

人間・生活支援技術に関するアカデミック・ロードマップ

川村 貞夫*

Academic Roadmap on Human Life-support Technology

Sadao KAWAMURA*

Abstract– This paper summarizes an academic roadmap of human life-support technology. The academic roadmap was completed by a working group. The academic roadmap was composed of the following three issues. (1) Modeling, sensing and designing of individuals. (2) Interface between a human and artificial things. (3) Forming of society. The academic roadmap tries to predict the science and technology of human life-support in 2025 and 2050.

Keywords– academic roadmap, human life-support, system science, modeling, sensing, designing, interface

1. はじめに

人間・生活支援技術に関するアカデミック・ロードマップを、平成20年後半にかけて集中的に議論を重ねて、作成した「人間」「生活」という極めて広い定義の対象をどのように、切り出して議論するか等も含めて討論した。以下では、本アカデミック・ロードマップ報告書を要約して、その基本的考え方と結果の要約を紹介したい。

まず、現在の我々が置かれている環境を歴史的に理解し、人間の生活支援としての今後の課題とそのアプローチを検討した。その中では、特に科学技術によって得られた正の面と、逆に人間の生活を脅かす負の面をも視野に入れて検討をおこなった。

人間・生活支援技術のアカデミック・ロードマップ作成に際して、人間・生活支援を対象とするために、極めて多様な分野を議論する必要があった。そこで、取りまとめ方針として、総花的に人間・生活支援技術を記述するのではなく、Fig. 1に見られるように

- a 個の人間、
- b 個の人間と人工物のインタフェース、
- c 個の人間と個の人間から構成される社会

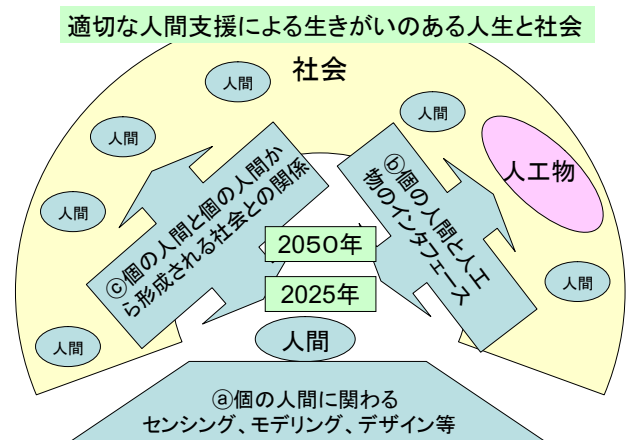


Fig. 1: 対象とする3つの視点

という3つの視点から議論を重ねた。このような大きな分類のもとに、2025年ごろと2050年ごろを想定した人間・生活支援技術とその基盤を固める科学のロードマップとした。

2. 人間を取り巻く環境の歴史的变化

2.1 産業革命

19世紀にはじまった産業革命は、人類の単純肉体的労働負荷を大きく低減した。これによって、機械のエネルギーによって大量な物資の生産が、高速に正確に達成できるようになった。現在に至るまで、人間の肉体的な労働負荷を低減させる科学技術が発達してきた。

*立命館大学理工学部ロボティクス学科 滋賀県草津市野路東1-1-1

*Ritsumeikan University, 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga

Received: 30 June 2009, 14 September 2009

2.2 情報通信革命

20世紀後半から21世紀には、情報通信革命が起こり、記憶、計算などの人間の単純知能労働の負荷を低減させた。卓上計算機、ワープロ等は一般家庭に普及した。さらに、インターネットの高度化により、空間的隔離の障害を克服しつつある。

2.3 環境エネルギー革命

21世紀になり、気象変化が起こりつつあり、閉鎖空間としての地球が意識されている。人類の生活を維持しながら、地球環境の保持を可能とする環境エネルギー革命を、起こさなければならない時期となっている。したがって、人間の生活支援技術としても、環境エネルギー問題の課題解決の枠組みの中で、検討しなければならない。

