

調査検討報告書

「システム科学技術を用いた予測医療による  
健康リスクの低減」に関する研究開発戦略

## エグゼクティブサマリー

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は平成 25 年度に、社会的期待と研究開発課題の「邂逅」に基づく研究開発戦略の立案プロセスの「未来創発型アプローチ」<sup>1</sup>によりテーマ選定を実施した。本報告書は、このうち健康・医療に関するテーマについてチームで調査検討した結果を取りまとめたものである。

国内外の動向調査及び有識者インタビュー、ワークショップなどの活動により、明確な戦略と方法論からなる「健康リスク制御システム」の構築を研究することの重要性や、そのシステムにより病院や医療の変容をもたらす可能性を検討した。

本報告書では、予測医療による健康リスク低減のためのシステム科学技術を「健康リスク制御システム」と呼ぶ。これは、健康・医療研究にシステム科学技術を組み込んで現代社会の日常生活に内在する健康被害要因を明確化し、制御の可能性を研究することによって、それらに起因する疾患の発症予防ならびに重症化予防を目指す、先端科学技術に導かれた未来の健康医療システムである。本報告書では特に、健康・医療関連データが大量に得られるようになる近未来の社会を念頭に、発症や重症化のリスクを予測し制御するデータ融合型の新たな技術体系の確立を示した（図 1）。

健康とは、生体がストレスや感染等の外的入力に対して速やかで適切な反応・回復ができる動的状態にあることをいう。対して、疾患発症や重症化は、生体がそのような健全な応答性を失った状態に陥ったこととみなせる。疾患発症やその増悪が顕在化する直前には、外的入力に対する脆弱性が高まった中間の状態が存在すると考えられるが、「健康リスク」とは生体がこの状態にある可能性を意味し、疾患毎に「徴候」の増減で推定することができる。健康リスク制御システムでは、この定量化された徴候が制御対象の出力（制御量）あるいは観測量となる。

現代社会の日常生活では、生活習慣病や精神疾患といった慢性疾患のリスクや、転倒・骨折といった高齢者特有の健康リスクとして、食事・運動・睡眠といった行動要因や、気分や身体症状などの症状要因を中心に、さらには社会環境まで含めた生物・心理・社会的要因が重要であると考えられている。最近、モノのインターネットを始めとする情報通信技術の発展によりこれらリスク要因の「常時・長期かつ広範な（インテンシブな）」定量化が可能になると考えられることから、健康リスクの初期検知や初期対応・制御への期待が高まっている。また、先端的センシング技術の発展により、臨床検査値の取得自体もインテンシブになりつつある。これらは欧米の医療市場を中心に発展してきた経緯があるが、世界に先駆けて超高齢社会を迎えた我が国においても、その重要性が認識され府省が取り組みを検討している。病院の外（コミュニティ）で発症と重症化予防を行なう「医療の変容」に向けて、医学、工学、社会・人文学を集結して研究を進めることが急務である。

1 詳しくは「はじめに」および付録 1「未来創発型アプローチによるシーズ」を参照

このような背景のもと、近年、従来の医療分野を超えてさまざまな科学技術を用いて健康リスクを予測し制御する可能性が拓けてきた。例えば、国際的に開発が進められている統合的な生体・生理モデルや経験的な行動科学モデルなどが、健康行動・状態のインテンシブなデータを取り込むことにより予測力を持ち得るようになり、疾患発症や重症化の初期対応・制御に役立つことが期待されている。また、医療・社会情報を含めたいわゆるビッグデータを対象とした統計・機械学習等によるリスク評価技術などの開発が急速に進んでおり、近い将来、大量の類似症例から予防や診断・治療に資するより高い精度の情報提供が可能になるとされる。公衆衛生の観点からも、健康リスクの予測やシミュレーションの精度向上は、例えばコミュニティとしての健康リスク制御（医療コストを含めた最適化や政策立案）にも役立つことが期待されている。一方、制御の観点からは、モバイル・インターネット技術を用いた行動科学的誘導技法の開発や生活・環境の再デザイン、行動や情

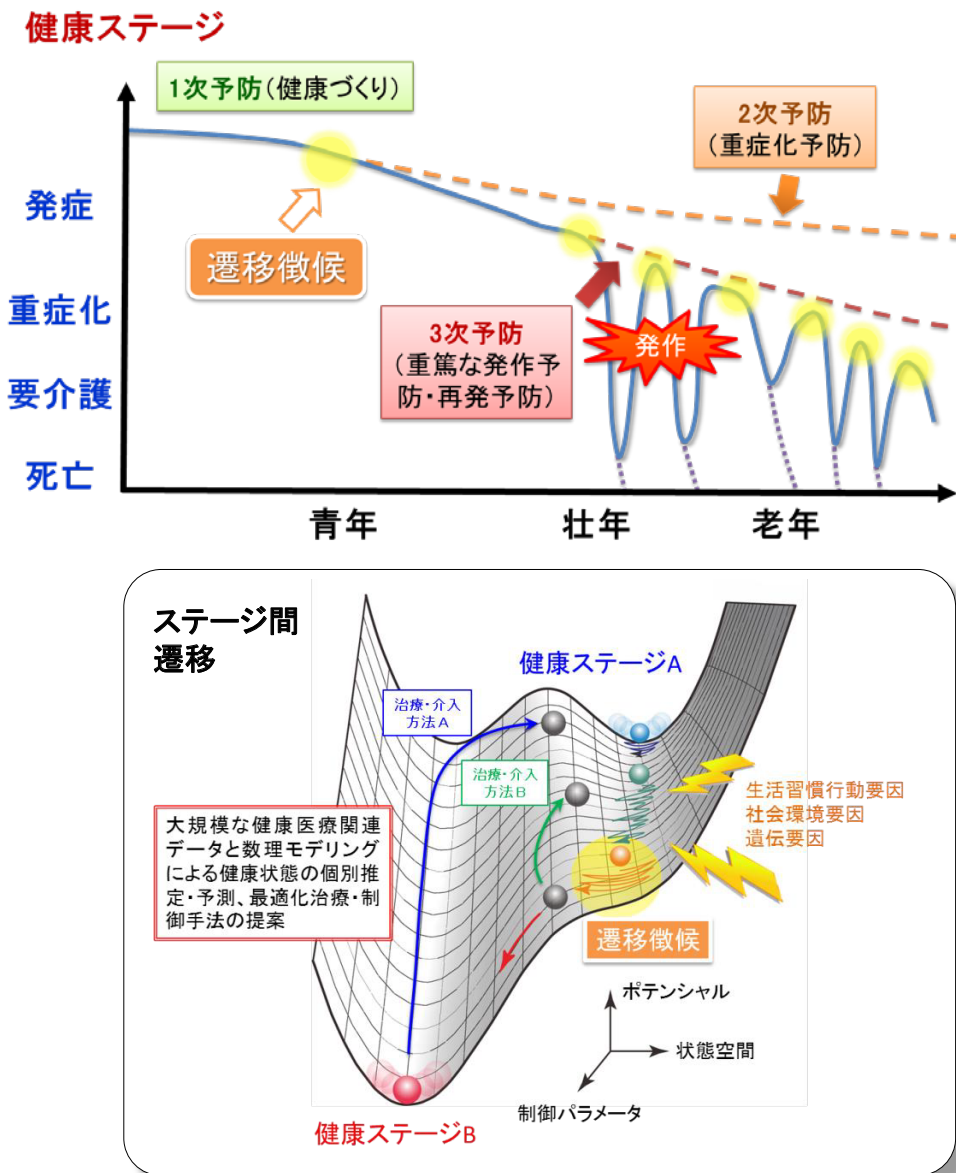


図1 健康リスク制御システムにおける疾患発症・重症化予防

動を制御する脳・神経系への低侵襲的なアプローチなど、電子情報通信技術を用いた先駆的な取り組みがなされつつあり、その科学的基盤としての習慣行動や依存、さらには精神・神経疾患の脳・神経科学の研究も急速に進展している。

本報告書で提示する健康リスク制御システムは、以上の先端科学技術を統合し、健康リスクをさりげなく検知し介入のタイミングを予測、効果的な制御・誘導や社会の再デザイン等を行う。これによって、個人およびコミュニティの健康リスクを急性期から慢性期までのマルチ時間スケール（マルチステージ）で制御し（図1）、結果として、保健医療の質を保証しつつコストを低減させるという、先進諸国に共通する課題の解決に貢献することを目指す。

具体的には、「モニタリング」、「モデリング・予測」、「制御・誘導」の3つの機能を持つサブシステムから構成され、とりわけ

**モニタリング**：健康行動・状態および環境情報の統合的時空間センシング、大規模・標準化データベースの構築

**モデリング・予測**：徴候（健康リスク因子・バイオマーカー）の発見・同定、発症、重症化予測・異常発見技術の開発、個別化リスク評価プラットフォームの構築

**制御・誘導**：健康行動・状態の先制的かつ効果的な制御・誘導手法、生活・環境の再デザインなどによる健康維持・増進手法の開発

への取り組みが重要である。同時に、開発システムの社会実装・普及を念頭に、

短期的（3~5年）には、先端技術の研究開発と並行して、既存技術を統合し、循環器疾患、糖尿病などの生活習慣病やうつ病などの精神疾患などの患者群あるいはハイリスク群の小・中規模集団を対象として、健康リスク制御のエビデンス（発症や重症化の予防効果）を確立する研究の推進が求められる。

