

戦略プロポーザル

# CPS (Cyber Physical Systems) 基盤技術の研究開発とその社会への導入に関する提案

—高齢者の社会参加促進を事例として—

## STRATEGIC PROPOSAL

Research and development on fundamental technologies of cyber physical systems and their social implementation

-A case study on promoting aged people to social activities-

## エグゼクティブサマリー

サイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber Physical Systems) は、コンピュータと物理世界がネットワークを介して結合したもので、小さな組み込みシステムから航空機などのシステム、さらに国レベルでのインフラである電力ネットワークなどをも包含する広い概念である。このプロポーザルでは、コンピュータによる制御にとどまらず、系の中に人間を含むような複雑な社会システムを想定する。

CPS は、人間やモノから得られる実世界データを収集・処理・活用するものであり、あらゆる社会システムの効率化、新産業の創出、知的生産性の向上に寄与する。このため、CPS が、今後の重要な社会インフラとして広く浸透していくことが期待される。CPS が、今後社会システムとして定着するためには、①開発効率の向上および付加価値向上に向けた共通基盤技術の整備と、②社会への定着を強く意識した総合的な研究開発が必要である。

このプロポーザルでは、このような課題に対応し、CPS を社会システムとして定着させるための共通的研究開発と社会定着の推進方法を提案する。また、CPS は、具体的な事例に基づいて、課題解決を実践していくことが重要であるので、具体的事例として、「高齢者の社会活動参加促進」を取り上げ、CPS の具体的適用方法、期待される効果、普及の制約要因等について検討する。

「高齢者の社会活動参加促進」という事例を取り上げ、そこでの課題解決を実践することによって、CPS を社会システムとして定着させるための研究開発を提案する。この事例を取り上げる理由は、労働はもとより、文化活動を通じて、元気な高齢者が生き生きと社会活動に参加することにより、労働力の確保、QoL の向上、医療費や介護費の削減などを実現することが我が国にとって喫緊の課題となっているからである。

ここでは、特に上述の共通基盤技術の整備、総合的な研究開発に加えて、高齢者の社会参加を可能にするために、一つの社会活動をいくつかの要素に分割し、それらを条件に応じて複数の高齢者に割り振ることによって、複数の高齢者によって、全体として一つの社会活動が実現されるという CPS を提案している。CPS によって時間・空間・スキルの不整合を調整し、全体として他者との協働、連携による社会活動を行うことが可能になる。このような CPS を実現することによって、高齢者のみならず、広く一般の社会参加機会を増大し、さらには新産業の創出に結び付くと期待できる。

具体的な共通的研究開発項目は、①人（高齢者）を含む CPS のモデル化を実現する情報アーキテクチャ、② CPS の多様な連携を可能とするシステムアーキテクチャ、③サイバー犯罪も考慮した社会基盤としての信頼性の確保である。

新しい社会システムは社会に実装して初めて効果を上げる。しかし、効果を上げるには時間がかかる。また、導入当初は経済性が成り立たない場合もある。そのため、国や自治体による長期にわたる安定的なファンディングが必要になる。一方では社会自身が変化していくことから、固定的な内容の研究開発を続けることが得策ではないこともある。環境の変化や技術の進展に応じて、研究開発内容を適切に変更しうる実行体制を構築しなければならない。

## Executive Summary

CPS(Cyber Physical Systems) has wide variety of meanings such as tiny embedded systems, automobile systems and nationwide electric power networks. In this proposal, we define CPS as a system which includes not just computational and physical aspects, but also human. CPS gathers, processes and utilizes data from real world and human. It contributes to make every social system more efficient. Moreover it can help create new business. There are 2 issues for CPS to be accepted as a social system. The first one is as follows. There should be well defined common basic technologies to improve development efficiency, to realize integration of different CPS and to expand application services. The second issue is to pay much attention to its design, development and operation in conjunction with stakeholders, rather than just focusing on IT since CPS is tightly connected with the social activities.

Here we propose to challenge these issues by using a case study of promoting aged people to social activities. It is very important for Japan to help aged people join social activities lively, because we can obtain labors and they improve their QoL. Hence, the society can save cost of medical and welfare.

To promote aged people to social activities, we propose CPS technology which divides social activity into sub activities, then it assigns each sub activity to those who can accomplish it. CPS will overcome inconsistency of time, space or skill. Thus people can join social activities through cooperation and collaboration with others. We would like to promote aged people to social activities and finally we hope to contribute to create new business by realizing CPS.

R&D targets are

1. Information architecture to realize service integration and physical world modeling.
2. Systems architecture to support developing various types of social CPS.
3. Assuring CPS reliability as social infrastructure including countermeasure of cyber-attacks.

It will take long time for social system to be effective. Sometimes, at the begging it cannot be economical. Therefore, we need stable and long term support from government. On the other hand, R&D plan should be flexible depending on technologies and circumstances. We propose to build R&D system which has natural selection mechanism.

# 目 次

## エグゼクティブサマリー

<b>1 章 提案の内容</b> .....	<b>1</b>
<b>2 章 提案を実施する意義</b> .....	<b>3</b>
2-1 現状認識および問題点 .....	3
2-2 提案が実施され、高齢者の社会参加が促進されたときの効果 .....	6
2-3 社会経済的効果 .....	9
2-4 科学技術上の効果 .....	13
<b>3 章 具体的な提案の内容</b> .....	<b>15</b>
3-1 研究開発すべき技術 .....	15
3-2 研究開発から社会定着までの推進方法 .....	17
<b>4 章 研究開発の推進方法および時間軸</b> .....	<b>19</b>
4-1 研究分野 .....	19
4-2 研究システム（体制・基盤・連携）と時間軸 .....	19
4-3 社会との対話 .....	21
<b>付 録</b> .....	<b>23</b>
付録 1 検討の経緯.....	23
付録 2 国内外の状況.....	26
付録 3 専門用語説明.....	32

## 1章 提案の内容

サイバーフィジカルシステム（CPS: Cyber Physical Systems）は、コンピュータと物理世界がネットワークを介して結合したもので、多くの社会システムの効率化や新産業の創出、新サービスの創造が期待されている。たとえば、ITS（Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム）やスマートグリッドといったシステムの研究開発がさかに行われており、一部では実用化も進んでいる。

こういったシステムの開発に、統一化された基盤技術があれば、それら個別システムの開発効率の向上が見込めるが、現状では個別のシステムに対応することが多く、必ずしも効率的な開発が行われていない。また、複数の CPS を連携し、さらなる価値向上を目指すことも今後期待される。たとえば、IT 化された農業と IT 化された物流が連携することによって、より価値の高い農産物の流通が可能になるであろう。これら、相互の連携を実現するためには基盤技術の統一化が必要である。

また、CPS は社会や人間との関わりが強く、IT だけでは世の中への定着は進まないために、社会とのインタラクションを重視した総合的な研究開発が望まれる。

本プロポーザルにおいては、以下の通り、CPS の基盤技術の研究開発と社会定着に向けた活動の提案を行う。

また、CSP は、多様な対象に適用されるため、具体的な事例に基づいて、課題解決を実践していくことが重要である。このため、第2章において、主な具体的事例として、「高齢者の社会活動参加促進」を取り上げ、CPS の具体的適用方法、期待される効果、普及の制約要因等について検討する。

### ① 研究開発すべき技術

今後、複数のシステムの連携、新システムの開発などを考えると、統一された考えによる CPS 基盤技術が必要である。以下のような基盤技術の研究開発を提案する。

#### ・情報アーキテクチャ

##### ➤ サービス連携基盤

連携により価値の高いサービスを提供する。IT 同士のサービスの連携、IT と物理的な世界のサービスの連携、IT と人間の連携など、多様な組み合わせがある。

##### ➤ モデリング技術

CPS ではサイバーであると同時に物理的な世界を取り扱うため、両者の橋渡しが重要な役割を果たす。そのため、サイバーな世界と物理的な世界を結びつけるモデル化が重要である。このモデルはアプリケーションの要求に応じて、粒度を変更したり、あるいは物理的な世界にあわせてモデル自体の修整が可能であることが必要である。

##### ➤ データ表現とその取り扱い

物理的な世界で測定されるデータには必ず誤差があり、時間的な揺らぎを持っていたり、計測そのものがないこともある。これまで計算機側で取り扱ってきた数値データは正確であるとの前提であるが、データの精度や欠損、信頼度への対応が必要となる。

- ・ システムアーキテクチャ

CPS では物理的な世界から膨大なデータが収集される。それらの取り扱いに向けて、ハードウェアやミドルウェア、プログラミングモデルなどが統合されたアーキテクチャが必要になる。

- ・ 開発方法論

CPS は社会基盤として広く浸透する考えであり、高い信頼性が求められる。信頼性は設計の段階から作りこむことが重要であり、信頼性、可用性などの事前評価・検証や自己適応、自律技術を取り込んだ開発方法論が必要である。サイバーアタックに対する考慮も重要である。

## ② CPS の社会定着

CPS は今後の社会において重要な役割を果たすと期待されている。その場合、技術の研究開発にとどまらず、その社会への定着、普及を図らなければならない。社会の課題を分析し、その解決を目指して新たなシステムを社会に適用すると、その行為自体が社会に影響を与え、社会に変化を引き起こす。したがって、社会の分析を再度しなければならなくなる。こういう循環を繰り返すことによって解決を目指す。すなわち、①で行った技術開発は、②において社会で検証され、その結果が①にフィードバックされることによって、新たな技術開発が行われる。このループを回し、CPS を社会に定着させるためには、長期にわたる安定的な取り組み、現場と研究開発の十分なインタラクションが必要である。そのための仕組みの構築を提案する。

## 2章 提案を実施する意義

### 2-1 現状認識および問題点

CPS(Cyber Physical Systems)は小さな組み込みシステムから自動車や航空機などの大きなシステム、さらに国レベルでのインフラである電力ネットワークなど広範に適用される。さらに、近年では、コンピュータによる制御のみにとどまらず、系の中に人間を含むような複雑なシステムも CPS と呼ばれることもある。

ここでは、CPS を実世界や人間から得られるデータを収集・処理・活用するものであり、あらゆる社会システムの効率化、新産業の創出、知的生産性の向上に寄与するものであるとする。たとえば、交通システムにおける ITS (Intelligent Transport Systems) は、道路や信号に埋め込まれたセンサーや、車から送られてくる物理世界の情報に基づき、コンピュータによって高度な制御を行い、輸送効率の向上や快適性の向上を実現しようとしている。また、製造業においては古くから生産現場の効率化にコンピュータが利用されている。最近では、農業においても、センサーから得られる情報に基づいて適切な散水を行い、生産の効率化が行われようとしている。

これからは、あらゆるシステムがコンピュータにより制御されるようになり、効率化とともに新たな価値の創造が行われ、人間にとってよりよい社会が実現されるであろう(図1)。