3. 発生した問題と克服のアプローチ

3.1 体力低下の克服

産業革命以降、人類の単純肉体労働負荷は低減された。また、離れた場所への移動には自動車を利用し、建物内ではエスカレータ、エレベータ等を利用する。その結果、先進国での人の平均的な運動能力は低下している。特に、発達中の子供の運動能力が顕著に低下していることが報告されている。このような状況をうけて、健康維持、増進のためには、適切な運動、スポーツの重要性が科学的視点からも説明され、一般社会でも理解が浸透している。スポーツ機器、運動モニター機器等は、この意味で人間・生活支援技術の具体的実現となっている。

3.2 記憶・計算力低下の克服

今もって情報通信革命の激流の中にいる現代人は、単純な記憶や計算等の知能労働負荷を大きく低減したために、肉体に起こった問題と同じ問題を持つことになった。すなわち、脳における記憶力の低下、計算力の低下である。この問題も一般に意識されるようになり、すでに脳のトレーニングとしての機器が販売されるに至っている。

3.3 コミュニケーション問題の克服

情報通信革命によるもう一つの「空間的隔離から生じる障害の解消」によって、空間を越えて様々な仕事が可能となった。しかし、一方で空間隔離によって保障されていた安全が崩壊し、携帯電話やメール関連犯罪に見られるように、従来接触を持たなかった人的繋がりによる犯罪も生じた。この問題に関する解決のアプローチは、緒についた感を否めない。

4. 人間・生活支援科学技術の現在の課題

4.1 科学技術進歩のアンバランス

科学と技術の進歩は、必ずしもバランスよく起こるとは保証されない。ある特定の分野において、科学の多くの発見が集中する時期を科学史の中に読み取ることができる。一方、現代社会における技術は、市場原理から、バランスの悪い発展とならざるを得ない側面を持つ。科学的には実現可能で、人類に極めて役立つ人工物が、市場性の欠落から生まれ出でない事例を、我々は数多く知っている。以上のような視点を持って、本ロードマップ作成にあたった。

このような科学と技術のアンバランスの結果、科学技術において実現された人工物や社会システムが、本来の人間や環境に対して望ましくない部分や人らしく暮らせない環境を含むようになってきている。たとえば、電子メール、携帯電話等のネットワーク技術は、高度に発達しているが、人間にとって健全な情報交換方法やストレスを増加させないコミュニケーション手法等の科学的知見は極めて不十分である。また、高齢者支援機器では、福祉現場からは、寝たきり高齢者を増加させるとの批判もある。

4.2 人間と環境の関係

現在の人間の一般生活に極めて大きな影響を与える科学技術が、アンバランスに進歩するために、科学技術によって作られた我々のまわりの環境が、必ずしも人間にとって、望ましいものとなっていないと本ワーキンググループでは考えた。Fig. 2に見られるように、現状は人間が人間の創った環境の特性に合わせて生活をしているといえる。そこで、本ワーキンググループでは、Fig. 3に見られるように、従来構成された環境と人間との間に、新たな人工物や社会政策を創造するためのアカデミック・ロードマップを検討した。

4.3 本ロードマップの視点

Fig. 3の人間支援科学技術を構築するためには、以下の2点が重要となる。

- ① 人間と人間支援の人工物・社会政策の臨界面をどのように実現するか？
- ② 既存の種々の環境と人間支援の人工物・社会政策の臨界面をどのように実現するか？

Fig. 2の「環境」のうちで、既存の科学技術によって実現された部分は、内部が明確な部分が多く、上記②の臨界面の実現は、比較的容易である。一方、人間と人間支援の人工物・社会政策の臨界面の実現には、人間の種々の特性を科学的に調べあげることが必要となる。このための人間科学は、人間特性の多様性、複雑性から十分ではないと言わざるを得ない。