中期的（5~10年）には、企業や自治体などのコミュニティレベルで、長期・先端計測、シミュレーション技術、データ科学、ネットワーク科学等を取り込み、保健医療経済的課題解決を視野に入れた最適化手法等を確立し、コミュニティなどのマクロレベルでの有用性を提示することが求められる。

また上記と並行して、構築システムの社会受容性の観点から、新たな科学技術の普及に伴う社会経済的影響などの倫理的・法的・社会的問題（ELSI: Ethical, Legal and Social Issues）の研究にも取り組む必要がある。これらの取り組みによって、病院・医療・社会を変容させ、同時に必要となる産業・人材を育成、20年後にはリスク制御型の健康医療システムを社会に定着させることが必要である。

本報告書が提示する研究開発領域に現在個別に行なわれている諸研究が参加しシステム科学的手法で協調することによって、疾患発症や重症化に至る、特に初期の過程をデータとモデルに基づき予測・制御することにより、慢性疾患の発症や重症化、合併症発症の回避が可能となり、医療費の抑制・削減や、高齢者の場合は健康寿命の延伸につながる事が期待される。同時に、病院診療から在宅医療、高齢有病者の重症化予防を含むコミュニティ・ヘルスケアへの医療ニーズの将来のシフトに対応し、研究を進めるなかでそれを支える人材の育成が可能となる。また、関連する基盤的先端科学技術の研究の進展はもとよ

り、現在世界各国で急速に進められているヘルスケアデバイス・サービスの研究開発に、本報告書の特徴であるモデリング、シミュレーション、制御・誘導技術（いわば活用手法）を提供することによって、それらの取り組みを一層加速させることによる産業効果も期待できる。

実際に研究を推進するには、特定の疾病群を対象とし、図1のどのステージを対象にするかを明確にする必要がある。いずれの要素研究を組み合わせるシステムを構築するのか、医学、工学、社会・人文学の研究者や医療関係者を含めて議論し、実施すべき研究の目的を明確化する作業が必要である。本報告書の調査内容にもあるとおり、欧米を中心に、保健医療のシステム化は挑戦的・先端的かつ社会的に重要な研究テーマであるとの認識が急速に形成されつつある。社会に有益なこのようなシステムを我が国に構築するための重要な研究の出発に本報告書が参考になることを期待したい。

## はじめに

科学技術分野の研究開発活動は、個々の科学領域の発展を促すとともに、研究開発から生まれる知見やその実用化を通じて社会的便益を創出すべきものであることが、世界共通の認識になりつつある。我が国においても、第4期科学技術基本計画や科学技術イノベーション総合戦略において、取り組むべき社会的課題を設定し、その解決に向けた施策を実施することが基本方針として示されている。

こうした背景のなか、科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）では、社会が何を求めているか（社会的期待）と研究開発領域/課題との「邂逅」に基づいた研究開発戦略の立案プロセスを検討してきた。

「邂逅」に基づく研究開発戦略の立案では、次の2つのアプローチが検討され、実践された。

- ・課題解決型アプローチ（平成24年度）<sup>2</sup>
- ・未来創発型アプローチ（平成25年度）<sup>3</sup>

平成24年度に取り組まれた課題解決型アプローチでは、社会的課題が解決された状態の社会像を想定し、その実現に必要な研究開発領域/課題を特定するという検討プロセスをとる。このアプローチは、CRDSにおいて実施されている分野別の研究開発動向の俯瞰に基づいた戦略立案に比べ、分野の視点や枠組みにとらわれずに社会的課題が認識でき、また課題解決に寄与しうる研究開発課題を分野横断的に見出すことができるという点で改善が見られた。しかし一方で、必ずしも先端的な研究開発課題が必要とされず、未来志向で新規性のある社会像が描出されにくい点も明らかになった。

そこで、これらの点を改善することを目的に、平成25年度に未来創発型アプローチによる検討を試みた。このアプローチでは、先端的な研究開発動向から洞察される未来の社会像を描くことから検討を開始し、未来社会を実現する駆動力となる技術（ドライビングフォース）を特定した上で、これらの技術によって生じうる新たな課題や必要となる社会制度についても検討した。その結果、次のタイトルの未来の社会像が、対応するドライビングフォースともに選定された。

A: 医療と病院の変容

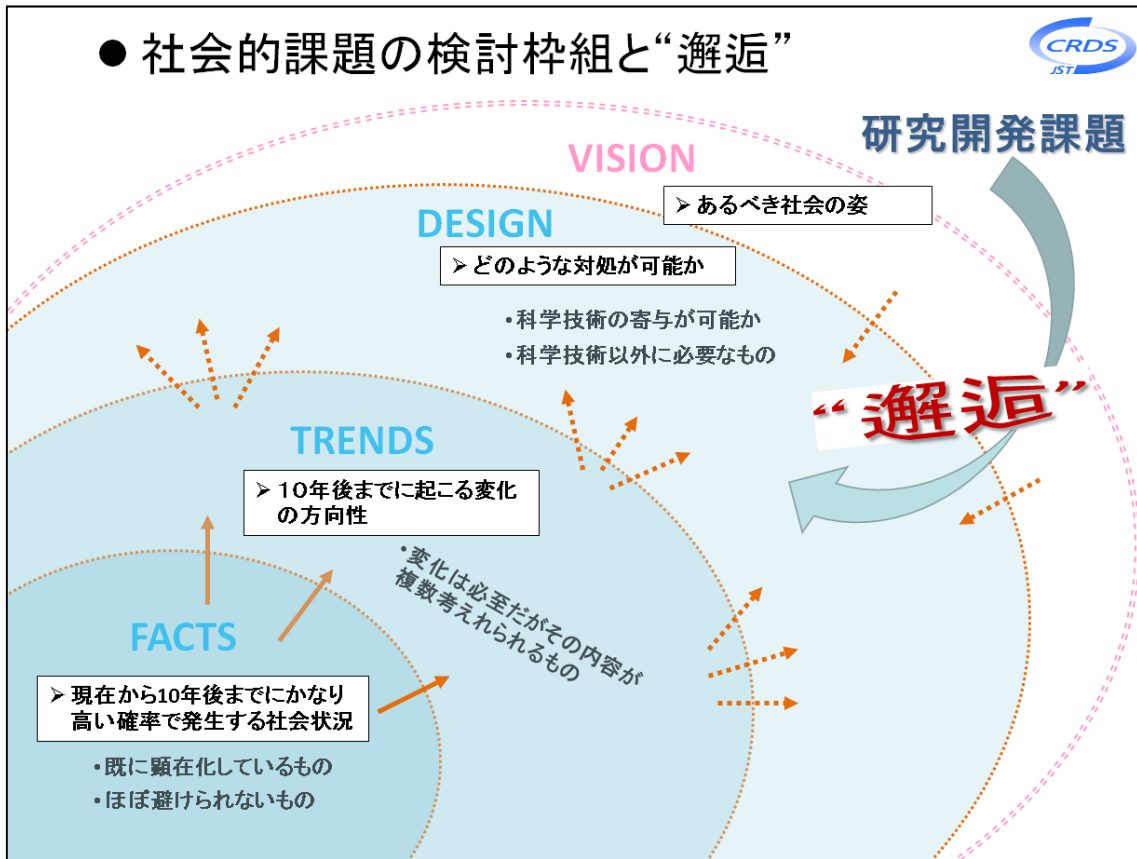
B: 人と機械の新たな関係

C: 人の能力とコミュニケーション

2 CRDS-FY2013-XR-01 (<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/XR/CRDS-FY2013-XR-01.pdf>)

3 CRDS-FY2014-XR-03 (<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/XR/CRDS-FY2014-XR-03.pdf>)

これらのテーマ、および各分野ユニットから提案されたテーマに関して「CRDS 戦略スコープ策定委員会」で評価した結果、平成 26 年度に調査検討チームを編成する対象の 1 つとして、「A: 医療と病院の変容」が選定された。本報告書は、新たな医療と病院の形の実現にはそれを取り巻くコミュニティにおける「健康リスクの制御」が不可欠であるという前提の下に、健康医療関係の科学技術とそれらのシステム化を実現するための研究開発戦略についてチームで調査検討した結果を取りまとめたものである。



平成 25 年度社会的期待・邂逅に関するワークショップ（第 1 回、2013 年 9 月 19 日開催）  
資料より

# 目 次

エグゼクティブサマリー	i
はじめに	v
<b>1. 検討の経緯</b>	<b>1</b>
1-1 有識者インタビュー	1
1-2 ワークショップ	3
<b>2. 検討・調査の結果</b>	<b>7</b>
2-1 現状認識および問題点	7
2-2 国内外の状況	10
2-3 検討の内容	16
<b>3. 検討から見えてきた今後の方向性</b>	<b>20</b>
3-1 具体的な研究開発課題	20
3-2 研究開発の推進	28
3-3 ELSI、社会制度	29
3-4 推進体制	30
3-5 研究開発の効果	31
<b>付録 1 未来創発型アプローチによるシーズ</b>	<b>36</b>
<b>付録 2 専門用語説明</b>	<b>39</b>



