加支援の技術・システムは大きなマーケットになり、輸出産業につながる可能性があります。高齢社会における福祉工学アプローチの重要性や役割をご理解頂き、この分野に挑戦する人達が増えてくれたら幸いです。

「太陽グラントソントン エグゼクティブ・ニュース」バックナンバーはこちらから⇒http://www.grantthornton.jp/library/newsletter/
本ニュースレターに関するご意見・ご要望をお待ちしております。Tel: 03-6438-9395　e-mail: mc@jp.gt.com
太陽グラントソントン マーケティングコミュニケーションズ　担当 藤澤清江

Grant Thornton Japan is a member firm within Grant Thornton International Ltd ('Grant Thornton International').
Grant Thornton International and the member firms are not a worldwide partnership. Services are delivered by the member firms independently.　© Grant Thornton Japan. All right reserved.

テーマ：高齢社会を豊かにする福祉工学のアプローチ

東京大学　高齢社会総合研究機構　特任研究員　伊福部達

1.　はじめに

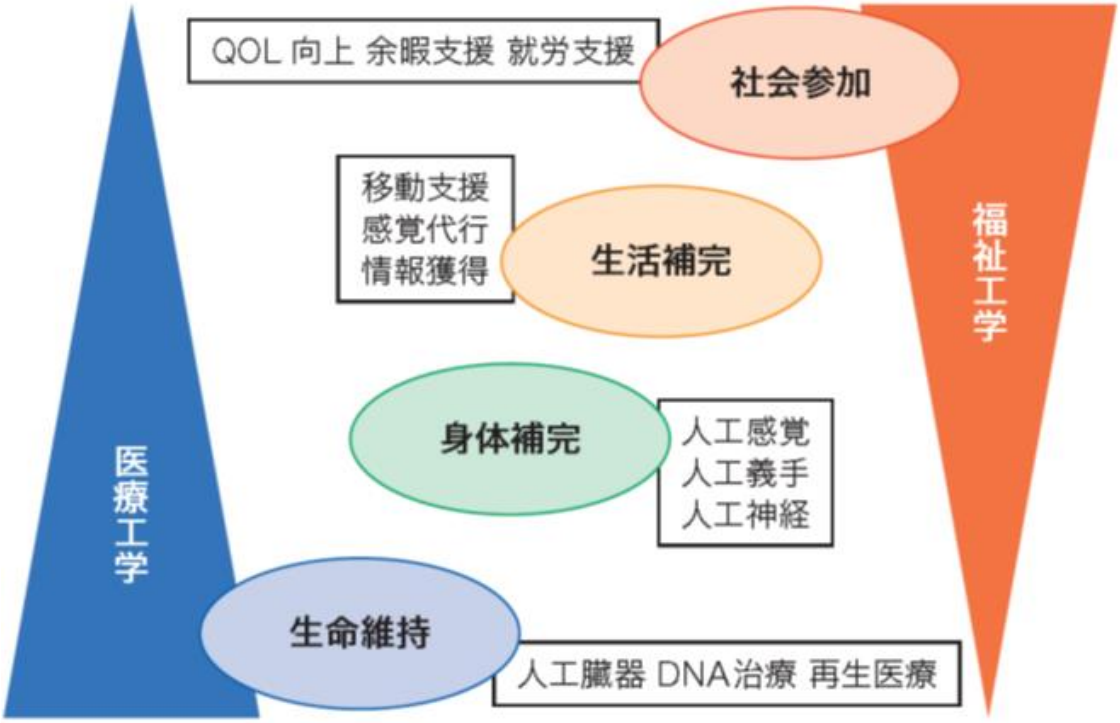
近年、医療技術の進歩や食生活の改善により長生きする人たちが急増しているが、一方では長い老後の「生きがい」をどこに求めるかが大きな問題となっている。また、2025 年までに 75 歳以上の高齢者の人口比が急上昇していくことから、「労働者人口」の減少に加えて、「社会保障費の増加」など避けて通れない課題が目前に控えている。そのため、著しい進歩を遂げている AI（人工知能）やインターネットなどの ICT（情報通信技術）を活かして超高齢社会における諸課題の幾つかを解決しようという試みが始まっている。このような背景の下で、筆者は約 50 年にわたり障害者や高齢者を技術やシステムで支援する「福祉工学（Assistive Technology）」を開拓してきた。
本稿では、まず、筆者が進めてきた研究の例を示しながら福祉工学の立場や方法論を述べる。次に、筆者が代表となって進めている JST（Japan Sciense and Technology Agency：科学技術振興機構）のプロジェクト「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」（2010～2019 年）を通じて高齢社会における福祉技術・システムが果たす役割を述べたい。なお、本稿は筆者による著書および解説「高齢社会を活かす福祉工学のアプローチ」（伊福部達、実験医学 35 巻 20 号、2017）を参考にしている。