バランスの悪い科学技術の発展による状況

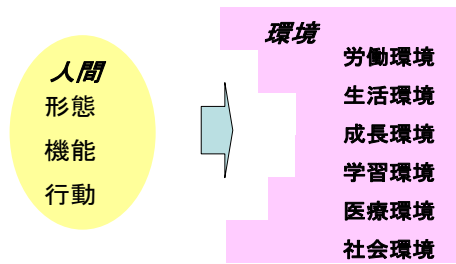


Fig. 2: 現在の人間と環境

人間特性の科学に基づく人間支援科学技術

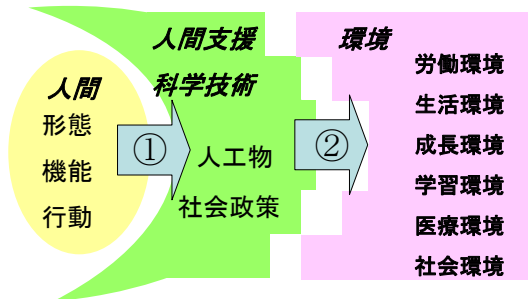


Fig. 3: 将来のあるべき姿

5. 解決法としての人間科学とそのアプローチ

人間を科学する方法として、DNAからタンパク質と積み上げられた生体を調べ挙げ、人間の生活支援を目的とする人工物を創造するアプローチもある。ただし、特性の異なる極めて多数の要素の相互関係を考慮して、全貌を明らかにするには、今しばらく時間が必要であろう。そこで、本WGでは、人間の形態、機能、行動等をシステム科学の視点でとらえ、人工物・社会制度設計による人間・生活支援を目的とした科学技術を検討する。

このような課題解決のためには、人間の計測・解析学、モデリング・シミュレーション学等の諸科学を精緻に構築することが必要となっている。さらに、それらを基礎として、人間・生活支援の人工物や社会制度の統合・設計学も必須である。従来からも諸学会では、上記の課題を克服すべく多大な努力がなされてきている。しかし、人間特性の多様性、複雑性等から細分化された学会の学問領域の壁によって、目標とする科学技術の創造は阻まれている。そこで、本WGでは、学問分野を横断的に俯瞰し、人間の形態、機能、行動等に関する人間のシステム科学を検討し、近未来における課題解決のための学術的なロードマップを諸学会の協力の上に作成した。

6. アカデミック・ロードマップ概要

6.1 個の生活支援

個の生活支援では、以下の項目で議論された。

MEMSセンサー等による日常生体計測



Fig. 4: 日常計測・複合計測

- ・ 身体の形態計測と解析
- ・ 日常生活計測システム
- ・ 複合センシングから統合化計測
- ・ 機能行動のモデル化
- ・ 喜怒哀楽の計測とモデル化
- ・ 日常生活におけるパワーアシストの考え方

たとえば、個の人間の運動、生理、心理の各計測に関して、原理としては既存であるが、計測装置の小型化と複合化によって、日常計測、複合計測から従来見えなかった生体特性の計測可能性が指摘されている (Fig. 4)。特に、小型軽量化には、MEMS (Micro Mechanical Electrical Systems) 技術が有効である。より多くの種類の測定を可能とする新しいセンサ開発と身体の運動等に負担が少ない全体のシステム化統合化が期待される。

今後、高度シミュレーション技術と個人データの詳細計測から、計算機内に自分のクローンを実現することが可能となり、未来の自分の体調の予測可能性が議論された。さらに、Fig. 5に見られるように「喜怒哀楽」、「うつ前状態」の計測が可能となると予想された。このような議論から Fig. 6のロードマップを作成した。

6.2 個の人間と人工物とのインタフェース

個の人間と人工物のインタフェースでは、以下の項目と順番で、議論が進んだ。

- ・ 「生きがい」とは何か
- ・ 人間あるいは人間と環境の相互作用を計測する技術
- ・ 情報提示技術
- ・ 生きがいの材料を提供する技術
- ・ 有用性評価技術

	現在	2025年	2050年
センシング		<ul style="list-style-type: none"> ・MEMS技術等により生体計測技術の小型・軽量化、日常化が完成 ・非接触脳活動計測によるBMI技術複合生体計測からの判断 ・心電計測 眼球運動計測などと既存の脳計測技術の複合センシングによる新しい計測 	<ul style="list-style-type: none"> ・喜怒哀楽、わびさび等の計測 ・「うつ前状態」の計測
モデリング		<ul style="list-style-type: none"> ・正確なパラメータ値を用いた筋骨格系シミュレーションモデル完成 ・人間の簡単な行動モデル実現 ・脳機能マクロモデルの充実 	<ul style="list-style-type: none"> ・人間の運動機能を向上する移動機械 ・デジタルクローン完成（個人の正しい生体情報による健康の管理と予測医学への応用）
デザイン		<ul style="list-style-type: none"> ・パワーアシストの最小実現法確立 ・視覚へ過大負荷低減技術確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・人間科学をベースとする個人のワークライフバランスと社会制度の設計