## 1. 検討の経緯

「はじめに」に記載した経緯でまとめられたテーマとそこであげられた先端的技術の候補を基にスコープ「豊かな健康社会の在り方（医療と病院の変容）：次世代型健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」がまとめられた。CRDSでは、本スコープの下にユニットを超えたチームを編成し、調査、検討活動を行った。

以下は、チームで行なったインタビューとワークショップをまとめたものである。

### 1-1 有識者インタビュー

関連する研究領域に高い専門性を有する有識者に個別にインタビュー、もしくはセミナー形式でヒアリング（いずれも2時間程度）を実施し、先端的要素技術、国内外の研究動向、社会実装への方針、社会ニーズ等に関して意見を伺った。以下にインタビューを行った有識者を列挙する（五十音順、所属、役職はインタビュー実施当時のもの）。

- ・梶井 英治 （自治医科大学医学部 地域医療学センター センター長、教授）
- ・澤田 和明 （豊橋技術科学大学電気・電子情報工学系 教授）
- ・瀧本 禎之 （東京大学医学部附属病院 患者相談・臨床倫理センター  
センター長、准教授）
- ・土井 美和子 （(独) 情報通信研究機構 (NICT) 監事 / COI 構造化チーム AD）
- ・戸辺 義人 （青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科 教授）
- ・中澤 栄輔 （東京大学大学院医学系研究科 助教）
- ・中村 好男 （早稲田大学スポーツ科学学術院 教授）
- ・西田 佳史 （(独) 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  
首席研究員）
- ・野村 泰伸 （大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻 教授）
- ・萩原 一平 （(株) NTT データ経営研究所 / 応用脳科学コンソーシアム 事務局長）
- ・早野 順一郎 （名古屋市立大学コミュニティ・ヘルスケア教育研究センター  
センター長、教授）
- ・樋口 知之 （統計数理研究所 所長）
- ・藤田 英雄 （東京大学大学院医学系研究科・健康空間情報学講座  
講座長、特任准教授）
- ・本多 敏 （慶応大学理工学部物理情報工学科 教授）
- ・宮川 剛 （藤田保健衛生大学総合医科学研究所 教授）
- ・森田 賢治 （東京大学大学院教育学研究科 講師）

紹介いただいた研究や意見等の概要は以下の通りである。

- ・国際動向を踏まえた統合的生理モデリング（フィジオーム）の現状として、詳細な生体モデル構築の現状と課題、実測データとの融合について講演をいただいた。実測データとの融合による疾患発症予測や定量的リスク評価への活用が期待される。
- ・脳と心の科学研究の産業応用とオープンイノベーションとして、脳科学のビジネス化に関する国際動向と産学連携の取り組みについて紹介いただいた。研究開発過程で得られるビッグデータのデータベース化とその維持、活用方法を考えていくことが必要。
- ・「なごやかモデル」プロジェクトとして、Aging-in-Place の実践とコミュニティモデルの形成について、名古屋地区での医工連携の取り組みを紹介いただいた。未来医療を担う人材育成と病院外での健康状態の連続モニタリング・自己管理を基盤とする医学・医療・医工学の開発が重要との意見があった。
- ・日常生活情報科学に基づく生活デザインとして、行動観察とモデリング（シミュレーション）による転倒、傷害予防（制御）に関する取り組み、および生活デザイン支援システムについて講演をいただいた。実際に望ましい行動へ誘導・変容させる手段について議論をおこなった。
- ・モバイル ICT 医療応用の開発と実証として、ICT 医療についての解説およびモバイル・クラウド心電図、モバイルを活用した糖尿病患者の自己管理システムの構築に関する実際の取り組みについて講演をいただいた。メリット、デメリット、費用など、構築システムを使用し続けるための医学的・臨床的観点からのエビデンスを積み重ねる必要があるとの意見があった。
- ・センシング技術の展開としてセンシング技術の歴史と現状、国際動向について概説（DDSS、ビッグデータ化、CPS など）を伺った。センシングデバイスとして治療、医療の援助に使えるセンシングデバイス（バイタル、尿中塩分、血糖、RNA など）の現状について紹介いただいた。無線通信技術として Body Area Network、国内外の関連プロジェクトやセンシングデバイスについて紹介をいただいた。ICT の医療応用について日本は遅れを取っている。医工連携を人材育成も含め推進していく必要がある。そのような背景からセンシングデバイスについても技術革新は進んでいるが、実用化へ繋がっていない。薬事法の壁なども存在との意見があった。
- ・価値・報酬に基づく学習と意思決定の脳機構として選択行動など、意思決定に関わる神経回路機構についての解説と「計算精神医学」に基づく行動制御や治療介入の可能性について講演いただいた。将来的には、行動選択パターンや脳活動計測データから脳内神経修飾物質の状態を神経学的数理モデルにより推定し、それに基づく治療・介入（健康行動の変容・制御など）が可能になるとの意見があった。
- ・健康リスク制御システムの構築に関わる ELSI について、文部科学省脳プロでの ELSI に関わる課題解決の取り組み、および健康リスク制御システムの構築に関わる ELSI についてヒアリングを行なった。個人情報保護の問題や公衆衛生倫理について意見交換を行った。包括的社会調査を含めたエビデンスベースでの議論を並行させることが重要。また、構築システムの社会受容性向上には教育も含めた行動誘導・文化醸成も重要であるとの結論（WS において詳細な検討・議論が行われた<sup>4</sup>）。

4 CRDS-FY2015-WR-01 「科学技術未来戦略ワークショップ報告書 次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」

- ・地域医療における IT の活用について、地域医療では「IT をどう利用できるか」が重点となる。現行では拡張性、継続性に問題があり、メンテナンスなど保守、維持にお金がかかる。使う用途を把握できるエンジニアとこのような仕組みを使うコメディカルや使える医者が必要で、人材育成や環境整備が重要。大規模データを施策に活かせる高度行政人の育成も重要である。地域における病院の在り方を本格的に考えなくてはならない時期に来ているとの意見を伺った。
- ・動物モデルによる行動異常・精神疾患へのアプローチについて、習慣行動も含めた行動異常のアッセイ系の開発と疾患モデルマウスを用いた脳内遺伝子発現と血中代謝産物による気分状態の予測に関する研究を伺った。精神疾患の場合、環境要因も大きいと考えられるので、ゲノムと環境との相互作用を経時的にモニタリングすることも重要。
- ・データサイエンスと健康リスク制御システムについて、テクノロジー的には既に情報系で研究されているが、社会実装するときに使えないものが多い。尖った要素研究は必要ないが、分野横断的なもの（データ、モデル、シミュレーション、最適化）をしっかりと組み合わせる技術こそが尖っていることを強調して欲しい。ここ 50 年のイノベーションは組み合わせで起こっているが、日本には人材がいない。また、アカデミアも評価しない。
- ・Mobility Management の観点からの健康リスク制御について、自転車や歩行など、より環境にやさしく健康に良い移動手段を誘導すること。インセンティブ付与や市街地のデザインに加えて、最近では GPS や地理情報システムを含む ICT を利用した取組が欧米で開始されている。ただし、必ずしも成功しているとは言えない。自発的に行動変容（選択）が可能な環境や仕組みが必要。
- ・文部科学省 /JST のセンターオブイノベーション（COI）<sup>5</sup> との関係について、COI で求めている点は、政策によるベネフィットを定量的に見ることと、先端的な技術に関して社会に受容されるように上手く育てる仕組み。COI と JST 内で良い連携を。

その他、厚生労働省、経済産業省商務情報政策局ヘルスケア産業課、内閣府（ライフイノベーション担当）、JST 理事長との意見交換を行なった。

## 1-2 ワークショップ（平成 27 年 1 月 27 日開催）

「次世代型の健康リスクマネジメントを実現する健康医療システムの構築」と題して以下の概要で WS を開催し、本報告書で提案する「健康リスク制御システム」の構築に資する先端科学的シーズの発掘とシステムの社会実装に向けた研究開発課題等の深掘りを行なった。発表・議論の具体的内容についてはワークショップ報告書<sup>4</sup>を参照。

<日時、場所>

日 時：2015 年 1 月 27 日（火）13 時～18 時 45 分

場 所：JST 東京本部別館（五番町）2 階セミナー室

5 センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム <http://www.jst.go.jp/coi/>

## &lt;プログラム&gt;

総合司会：矢倉信之（JST/CRDS フェロー、健康リスク制御システムチーム副リーダー）

**【第一部】 13:00~13:30 「健康リスク制御システム」とは？**

13:00~13:05 センター長ご挨拶（吉川 弘之 JST/CRDS センター長）

13:05~13:10 総括責任者ご挨拶（永井 良三 JST/CRDS 上席フェロー）

13:10~13:30 戦略プロポーザル「健康リスク制御システム」趣旨説明  
（山本 義春 JST/CRDS 特任フェロー、健康リスク制御システム  
チームリーダー）