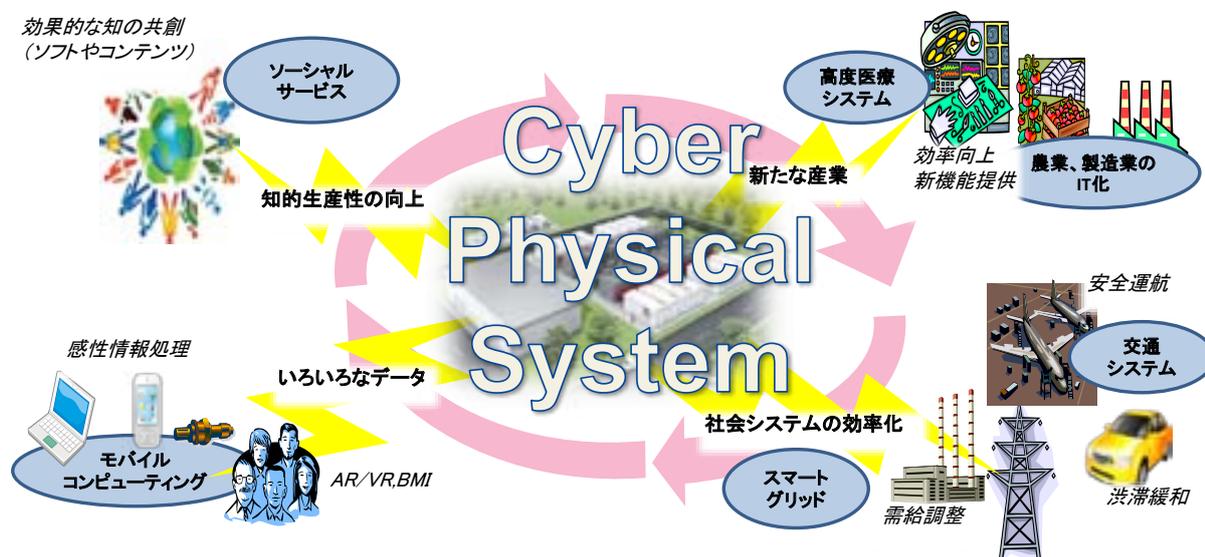


図1 CPS

しかしながら、CPSの研究開発とその社会定着・普及には以下のような視点が必要である。

1. 個別のCPSはそれぞれ研究開発が行われているが、個別対応だけでは開発効率が高くないので、共通となる基盤技術の整備が必要である。さらに、複数のCPSを連携すれば、個別のシステムでは得られない価値の向上が期待できる。

相互の連携を実現するための研究開発が必要である。

2. CPS は社会や人間との関わりが強く、IT 技術の高度化だけでは世の中への定着は進まない。社会科学や人文科学も含めた総合的な研究開発が望まれる。

CPS は多様であり、上記の課題の解決に対して一般的な解決は困難である。具体的な事例に基づいて、課題解決を実践していくことが重要であると考えられる。このプロポーザルでは「高齢者の社会活動参加促進」という事例を取り上げ、これらの課題解決に挑戦することを提案する。

事例として、「高齢者の社会活動参加促進」を取り上げる理由は以下の通りである。高齢社会白書<sup>1</sup>によると、図 2 に示すように、2050 年には日本の総人口は 2005 年のピーク値 (12,800 万人) から 3,300 万人減少する。65 歳以上のシニア層は 1,200 万人増加するのに対し、生産年齢人口 (15-64 歳) は 3,500 万人、若年人口 (0-14 歳) は 900 万人減少する。その結果、生産年齢人口は全体の 52% となり、一人の生産年齢の人が同数の若年者および高齢者を支えなければならなくなる。こうした状況を緩和するためには、高齢者にも生産活動、あるいは社会活動に参加してもらうことが必要になる。(コラム 1 「めじろむつみクラブ」の取組参照)

---

1 内閣府平成 24 年度高齢社会白書

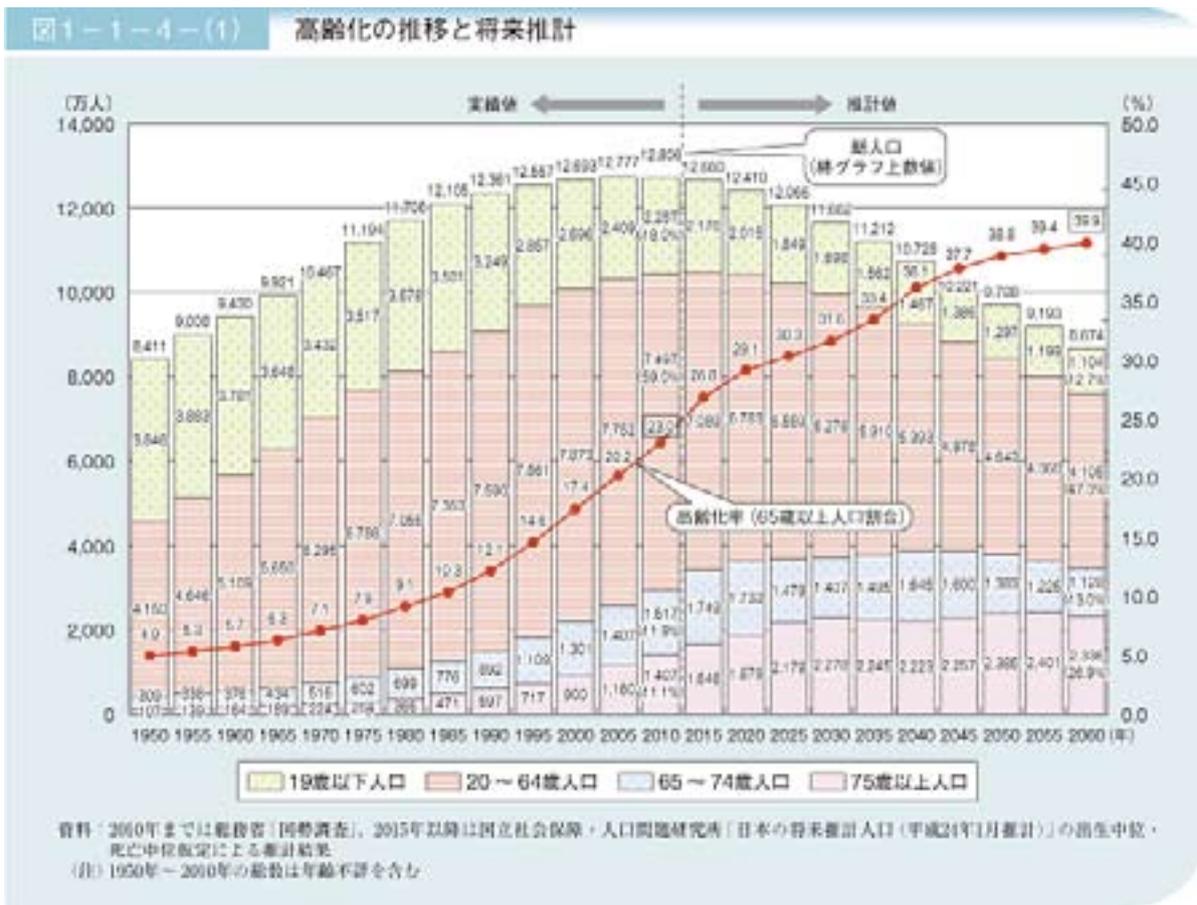


図2 高齢化の推移と将来推計

コラム1 「めじろむつみクラブ」の取組

八王子市めじろ台は昭和40年代に建設された首都圏のベッドタウンである。2011年3月末の人口は約8,600人である。同時期の65歳以上のシニア層の人口は約2,900名で、総人口の34%を占めている。日本全体では2011年において23%であり、2035年には34%になると想定されている（内閣府 平成24年版 高齢社会白書）。つまり、めじろ台は日本の24年後の姿を現しているといえる。

めじろ台には、特定非営利活動法人「めじろむつみクラブ」があり、「高齢化社会に高齢者が自ら”生き甲斐のある楽しい日常生活”を過ごすための高齢者参加型の生活支援団体」（同法人ホームページ <http://www.hachioji-mmc.com/>）として、高齢者と地域の人々との交流活動や、高齢者のための生活情報提供とともに、高齢者の生活支援を行っている。ここでの生活支援は、手助けをしようという余裕や意欲のある元気な高齢者が、そうでない高齢者の生活を支援するという形で行われている。

また、文化活動も行われており、歴史講演会や趣味の作品展、コンサートなども開催されている。

このような状況から、高齢者の社会参加を促進し、生産人口を増加させることが、日本にとって重要である。また、生産活動のみならず、趣味やスポーツあるいはさまざまな文化活動を通じて、元気な高齢者が生き生きと社会活動に参加すれば、高齢者自身のQoL(Quality of Life)が向上し、同時に医療費や介護費の削減も期待できる。

## 2-2 提案が実施され、高齢者の社会参加が促進されたときの効果

高齢者の社会参加促進においては、現状では、支援を必要とする人と、その手助けをする人を行政やNPOが、それぞれの努力で結び付けているが、ここにCPSを適用することによって、両者の結びつきを拡大することが期待できる。この場合、CPSの果たす役割は、サービスとニーズとのマッチングだけではなく、サービスを提供できる人の物理的あるいは精神的な動作や行動、活動を支援することによって、サービス提供者の能力を拡大し、より多くのニーズに適合するようにすることも含んでいる(図3)。

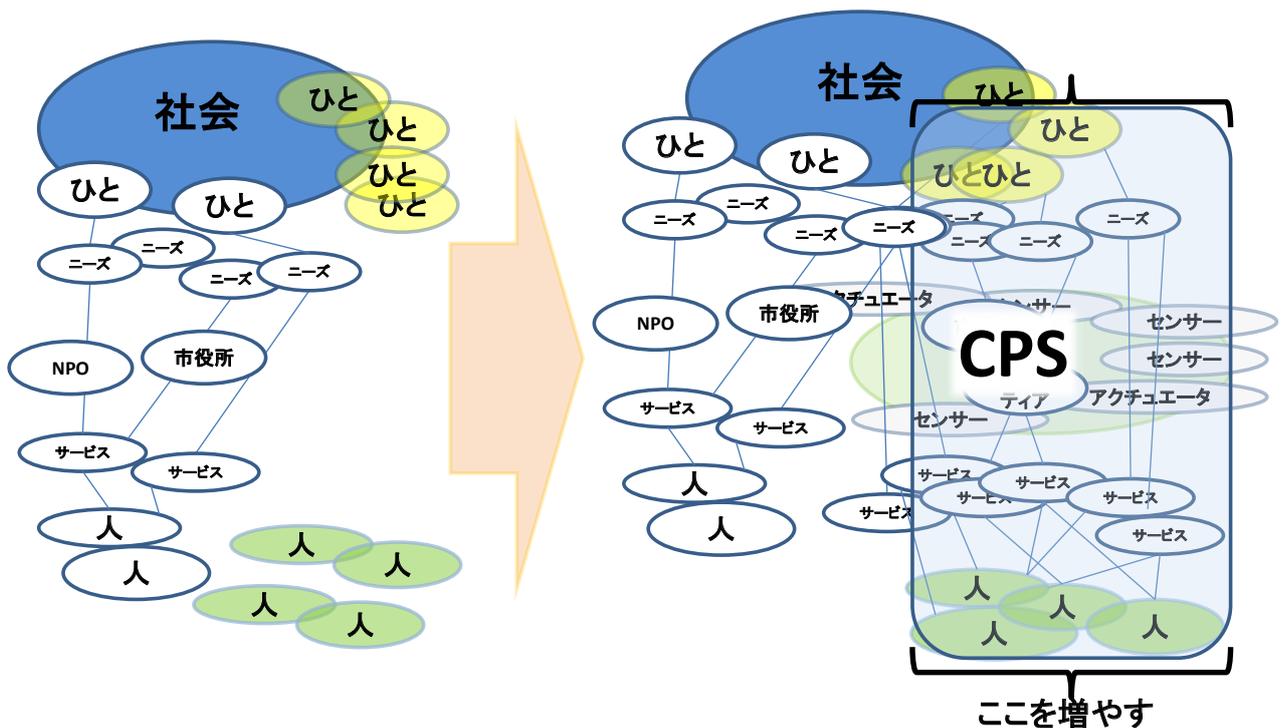


図3 社会活動参加促進のイメージ

高齢者の場合、その身体的な条件や、社会活動に参加できる時間の自由度、あるいは空間的な移動に対する自由度など、いくつか制限が加わることが考えられる。たとえば公園の清掃というタスクを考えると、ある人は医療機関への通院があり特定の時間は参加できないという状況があったり、また別の人は移動に困難があるためあまり遠くの公園清掃には参加できないというようなことが想定される。つまり、一人の高齢者では完結したタスクを実行することが困難な場合がある。その場合、一つのタスクを分割してサブタスクとし、それらのサブタスクを条件に応じて複数の高齢者に割り振ると、全体