Fig. 6: 個の生活支援アカデミック・ロードマップ

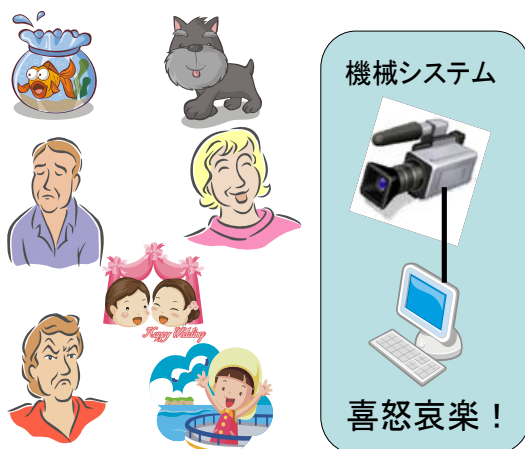


Fig. 5: 喜怒哀楽の計測

人間と人工物とのインタフェースを検討するに際し、インタフェース一般として取りまとめずに、今後大きな社会問題と想定される「生きがい創出」に焦点を当て、それを支援するインタフェースについて議論した。

効率や利便性、物質的豊かさを追求するだけでは、人々が幸福にならないことは、多くの人々の共通認識である。また、今後の超高齢化社会では、高齢者が生きがいをもって暮らし、社会貢献できる仕組みが強く求められる。今後の科学技術は物質、エネルギー、環境、Quality of Lifeからさらに一歩踏み込んで「生きがい創出」を最終的な評価軸とし、それを最大化するための方法論として再構築される必要があると考えられる。

これまで「生きがい」は哲学や宗教の領域で語られてきた問題である。しかし、その構成要素の多くは科学技

術が扱える、あるいはすでに扱い始めている問題であることに気付く。例えば過大なストレスがかかっていることを定量的に知らせてくれるシステムがあれば、うつ病や燃えつきによって生きがいを失う事態を未然に防ぐことができる。また、機械や情報機器によって肉体的・能力的衰えを補えれば、高齢になってもやりたい仕事を継続できる。これらの生きがい創出支援システムの実現は現代人の多くが切実に求めているものであり、今後の科学技術が最優先に取り組むべき課題の一つである。

この問題に関するインタフェース技術の課題を以下のように分解し、具体的な問題を論じた。

1. 人間あるいは人間と環境の相互作用を計測する技術
2. 感覚情報等を人間に提示する技術
3. 生きがいの材料を提供する技術
4. 有用性(幸福度など)の評価技術

その中では、センシング技術、情報提示技術、生きがいの材料提供、有用性の評価に分類された。たとえば、人間の感覚能力の拡張による様々な応用が議論された。また、センシング技術による生きがい創出支援の重要性が指摘された (Fig. 7)。これらの議論から Fig. 8 に示されるアカデミック・ロードマップを作成した。

6.3 個の人間と個の人間から構成される社会

最後に、個の人間と個の人間から構成される社会に関して、社会における生活支援技術を俯瞰し、以下の項目で議論した。

	現在	2025年	2050年
センシング技術	<ul style="list-style-type: none"> ○ 脳を観察して意図やストレスを知る ○ 非接触、日常着でバイタルデータを取得 ○ 支援情報を提供する環境センシング ○ 感性計測の基礎技術確立 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 完全センシング (家、街、身体の物理的状態) ○ 感性計測の応用展開 ○ 心の計測・操作の社会的ルール確立 	
情報提示技術	<ul style="list-style-type: none"> <人間の感覚能力の拡張> ○ ARコックピット。手術支援(視覚) ○ メディア変換(視覚・聴覚・触覚変換) ○ 聴覚、触・力覚情報の活用 ○ 産業分野でのパワーアシスト <ヒューマンエラーを防ぐ> ○ ヒヤリハット体験の保存と活用 <見える化、魅せる化> ○ 見える化の基本ルールの確立 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 一般家庭でのAR活用 ○ 触覚・力覚の一般家庭、医療分野での活用 ○ 知覚・認知の関係性解明 ○ 魅せる化の基本ルール確立 ○ 情報提示デバイスのローカル・カスタム製造 	
生きがいの材料提供	<ul style="list-style-type: none"> ○ なりたい自分になる ○ すりあわせ型技術の伝承 ○ 高齢者の社会参加支援 	<ul style="list-style-type: none"> ○ n回分の人生が楽しめる ○ 高齢者が一般健常者と同様に働く 	
有用性の評価	<ul style="list-style-type: none"> ○ 個人ごとのユーザビリティ評価法の確立 (個人ごとのQOL評価) ○ 心的負担計測法の確立 ○ インタフェースの適切な利用ルール策定 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 生きがいへの貢献度を定量化 	