2.　福祉工学と医療工学

福祉工学を定義するとすれば、図 1（次頁）に示したように、「生命維持」のための医療技術と異なり、障害が生じても快適な生活が送ることができるようにする「身体補完」、「生活補完」、「社会参加」を支援する工学ということができる。ただし、医療工学と福祉工学とは切り離して考えることはできず、人工の感覚や手足など両者が混在したものも含まれる。

© Grant Thornton Japan. All right reserved.

図 1.　医療工学と福祉工学



「人の命はお金には代えられない」という医療と「作っても金にならなければ成り立たない」という工学の価値観には大きな違いがある。それと同様に、医療工学と福祉工学にも価値観と研究対象に違いがある。例えば医療技術 特に治療の場合、人工臓器を体内に埋め込んだり、薬で患部を修復したりするというように、人間そのものを「改造」する場合が多いが、福祉技術は人間の「非改造」を旨とする点でアプローチが異なる。特に、福祉工学では、次の二つのアプローチで人間を支援する。

一つは生活する住宅や環境を変えて住みやすくするという「生活機能の支援」であり、生活の「バリアフリー化」といえる。もう一つは、メガネ、補聴器、車椅子などのように、装置を身につけて心身機能を補助・支援するという「身体機能の支援」というアプローチである。この二つはいずれも薬事法、生命倫理などにはあまり抵触しないという面があるので、製造業やサービス業でも参入しやすい分野といえる。ここでは、この中でも「身体機能の支援」を中心とした福祉工学について述べる。

3.　福祉工学の目的と方法

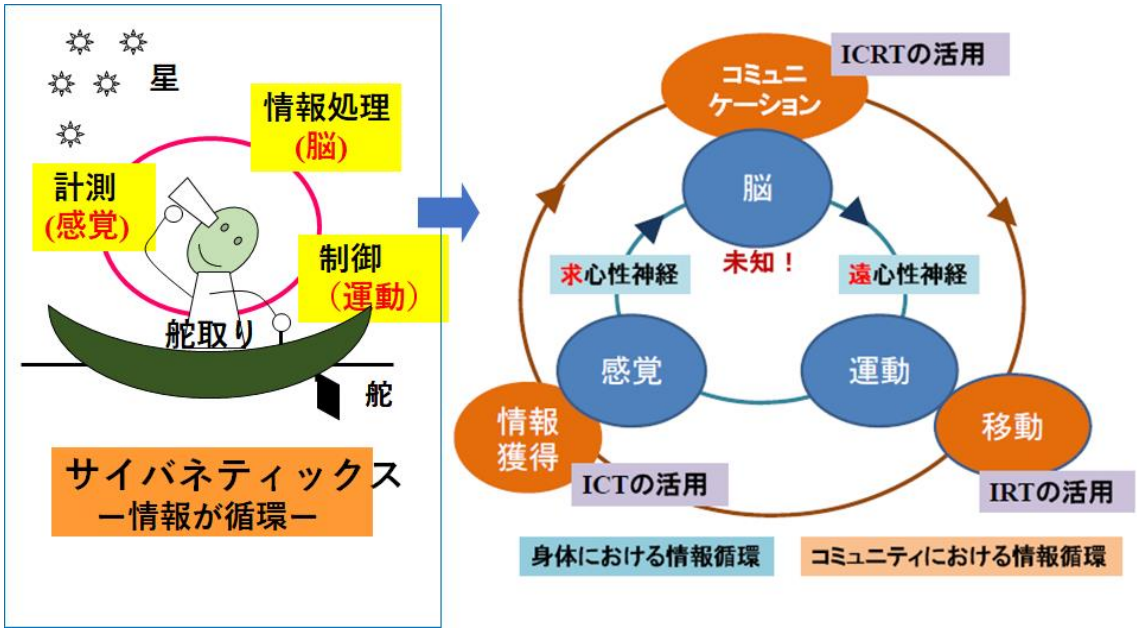
福祉工学の考え方の原点は、ノバート・ウィナー（Nobert Wiener,米国 1894～1964）が 1948 年に提唱した「サイバネティクス」に遡る。ウィナーはヒトなどの動物と自動機械における情報の重要性を指摘し、共に「計測（感覚）」－「情報処理（脳）」－「制御（運動）」の 3 つの要素からなるシステムと捉え、情報が体内でフィードバックしながら循環することにより機能の恒常性を保っているとしている（図 2＜次頁＞）。サイバネティックスからは、ヒトの機能を真似たロボットやヒトの機能を補助代行する人工臓器などの分野が生まれている。

一方、2001 年に世界保健機関（WHO）は、高齢社会では身体機能の障害を補助するという観点だけでなく、知的な生活を送る上で必要な「情報獲得」、「コミュニケーシ

© Grant Thornton Japan. All right reserved.