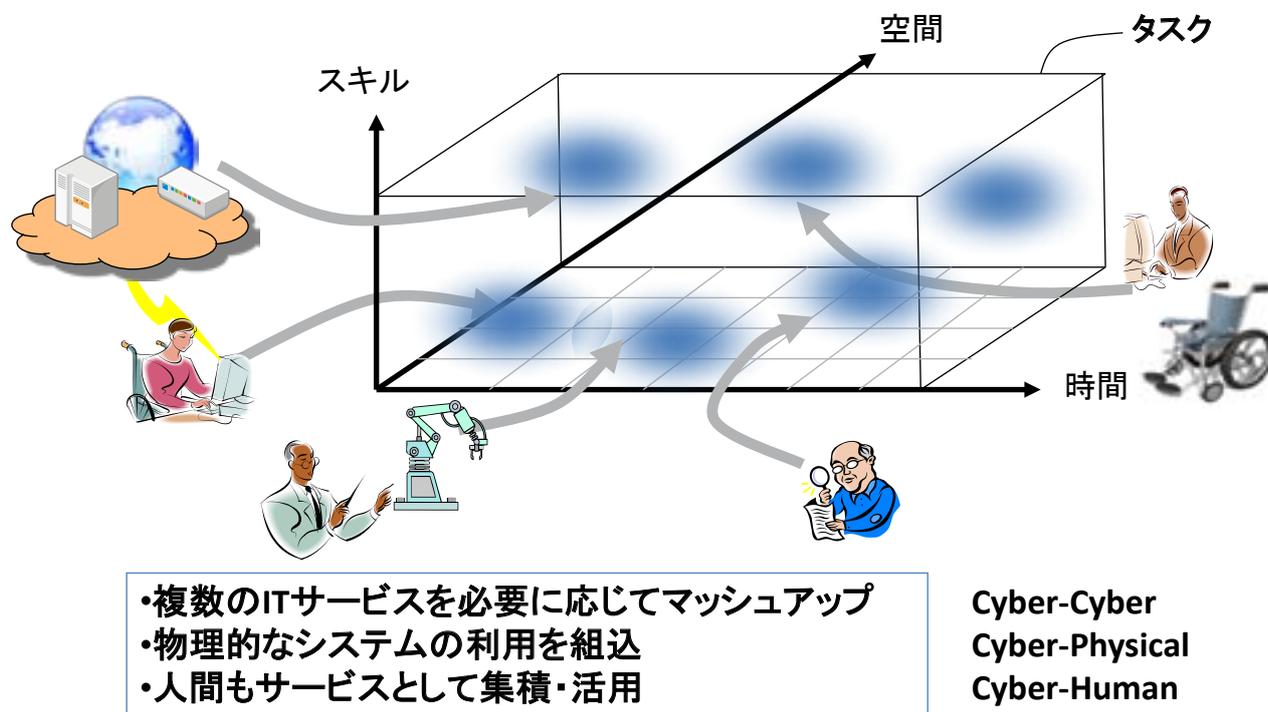
としてタスクが実行され、社会参加が実現される場合がある。このような、タスクの分割とそれに応じた高齢者の割り当てを行い、複数の高齢者を組み合わせることによって、一人の仮想の労働者を創造しようという試みが行われている<sup>2</sup>。さらに、CPSを利用して、移動や作業の支援を行うことにより、個人個人の能力を補完し、社会活動への参加をしやすくすることも考えられる。また、グループウェアや遠隔会議など、協調活動をサポートする IT システムを使えば、時間的に同時でなくても作業が行えたり、離れた場所でもあたかも同じ場所にいるかのように活動が行える。これらが高齢者の社会参加を促進する CPS に組み込むことによって、社会活動に参加する高齢者の数を増大させることが期待できる。

この様子を図 4 に示す。マッシュアップというのは、複数の Web サービスを組み合わせ、新しいサービスを創り出すという意味で使われてきた。たとえば、地図情報サービスとグルメ情報サービスを組み合わせ、ある特定の地域の食べ歩きマップを提供するようなことである。ここでは、複数の IT サービスを必要に応じて組み合わせるだけでなく、そこに物理的なシステムも取り入れたり、あるいは人間もある機能を提供するサービスであるとして、マッシュアップの対象とすることによって、全体として大きなタスクを行おうとしている。

社会の求めるニーズに対して、一人ですべてに応えるのではなく、多様な働き方を可能にするためにタスクを分割する。参加する人々が提供できるスキルを組み合わせ、あるいは参加者の足りない部分を CPS が補完して、タスク全体を実行可能にすることができる。これらを手助けするのが CPS であり、CPS によって時間・空間・スキルの不整合を調整し、全体として他者との協働、連携による社会活動を行うことが可能になる。

2 <http://www.jst.go.jp/s-innova/research/h22theme05.html>

## 多様なサービス、人間のマッシュアップによる社会参加



CPSによって時間、空間、スキルの不整合を調整

4

図4 多様なサービス、人間のマッシュアップによる社会参加

また、CPS を活用した社会活動参加促進にはいくつかのパターンが考えられる(図5)。

- ① CPS が直接的な社会活動参加を支援  
たとえば、歩行などの移動支援や、ボランティア活動機会の紹介など。
- ② 余裕のある人が CPS を介して他の人の社会活動参加を支援  
近隣の高齢者による子育て支援によって、在宅を余儀なくされていた人が業務に復帰するなど。
- ③ 集団としての社会活動参加を行うための必要な事項の支援  
NPO などの団体の業務活動を支援することによって、より多くの人の社会参加を促進する。

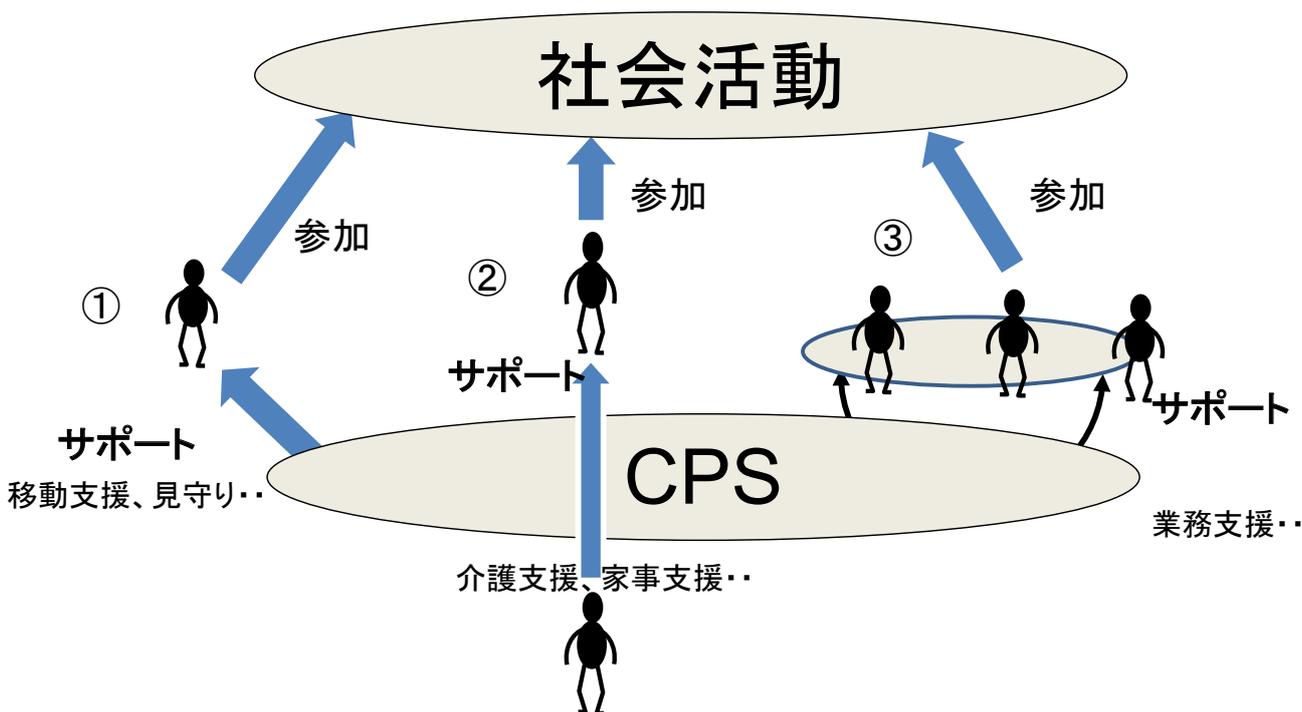


図5 CPSによる社会活動参加の促進パターン

これら高齢者の社会参加促進のためのCPS開発において、重要な基盤技術の研究開発を遂行する。その成果は高齢者の社会参加促進にとどまらず、多くの一般的なCPSを活用した社会システムの開発において、モデルの構築、データの取り扱い、システム構築、信頼性などにおいて効率化やコスト削減、付加価値の向上などの効果を発揮することが期待できる。

ここでは、実空間でのタスクをサイバー空間に取り込み、そのタスク構造を変えることによって高齢者の社会参加を促進できることを述べたが、これは高齢者のみならず、何らかの理由によってフルタイムの社会参加が難しい人々にとってすべて適用できる考えである。

## 2-3 社会経済的効果

### 2-3-1 期待される新サービス等

高齢者の社会参加促進に向けて、下記のような新サービスが期待できる。

- ・ 高齢者の社会参加機会を増大するサービス
- ・ 動作支援にとどまらず高度な労働への参加機会を増大するサービス

これらのサービスは、社会保障分野に大きな波及効果を及ぼし、雇用を創出するとともに、元気な高齢者を増やし、医療費、介護費を減少させ、高齢者の現役化による生産年齢人口の増大につながる。