Fig. 8: 個の人間と人工物のインタフェースアカデミック・ロードマップ



Fig. 7: センシング技術による生きがいの創出

- ・ 人間の社会生活を支援する技術
- ・ 人間の社会生活センシング
- ・ 人間の社会生活モデリング
- ・ 社会生活における共感インタフェース技術
- ・ 社会技術システムの設計論
- ・ 共感共創合意形成の科学

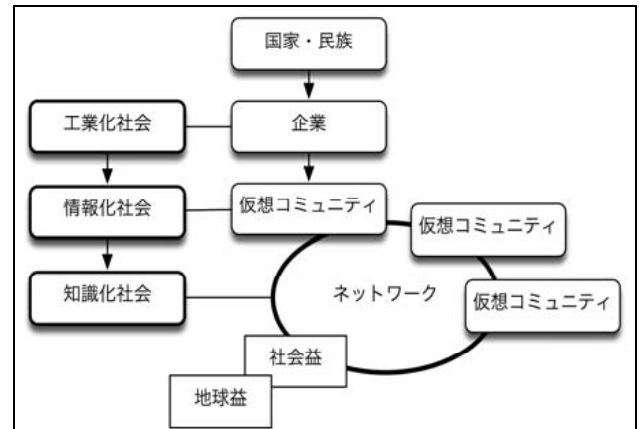


Fig. 9: 社会と集団の変化

議論の基盤となる社会と集団(コミュニティ)の変化を Fig. 9 に示す。

産業革命以降、物質やエネルギーを大量に使って品質の高い同一の製品を大量に複製し流通する手段が、社会の中心となった。多くの科学技術が、いかに品質の高い製品を大量にかつ低廉に製造するかに貢献してきた。必然的に、集団の主体も国家から企業へと変遷した。1990年頃から始まった情報化と地球環境意識の高まりにより、それまでの工業化社会が変わりつつある。日常生活

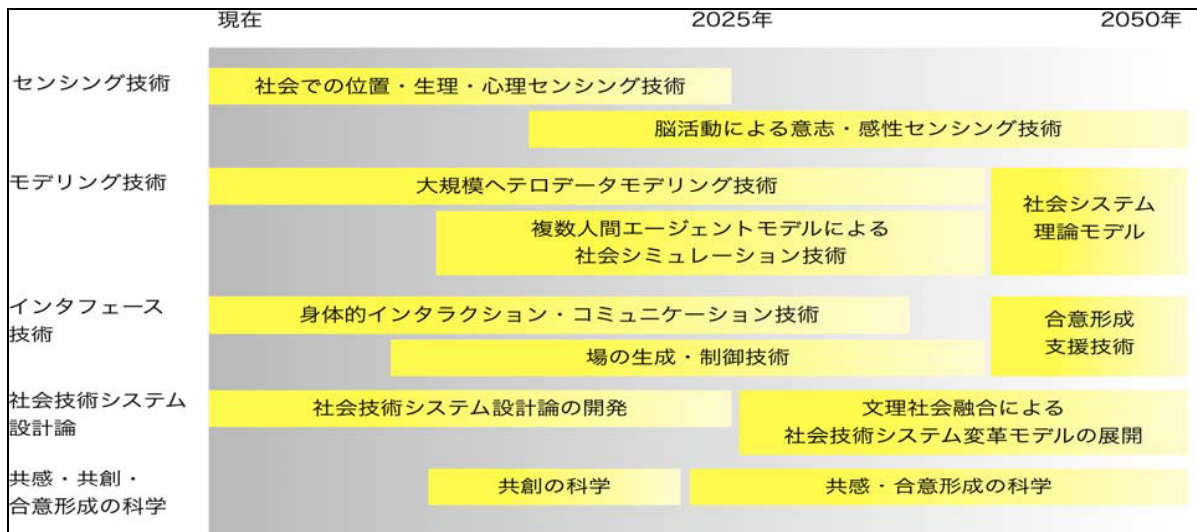


Fig. 10: 個の人間から構成される社会のアカデミック・ロードマップ

のさまざまなものが情報化され、ネットワークで接続されるようになりつつある。個人の特性や嗜好が情報としてやりとりできるようになったことから、品質の高い同一の製品ではなく、価値の高い個人向けの製品・サービスが求められるようになってきている。それまで国家や地域、企業という物理的な距離の近い者同士がコミュニティを形成していたのに対し、物理的距離に制約されない仮想コミュニティが形成されつつある。