ョン」、「移動」の 3 つを支援する医療・福祉技術の開発が優先されるべきであるとしている。この 3 つの課題はそれぞれ「感覚」、「脳」、「運動」に対応させて考えることができる。福祉工学は、個人の身体機能（「感覚」、「脳」、「運動」）の 3 要素とコミュニティにおける生活機能の 3 要素（「情報獲得」、「コミュニケーション」、「移動」）を支援する工学と位置づけられる。

図 2　左：サイバネティクスの概念、右：福祉工学が支援する 3 要素



ところで、優れた人工の感覚、脳、手足ができれば、それらを人間の機能の再建に活かすことができるので、その価値観は医療と同じになる。逆に、優れた人工の感覚、脳、手足はロボットで使われるセンサ、コンピュータ、アクチュエータなど自動機械にも活かされる。このように、福祉工学は医療工学とロボット工学を結ぶ双方向性があるという特長がある。

4.　「聞く」、「話す」、「見る」を助ける福祉工学

この分野は筆者が 50 年近くにわたり取り組んできたものであるが、ここでは開発したものの要点だけを示す。具体的な機器やそれを使用している様子は多くの著書で述べているので、それらを参考にされたい。

○「聞く」のを助けるものとしては、音声を文字にして見せる「音声タイプライタ」、それを発展させた「音声字幕システム」、音声を電気刺激に変えて内耳の神経を刺激する「人工内耳」、音声を指の触覚に伝える「触知ボコーダ」などがある。

○「話す」のを助けるものとしては、九官鳥の発声法からヒントを得た喉頭摘出者のための「人工喉頭」、腹話術発声からヒントを得て開発した指の動きで音声を合成するスマホ・アプリ「ゆびで話そう」などがある。

○「見る」のを助けるものとしては、コンピュータ画面上の文字を音声に変えて伝える「スクリーンリーダ」、コウモリの聴覚による物体認識を参考にした「超音波メガネ」とその応用機器、音による気配知覚の研究に基づく「環境認識方式」と音響バーチャルリアリティなどがある。

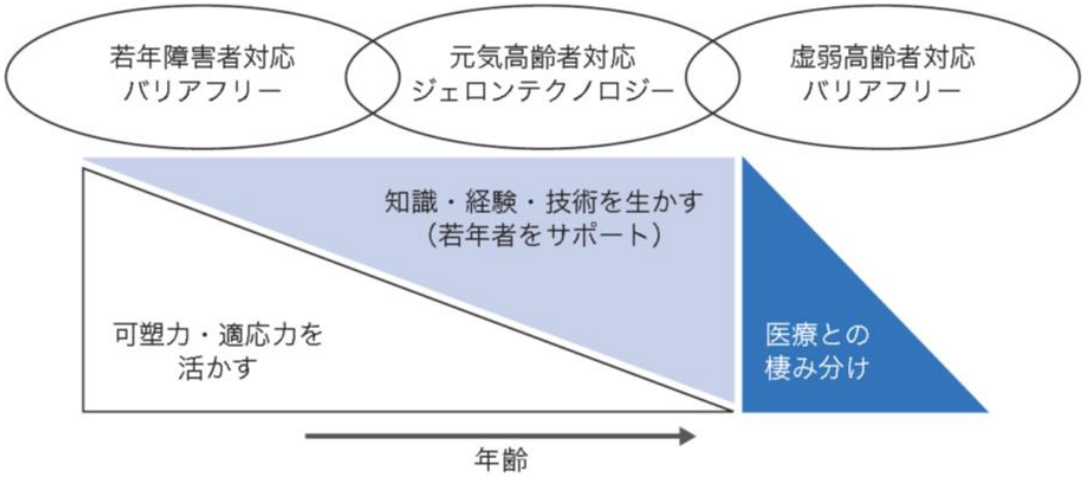
© Grant Thornton Japan. All right reserved.