また、一般的なCPSにおいては、新たな製品やサービスを産み出すだけでなく、単体の製品やサービスが融合することによって新しい産業分野を創造する可能性を

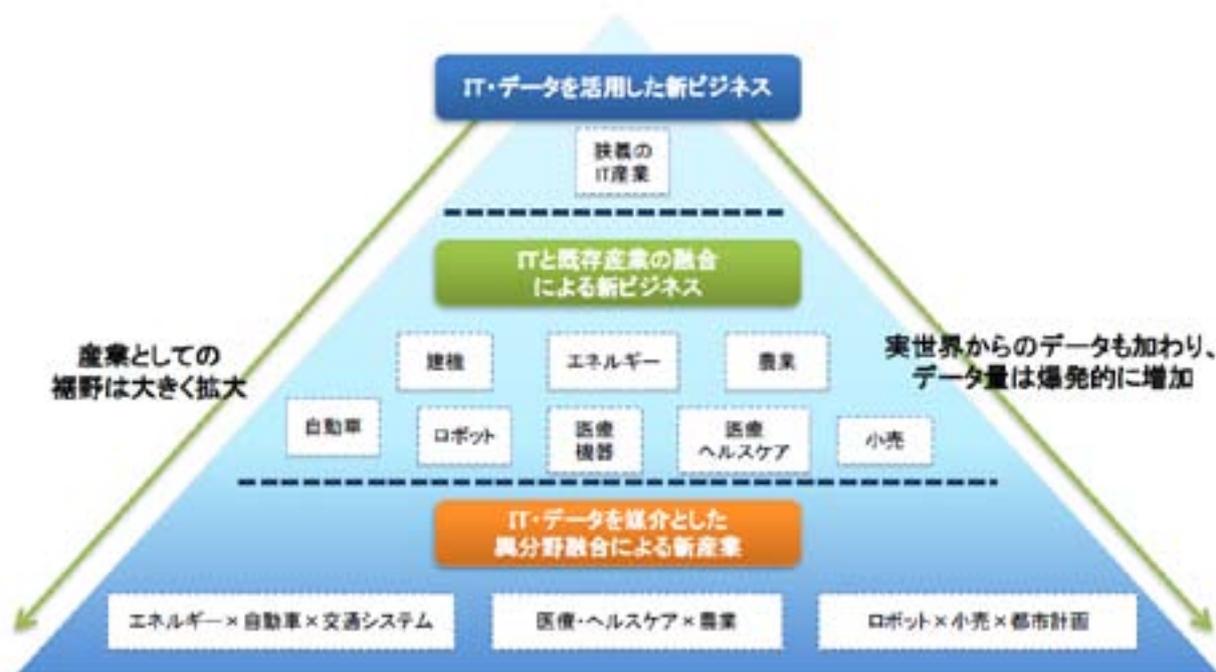
持っている。経済産業省では図6に示すように、IT・データを活用した新ビジネスにとどまらず、ITと既存産業の融合による新ビジネスの創出、さらにIT・データを媒介とした異分野融合による新産業の創出を期待している<sup>3</sup>。

## 経済産業省によるIT融合新産業のイメージ

(参考)IT・データを起点とした「IT融合新産業」のイメージ



○ITが多くの産業に広く浸透すればするほど、広義のIT産業(=IT融合新産業)の裾野は広がり、そこから発生するデータも膨大になる。



平成24年6月1日 IT融合フォーラム有識者会議 事務局資料

図6 経済産業省によるIT融合新産業のイメージ

具体的には以下の新製品や新たなサービスが出現し、新産業の創出と国際競争力の強化が期待できる。

- ・ ITS、農業、スマートグリッドなどの社会システムの実現
- ・ IT化による高度化、高効率化、高付加価値化された既存産業の出現
- ・ エネルギーと交通システムの融合による、電気自動車の充電ステーションの最適配置と高度な運用、あるいは農業と物流システムの融合による、産直品の効率的な配送など、ITによって可能になる異分野融合システムの実現

<sup>3</sup> [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/it\\_yugo\\_forum/pdf/001\\_04\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/it_yugo_forum/pdf/001_04_00.pdf)

### 2-3-2 新サービス等の普及についての制約条件

高齢者の社会参加を普及促進するにあたっては、そもそも高齢者自身が社会参加することへのモチベーションを持つことが必要である。また、過去の仕事や役職に関わるプライドがあり、ニッチな仕事や簡単な労務には興味を示さない、あるいは抵抗感を示すことがある。これらの課題を解決しなければならない。

一般的な CPS の普及発展については下記の要件について、検討することが重要である。

- ・ 個人情報、プライバシーの問題への対応
- ・ 社会の受容性に関する問題
- ・ データやシステムを統合する場合のビジネスモデル、バリューチェーンの問題

さらに、法律等との整合性も重要であり、特に個人情報保護法との関連においては、下記の事項に留意するべきである。

- ・ 完全匿名化による不正確さ
- ・ 適切な利用者同意取得
- ・ データの統合で個人が識別される場合も想定した対応

労働契約においては、労働者を保護するという視点からさまざまな制度がある。しかし、昨今の若年者の労働形態や今後の高齢者の労働形態を考えると、一律な取り扱いが難しくなっているのではないかと思われる。より自由に、主体的にそれぞれの働き方を選択することのできる環境が必要である。イタリアやフランス、カナダなどで行われている「時間銀行」<sup>4</sup>は、プライベートな時間の貸し借りであり、新たな労働形態のヒントとなるが、これが実ビジネスにつながり、多様な働き方、多様なライフスタイルを実現するためには、柔軟な労働環境が必要である。

著作権については、日本の著作権法においては、創作性のないファクト DB には著作権がないという点と、解析結果それ自体にも創作性がないと保護されないこともあり、新規ビジネス開拓の動機になりにくいという問題がある。新たな産業の創出には保護と活用のバランスをとることが必要である。

### 2-3-3 新サービス等を提供する企業・業界

高齢者の社会参加促進に関しては、国、地方自治体の住民サービスとしてまず提供されるであろう。これはビジネスとしてまだ成立し得ない段階でのサービス提供である。次に、NPO の団体が活動し、サービスを提供する。この場合は、利益は上げないものの、活動として正常に継続するためには相応のビジネスモデルとして機能することが必要である。さらに、高齢者の社会参加がビジネスとして成立するようになると、一般の人材派遣業者が参入することが期待される。最終的にはビジネスとして成立することが継続のための要件である。

次に、一般的な CPS の場合は、国、地方自治体などが社会インフラとして構築することが考えられ、交通システム、防災システム、住民サービスなどの形態をとる。次に、共通のプラットフォームとして業界団体などが構築することが予想される。たとえば、農業、水産業などの共同集荷、出荷などのシステムである。クラウドコンピューター

4 <http://wol.nikkeibp.co.jp/article/column/20100122/105643/?P=1>

ティングの環境を利用することが得策であろう。同様に、複数企業によるビジネス連携として構築される。農業と物流の連携によるジャストインタイムの収穫と配送、交通システムと観光業の連携による円滑なサービスの提供などである。また、企業単独のビジネスとしては、外食産業が農業、食品加工・流通、サービスまでを一貫して行う、いわゆる農業の六次産業化のようなことも進むであろう。当然、漁業にも適用可能であるし、医療・健康分野ではトータルなヘルスケアとしてのサービスにも発展しうる。

### 2-3-4 需要推定

高齢者の人材派遣を行っている株式会社高齢社<sup>5</sup>では、一人当たりの年間売り上げはおよそ 80 万円である。総務省の平成 19 年度就業構造基本調査<sup>6</sup>によると、65 歳～69 歳の高齢者の就業希望者は 10% 程度である。2050 年の高齢者人口は、3,800 万人であるから、同じ比率の就業希望者が労働に従事したとするとおよそ 3 兆円になる。この金額が再度消費に廻り、新たな需要を喚起することが期待される。

また、CPS の一つの形態としてロボットが考えられるが、介護・福祉ロボット市場は 2015 年 167 億円から 2035 年には 4000 億円規模が予想される。保険適用によって普及に拍車がかかると予測されている<sup>7</sup>。

一般的な CPS 需要の推定は困難であるが、ここでは特定の目的に限った CPS に関する市場推定を紹介する。

#### ・スマート交通インフラ<sup>8</sup>

スマート交通とは、次世代 ITS と、EV や PHV の普及に伴ってもたらされる新しいインフラと車載機器によって実現するサービスの総称名である。

スマート交通インフラは情報通信だけではなく、多くの構成要素で成り立っているが、ここではそのうち情報通信関連部分の予測に限って表 1 に示す。今後 10 年間で 10 倍近い伸びが期待されている。スマート交通サービスそのものが産み出す需要はさらに大規模なものになる。

	2010 年	2011 年見込	2020 年予測
国内市場	172 億円	217 億円	618 億円
海外市場	444 億円	590 億円	3,948 億円

表 1 スマート交通インフラ市場

対象としているのは、自動料金収受システム、ビーコン、狭域通信システム、車両感知センサー、電子案内掲示板、中・急速充電器、普通・倍速充電器、非接触充電システム、バッテリー交換ステーションなどである。

5 <http://www.koureisha.co.jp/>

6 <http://www.stat.go.jp/data/shugyou/2007/index.htm>

7 日経エレクトロニクス 2012/10/15

8 富士キメラ総研 2011/3/7

#### ・ 農業 IT

ここでも農業 IT のうち、IT 部分の需要を推定する。農業の IT 化市場は、2010 年で 60 億円、2015 年には 100 億円、2020 年には 600 億円と推定されている<sup>9</sup>。生産の場面においては、圃場管理モニタリングシステム、環境監視制御システム、GPS ガイダンスシステム、農作業ロボット、気象サービスなどである。物流においては、出荷管理システム、産直 POS システム、商品追跡管理システム（トレーサビリティシステム）、ネット販売管理システムなどが挙げられる。

## 2-4 科学技術上の効果

CPS は国のレベルでのインフラである電力や交通システム、工場のオートメーション、農産物の生産から自動車や飛行機、さらに家電製品などの組み込みシステムにまで適用される広い概念である。それぞれの効率向上や新たな付加価値の創造に CPS は大きく貢献することが期待される。しかし、単体のシステム毎にデザインをしては、効率的かつタイムリーなサービスの提供が期待できない。そこで、本プロポーザルでは、3-1 に示すように、いろいろな用途に使える CPS の基盤技術の研究開発を提案している。統一的な基盤技術が実現されれば、個別のシステム構築の効率は大幅に向上することが期待される。デザインの面だけでなく、標準的なコンポーネントの提供や、他のシステム構築における知見の流用などが可能になるからである。さらに、複数の CPS を連携させることにより、新しい価値を生み出すことも期待される。

この基盤技術の中には、物理的な世界を記述する表現形式やモデル、欠落や精度が不揃いのデータの取り扱い、膨大なセンサーからのデータ収集と処理の方式などを含んでいる。

こういった共通的な基盤技術を整備することによって、CPS の適用分野の拡大が期待され、ひいては CPS の研究開発そのものの活発化にもつながる。また、物理世界からのデータが今まで以上に豊富に得られるようになり、大規模データベース、高速データ処理、データマイニングなど、いわゆるビッグデータ関連の研究開発活動を加速することにもつながる。