**【第二部】 13:30~15:00 パネルディスカッション：社会実装の方法と課題**

司会：早野 順一郎（名古屋市立大学医学研究科）

パネリスト話題提供：

13:30~13:45 梶井 英治（自治医科大学地域医療学センター）

演題：地域医療の現状と課題

13:45~14:00 水野 正明（名古屋大学医学部附属病院 先端医療・臨床研究支援  
センター）

演題：社会基盤としての健康・医療統合システム

14:00~14:15 浅野 健一郎（株式会社 フジクラ 人事・総務部 健康経営推進室）

演題：「健康リスク制御システム」の社会実装の方法と課題 <健康経営の視点から>

14:15~14:30 佐藤 肇（株式会社 東芝 ヘルスケア社ヘルスケア医療推進部）

演題：個別化予防・医療を実現する「日常人間ドック」の社会実装に向けて

14:30~15:00 総合討論

**【第三部】 15:00~15:30 講演：健康リスク制御の ELSI**

司会：前田 知子（JST/CRDS フェロー、健康リスク制御システムチーム）

講演：

15:00~15:20 瀧本 禎之（東京大学大学院医学系研究科 医療倫理学）

演題：健康リスク制御の ELSI-脳科学研究の倫理から公衆衛生の倫理へ

15:20~15:30 総合討論

（休憩）

**【第四部】 15:50~18:30 提言：科学技術としての「健康リスク制御システム」**

（発表 15 分、討論 5 分）

司会（モニタリング）：本多 敏（慶応大学理工学部物理情報工学科）

15:50~16:10 板生 清（ウェアラブル環境情報ネット推進機構）

演題：健康リスク制御システムにおけるウェアラブルの役割

16:10~16:30 牧川 方昭（立命館大学理工学部ロボティクス学科）

演題：健康モニタリングの TPO

16:30~16:50 橋本 浩一（東北大学大学院情報学研究科）

演題：Active tracking/sensing

司会（モデリング・予測）：野村 泰伸（大阪大学大学院基礎工学研究科）

16:50~17:10 砂川 賢二（九州大学大学院医学系研究科）

- 演題：生体機能融合情報治療がもたらす医療革命  
 17:10~17:30 合原 一幸（東京大学生産技術研究所）  
 演題：未病状態の発見と超早期治療を実現する DNB(動的ネットワークバイオマーカー)  
 17:30~17:50 石垣 司（東北大学大学院経済学研究科）  
 演題：大規模データの統計的モデリングとパーソナライゼーション  
 司会（制御・誘導）：宮川 剛（藤田保健衛生大学 総合医科学研究所）  
 17:50~18:10 内匠 透（理化学研究所 脳科学総合研究センター）  
 演題：動物モデルを用いた行動神経科学  
 18:10~18:30 川人 光男（ATR 脳情報研究所）  
 演題：脳科学に基づく健康関連行動の誘導技術開発にむけて

## 【第五部】 18:30~18:45 まとめ

- 18:30~18:40 ワークショップのまとめ  
 (山本 義春 JST/CRDS 特任フェロー、健康リスク制御システム チームリーダー)  
 18:40~18:45 総括責任者ご挨拶 (永井 良三 JST/CRDS 上席フェロー)

## &lt;ワークショップ参加者&gt; (敬称略、五十音順)

合原 一幸	東京大学生産技術研究所 教授
浅野 健一郎	株式会社 フジクラ 人事・総務部 健康経営推進室
石垣 司	東北大学大学院経済学研究科 准教授
板生 清	ウェアラブル環境情報ネット推進機構 理事長
梶井 英治	自治医科大学地域医療学センター センター長・教授
川人 光男	ATR 脳情報研究所 所長
佐藤 肇	株式会社 東芝 ヘルスケア社ヘルスケア医療推進部 参事
砂川 賢二	九州大学大学院医学系研究科 教授
内匠 透	理化学研究所 脳科学総合研究センター シニア・チームリーダー
瀧本 禎之	東京大学大学院医学系研究科 医療倫理学 准教授
野村 泰伸	大阪大学大学院基礎工学研究科 教授
橋本 浩一	東北大学大学院情報学研究科 教授
早野 順一郎	名古屋市立大学医学研究科 教授
本多 敏	慶応大学理工学部物理情報工学科 教授
牧川 方昭	立命館大学理工学部ロボティクス学科 教授
水野 正明	名古屋大学医学部附属病院 先端医療・臨床研究支援センター 教授
宮川 剛	藤田保健衛生大学 総合医科学研究所 教授

## &lt;コメンテータ参加者&gt; (敬称略、五十音順)

澤田 和明	豊橋技術科学大学電気・電子情報工学系 教授
戸辺 義人	青山学院大学理工学部 情報テクノロジー学科 教授
中澤 栄輔	東京大学大学院医学系研究科 助教
中村 好男	早稲田大学スポーツ科学学術院 教授
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 上席研究員
萩原 一平	NTT データ経営研究所・応用脳科学コンソーシアム 事務局長

藤田 英雄 自治医科大学附属さいたま医療センター 循環器科 教授  
森田 賢治 東京大学大学院教育学研究科 講師

<オブザーバ参加者> (敬称略、順不同)

久保田 裕子 経済産業省ヘルスケア産業課・課長補佐  
桑島 昭文 内閣府・参事官 (ライフイノベーション担当)  
渡辺 佳宏 内閣府 政策統括官 (科学技術・イノベーション担当) 付  
参事官付 (総合科学技術・イノベーション会議事務局)・上席政策  
調査員 (ライフイノベーション担当)  
中島 伸 内閣府 政策統括官 (科学技術・イノベーション担当) 付  
参事官付 (総合科学技術・イノベーション会議事務局)・政策調査  
員 (ライフイノベーション担当)  
馬場 大輔 文部科学省 研究振興局 ライフサイエンス課 課長補佐  
渡邊 淳 文部科学省 研究振興局 ライフサイエンス課 調整官  
須山 敬之 ATR 脳情報研究所動的脳イメージング研究室 (DBI) 室長  
藍原 雅一 自治医科大学地域医療学センター 講師  
根本 靖久 東北大学研究推進本部 (COI 東北大学拠点) 特任教授  
高橋 一平 弘前大学大学院医学研究科 (COI 弘前大学拠点) 准教授  
戸田 満秋 京都大学 産官学連携本部 CO 拠点研究推進機構 特定専門業務職  
橋本 尚子 東京大学 COI 機構 戦略統括  
白木澤 佳子 JST 産学基礎基盤推進部 部長  
三木 一郎 JST 産学基礎基盤推進部 COI 担当 VL 補佐  
佐藤 比呂彦 JST 産学基礎基盤推進部 COI 担当 課長代理  
菅原 理絵 JST 産学連携展開部 先端計測室 副調査役  
佐藤 久夫 戦略研究推進部 ライフイノベーショングループ 主任調査員

< JST-CRDS 参加者 >

私市 光生 政策ユニット (科学技術イノベーション政策の科学) 上席フェロー  
周 少丹 海外動向ユニット フェロー

本ワークショップで提示した「健康リスク制御システム」の研究推進について、賛同が得られ、また、主に以下のような研究開発の重要性が挙げられた。

- ・被験者の負担にならないセンシング技術と長期モニタリングに耐えるバッテリー技術等
- ・健康から疾患までの各ステージに応じて、悪化の状態遷移を予防するエビデンスを出していく研究
- ・モニタリングから分析、予測を導く方法論や、それに必要な定量的な指標の抽出、制御手法の開発
- ・社会受容性向上を見据えた教育も含めた行動誘導や文化醸成
- ・産官学連携のデータ利活用の仕組みづくり

さらに、これらの研究は広範囲であり、必要な研究者、関係者が多様であることが指摘され、実際の研究やその評価を行なうにあたり個別の疾患やステージで研究のアプローチが違ってくることが指摘された。

## 2. 検討・調査の結果

### 2-1 現状認識および問題点

#### (a) Aging-in-Place<sup>6</sup>の必要性

我が国は現在、総人口に占める高齢者（65歳以上）の割合が25%を超えており<sup>7</sup>、世界でも群を抜く超高齢社会<sup>8</sup>となっている。高齢者人口は今後もしばらくは増加を続け、2042年に3,878万人でピークを迎えるとの予測が出されている<sup>9</sup>。年間死亡者数も増加傾向がしばらく続き、2040年頃の年間約167万人がピークとなると予想されている（表2-1）。

一方、我が国は、少子化に伴い総人口は2010年をピークに減少傾向であり、平均在院日数が減少する中で、全国の病院数・病床数が今後大幅に増えることは予想し難い。現在我が国では約8割が病院で最期を迎えているが<sup>10</sup>、病床数が今と変わらない場合、2040年には、半数近く（44%、73万人）が病院外で最期を迎えることになる。従来の医療の形のままではこの状況に対応していくことは難しい。このため、空間としての病院にとらわれることなく、情報システムの活用等により機能としての病院を再構築し、高齢者の健康医療システムをコミュニティに拡張していくなどの「病院の変容」が今後必要となってくる。

表 2-1 関連する主なデータ

	2010年	将来予測①	将来予測②
総人口	約 12,800 万人 (2010)	約 10,700 万人 (2040)	約 8,700 万人 (2060)
生産年齢人口 (15~64 歳)	約 8,100 万人 (2010)	約 5,800 万人 (2040)	約 4,400 万人 (2060)
高齢化率 (高齢者 (65 歳以上) の割合)	23.0% (2010)	36.1% (2040)	39.9% (2060)
1 人の高齢者を支える生産年齢人口	約 2.8 人 (2010)	約 1.5 人 (2040)	約 1.3 人 (2060)
死亡数	約 120 万人 (2010)	約 167 万人 (2040)	約 154 万人 (2060)
出生数	約 107 万人 (2010)	約 67 万人 (2040)	約 48 万人 (2060)
医療費	約 36.6 兆円 (2010)	約 54.0 兆円 (2025)	-
介護費	約 7.9 兆円 (2010)	約 19.8 兆円 (2025)	-