このような社会変化を見据え、社会における生活支援技術の目的を以下の3つに絞ってアカデミック・ロードマップを検討した。

(1) 共感・共創の支援

情報化社会、知識化社会では、個の人間同士がコミュニティを形成する。その活動の際に ICT が介在する（テレビ会議や電子メール、Web など）。将来的には、ICT がコミュニティ形成や活動に介在するだけでなく、より積極的に、共感や共創を支援すると考えられる。

(2) 合意形成の支援

コミュニティが情報を加工して知識を獲得していくために、また複数のコミュニティが協調活動していくためにも、さらには、数多くのコミュニティが社会全体や地球全体と調和する活動をするためにも、個人間、もしくは、コミュニティ間で合意形成を行う必要がある。ロボット、ICT が、このような個人間、コミュニティ間の合意形成を支援することが期待される。

(3) 行動変容の促進

個人の利益、コミュニティの利益と社会全体や地球全体の利益を整合させることは容易ではない。このためには、個別化した価値に訴求する製品・サービスの提供や、コミュニティでの共感、共創だけでなく、社会全体もしく

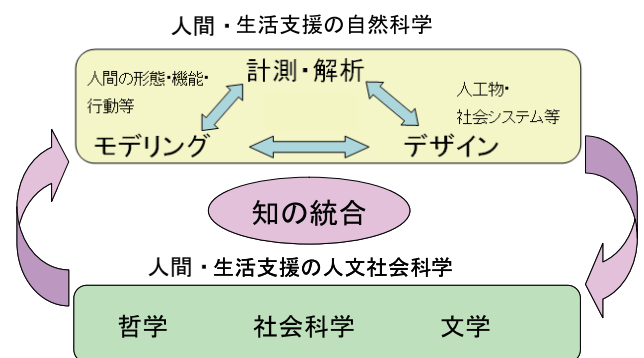


Fig. 11: 人文科学・社会科学との知の統合

は地球全体の利益に基づいて個々人、もしくは、コミュニティの行動変容を促していく必要がある。ロボット技術、ICT が、行動変容に寄与すると予想される。

以上の分類を基に、大規模ヘテロデータモデリング等の科学技術基盤によって、場の生成と制御、共創の科学、共感・合意形成の科学等が議論され、Fig. 10 のアカデミック・ロードマップが作成された。

7. おわりに

人間の生活支援を、人工物や社会システム等で実現する際に、確固たる人間科学を基盤としなければならない。ただし、人間を科学する手法は、従来方式の発展型のみならず新しい方法も必要となろう。たとえば、人間の計測・解析、モデリング、人工物・環境のデザインに関して、個別の科学の発展に限定せず、計測のためのモデリング、モデリングのための計測、デザインのためのモデリング、デザインのための計測等々の従来の分野を横断するような知の統合が必要となろう。