9 シード・プランニング 2011/8/5

## 3章 具体的な提案の内容

本プロポーザルにおいては、「研究開発すべき技術」と「CPSの研究開発から社会定着までの推進方法」の2つの提案を行う。

### 3-1 研究開発すべき技術

これまで種々のCPSが個別に開発されてきているが、整理され、統一された考えに基づくCPSの共通基盤技術というものがありあまり考慮されてきていない。用途に応じて専用に個別の技術が採用されてきたとも言える。異種システムの連携、新システムの開発などを考えると、今後は統一された考えによるCPSの基盤技術が必要であり、今後のCPSの重要度の高まりを考慮して以下の研究開発を提案する。

#### ① 情報アーキテクチャ

- ▶ 連携により価値の高いサービスを提供する。IT同士のサービスの連携、ITと物理的な世界のサービスの連携、ITと人間の連携など、多様な組み合わせがある。これらの連携を実現するために、概念体系の開発や、表現方式の開発が必要になる。とくに、人間の動作やタスクを記述するための言語が必要である。動作に関してはICFを拡張するという試みが行われているが、さらにそれらをタスクの表現にも適用することが必要になってくる。また、物理的なサービスとの連携においては、リアルタイム性も必要になってくる。SOAによってサービス連携が記述できるようになってきたが、リアルタイムへの対応は不十分である。

サービス連携については、Web ServiceやSOA、XMLなど多くの研究者コミュニティがあり、それらを発展させることで、上記に対応できる可能性がある。

- ▶ CPSではサイバーであると同時に物理的な世界を取り扱うのであり、両者の橋渡しが重要な役割を果たす。まずは、物理的な世界をモデル化しサイバーの世界に取り込まなければならない。そのときに全ての物理的な要素を取り込むことはおよそ不可能であるから、ある観点から投影したものをモデル化しなければならない。そのための方法論の開発が必要である。すなわち、物理的な要素をプログラミングに取り込めるようにしなければならない。さらに、サイバーな世界で定義された要素を物理的なシステムに取り込むことも必要である。つまり、物理的な要素が一方的に制御されるだけでなく、物理的な要素からプログラミングに対して働きかけることができるようにしなければならない。これらの中間的な記述が双方向に成り立つことが望まれる。また、このモデルは変化に対応することが必要である。すなわち、アプリケーションの要求に応じて、その粒度を変更したり、あるいは実世界にあわせてモデル自体の修整が可能であることが必要である。

これまで制御工学やシステム工学で行われていた研究開発を基盤として、情報通信技術とより深くかかわることによって新たなアーキテクチャが構築されることが望まれる。

- ▶ 物理的な世界で測定されるデータには必ず誤差があり、時間的な揺らぎを持っていたり、計測そのものがないこともある。これまでサイバー側で取り扱ってきた数値データは正確であるとの前提であったが、CPSにおいてはデータの精度や欠損、信頼度への対応が必要となる。精度や質が不十分なデータを使っても、それなりの対応が取れるというロバストネスを持つことが期待される。これも制御工学やシステム工学などの知見を情報技術に応用することによって、進展が期待される。

## ② システムアーキテクチャ

CPSによって、膨大な実世界のデータが収集される。これらのデータ収集には単に伝送するだけではなく、ストリーミングデータとして処理をしながら収集するという工夫が必要であろう。さらに、コストの面や、利用形態から見て、これらのデータをすべてデータセンターに蓄積することは、必ずしも得策ではないこともある。その場合、多くのデータがセンサーノードで管理されることが予想される。このように分散して蓄積されるデータの取り扱いはハードウェアやミドルウェア、プログラミングモデルなどに影響を与えるであろう。それらが統合されたアーキテクチャが必要になる。システムへの要求や制約に基づき、最適な構成あるいは処理方式を決定するための基盤技術が必要になる。デバイス、ハードウェア、通信、コンピュータなど広範な技術要素を組み合わせる必要があり、十分な実績があるとは言えない領域である。社会システムアーキテクチャも関連するため、新たなアセットを集結して研究開発を行う必要がある。

## ③ 開発方法論

CPSは社会基盤として広く浸透するものであり、高い信頼性が求められる。そこで、CPSの信頼性、可用性などの事前評価・検証を行い、CPSの信頼性を向上するために、モデリング技術、シミュレーション技術、安全性検査技術などが必要である。また、さまざまなサービスが連携されると、設計時には想定されなかった状況にもなり得る。このような場合でも、破たんを引き起こさないために、自己適応、自律技術の研究開発を実施し、CPSの信頼性を確保しなければならない。これらの技術を設計段階から取り入れ、システム設計・開発を進めるための方法論が必要になる。それらは、方法論を背景とした設計・開発ツールの形をとり、保守・運用をサポートし、さらには再度の要求獲得、設計・開発を行うというシステムライフサイクルを支援するものが望ましい。

また、CPSは重要な社会インフラになると思われるが、昨今は社会インフラに対するサイバー攻撃が見られるようになってきた。<sup>10</sup> 道路交通システムに侵入し、信号機をシャットダウンし、大規模な交通遅延を発生し、正常化までに4日を要したり、14歳の少年が改造したテレビリモコンで鉄道の切替機を操作し、脱線を引き起こしたりしている。政府や金融機関が業務停止に追い込まれた例もある。CPSが物理システムを包含し、社会インフラとして重要な基盤となるのであれば、その安全性はこれまで以上に重要になる。システム自体の信頼性、安全性にとどまらず、サイバー攻撃に対する方策も検討しなければならない。そのた

10 [http://www.nisc.go.jp/inquiry/pdf/ken\\_honbun.pdf](http://www.nisc.go.jp/inquiry/pdf/ken_honbun.pdf)

めには、脆弱性の検査や、設計・構築の妥当性確保など、これまで IT システムで行われてきた技法を物理システムにも拡張することが必要になる。

### 3-2 研究開発から社会定着までの推進方法

社会への定着には、現場が重要である。現場で望まれる価値を提供しなければならない。そのためには、現場の分析が重要であり、そこでは表面的な課題に惑わされることなく、真の要因にアプローチしなければならない。また、現場の課題は複合的であることが多いので、さまざまな専門家の知恵を融合して課題を分析する枠組みを構築することを提案する。

課題の分析の次には、それを解決するための方策が必要になる。ここでは、技術的な研究開発はもちろん必要であるが、そのほかにも、法律や規制などの環境において何が課題となっており、どうすれば乗り越えられるかということの検討や、ビジネスとして成立するためのバリューチェーンの構築、ユーザーおよびその周辺の人間の積極的な参加を引き出すための方策などを考慮する必要がある。これらを総合的に勘案し、課題の解決を図るチームを設定して進めることを提案する。

解決策は社会に実装して初めて効果を上げる。しかし、効果を上げるには時間がかかる。10年以上におよぶこともある。また、導入当初は経済性が成り立たない場合もある。そのため、長期にわたる安定的なファンディングが必要になる。しかし、一方では社会自身の変化していくことから、固定的な内容の研究開発を続けることが得策ではないこともある。自然淘汰のメカニズムを取り入れた実行体制を構築しなければならない。たとえば地方自治体などが一貫して研究開発に参画し、必要に応じて技術の取捨選択を行うことにより、安定的なファンディングと研究開発の自然淘汰を実現することができる。現場と研究開発のインタラクションを行いながら、社会実装を図ることを提案する。その際、自由な労働形態を許すことや、職業の斡旋を行うこと、CPSを用いた移動手段を公共の場で利用することなど、従来の法制度の中ではできなかったこともある。民間だけでは試してみることも困難である。こういった新たなトライアルに対して、国や自治体が積極的にサポートする姿勢が望まれる。

また、複数の CPS が社会システムとして連携するためには、データフォーマットや通信プロトコルなどについて標準化がなされることが望ましい。本提案で研究開発を行う基盤技術についても、ソフトウェアアーキテクチャやモデリング、通信などに関する国際的な団体あるいはフォーラム、また部品レベルでの相互接続性を実現するために業界団体等で標準化を行い、広く普及するように努めることが、社会定着にとって大きな推進力となる。オープンな利用を視野に含め、標準化を意識した研究開発を進めることを提案する。

## 4 章 研究開発の推進方法および時間軸

### 4-1 研究分野

CPS の研究開発には多様な研究者が関連する。IT サービスの研究者、IT アーキテクチャの研究者、ロボットの研究者などである。また、社会定着に向けてはいわゆる自然科学の研究者だけではなく、社会や経済的な観点からの観察、分析が必要となる。

これらの研究から得られた知見を社会に適用するには、実際のサービスとして提供するためのシステムインテグレーションが必要である。そのためにはサービス開発業者や、システムインテグレータ、ベンダーの参加が必須である。ここでは、単にモノや技術を組み合わせるのではなく、CPS の共通基盤技術の研究開発が必要となる。

社会への定着を考えると、そのサービスを実際に社会に適用する主体が必要である。たとえば、高齢者の就労支援の場合には自治体、NPO、人材派遣業者などである。これらのサービス提供者が CPS による新サービスの社会定着を目指した、息の長い活動を行う。

さらに、最も重要な参加者はエンドユーザである。彼らとそのサービスを利用し、日々の生活に役立て、次なる改善点を洗い出し、新たな目標を設定しなければ、本当の意味での社会定着は実現しない。彼らの積極的参加こそが最も重要である。

### 4-2 研究システム（体制・基盤・連携）と時間軸

上述した多くのステークホルダーがサービスを構築し、それを社会に適用する。そのサービスをエンドユーザが実際に使用してみる。高齢者の就労支援であれば、就労者が増加することによって雇用状況や高齢者自身の生活が変化する。したがって、再度研究者が変化した社会やエンドユーザを観察し分析することが必要となる。