さらに、「聞く、話す、見る」を助ける福祉工学の考え方や技術は、NHK から依頼されて作った「緊急地震速報チャイム」にも生かされており、次に述べるように高齢社会を豊かにするのを目的とする JST のプロジェクトの基礎となっている。

5.　若年者と高齢者

以上、述べてきたことは支援を受ける人の年齢にあまり関わらないものであるが、高齢者支援に絞るとその対象や方法は少なからず異なってくる。若いときの障害者を支援する福祉技術は、「バリアフリー」とも呼ばれている。若年者の多くはある機能が弱ったり失ったりしても、それを補うための可塑性や適応能力が十分に期待でき、それによる代償機能が働く。若年障害者を支援する場合、その機能をいかに生かすかが重要になる（図 3）。

図 3　若年者と高齢者の特性の違い



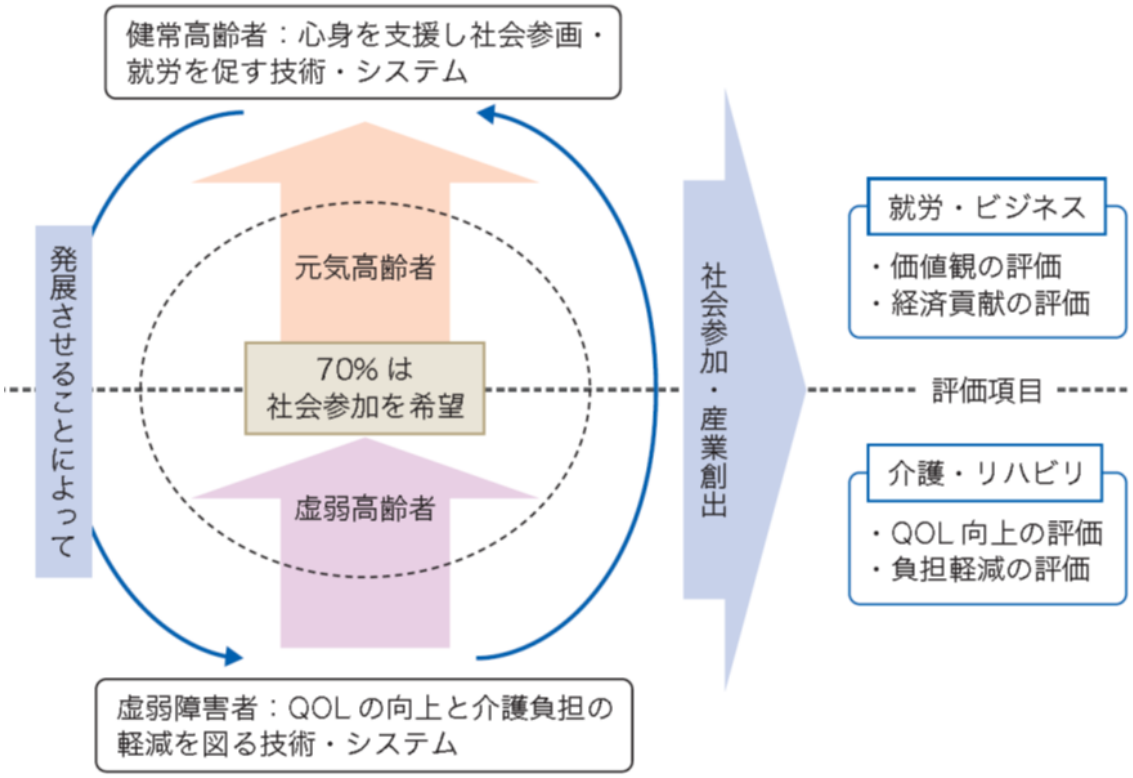
それに対して高齢化に伴う元気な障害者を支援するのを「ジェロンテクノロジー」という。高齢者の場合はそれまでに獲得した知識、経験、技能を持っているので、それにうまく適合するように支援機器を開発したり、それを活かして社会参加を促したりすることが重要になる。「ジェロンテクノロジー」と「バリアフリー」（高齢な虚弱障害者の支援）を総合して両方を包含する概念を「ユニバーサル・デザイン」という。

6.　JST プロジェクト「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」

このような観点から、JST プロジェクト「高齢社会（略称）」では、図 4（次頁）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」に重点をおいた。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つけるという道筋を立てた。

© Grant Thornton Japan. All right reserved.