高齢社会白書（内閣府）、医療費の動向（厚生労働省）、介護費等の動向（国民健康保険中央会）等の資料をもとに作成

6 住み慣れたコミュニティでその人らしく最後を迎えること。

7 平成 26 年版高齢社会白書によると、65 歳以上の高齢者人口の割合は 25.1%。

8 必ずしも明確な定義が定まってはいるが、一般に、65 歳以上の人が高齢者に占める割合（高齢化率）が 7% を超えると「高齢化社会」、14% を超えると「高齢社会」、21% を超えると「超高齢社会」と呼ぶ。

9 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成 24 年 1 月推計）—平成 23(2011)年～平成 72(2060)年—」。

10 厚生労働省 人口動態統計年報によると、2010 年時点では、病院が死亡場所の割合は 78%。

**(b) 健康寿命延伸のために必要な取り組み<sup>11</sup>**

医療技術の進歩などにより国民の健康寿命は少しずつ伸びてはいるが、平均寿命も伸びており、両者の差、すなわち自立した日常生活ができず介護等を必要とする期間は広がった状態が続いている<sup>12</sup>。健康寿命延伸の制限要因として、介護が必要となった主な原因に関する統計資料を見ると、脳血管疾患（脳卒中）に続いて、認知症・フレイル（高齢による衰弱）・転倒・骨折と、日常生活の不活発化がリスク要因となるものが上位に位置する（図2-1）。国民の医療・介護費が今後も増加すると予想されているなか、高齢者医療のウェイトを日常生活の活発化や、有病者においては重症化や合併症の予防を含む「健康リスク制御」へシフトし（「医療の変容」）、平均寿命と健康寿命の差を縮めていく必要がある。

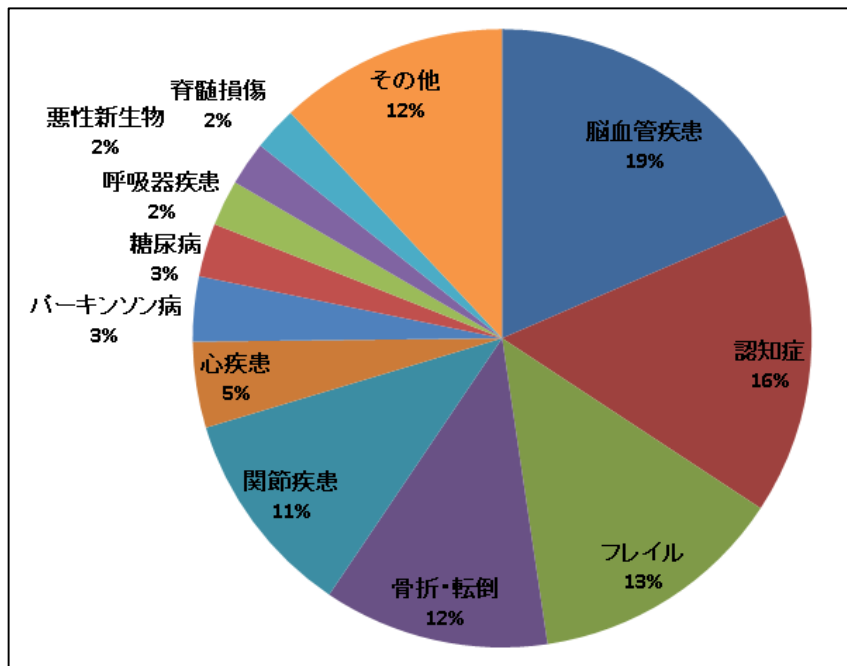


図 2-1 介護が必要となった主な原因の構成割合

厚生労働省 平成 25 年国民生活基礎調査をもとに作成。（“その他”には“視覚・聴覚障害”、“不詳”等も含む）

**(c) 全ての年代で求められる日常生活行動の変容**

悪性腫瘍、心疾患、脳血管疾患と日常の生活習慣行動がリスクとなる疾患が我が国の死因の上位を占めており、医療費もこれらの疾患が上位となっている<sup>13</sup>。ある推計によると、これら疾患、およびその一部の原因を形成するⅡ型糖尿病の7割~9割は、日常生活の習慣的行動を変容させることで発症を回避させることが可能とされている<sup>14</sup>。疾患のリスクは、食事、運動、睡眠、喫煙等、さらに近年ではインターネット（SNS）・ゲーム依存をも含む日常の生活習慣行動に内在し、遺伝要因とこれら日常生活行動の組み合わせで増大

11 健康寿命 (healthy life expectancy) :WHO が 2000 年に公表した用語で、日常的に介護や看護を必要とせず、自立した生活ができる期間を指す。平均寿命から、介護や看護を必要とする生存期間を引いた年数が健康寿命となる。  
 12 平成 26 年版厚生労働白書や高齢社会白書によると、2010 年のデータで平均寿命と健康寿命の差は、男性で 9.13 年、女性で 12.68 年。  
 13 厚生労働省 平成 24 年度 国民医療費の概況  
 14 Willet, W.C. 2002. Science 296: 695-698



する。全ての年代で、日常生活の習慣的行動を変容させることが、多くの疾患発症の予防を可能とする。

**(d) 行動変容の重要性・困難さ、日常生活行動モニタリングへの期待**

疾病予防は重要であるが、現状の主な取り組みは、疫学的に明らかになったリスクに関する情報提供、教育・指導、またハイリスク群に対する定期的な検査に基づく保健指導などに止まっている。しかし現実には、健康被害が顕在化するまでの期間が長いため、人は“その場ではストレスの解消になるが長期的にはリスクとなる、目先の報酬を伴う行動”を選択しがちである。それでも、健康リスクとなる日常行動を長期的に変化させることが健康寿命延伸の鍵であるということが、国民にも認識されるようになってきている<sup>15</sup>。

また、モニタリング技術等の発展により、リスクの検知、リスクの制御が実際に可能になるのではないかと期待も高まってきた。その世界的な動向を示す一つとして、最近公表された米国 Pew Research Center の報告書がある<sup>16</sup>。この報告書は、モノのインターネットを始めとするインターネットの発展が 10 年後の生活をどのように変えるかという点について有識者インタビューをまとめており、その中で、多くの有識者が、正の側面として本報告書で提示するような医療と公衆衛生への影響を挙げている（表 2-2）。また負の側面として、これも多くの有識者が、人間の精神的健康への影響や健康を害する行動の増長を挙げている。これは、ネット依存等、現在の青少年にも深刻な影響を与え始めている問題である。

表 2-2 インターネットの発展が 10 年後の生活に及ぼす影響

<p><b>【正の側面】</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・医療と公衆衛生への影響大</li> <li>・ウェアラブルデバイスと家庭・職場のセンサーが浸透</li> <li>・疾病自体に加え、リスクの初期検知が可能となる</li> <li>・日々の、あるいは時々刻々の処方や行動変容が可能となる可能性</li> </ul>
<p><b>【負の側面】</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・過剰な情報提供・情報管理がもたらす倫理的、経済的影響</li> <li>・人間の精神的健康への影響（過監視による不安や情報依存など）</li> <li>・「7つの大罪」（高慢、物欲、嫉妬、憤怒、貪食、色欲、怠惰）を増長</li> </ul>

**(e) 現代社会で増長する人工的健康リスクのマネジメントが重要**

上記 Pew Research Center の報告書で指摘されたような科学技術の発展の負の側面として、機械化、自動化、インターネットの発展に代表される情報化などが現代社会を豊かにした反面、同時に生活習慣病や精神疾患などの慢性疾患のリスクも生み出したことが挙げられる。これらのリスクは、社会生活と密接に関わるため、完全に取り去ることは不可能であるが、人工的リスクであるが故に、それらを管理・制御することはある程度可能と考えられる。駆動力のある科学技術の一つとして習慣行動や精神・神経疾患の脳・神経科学に関する最新の研究も取り込むことによって、これら慢性疾患のリスク制御を実現する必要がある。

15 厚生労働省 平成 26 年版 厚生労働白書 など

16 Digital Life in 2025 (<http://www.pewinternet.org/2014/03/11/digital-life-in-2025/>)

## (f) システム科学的推進が必要

以下「2-2 国内外の状況」にまとめたように、ヘルスインフォマティクス（健康情報学）と呼ばれる、情報通信技術と健康医療との融合分野の研究が国際的に進行している。この流れは、EUの第7次研究枠組（FP7）下で“ICT Challenge 5: ICT for Health, Ageing Well, Inclusion and Governance”<sup>17</sup>が開始された2007年前後を境に加速し、健康医療情報のデータベース化による個別化医療の推進、先端的センシングデバイスの開発やモバイル通信機器による健康医療サービスの提供などに関する様々な研究開発プロジェクトが、主として欧米を中心に展開されてきた。