このようにして、社会定着にはそのループの中に多くのステークホルダーが参加しなければならない。その様子を図 7 に示す。

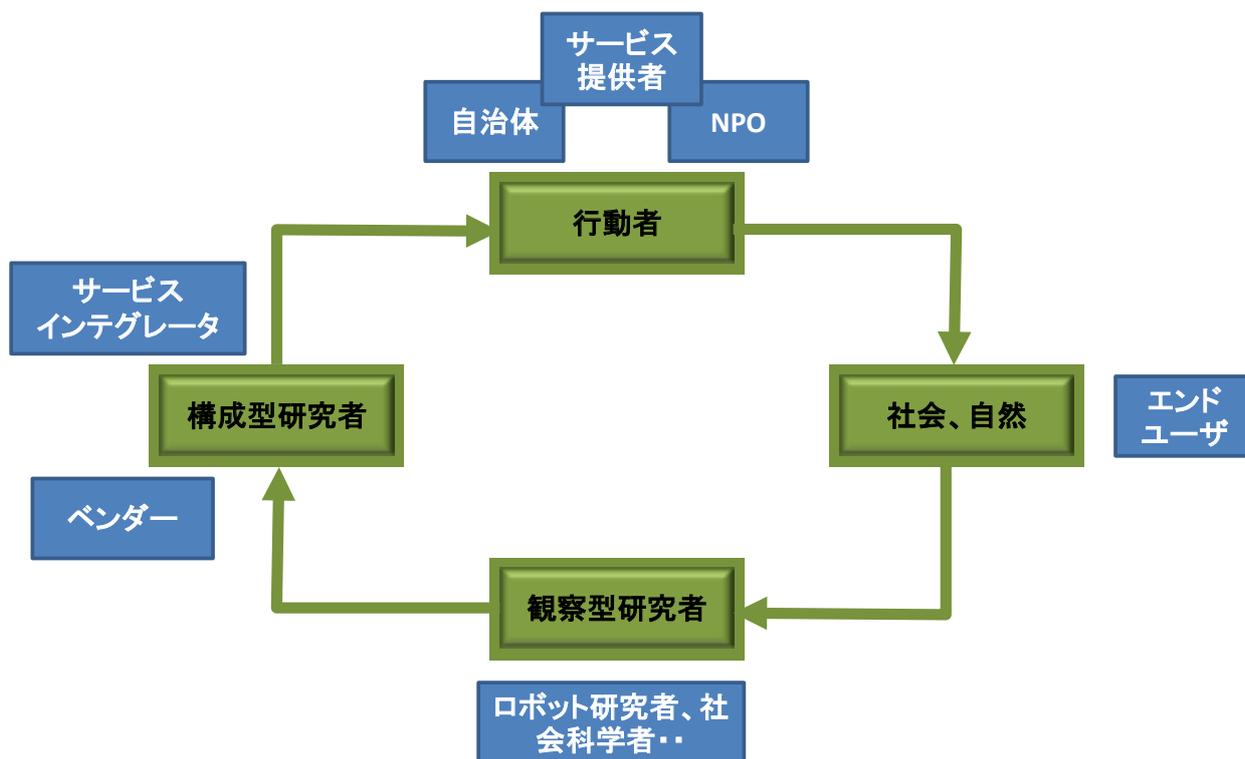


図7 研究開発から社会定着までの推進方法

これらのフェーズに応じたファンディングについては、研究開発に対してある程度の自主性を持つ組織が単独でこのループを廻すことも可能であるし、あるいは複数の組織による、異なった種類、時間軸、目標を持った資金を合成することによって、上記のループ全体を廻すことも可能であろう。

社会システムとして定着・普及するためには時間がかかる。単に技術開発を行うだけでなく、制度設計やビジネスモデルの検討、自治体との折衝、住民への説明と理解の獲得などを行わなければならない。社会システムとしていきなり大規模に始めることが得策でない場合には、小規模な社会実験から開始し、現場からのフィードバックを得て、環境を整備しながら本格化するという方法もとらねばならない。場合によっては、10年以上のスパンで考える必要がある。

事例として取り上げた「高齢者の社会活動参加促進」については、わが国の高齢化率（65歳以上人口割合）は2010年に23%であり、今後も急激に上昇すると予測される。今すぐ、高齢者の社会参加促進による就業機会の増加に着手したとしても10年後には高齢化率は30%近くになると想定されており、早急に実施することを提案する。

### 4-3 社会との対話

本プロポーザルにおいて提案する研究の実施にあたっては、特に社会への定着を目指しているため、実際にそのサービスを受容する住民との対話が必要となる。

そのため、研究を開始する前に、研究対象となるサービスを提供する地域住民に対して納得のゆく説明を行い、研究参加への同意を得る必要がある。また、研究参加者への優先的なサービスの提供のような、研究参加への意欲を起す工夫を必要とする。さらに、提供されたサービスの結果、どのような効果が得られたかということに参加者に説明する責任が研究者にはある。この責任を果たし、研究参加者である住民の納得を得ることが、次のループを廻すことへの原動力となる。コラム2に示したはこだてオンデマンドビークルのように、地域ぐるみでの取り組みが必要である。

#### コラム2 はこだてオンデマンドビークル

公立はこだて未来大学では、「スマートシティはこだて」の中核として、スマートアクセスビークルシステムのデザインと実装を進めている。「スマートシティはこだて」とは、情報通信技術の活用を前提として、函館圏を対象に、街のさまざまな活動やサービスを有機的なシステムとして統合し、全体としては住みやすい便利な町を構築しようとするものである。街中の、すべてのバスやタクシーをコンピュータシステムによって集中管理し、運行制御することを考えている。

通常のバスは運行経路と運行ダイヤを持っている。しかし、固定路線やダイヤを持たないフルデマンドバスという考えがあり、ごく少数の自治体で実験的な取り組みが行われている。シミュレーションによると、ある程度の規模を持つ都市では通常のバスシステムよりは路線・ダイヤを全く持たないフルデマンドバスの方が有効であることが確認された。

公立はこだて未来大学は、函館市、函館タクシー、函館バスなどとともに、バスだけではなく、タクシーも含めてフルオンデマンドビークルの実証を行おうとしている。当面は病院への通院を対象にするが、将来的には交通網を基幹として、医療や観光、娯楽などのさまざまなサービスの連携を考えている。利用者は、IDと現在位置、目的地をセンターに告げる。センターではすべてのビークルの現在位置や経路などを把握しているので、利用者の要求に最適に応えることのできるビークルを選び出し、ビークルに指示を出す。利用者は迎えに来たビークルを利用し、目的地へ行くことができる。病院であれば、診療を予約した時点でビークルの予約も行えるし、治療が終わった段階で帰りのビークルが迎えに来るといったサービスも可能になる。

## 付 録

### 付録 1 検討の経緯

#### 1. 検討の開始

2011 年度 CRDS 戦略プロポーザル策定委員会において、「人間の動作を支援する CPS 技術の研究開発」として活動することが決定されたことを受けて、2012 年 4 月からチーム活動を開始した。

#### 2. 識者との検討、ヒアリング

##### (1) ロボティクス関連の検討

大阪大学浅田稔教授、東北大学小菅一弘教授、芝浦工業大学新井民夫教授と、動作支援 CPS についてロボティクスの視点から 4 月 9 日、5 月 11 日、6 月 18 日、7 月 16 日に検討会を開催した。主にロボティクスの社会応用について議論した。

##### (2) ヒアリング

識者として下記の方にヒアリングを行った。

東京大学教授	佐藤知正
NPO めじろむつみクラブ理事	坂元芳彦
産業技術総合研究所チーム長	西田佳史
公立はこだて未来大学学長	中島秀之
東京大学教授	廣瀬通孝
日本アイ・ビー・エムスタッフリサーチャー	小林正朋
MOT ソリューション代表取締役	石黒周
内閣府参事官	岡野直樹
国立障害者リハビリテーションセンター研究所顧問	諏訪基

#### 3. ワークショップの開催

CPS を中心とした技術の社会定着と、そのために必要な技術開発内容を明確にし、戦略プロポーザルの作成に資することを目的に「CPS 技術とその社会への導入に関するワークショップ」を開催した。

##### 日程

平成 24 年 12 月 1 日（土） 10:00-17:00

##### 会場

科学技術振興機構 東京本部別館（4 階 A 会議室）

##### 参加者

（敬称略、五十音順）

##### 招聘識者

- ・ 新井 民夫 芝浦工業大学工学部機械学群機械工学科 教授
- ・ 石黒 周 (株)MOT ソリューション代表取締役社長
- ・ 小林 正朋 日本 IBM (株)東京基礎研究所アクセシビリティ・リサーチ スタッフ・リサーチャー

- ・ 坂元 芳彦 NPO 法人 めじろむつみクラブ 理事
- ・ 佐藤 知正 東京大学情報理工学系研究科知能機会情報学専攻 教授
- ・ 中島 秀之 公立はこだて未来大学 学長
- ・ 西田 佳史 産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターチーム長
- ・ 丹羽 邦彦 科学技術振興機構 上席フェロー
- ・ 廣瀬 通孝 東京大学情報理工学系研究科知能機械情報学専攻 教授
  
- ・ JST/CRDS
- ・ 岩野 和生 電子情報通信ユニット 上席フェロー
- ・ 金子 健司 システム科学ユニット フェロー
- ・ 鈴木 慶二 電子情報通信ユニット フェロー
- ・ 高島 洋典 電子情報通信ユニット フェロー
- ・ 原 良憲 電子情報通信ユニット 特任フェロー (京都大学経営管理大学院教授)

### プログラム

	総合司会・座長	佐藤知正 (東大)
10:00 ~ 10:05	開会挨拶	岩野和生 (JST/CRDS)
10:05 ~ 10:20	オリエンテーション「CPS の社会導入について」	高島洋典 (JST/CRDS)
10:20 ~ 10:35	「生活機能統合サービスによるライフイン ノベーション (コミュニティデザイン) の 実現」	佐藤知正 (東大)
10:35 ~ 10:50	「技術イノベーション実現プロセス 次世 代ロボットの社会実装・産業化を通して」	石黒周 (MOT ソリュー ション)
10:50 ~ 11:05	「はこだてフルオンデマンドビークル」	中島秀之 (公立はこだ て未来大)
13:30 ~ 13:45	「高齢者クラウド」	廣瀬通孝 (東大)
13:45 ~ 14:00	「高齢者クラウド基盤」	小林正朋 (日本 IBM)
14:00 ~ 14:15	「拡張 I C F に基づく生活データの統合的 活用による生活者の理解支援技術」	西田佳史 (産総研)
14:30 ~ 17:00	総合討論	全員

### 結果の要約

#### 1. CPS の社会定着：社会システムデザイン的设计から構築、評価

社会への定着には、現場が第一。現場で望まれる価値を提供すること。そのためには、現場の分析が重要であり、そこでは表面的な課題に惑わされることなく、真の要因にアプローチしなければならない。

現場の課題は複合的であることが多いので、さまざまなディシプリンを融合しなければ解決されない。

社会定着を図ろうとすると、その行為自体が社会に影響を与え、社会に変化を引き起こす。したがって、現場の分析を再度しなければならなくなる。こういう循環を繰り返

すことによって解決を目指す。

## 2. 研究開発すべき技術：複数のサービスの連携、物理サービス特有の課題の解決

課題を解決するには、課題を表現することが基本になる。そのための表現体系を整備し、分析をすることによって、課題の解決が可能になる。高齢者の社会参加について考えると、動作、行動のレベルから社会活動、さらに知的労働のレベルまで記述することによって、そこに存在する課題の明確化、対応策の立案などが可能になる。CPSにおいては物理世界とサイバー世界を結びつけるためのモデルが必要になる。

また、表現が可能になれば、高齢者の社会参加だけでなく、若年者への労働機会の提供や、その他のCPSとの複合サービスなども可能になる。

## 3. 研究開発から社会定着までの推進方法：複数の観点からのファンディング、フィードバックを活かす進め方

社会定着には時間がかかる。10年かかることもある。また、当面は経済性が成り立たない場合もある。そのため、長期にわたる安定的なファンディングが必要になる。しかし、一方では社会自身が動く目標であることから、固定的な内容の研究開発を続けることが得策ではないこともある。研究開発にも自然淘汰のメカニズムが必要である。

安定的なファンディングと研究開発の自然淘汰は両立しないように見えるが、受け取る側、たとえば地方自治体などが一貫して研究開発に参画し、必要に応じて技術の取捨選択を行うことにより、安定的なファンディングと研究開発の自然淘汰を実現することができる。現場と研究開発のインタラクションが重要である。