図 4　社会参加を促し、QOL を向上させ、新しい産業を創出する

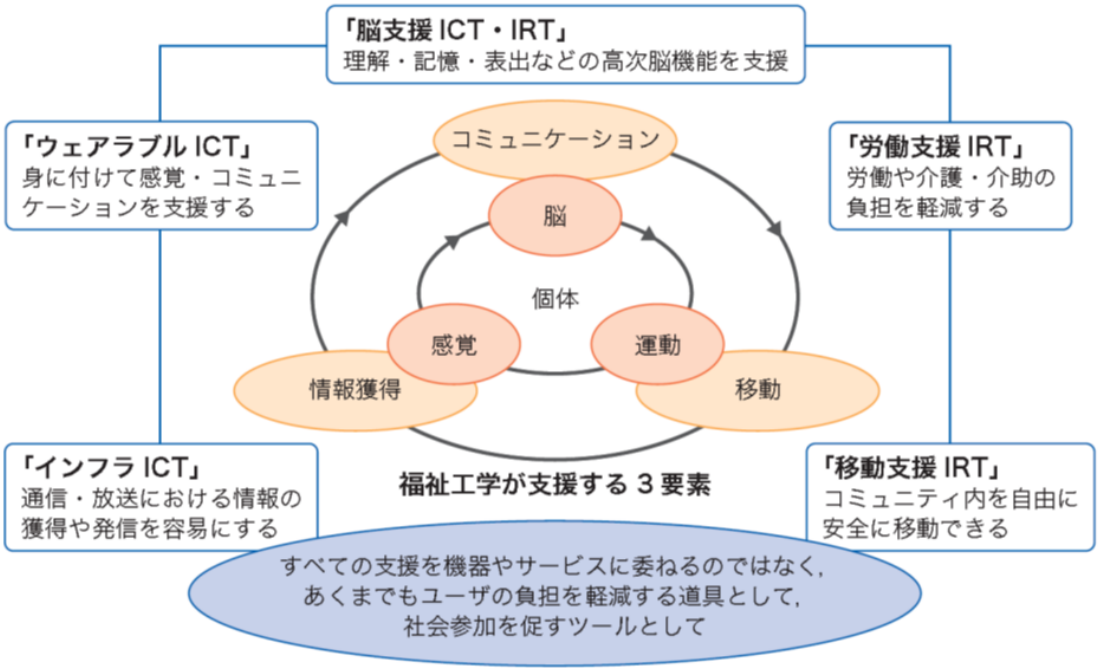


実際、社会参加により、生きる上で必須な「動く」、「食べる」という行動も促がされるので、結果として健康維持にも繋がる。また、高齢化に伴って認知・行動の低下が起き始めると「つまらない」、「やる気が起きない」、「行動しない」、「変化が起きない」、したがって「つまらない」という悪循環に陥る恐れがあるが、社会参加によりその悪循環を断ち切る可能性が出てくる。それが若い人を助けることになれば、社会保障費の軽減や生産年齢人口の増加にも繋がり、そして何より老後の「生きがい」に結びつく。一方では、最近の膨大な人数の高齢者を対象とした心身機能の調査結果から、日本の高齢者の年齢は数十年前と比べると 10 歳以上も若くなっていることが分かっている。また、元気な高齢者の 70%以上が未だ働きたいと希望しており、福祉工学はそれに応える役割も担う。

以上の考察を経て、ICT およびロボットで代表される IRT（情報ロボット技術）で支援する課題を、図 5（次頁）の枠内に示したように、「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」の 5 つに絞込んだ。

© Grant Thornton Japan. All right reserved.

図 5　ICT と IRT で支援する 5 つの課題



ただし、従来から障害者や高齢者を支援する工学分野では、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。そのため本プロジェクトでは高齢者施設などの現場と必ずタイアップし、そこでのニーズを最優先することとした。さらに、得られた技術・システムが社会で受容される上で必要な法制度の見直しを提言してもらうことにした。まだ道半ばではあるが、現在まで進められた以下の 4 課題の中間成果の要点を示し、高齢社会における福祉工学的アプローチの一端を理解してもらいたい。

6.1　スマートスーツ

第 1 の課題は、北海道大学と（株）三菱電機エンジニアリングの共同開発で進められた「スマートスーツ」である。既に、サイバーダイン社から筋・関節を補助するロボットスーツ「HAL」が発売されているが、目的は基本的には同様である。このスーツは筋肉や関節の動きに合わせて生地そのものが伸縮したり、モータが働いたりして、労働や作業の負担を軽くする機能を持っている（図 6＜次頁＞）。どのような動きの時にどの関節と筋が働くかを事前に計測してスーツ内のコンピュータに取り込んでおき、実際の労働作業時には生体力学に基づき関節・筋への負担をどのように軽減すればよいかを自動的に決定している。このスーツは介護、農業、除雪など大きな力が必要な仕事に使われており、現在は、プロジェクトから卒業して実用段階に入っている。