最近では、データの取得・蓄積技術開発が軌道に乗りつつあることもあり、それらを如何に活用するかという点が焦点になりつつある。すなわち、2014年5月に発行された科学技術に関する米国大統領諮問委員会（PCAST）からの報告書“Better Health Care and Lower Costs: Accelerating Improvement through Systems Engineering”<sup>18</sup>では、医療にシステム科学技術を取り入れ、データ分析・モデリングを通じて、コスト/ベネフィット（あるいは、例えば表2-2のような正負の側面）の最適化を含む、健康医療の一連の関連課題に対処するシステムを構築することが勧告されている。また、EU-FP7の後継の資金配分プログラムHorizon2020<sup>19</sup>において2015年3月現在募集中のものの中で、健康リスクの初期検知、初期対応・制御、そのためのモデリング・シミュレーションを含めたシステム科学技術に重点が置かれた公募が行われている（2-2も参照）。未来創発型アプローチによる先端科学技術（付録1を参照）を取り込み、従来の医療分野を超えた科学技術と社会・人文科学を含めた異分野の研究参加と協調を進める本報告書の研究は、これら欧米の動向には見られないユニークな特徴を有するものである。

一方で、上記PCASTの報告では、システム科学技術のコンピテンシーを備えた医療改革チームの立ち上げを勧告するなど、新たなタイプの人材育成についても重要視している。この点については、本報告書においても以下で逐次取り上げる。

## 2-2 国内外の状況

### (a) 関連分野の研究動向

ヘルスインフォマティクス（健康情報学）と呼ばれるICTと健康医療との融合分野の研究開発が国際的に活発化している。それがもたらす健康・医療・福祉分野での恩恵への期待から、欧米では様々な大規模な取り組みが既に始まっている。例えば、EUのFP7では、メンタルヘルスクエアに焦点をあてたPersonal Health Systemsの構築を目指したプロジェクト（Interstress、MONARCA、Optimi、Psyche）が実施された<sup>20</sup>。一方、米国では、携帯情報端末による健康医療サービスの提供を目的としたmHealthプロジェクトが推進

17 [http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/challenge5\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/challenge5_en.html)

18 President's Council of Advisors on Science and Technology, "Better Health Care and Lower Costs: Accelerating Improvement through Systems Engineering", Report to the President, Executive Office of the President, 2014, [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast\\_systems\\_engineering\\_in\\_healthcare\\_-\\_may\\_2014.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast_systems_engineering_in_healthcare_-_may_2014.pdf)

19 <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/health-demographic-change-and-wellbeing>

20 Riva G, Banos R, Botella C, et al. Personal health systems for mental health: the European projects. Stud Health Technol Inform 2011 ; 163 : 496-502.

されている<sup>21</sup>。また、ホワイトハウスによる SmartAmerica Challenge<sup>22</sup> の中でも Health Cyber-Physical-System として ICT (IoT) を利用した見守り型の健康医療システムが提案されるなど、この研究開発分野への期待の高さが伺える。

日常生活下におけるライフログデータ (GPS やインターネット空間におけるメール送受信や web サイト閲覧、購買行動などのログデータ) などの非医療情報の大規模データから、疾患発症に関わる行動因子を含む健康リスクを探索・同定し、人間行動や感情を理解し予測・制御 (誘導) する取り組みが開始されている (例えば、MIT における Reality mining<sup>23</sup> や Affective computing<sup>24</sup>)。

フィジオームをはじめとする生体・生理システムの数理モデルの開発・統合が世界的に活発化している。事実、EU の FP7 の下で Virtual Physiological Human 構築に関する多くのプロジェクトが推進され、Horizon2020 でも公募が行われている。一方、既存の生体・生体数理モデルと計測データを組み合わせることによって糖尿病患者の血糖値や心不全患者の血圧制御を可能とするシステムの開発およびその臨床応用への研究等、モデルとデータの融合とその臨床応用に関する研究開発が進んでいる<sup>25</sup>。

自由行動下の動物の特定の神経回路をミリ秒以下の時間精度で選択的に刺激ないし抑制する技術 (光遺伝学) に加え数十から数百の神経細胞の電氣的活動をモニターする技術が普及して、行動の回路・細胞・分子レベルの機構の解明が飛躍的に進みつつあり、それらをヒトの疾患予防・治療に結びつけるトランスレーショナル・リサーチの重要性が一層高まってきている。一方、ヒト行動データを計算論モデルに基づいて解析し、脳・神経活動計測データと照らし合わせて神経機構を探る研究が盛んとなり、その精神疾患の検知・機序解明及び診断・治療への応用を目指す「計算精神医学」が展開されつつある (2014 年に世界初のセンターが英独共同により開設)<sup>26</sup>。

米国はごく最近、高血圧や糖尿病、心臓疾患などの疾患治療を目的に、各臓器へ繋がる末梢神経を直接電気刺激することによってその機能を制御するといった先端的研究開発を、アメリカ国立衛生研究所 (NIH) の支援のもと開始した (SPARC: Stimulating Peripheral Activity to Relieve Conditions)<sup>27</sup>。このような取り組みを含め、近年、electroceutics や neuro-modulation といった電気 (物理) 治療法開発の長期的展望が次々と表明されている<sup>28</sup>。

21 Kumar S, Nilsen W, Pavel M, Srivastava M. Mobile Health: Revolutionizing Healthcare Through Transdisciplinary Research. IEEE Computer Society 2013 ; 46 : 28-35.

22 <http://smartamerica.org/>

23 <http://hd.media.mit.edu/>

24 <http://affect.media.mit.edu/>

25 <http://spectrum.ieee.org/biomedical/bionics/diabetes-has-a-new-enemy-robopancreas>

26 <http://www.theguardian.com/science/2014/apr/02/worlds-first-computational-psychiatry-centre-london>

27 <http://commonfund.nih.gov/sparc/index>

28 <http://spectrum.ieee.org/biomedical/bionics/we-will-end-disability-by-becoming-cyborgs>

## (b) 海外の国家プロジェクト

### 【米国】

2014年5月に科学技術に関する米国大統領諮問委員会（PCAST）から報告書“Better Health Care and Lower Costs: Accelerating Improvement through Systems Engineering”（より優れた医療を低コストで、システムズエンジニアリングを通して改善を加速）<sup>18</sup>が提出された。この報告書は、米国経済の5分の1にせまる医療コストは、その大半が不要であると指摘し、効率の観点だけでなく、医療の質と負担の改善のために戦略的な評価を取り入れる必要性を説くものである。医療にシステムズエンジニアリングを取り入れ、「一連の関連する課題に対処するシステムを構築する」こと、これを実現するために、システムズエンジニアリングのコンピテンシーを備えた医療改革チームの立ち上げを勧告している。具体的には以下の6つの戦略を掲げ、これらをシステムツールと方法を持って実行すれば、医療システムを改善し、米国民の健康を改善することができるとしている。

- 1) 望ましいアウトカムに応じた保険料支払を加速する
- 2) 関連する医療データと分析値へのアクセスを促進する
- 3) システムズエンジニアリングアプローチによる技術援助を提供する
- 4) ヘルスケアの改善にコミュニティを巻き込む
- 5) 成功した取り組みから学んだ教訓を共有する
- 6) 新しい能力とアプローチを持つヘルスケア専門家を訓練する

### 【欧州】

2014~2020年を対象とした、欧州連合（EU）の研究資金提供プログラム Horizon2020 では、次の社会的課題（Societal Challenges）を掲げ、その解決に向けた研究開発の推進を柱の一つとしている。

- 1) 保健、人口構造の変化、福祉（Health, demographic change and well-being）
- 2) 食の安全、持続的農業・林業、海洋・沿岸・陸水研究、バイオエコノミー  
（Food security, sustainable agriculture and forestry, marine, maritime and inland water research, and the bioeconomy）
- 3) 安全でクリーンで効率的なエネルギー（Secure, clean and efficient energy）
- 4) スマートでグリーンな統合された交通  
（Smart, green and integrated transport）
- 5) 気候変動対策、環境、資源効率、原材料  
（Climate action, environment, resource efficiency and raw materials）
- 6) 変化する世界での欧州 - 包括的・革新的な成熟社会  
（Europe in a changing world - Inclusive, innovative and reflective societies）
- 7) 安全な社会 - 欧州市民の自由と安全の保障  
（Secure societies - Protecting freedom and security of Europe and its citizens）

このうち1)の「保健、人口構造の変化および福祉（Health, demographic change and well-being）」の研究領域として、本プロポーサルに関連する「医療の個人化（Personalising

Health and Care (PHC))」<sup>19</sup>が設定されており、具体的には、健康・老化・疾患のメカニズムの理解の深化、健康をモニターし疾患を予防・検知・治療・制御する技術の向上、高齢者の（社会的）活動性・健康の支援、および、医療・介護の供給のための新たなモデルと方法論の実証に関わるような研究へのサポートが謳われている。

この研究領域では、2014-2015年の公募期間に、次の7つのカテゴリに分けられた合計34項目が研究提案の公募対象となっている。

- ① 健康・老化・疾病の解明 (Understanding health, aging and disease)
- ② 効果的な健康増進・疾病予防と検査  
(Effective health promotion, disease prevention, preparedness and screening)
- ③ 診断方法の改善 (Improving diagnosis)
- ④ 革新的な治療方法と技術 (Improvement treatment and technologies)
- ⑤ 活動的で健康な老化の推進 (Advancing active and health aging)
- ⑥ 統合的で持続可能な市民中心の医療  
(Integrated, sustainable, citizen-centered care)
- ⑦ 健康政策と法制化のための健康情報・データ利用・エビデンス整備の改善  
(Improving health information, data exploitation and providing an evidence base for health policies and regulation)