## 付録 2 国内外の状況

### 1. CPS に関する状況

#### 国内の動向

文科省が平成 23 年度文部科学省委託業務「目的解決型の I T 統合基盤技術研究開発の実現に向けたフィージビリティスタディ<sup>11</sup>」を実施した。これは、安全・安心な社会、あるいは社会システム全体の高効率化を実現する I T 統合基盤技術を開発するとの観点から、災害・エネルギー不足に強い社会づくりを支えるために必要となる要素技術等を検討し、国内外の研究開発動向や適用事例等を調査するとともに、その中で喫緊に集中的な研究を必要とする I T 統合基盤技術の内容を明らかにすることを目的としていた。これと並行して、すでに重要性の認識されている技術課題については予備的な実証実験を行うことにより、検討内容を検証することも目的としていた。それをうけ、平成 24 年度には「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システム構築<sup>12</sup>」という事業を実施している。

経済産業省の産業構造審議会情報経済部会は、2011 年 8 月に中間取りまとめとして「融合新産業の創出に向けて ～スマート・コンバージェンスの下でのシステム型ビジネス展開～<sup>13</sup>」と題する報告を行った。この中で、農業や医療、交通など従来産業に IT を融合することにより、新たなシステム産業創出を目指すとしている。これは明らかに CPS を意識したものであり、本報告は 2012 年度の NEDO「IT 融合による新社会システムの開発・実証プロジェクト<sup>14</sup>」としてまさに実施されようとしている。特筆すべきは、本プロジェクトには都市交通、ヘルスケア、農商工連携という各分野における実証・研究に加えて、「IT 融合新産業を支えるデータ処理基盤に関する先導研究」が取り上げられている点である。世界に先駆けて、CPS アーキテクチャが提唱される可能性がある。

#### 海外の動向

米国では 2009 年から NSF が研究支援プログラムを立ち上げ<sup>15</sup>、これまでに 73 のプロジェクトに対して約 50 億円 (6500 万ドル) の予算をつけている。この 73 のプロジェクトの中で CPS の共通基盤技術であるアーキテクチャに関連すると思われるものは 6 件であり、大半は個別のシステム開発のプロジェクトである。また、これら 6 件は Medium と Small Award であり、総額でも 650 万ドル程度と、全体の 1/10 に過ぎない。

一方ヨーロッパにおいては 1998 年から 2002 年に実施された FP5 において ARTIST プロジェクト<sup>16</sup>を実施した。これは組込システムの研究開発に注力したものであり、その後の ARTIST2<sup>17</sup>, ArtistDesign<sup>18</sup>, ARTEMIS<sup>19</sup> へと発展した。EU の研究開発では市場

11 [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/006/shiryo/\\_icsFiles/afieldfile/2012/06/01/1317559\\_05.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/006/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2012/06/01/1317559_05.pdf)

12 [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/boshu/detail/attach/1329306.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/attach/1329306.htm)

13 [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/it\\_yugo\\_forum/pdf/001\\_04\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/it_yugo_forum/pdf/001_04_00.pdf)

14 [http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100158.html](http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100158.html)

15 [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=503286](http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286)

16 <http://www.artist-embedded.org/artist/ARTIST-FP5.html>

17 <http://www.utwente.nl/ctit/research/projects/concluded/international/fp6/fp6-noes/artist2.doc/>

18 <http://www.artist-embedded.org/artist/>

19 <http://www.euresearch.ch/index.php?id=749>

指向に重点が置かれており、産学の連携が奨励され、CPSは組込システムのデザインとして研究が行われている。

中国においては、「物聯網（ウーレンワン）」という名称で、各種センサーやRFIDを利用したセンサー群と情報ネットワークの融合により、交通や物流など急激に成長する都市の問題を解決するための活動が中国各地の省や市で行われている。多くの都市で同時にいろいろな研究開発が行われているが、それらは個別対応であり、都市間で競い合っている状況である。中国全土、あるいはグローバルな展開を目指した技術やインターフェースの研究開発には結び付いていないようである。

## 2. 高齢者の動作支援・生活支援に関する状況

### 国内の動向

独立行政法人科学技術振興機構において、2つのプログラムが実行されている。

1つは、社会技術研究開発センターで行われている「コミュニティで創る新しい高齢社会のデザイン」<sup>20</sup>である。これは、高齢社会に関わる問題について、地域やコミュニティをベースに、その解決に向けたプロトタイプを構築するものである。特定の地域に密着して問題解決を図っている。平成22年度は4地区、平成23年度は5地区が採択されている。

2つ目は戦略的イノベーション創出推進プログラム（S-イノベ）において、「高齢化社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」<sup>21</sup>が実施されている。ここでは、高齢社会における「就業等の支援」と個人の「活動の支援」の両方を実現することを目標とし、横断的で長期にわたる「産学連携」による取り組みを行っている。特に高齢者個人が社会活動を行いやすくなるような支援技術を追求している。特に、「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」プロジェクトにおいては、人々の情報発信を加速するインタラクション、インターフェース技術と、社会活動を分析するソーシャルコンピューティング、スキルディスカバリー技術との連携により、元気シニア層の社会参加を活性化するとともに、多様な個性と就労条件に応じて能力を組み合わせ仮想的な労働力を合成するモザイク型就労を実現しようとしている。本提案とは異なり、このプロジェクトにおいてはCPSではなく、主にITの技術開発が行われている。その成果と知見が本提案に活かされることが期待される。

### 米国の動向

米国では、欧州や日本と比べて高齢化の進行率がやや低い。これは高い移民の流入による人口の増加などの要素がある。しかし将来の高齢化はいずれ避けられないものと考えられており、高齢化とそれに伴い必要になる動作支援・生活支援技術の研究開発が行われている。

研究開発自体は行われているものの、欧州と比べて大規模な国レベルでのファンディングプログラムなどは少ないようで、動作支援や高齢者の支援に絞ったプログラムというものは見当たらない。しかしロボットの研究に関しては、省庁横断型のプログラ

20 <http://www.ristex.jp/korei/>

21 <http://www.jst.go.jp/s-innova/research/h22theme05.html>

ムである NRI(National Robotics Initiative)<sup>22</sup> というプログラムがあり、NSF(National Science Foundation), NIH(National Institute of Health), NASA(National Aeronautics and Space Administration), USDA(U.S. Dept. of Agriculture) がプログラムの実施を行っている。プログラム全体の管理を行うのは NSF である。特に NIH の配下の参加研究所には、National Institute of Aging, National Institute of Nursing Research などがあるため、動作支援・生活支援分野のロボティクス研究に関しても一定の予算が割り当てられる。また研究分野の一つとして「リハビリ・動作補助」が挙げられている<sup>23</sup>。2012年9月には、NIHはこのプログラムから資金を受けるプロジェクトとして6つのプロジェクトを発表した<sup>24</sup>。これら6つのプロジェクトには4年間で440万ドルが割り当てられる。その中で、以下の3つが動作支援・生活支援に該当するプロジェクトである。

- ・ ヒューマノイド、リハビリテーションロボット用駆動セグメントの脚部コントロール  
従来の研究では、人々の歩行パターンを研究していたが、それでは舗装路などの整地におけるスムーズな歩行しかモデリングできず、不整地の悪条件の下では役立たなかった。このプロジェクトでは、人々の様々な歩行のパターンを観察し、柔軟な歩行ができる義足やロボットリハビリ装置の設計と制御を行う。研究拠点はカーネギーメロン大学。

- ・ 高性能な膝下義肢用ロボット

膝下用の義肢を使う人は米国で40万人おり、このプロジェクトではそれらの人々が小型で軽量なロボット義肢を使えるようにすることを目指している。研究拠点はタスカルーサ大学、アラバマ州。

- ・ 治療用体外骨格の制御のためのブレインマシンインターフェイス (BMI)

ロボットリハビリは、脳卒中患者が麻痺した部位の感覚と動作を取り戻すための有効な手段である。このプロジェクトでは脳卒中患者がリハビリにおいて自分の感覚でリハビリロボットの動きを制御し、フィードバックを得るために非侵襲的な脳とロボットのインターフェイスを開発することを研究する。ライス大学、ヒューストン。

次に、個別の研究プロジェクトのうち、生活支援・動作支援に関連が深く、また特徴的なものに関して紹介する。

- ・ ミズーリ大学「高齢者を保護するセンサーネットワーク」プロジェクト<sup>25</sup>

本プロジェクトは、高齢者が生活する中で、様々なセンサー技術を用いることにより疾患の発生を予防していく技術を開発するものである。現在は高齢者用住宅で試験的にセンサーが設置され、今後結果により適用規模を拡大していく。NSFにより研究資金を支援されている。

22 <http://www.nsf.gov/pubs/2011/nsf11553/nsf11553.htm>

23 [http://www.nsf.gov/pubs/2011/nsf11553/nsf11553.htm#pgm\\_desc\\_txt](http://www.nsf.gov/pubs/2011/nsf11553/nsf11553.htm#pgm_desc_txt)

24 <http://www.nih.gov/news/health/sep2012/nibib-18.htm>

25 [http://www.nsf.gov/discoveries/disc\\_summ.jsp?cntn\\_id=126247](http://www.nsf.gov/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=126247)

・ジョージア工科大学「Aware Home Research Initiative(AHRI)」の「家庭における健康」プロジェクト<sup>26</sup>

AHRI では、家庭の中に新技術・新サービスを導入する研究を行っており、そのうち「家庭における健康」プロジェクトで生活支援・動作支援関連の複数の技術が研究開発されている。

・カーネギーメロン大学、ピッツバーグ大学「Quality of Life Technology Center(QoLT)」<sup>27</sup>

QoLT は「生活をイノベティブな技術によって変える」ことを目標とした研究を行っており、特に人々が自立した生活を続けるための技術に重点を置いている。QoLT では研究だけでなく、臨床や産業化、ユーザーなどを巻き込んで技術開発を行っている。QoLT も NSF の支援を受けている。

・Continua Health Alliance プロジェクト<sup>28</sup>

本プロジェクトでは、複数の企業の製品やサービスをまとめて、病気の予防や慢性疾患のモニタリング、高齢者が自立した生活を行えるように支援を行っている。すでに日本でもサービスを開始しており、例えば携帯電話による健康管理、体重計、血圧計によるデータ収集と管理などを行っている。日本での参加企業は 2010 年時点で 40 社以上。インテル、IBM、グーグル、NTT ドコモ、シャープ、東芝、富士通などが参加している。

参加企業の一つ、米国の LNI<sup>29</sup> 社は「HealthLink」というソフトウェア製品を提供しており、Continua の規格に対応した健康管理機器から収集したデータをサーバーに転送、医師や専門家からのアドバイスを受けられるというサービスを提供するためのプラットフォームとなっている。また同社は ISO/IEEE 11073 という標準の策定にも関わっている。この標準規格は医療・健康機器の通信規格を定めるものである。