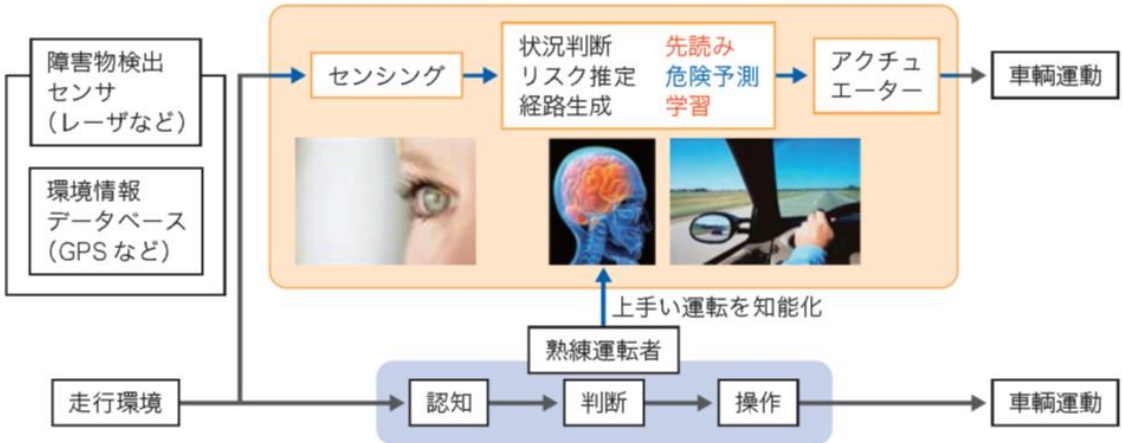
© Grant Thornton Japan. All right reserved.

図 6　スマートスーツの原理（左）と小型モータの補助により力を制御する機構（右）（北海道大学・田中孝之氏の資料より）

6.2　自律運転知能システム

第 2 の課題は、東京農工大とトヨタ自動車の共同開発で進められている「自律運転知能システム」である。最近、注目されている自動運転車とはニュアンスが異なり、あくまでも運転者が主体となる。これは、まず、自動車周りの複数のセンサで検出した障害物などの情報、および GPS や地図による事前に格納した 3 次元の環境の情報に基づいて、現時点および直近の危険度を実時間で算出する。それがある閾値（いきち）を超えたときに「運転知能モデル」が介入しハンドルやブレーキを自動的に操作する。この運転知能モデルは 11 万人を超える熟練ドライバが「ヒヤリハット」した危険な状態のときに、ブレーキやハンドルをどのように操作したかというビッグデータに基づき人工知能の助けにより安全な操作を実現するものである（図 7）。例えば、前方にバスが止まっている場合、その前から人が飛び出すかも知れないと「先読み」し、それを回避するように運転操作が行われる。現段階では、限られた地域で限られた速度（時速 40 ㎞以下）でしか試行されていないが、高齢者の行動範囲を広げるのに大きな期待が寄せられている。

図 7　各種センサ、危険度、ヒヤリハットなどのデータに基づく熟練者モデルによる運転支援方法（トヨタ自動車の井上秀雄氏＜現・神奈川工科大学＞による資料を基に一部改変）