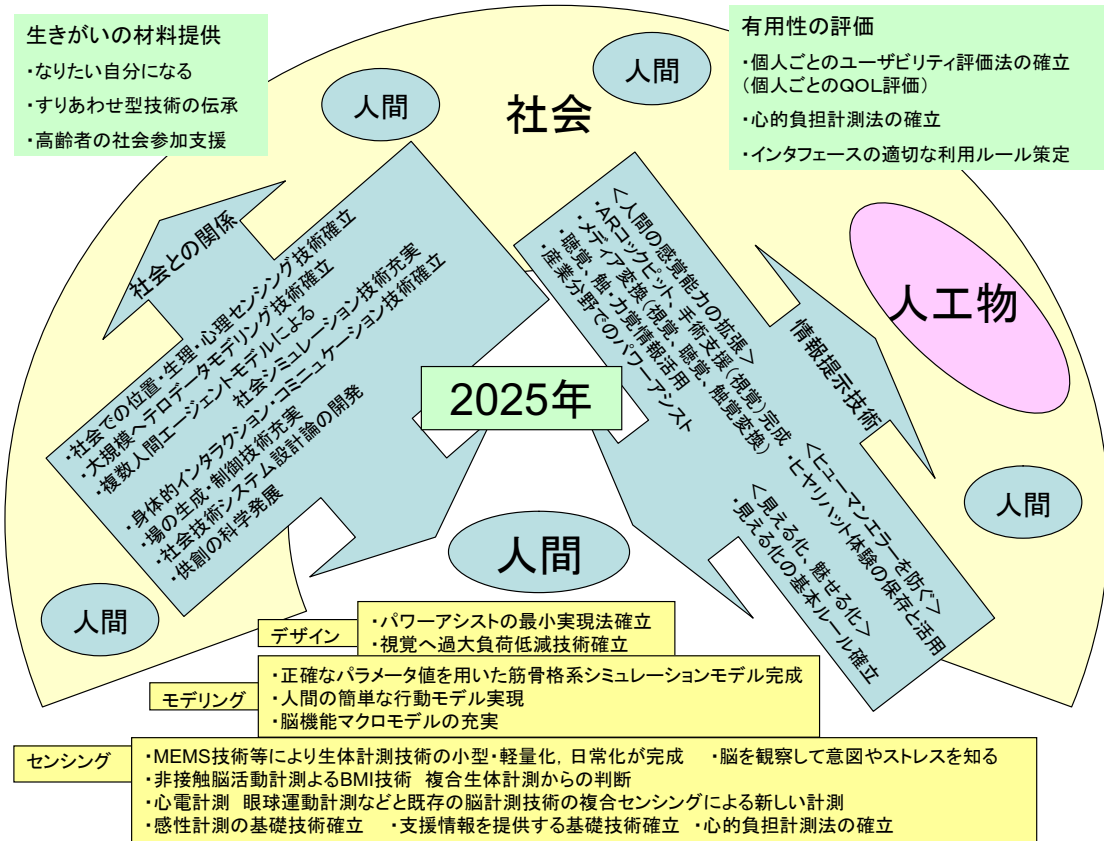


Fig. 12: 2025 年人間・生活支援アカデミック・ロードマップ

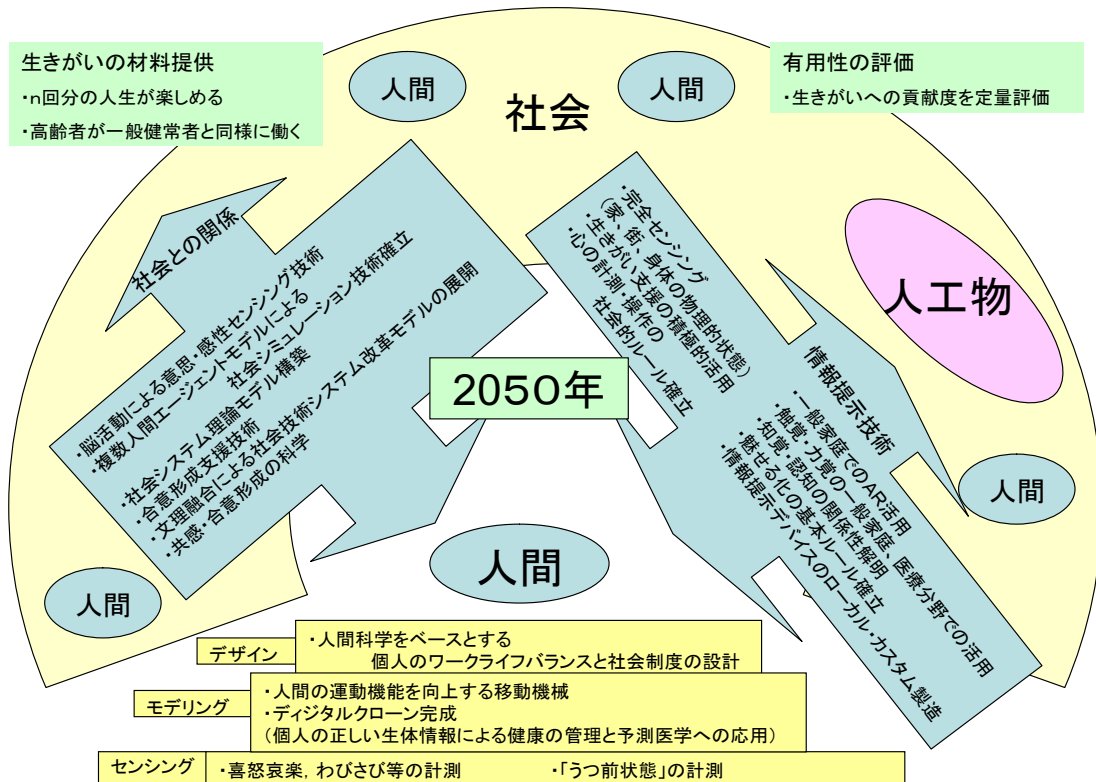


Fig. 13: 2050 年人間・生活支援アカデミック・ロードマップ

本ロードマップの個の人間と人工物のインタフェースでも議論されたように、人間・生活支援技術を検討する際に、「いかに生きるか?」「何のために生きるか?」等の哲学的な議論を抜きには、「生きがい」を生み出すことはできない。本ロードマップ報告書においても、「生きがい」に関する一定の議論は行ったが、課題の大きさゆえに、議論は十分であるとは言い難い。また、人間・生活支援技術の実現は、種々の法律の整備、社会的合意形成等に関わる社会科学の貢献なしには達成できない。今後、人文科学、社会科学との協力が、より強力に必要となっている。今回のアカデミック・ロードマップ作成では、総花的、抽象的なロードマップの議論となることを避けて、主に自然科学での議論に集中した。今後は、このような成果を基礎として、Fig. 11に見られるように人文科学・社会科学分野も含めた議論が重要となろう。

科学・技術が発達し、人類を多くの困難から解放してきた歴史の一方で、個の人間には「困難からの解放」「生きるための拘束からの解放」によって、生活の選択肢が広がった。その結果、「いかに生きるか?」「何のために生きるか?」等の問いが、多くの人にとって、顕在化した。今後、人間の生活支援の科学と技術を、どのような方向に発展させるかを議論する際に、「いかに生きるか?」「何のために生きるか?」の問いを根幹に据えた議論が必要となろう。その意味では、Fig. 11の人文科学分野、社会科学分野との知の統合が重要となる。そのためには以下の2点が重要と筆者は考えている。