・IBM 「Bolzano プロジェクト」<sup>30</sup>

IBM は北部イタリアの都市、ボルザーノで生活支援プロジェクトを実施している。高齢化率が 22.6% と高いボルザーノ市で日常生活をセンサーの活用により監視し、湿度や照明・水の使用、空気成分の変化などを調べ、リスクの高い場合は警報を発するシステムの試験を実施している。

## 欧州の動向

人口の高齢化は、日本と同様に現在欧州が直面している最も深刻な課題の一つである。65 歳以上の欧州市民の数は、今後 50 年の間に 8,700 万人 (2010 年) から 1 億 4,800 万人 (2060 年予想) へと倍増する<sup>31</sup>。こうした状況に対処するため、欧州各国および EU は様々な研究開発を行っている。ここでは、EU により加盟国共同で実施される研究開発支援プログラム「第 7 次フレームワークプログラム (FP7: Framework

26 <http://www.awarehome.gatech.edu/>

27 <http://www.cmu.edu/qolt/>

28 <http://www.continua.jp/>

29 <http://www.lampreynetworks.com/>

30 <http://www-01.ibm.com/software/success/cssdb.nsf/CS/CCL-8G5TUU>

31 [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-12-196\\_en.htm?locale=en](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-196_en.htm?locale=en)

Programme 7)』<sup>32</sup> とその関連プログラムにおける生活支援・動作支援に関する研究開発プロジェクトに関して紹介する。

#### ○ FP7

FP7 は、EU 加盟国および関連国が共同で実施する研究開発支援プログラムで、2007 年から 2013 年の期間中に全体で 505 億ユーロを支出する非常に大規模なプログラムである。この中で、高齢化対策や生活支援・動作支援に関する研究開発は主に「情報通信技術」分野で実施されている。欧州ではこうした技術は” AAL: Ambient Assisted Living” と呼ばれることが多く、FP7 でもそうした名前のプロジェクトが多くある。意味としては、人々の生活の周りに自然に存在して支援を行う技術、というようなものである。また” Technology for aging well” と呼ばれることもある。よい高齢化とか、健全な高齢化のための技術というような意味である。これらのプロジェクトの数は非常に多く、FP6 から継続して FP7 の期間中も実施されているものも含めると、39 に上る (2011 年までの数)<sup>33</sup>。現在も実行されていて、比較的規模の大きな代表的なプログラムの例を以下に紹介する。

universAAL プロジェクト AAL に関するオープンなプラットフォームと仕様の策定<sup>34</sup>

期間：2010 年 2 月から 2014 年 1 月

資金：1,050 万ユーロ (FP7 より)

AAL 技術には非常に大規模な市場があり、新規に開発された技術を製品化していくためにはオープンで、統一された規格、仕様、標準が必要とされている。universAAL プロジェクトでは、欧州で現在までに実施されてきた様々な取り組みを統一し、欧州の標準化機構 (CEN: European Committee for Standardization)、国際的な標準化機構 (OMG: Object Management Group, 前出の Continua など) へと提案していく。

SRS (Shadow Robotic System) プロジェクト 多目的自立支援ロボット<sup>35</sup>

期間：2010 年 2 月から 2013 年 1 月

資金：330 万ユーロ (FP7 より)

SRS プロジェクトでは、制御する人間の「影」のように振る舞うロボットの開発を目指している。例えば高齢の両親に対して、遠隔地にいる子供や介護者が様々な支援を行うことができる。これにより離れて住んでいても高齢者や障害者の世話を十分に行うことができるようになる。

#### ○ Joint Programming(JP)

JP は、欧州各国で個別に行われている研究活動を、欧州委員会が調整し、共同で研究開発を行えるようにするためのプログラムで、独自に研究開発資金を提供する、一種のファンディングプログラムである。資金源は各国政府および EU である。この JP

32 [http://cordis.europa.eu/fp7/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html)

33 [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/einclusion/docs/ageing/rtd\\_projects.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/activities/einclusion/docs/ageing/rtd_projects.pdf)

34 <http://universaal.org/>

35 <http://srs-project.eu/>

の一つとして、AAL-JP (Ambient Assisted Living Joint Programming)<sup>36</sup> があり、ICT を通じた高齢者の生活向上を目的として研究を助成している。

AAL-JP はすでに 5 回のプロジェクト公募を行っており、様々な研究プロジェクトが実施されている。以下にそのうちの代表的なものを記す。

・ WayFis プロジェクト<sup>37</sup>

予算：150 万ユーロ、3 年間

本プロジェクトでは高齢者が外出して目的地まで到達するのに最適なルートを探るサービス进行研究する。高齢者は家の PC で事前にルートを調査、その後スマートフォンのアプリでルートを確認しながら目的地へ到達出来る。利用者の健康状態、病気、運動機能に応じてルート探索が可能。またルート上にある有用な設備、障害物の情報を事前に入手できる。研究にはスペイン・ハンガリーの民間企業、スイスのジュネーブ大学などが参加している。

・ DOMEО プロジェクト<sup>38</sup>

予算：240 万ユーロ、3 年間

本プロジェクトでは家庭で使用される介護ロボットのオープンプラットフォーム開発を目指す。ロボットは音声、画像、生体情報などのセンサーを搭載し、物理的サービスも提供。クラウドサービスを通じて遠隔地と通信が可能。実験室から制御された環境でのテスト、実際のユーザーの家での使用実験を実施する。フランス、オーストリア、ハンガリーの大学、企業、病院、リハビリセンターなどが参加している。

○ European Innovation Partnership(EIP)<sup>39</sup>

EIP は、EU による取り組みの一つで、欧州の特定の研究開発領域に関わる関係者（研究者、行政、企業、ユーザーなど）を結集し、研究開発に関する様々な課題を解決することを目的とする。EIP の一つである European Innovation Partnership on Active and Healthy Aging は、高齢化が進む社会で、人々が健康でアクティブな、独立した生活を送るための革新的な製品、サービスを開発し、この分野での欧州の競争力を向上させる。この EIP の最終目標は、2020 年までに健康で過ごせる寿命を平均で 2 年間増加させることである。この目標のために、2011 年 11 月、EIP は戦略的実施計画（SIP: Strategic Implementation Plan）を策定し、国や企業、市民社会のために優先すべき分野と個別の措置を明らかにした。

36 <http://www.jp-demographic.eu/>

37 <http://www.wayfis.eu/>

38 <http://www.aal-domeo.eu/>

39 [http://ec.europa.eu/research/innovation-union/index\\_en.cfm?section=active-healthy-ageing](http://ec.europa.eu/research/innovation-union/index_en.cfm?section=active-healthy-ageing)

### 付録 3 専門用語説明

CPS (Cyber Physical Systems) は、コンピュータと物理世界がネットワークを介して結合したもの。コンピュータと通信が埋め込まれたシステムであり、物理現象との相互作用によって、物理的なシステムに新たな能力を付け加える。非常に小さな家電製品から、自動車や飛行機、さらには大規模な電力ネットワークなどまでである。近年の装置にはコンピュータが付け加えられていることが多く、CPS は今後ますます重要かつ、広まりのある可能性を持っている。

ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health 国際生活機能分類) は、人間の生活機能と障害の分類法として、2001 年 5 月、世界保健機関 (WHO) 総会において採択された。この特徴は、これまでのWHO国際障害分類 (ICIDH) がマイナス面を分類するという考え方が中心であったのに対し、ICFは、生活機能というプラス面からみるように視点を転換し、さらに環境因子等の観点を加えたことである<sup>40</sup>。

ITS (Intelligent Transport Systems 高度道路交通システム) とは、道路と自動車の間で情報をやり取りすることによって、最適な道路交通の実現を図るシステムである。道路や自動車に備えられた多くのセンサーから情報を集め、安全・安心、環境への配慮や効率化を目指し、利用者の快適性や利便性をも実現する<sup>41</sup>。

スマートグリッド (Smart Grid) は、情報通信技術を駆使して、高度な電力供給を実現するものである。停電などの事故防止、効率的な配電、需要と供給の調整などを行う。

QoL (Quality of Life) は生活の質と訳され、「日常生活や社会生活のあり方を自らの意思で決定し、生活の目標や生活様式を選択できることであり、本人が身体的、精神的、社会的、文化的に満足できる豊かな生活」と言われる<sup>42</sup>。

40 <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/08/h0805-1.html>

41 <http://www.its-jp.org/>

42 吉川他「重度・重複障害者における QOL 評価法の検討」、新潟青陵大学短期大学部研究報告 第 38 号 (2008)、<http://www.n-seiryu.ac.jp/library/kiyo/tkiyo/08pdf/t0814.pdf>

## 索引

ITS .....	1, 3, 10, 12, 32	柔軟な労働環境 .....	11
IT 融合新産業.....	10, 26	情報アーキテクチャ .....	1, 15
異分野融合システム .....	10	信頼性.....	2, 16
介護・福祉ロボット市場.....	12	スマートグリッド.....	1, 10, 32
開発方法論.....	2, 16	スマート交通インフラ .....	12
QoL.....	6, 29, 32	生産年齢人口 .....	4, 9
共通基盤技術 .....	15, 19, 26	タスク .....	6, 7, 9, 15
高齢化率 .....	20, 29	著作権.....	11
高齢社.....	12	データ表現.....	1
高齢者の社会活動参加促進 .....	1, 4, 20	匿名化.....	11
高齢者の社会参加促進.....	6	バリューチェーン .....	11, 17
個人情報 .....	11	ビジネスモデル .....	11, 20
サービス連携基盤.....	1	標準化.....	17, 30
サイバー攻撃.....	16	ファクト DB.....	11
サイバーフィジカルシステム.....	1	ファンディング .....	17, 20, 25
サブタスク .....	6	プライバシー .....	11
システムアーキテクチャ .....	2, 16	マッシュアップ .....	7, 8
自治体.....	17, 19, 20	めじろ台 .....	5
シニア層 .....	4, 5, 27	めじろむつみクラブ .....	4, 5, 23, 24
社会活動参加促進.....	1, 4, 6, 8, 20	モデリング技術 .....	1, 16
社会定着 .....	1, 2, 3, 15, 17, 19, 20	利用者同意取得 .....	11
.....	23, 24, 25	労働契約 .....	11
若年人口 .....	4	農業 IT.....	13

## ■戦略プロポーザル作成メンバー■

岩野 和生	上席フェロー	(電子情報通信ユニット)
丹羽 邦彦	上席フェロー	(電子情報通信ユニット) 2012.9 まで
高島 洋典	フェロー	(電子情報通信ユニット)
及川 智博	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット) 2012.9 まで
金子 健司	フェロー	(システム科学ユニット)
鈴木 慶二	フェロー	(電子情報通信ユニット)
高野 良太郎	フェロー	(海外動向ユニット)
原 良憲	特任フェロー	(電子情報通信ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2012-SP-05

### 戦略プロポーザル

## CPS(Cyber Physical Systems)基盤技術の研究開発とその社会への導入に関する提案

－高齢者の社会参加促進を事例として－

### STRATEGIC PROPOSAL

Research and development on fundamental technologies of cyber physical systems and their social implementation.

-A case study on promoting aged people to social activities-

平成 25 年 3 月 March, 2013

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 電子情報通信ユニット  
Center for Research and Development Strategy  
Japan Science and Technology Agency

---

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

© 2013 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

---