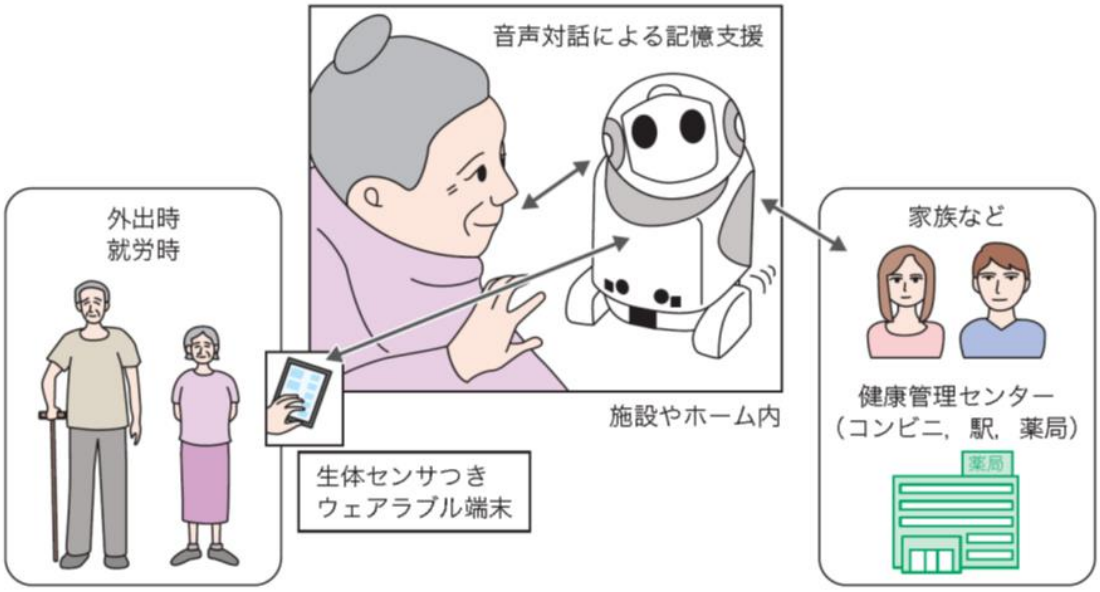


© Grant Thornton Japan. All right reserved.

6.3　生活支援ロボット

第 3 の課題は、国立リハビリテーション研究センターと NEC の共同開発で進められている「生活支援ロボット」である。MCI（物忘れが主たる症状の軽度認知症者）と認知症者を合わせると 2010 年で約 711 万人おり、2025 年にはその数は 1,000 万人近くになると予想されている。このロボットは、その時々ですべきことを音声対話で認識させることにより、認知症を遅らせ社会参加を促す役目を果たす。高齢者施設の当事者、介護者、家族によるインタビューから対話ロボットのニーズを 194 に絞り込み、このニーズと当事者の認知特性に応じて 32 の対話モデルを作った。例えば、「薬を飲みましたか」とロボットが定刻になると話しかけ、当事者が「はい、飲みます」と答えたのをロボットが認識し、ロボットが声で「分かりました」と答えて終了、というようなシナリオに基づいた対話手法である。また、音声対話の内容から高齢者の生活に問題や異常が認められると判断されたときに、ロボットが家族や健康管理センターに通知するというシステムに発展している（図 8）。

図 8　提案された生活支援ロボットシステムのイメージ図（国立リハビリテーション研究センター・井上剛伸氏による資料を基に一部改変）



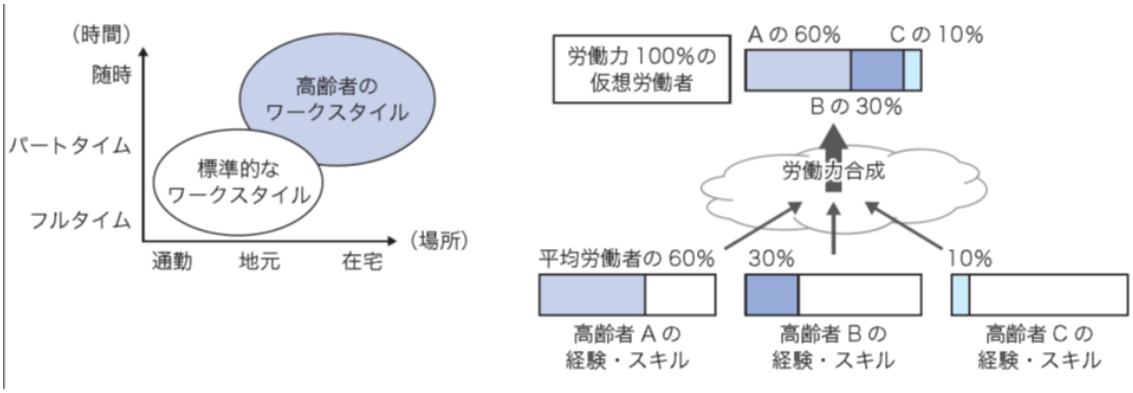
6.4　高齢者クラウド

第 4 の課題は、東京大学と日本 IBM の共同開発で進められている「高齢者クラウド（略称）」である。定年後の高齢者の生活は極めて多様になり、再就職できても一般に定年前のフルタイムの通勤から任意の時間や場所で勤務することを望むようになる（図 9 の左図＜次頁＞）。その上、それまでに獲得した知識、経験、スキルも多種多様である。本課題は、高齢者の知識、経験、スキルを積極的に生かして生産年齢層を増やすとともに若年者の助けとするシステムである。基本的な考え方は、一人では難しい仕事を複数人でシェアして一人の労働力にするジョブマッチングである。例えば、コンピュータと対話をしながら、ある仕事に対して、A さんは 60%、B さんは 30%、C さんは 10%のスキルがあることを推定し、それらを足して 100%の仮想労働者を生みだす方法（モザイクモデル）をとる（図 9 の右図＜次頁＞）。また、知識、経験、スキルを若い人た

© Grant Thornton Japan. All right reserved.