- (1) 異分野間の議論を効率的に行うために、大学、学会等が積極的に、人文科学、社会科学、自然科学間のコミュニケーションを促進するシステム、制度等を構築する。その結果、研究者自身が、異分野をまたがって活動する形態をより多く実現する。
- (2) 具体的な議論を行う際には、議論の方法を整理しておく。たとえば、「生きがい」の言葉から多くの分野

で多面的に議論することは、あまり生産的ではない。そこで、「情報端末」と「生きがい」等のある程度の枠組みを設定するなど想定される。

最後に、完成したアカデミック・ロードマップを、Figs. 12, 13に示す。2025年と2050年を想定して、具体的な実現技術対象とその技術を生み出す科学について触れている。詳細説明に関しては、報告書をご覧ください。幸いである。

本ロードマップは、人間・生活支援の「科学と技術」の「光と影」の存在を前提に議論している。このような認識自体や議論の中で抜け落ちている点等に、疑問や疑義もあると思われる。読者の皆さんからのご意見やご批判を賜りたいと思う。

謝辞: 本アカデミック・ロードマップを作成するに当たり、積極的に議論にご参加頂いた各委員の方々に心より感謝申し上げます。特に、各節の取りまとめをご担当頂いた、大倉典子委員(芝浦工業大学)、持丸正明委員(産業技術総合研究所)に深く感謝します。

参考文献

- [1] 分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ報告書 第5章「人間・生活支援技術のアカデミック・ロードマップ」経済産業省 平成20年度技術戦略マップ委託事業。

川村 貞夫



1956年7月10日生。1986年大阪大学基礎工学研究科博士後期課程修了。1995年立命館大学理工学部ロボティクス学科教授。現在に至る。多関節構造体の運動知能、学習制御、水中ロボットなどの研究に従事。工学博士。日本ロボット学会などの会員。