この34項目の公募対象のうち、次の6項目が、特に本報告書の内容と特に関連が深い。これらは、数回に分けて実施される2014-2015年の公募の3期目のもの (H2020-PHC-2015-single-stage というコードが付けられている) である(アナウンス:2014年7月14日、提案締め切り:2015年4月、予算額:総額約1億ユーロ、1件の上限が500万ユーロ/年)。

PHC-21-2015:Advancing active and healthy ageing with ICT: Early risk detection and intervention

PHC-25-2015:Advanced ICT systems and services for integrated care

PHC-27-2015:Self-management of health and disease and patient empowerment supported by ICT

PHC-28-2015:Self-management of health and disease and decision support systems based on predictive computer modelling used by the patient him or herself

PHC-29-2015:Public procurement of innovative eHealth services

PHC-30-2015:Digital representation of health data to improve disease diagnosis and treatment

なお、これら7項目と上述の7つのカテゴリとの対応は、次の通りとなっている。

PHC-21: ⑤

PHC-25、PHC-27、PHC-28、PHC-29: ⑥

PHC-30: ⑦

(c) 国内の動向

CRDS ではこれまで、本報告書に関連のある提言として、

“人の健康” に関する社会的期待：

- ▶ 国民視点：健康長寿の実現
- ▶ 行政視点：社会保障制度の持続性の確保（医療費、介護費の最適化）
- ▶ 産業視点：医療・ヘルスケア産業の活性化

に答えるために、先制医療というコンセプトに基づく 2 つの戦略プロポーザル

- ① 「超高齢社会における先制医療の推進」<sup>29</sup>
- ② 「ヒトの一生涯を通じた健康維持戦略 - 特に胎児期～小児期における先制医療の重要性 -」<sup>30</sup>

を発行している。これらにより、先制医療の基本的な考え方や、そのために必要な病因・発生病理の解明等(プロポーザル①)、および胎児期～小児期に着目した先制医療(プロポーザル②) について提言を行なってきた。

文部科学省 /JST のセンターオブイノベーション (COI) プログラム 5 では、“ビジョン 1 少子高齢化先進国としての持続性確保” の下で展開されている 5 つの拠点において、主としてウェアラブルセンサーなど、超小型で、着用していることを意識しない、さりげないセンシングを通じて、個人が自らの意思で健康リスクを制御しようとする取り組みや、脳科学研究、地域コホート研究から予防医療を展開する試みなど、主にセンシング、モニタリング技術やビッグデータ技術の開発を中心とした取り組みが複数行なわれている (表 2-3)。

表 2-3 COI プログラム・ビジョン 1 拠点

拠点名	中核機関
さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点	(株) 東芝、東北大学、日本光電工業 (株)
活力ある生涯のための Last 5X イノベーション	パナソニック (株)、京都大学
スマートライフケア社会への変革を先導するものづくりオープンイノベーション拠点	川崎市産業振興財団
若者と共存共栄する持続可能な健康長寿社会を目指す ～ Sustainable Life Care, Ageless Society COI 拠点～	東京大学
脳科学研究とビッグデータ解析の融合による画期的な疾患予兆発見の仕組み構築と予防法の開発	マルマンコンピュータサービス (株)、弘前大学

健康・医療戦略推進本部<sup>31</sup> では、「次世代医療 ICT タスクフォース」(現在は「次世代医療 ICT 基盤協議会」に発展的に改組)、「次世代ヘルスケア産業協議会」を設置し、保健・医療情報のデジタル化を推進。これにより、持続可能な質の高い保健医療、新しい医療技

29 CRDS-FY2010-SP-09 (<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2010/SP/CRDS-FY2010-SP-09.pdf>)

30 CRDS-FY2014-SP-03 (<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/SP/CRDS-FY2014-SP-03.pdf>)

31 <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryou>

術の創出、エビデンスベースの介護・健康産業の振興を目指し、施策の具体化を検討している。

総務省では平成 25 年に取りまとめた「ICT 超高齢社会構想会議報告書」<sup>32</sup>を踏まえて「スマートプラチナ社会推進会議」<sup>33</sup>を開催し、ネットワークロボット、ウェアラブルセンサーや非接触モニタリング等の技術の活用による健康づくりを目指す「スマートプラチナ社会実現に向けたプロジェクト」等の取り組みを行なっている。

経済産業省では、上記の「次世代ヘルスケア産業協議会」の中間報告<sup>34</sup>を受け、国民の健康寿命を延伸する施策の一つとして、公的保険外のサービス産業創出を目指して、(1) 地域ヘルスケア産業支援ファンドの創設 (2) 健康経営・健康投資の推進 (3) グレーゾーンの解消、などを推進している。

厚生労働省では国民の健康寿命延伸に向けて様々な取り組みを行なっている<sup>35</sup>。また経済産業省と協力し、健康寿命延伸産業分野における新事業活動のガイドライン<sup>36</sup>も作成している。

産業競争力懇談会 (COCN) では「健康チェック/マイデータによる健康管理」に関する検討会を実施。平成 27 年 3 月に公表した 2014 年度最終報告<sup>37</sup>では、PHR (Personal Health Record) データ信託バンクのビジネスモデル確立、そのための制度設計や社会実証プロジェクトの立ち上げなどの提言を行なっている。

32 [http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01ryutsu02\\_02000069.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu02_02000069.html)

33 [http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/kenkyu/smart\\_Platinum](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/smart_Platinum)

34 [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/jisedai\\_healthcare/report\\_01.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/jisedai_healthcare/report_01.html)

35 厚生労働白書 (<http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/14/>) 等を参照

36 [http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryuu/iryuu/kenkoujyumu](http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/iryuu/kenkoujyumu)

37 <http://www.cocn.jp/common/pdf/thema74-L.pdf>

### 2-3 検討の内容

1. で記載したインタビューやワークショップで得た知見や意見から、研究の機能とシーズを補完し、図 2-2 の俯瞰図を完成させた。さらにチームで調査検討を進めた内容を以下に示す。



図 2-2 健康リスク制御システムの俯瞰図

各要素技術はインタビュー有識者およびWS参加者により提示されたものに基づく。図中の略語は巻末用語集を参照

「健康リスク制御システム」とは、健康・医療研究にシステム科学技術を組み込んで現代社会の日常生活に内在する健康被害要因を明確化し、制御の可能性を研究することによって、それらに起因する疾患の発症予防ならびに重症化予防を目指す、先端科学技術に導かれた未来の健康医療システムである。

本報告において、健康とは、生体がストレスや感染等の外的入力に対して速やかで適切な反応・回復ができる動的状態にあることをいう<sup>38</sup>。対して、疾患発症や重症化は、生体のような健全な応答性を失った状態に陥ったこととみなせる。疾患発症やその増悪が顕在化する直前には、外的入力に対する脆弱性が高まった中間的状态が存在すると考えられるが、「健康リスク」とは生体がこの状態にある可能性を意味し、疾患毎に「徴候」の増減で推定することができる。徴候は多くの場合複数存在し、検査値などの物理量のことが多いが、精神・神経疾患の場合のように症状や行動異常を定量化したものもある。健康リスク制御システムでは、この定量化された徴候が制御対象の出力(制御量)あるいは観測量となる。

38 本報告書での定義であり、世界保健機構の定義 (<http://www.japan-who.or.jp/commodity/kenko.html>) の機能的側面と関連。



現代社会の日常生活では、生活習慣病や精神疾患といった慢性疾患のリスクや、転倒・骨折といった高齢者特有の健康リスクとして、食事・運動・睡眠といった行動要因や気分や身体症状などの症状要因を中心に、さらには社会環境まで含めた生物・心理・社会的要因が重要であると考えられている。最近、モノのインターネット<sup>39</sup>を始めとする情報通信技術の発展によりこれらリスク要因の「常時・長期かつ広範な（インテンシブな）」定量化が可能になると考えられることから、健康リスクの初期検知や初期対応・制御への期待が高まっている。また、先端的センシング技術の発展により、臨床検査値取得自体もインテンシブになりつつある。これらは欧米の医療市場を中心に発展してきた経緯があるが、世界に先駆けて超高齢化社会を迎えた我が国においても、その重要性が認識され府省が取り組みを検討している。病院の外（コミュニティ）で発症・重症化予防を行なう「医療の変容」に向けて、医学、工学、社会・人文学を集結して研究を進めることが急務である。

このような背景のもと、近年、従来の医療分野を超えてさまざまな科学技術を用いて健康リスクを予測し制御する可能性が拓けてきた。例えば、国際的に開発が進められている統合的な生体・生理モデルや経験的な行動科学モデルなどが、健康行動・状態のインテンシブなデータを取り込むことにより予測力を持ち得るようになり、疾患発症や重症化の初期対応・制御に役立つことが期待されている。また、医療・社会情報を含めたいわゆるビッグデータを対象とした統計・機械学習等によるリスク評価技術などの開発が急速に進んでおり、近い将来、大量の類似症例から予防や診断・治療に資するより高い精度の情報提供が可能になるとされる。さらに、公衆衛生の観点からは、高リスク状態の検出とその動向予測は、低リスク者の日常生活への過干渉による見守り型システムの受容性低下を防ぐ観点から、こうした技術の社会実装上も重要である。また、健康リスクの予測やシミュレーションの精度向上は、例えばコミュニティとしての健康リスク制御（医療コストを含めた最適化や政策立案）にも役立つことが期待されている。