ちに伝達するのにバーチャルリアリティや遠隔操作ロボットが代替することも試みられている。

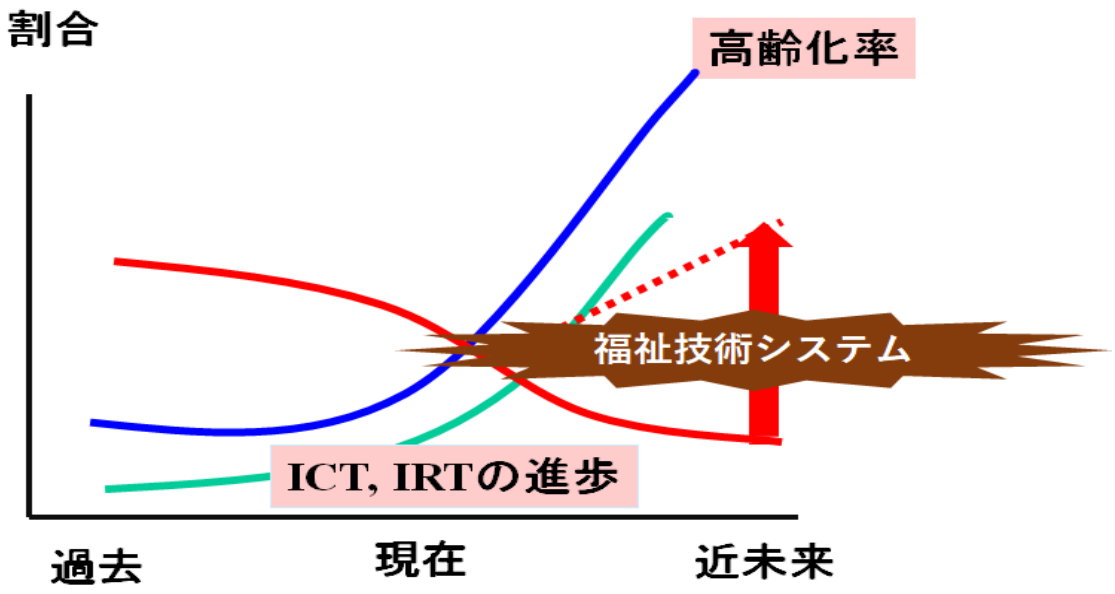
図 9　左：時間的・空間的制約のある高齢者のライフスタイル、右：モザイクモデル（東京大学・廣瀬通孝氏による資料を基に一部改変）



7.　おわりに

2018 年度からは、各課題について情報共有と連携を進め、現実の社会へ実装する段階に入っている。また、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。ただし，高齢社会で求められるものは、「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諸外国にまで広げようとすると、途方もなく壮大な社会実験が必要になる。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可能性がある（図 10）。

図 10　福祉工学から創成される技術・システムが近未来にもたらす効果



© Grant Thornton Japan. All right reserved.

本稿を通じて、高齢社会における福祉工学的アプローチの重要性や役割が少しでも理解してもらい、この分野に挑戦しようとする人たちが少しでも増えてくれれば幸いである。

以　上

執筆者紹介

伊福部達（いふくべ　とおる）　1946 年　北海道生まれ
東京大学　高齢社会総合研究機構　特任研究員、 東京大学名誉教授、 北海道大学名誉教授

＜学歴・職歴＞
1971 年　　北海道大学工学研究科修士課程（電子工学）修了
1989 年　　北海道大学応用電気研究所（医用電子工学部門）教授
2002 年　　東京大学先端科学技術研究センター（バリアフリー分野）教授
2011 年　　東京大学高齢社会総合研究機構・特任研究員
2015 年　　北海道科学大学教授（～2017 年度）

＜主要著作＞
福祉工学の挑戦（中公新書、2004）、福祉工学への招待（ミネルヴァ書房、2014）、福祉工学の基礎（電子情報通信学会編、コロナ社、2016）

© Grant Thornton Japan. All right reserved.