一方、制御の観点からは、行動変容や症状の自己制御などによって生体をより健康な状態へ近づくよう誘導することが必ずしも容易ではないことが、人の習慣行動の特性に関する近年の研究により明らかにされてきた。しかしながら最近、この点においても、モバイル・インターネット技術を用いた行動科学的誘導技法の開発や生活・環境の再デザイン、行動や情動を制御する脳・神経系への低侵襲的なアプローチなど、電子情報通信技術を用いた先駆的な取り組みがなされつつあり、その科学的基盤としての習慣行動や依存、さらには精神・神経疾患の脳・神経科学の研究も急速に進展している。

以上で取り上げられた先端科学技術の多くは、JST/CRDSの平成25年度報告書「社会的期待に応える研究開発戦略の立案・未来創発型アプローチの試行」<sup>3</sup>にて「駆動力を持つ科学技術」として特定されたものである。すなわち、本報告書で提示するのは、「未来志向で新規性のある社会像を先端的な研究領域から得られつつある科学的知見や萌芽的技术等を踏まえて描く」という未来創発型アプローチによって構想された、未来の健康医療

39 Internet of Things (IoT): 一般的な情報通信機器だけでなく、世の中に存在する様々なモノに情報通信機能を持たせることにより、自動認識や自動制御、遠隔計測などを行うこと。

システムである。具体的には、健康リスクをさりげなく検知し介入のタイミングを予測、効果的な制御・誘導や社会の再デザイン等を行うことにより、個人およびコミュニティの健康リスクを急性期から慢性期までの様々な時間スケールで制御する。結果として、保健医療の質を保証しつつコストを低減させるという、先進諸国に共通する課題の解決に貢献する。

現在、電子情報通信技術を活用した健康医療システムの大規模な研究開発プロジェクトが、国内外で実施・計画されている。例えば、健康診断・レセプト・ゲノム・医療情報のデータベース化とその利活用による個別化医療の推進、モバイル通信機器による健康医療サービスの提供、コミュニティ・ヘルスケアの充実・高度化などである。これらは、未来の病院の在り方と健康・医療・福祉サービスの変容と進化へ繋がる重要なプロジェクトであるが、少子高齢化や医療費の増大など先進諸国の多くが抱える社会問題の解決を考えた際、個々のプロジェクトが相互に有機的に結合し社会実装され、医師やコメディカルなどに広く活用されることが重要であると考えられる。また、従来の医療情報に加え、疾患の発症もしくは要介護状態や機能障害の顕在化に至るまでの日常生活行動ログや日々のバイタルサインデータ等、様々な健康ステージにおける膨大な健康関連情報が蓄積・連結されることが予想される。それらの情報を活用し疾患発症や重症化のリスクの抽出とそれに基づく発症・重症化の予防・回避に資する技術開発が求められている。本報告書では、先端科学技術の開発に加え、これらのシステムが構築される未来を見据えた上で、それらの統合化、社会実装、普及・浸透のために**必要となる手段と方法論および科学的・臨床医学的エビデンスを提供する**ための研究開発の推進をまとめた。

### 【手段と方法論】

健康リスク制御システムは、図 2-2 に示すとおり、「モニタリング」、「モデリング・予測」、「制御・誘導」の 3 つの機能を持つサブシステムから構成され、とりわけ

**モニタリング**：健康行動・状態および環境情報の統合的時空間センシング、大規模・標準化データベースの構築

**モデリング・予測**：徴候（健康リスク因子・バイオマーカー）の発見・同定、発症、重症化予測・異常発見技術の開発、個別化リスク評価プラットフォームの構築

**制御・誘導**：健康行動・状態の先制的かつ効果的な制御・誘導手法、生活・環境の再デザインなどによる健康維持・増進手法の開発

への取り組みが重要である。それぞれの機能の高度化・発展に資する先端技術開発と並行し、社会実装を意識した 3 つの機能の双方向の統合化に係るシステム科学的アプローチ、および現在個別に行なわれている諸研究の参加と協調による新たな健康社会構造の構築を重視する。

### 【エビデンスの提供による実装の促進】

開発システムの社会実装・普及には、医療上のエビデンスを確立し、コミュニティにおいてその有用性を示していくことが重要である。そのためには、構築システムの最終的な社会実装の姿を描いた上での戦略的推進が必要である。

短期的（3~5年）には、先端技術の研究開発と並行して、既存技術を統合し、循環器疾患、糖尿病などの生活習慣病やうつ病などの精神疾患などの患者群あるいはハイリスク群（様々な徴候変化が観測可能であると考えられる疾患発症の高リスク群）の小・中規模集団を対象として、健康リスク制御の効果（発症や重症化の予防効果）を検証する研究の推進が求められる。これにより、構築システムの有用性・有効性に関する科学的・臨床医学的エビデンスが提示されることで、社会受容性の向上が期待できる。その際、疾患毎にリスク検知に有効かつ必要な観測変数の同定や抽出手法、個別化リスク評価・制御のための生体・生理モデルの構築に係る研究が必要となる。

中期的（5~10年）には、企業や自治体などのコミュニティレベルで、長期・先端計測、シミュレーション技術、データ科学、ネットワーク科学等を取り込み、保健医療経済的課題解決を視野に入れた最適化手法等を確立し、コミュニティなどのマクロレベルでの有用性を提示することが求められる。

短期的、中期的な社会実装例を提示していくことにより、病院・医療・社会の変容を惹起し、同時に必要となる産業・人材を育成していくことが重要となる。20年後には、こうしたリスク制御型の健康医療システムを社会に定着させる必要がある。

同時に、構築システムの社会受容性の観点から、上記と並行して、新たな科学技術の普及に伴う社会経済的影響などの倫理的・法的・社会的問題（ELSI: Ethical, Legal and Social Issues）の研究にも取り組む必要がある。その際、社会情報を含めた検証など、健康リスク制御システムのELSIを実証的に検討するような研究も求められる。また、ELSIについては、国内外の他のプロジェクトにおいても様々な取り組みがなされており、必要に応じて連携を図り検討していくことが望まれる。

### 3. 検討から見えてきた今後の方向性

これまでの検討から「2-3 検討の内容」の研究を推進する場合の効果や具体的な課題、推進方法について以下にまとめた。

#### 3-1 具体的な研究開発課題

有識者インタビューやワークショップ、および調査の結果に基づき健康リスク制御システムの構築を実現するための具体的な研究開発課題として以下にあげる課題が重要であると認識された。2-3 で記載したように、健康リスク制御システムでは、健康リスクをさりげなく検知し介入のタイミングを予測、効果的な制御・誘導や社会の再デザイン等を行うことにより、個人およびコミュニティの健康リスクを制御する。これらを実現するために必要な研究開発課題は、①モニタリング、②モデリング・予測、③制御・誘導に大別することができる（図 2-2）。構築システムの高度化・先端化に必要な個別の先端要素技術の研究開発に加え、既存技術も含めて各要素技術を双方向かつシームレスに結合するためのシステム構築技術の開発が必要である（図 3-5）。さらに、その社会実装例として、臨床医学上のエビデンスの提示や保健医療コストの最適化手法を提案する等を視野に入れた統合的な実証研究を推進する必要がある。以下、個々の先端要素技術と実証研究の具体例を記述する。

#### ■ 先端要素技術の研究開発課題

##### ① 健康リスクをさりげなく検知するためのモニタリング

##### 【要素技術 1-1】健康行動・状態、環境情報の統合的時空間センシング技術の研究開発

日常生活下における生活行動や身体症状、社会環境情報のインテンシブな計測を可能とする高度なスマートセンシング・ネットワーク技術やウェアラブル計測技術の研究開発が必要である。また、遺伝子・生理活性物質・代謝物質等のナノ・マイクロレベル（分子レベル）から神経電気活動や生体信号、社会行動等のメゾ・マクロレベル（人体組織や個人、集団レベル）における健康リスク関連情報を、低侵襲もしくは非侵襲的に取得可能な先端的センシングデバイスの研究開発が必要である。これらは、計測に伴う負担感の低減や疾患発症・重症化に関わる徴候の高精度な検出、あるいは新たな徴候の発見に寄与する重要な先端要素技術である。

<具体的な先端要素技術例>

- ・血糖値等の疾患関連生化学データを低襲撃かつ簡便に計測できる低コストバイオセンサー
- ・バイタルサインデータ等（血圧、心電図、身体活動等）の生体・生理情報の長期連続測定可能なウェアラブルデバイス
- ・簡易・迅速・高精度な遺伝子解析診断技術（SNP など）

- ・非接触/アンビエントなILD<sup>40</sup>計測を可能とするスマートセンシング・ネットワーク技術
- ・日常生活で使用可能な脳機能イメージング装置

### 【要素技術 1-2】大規模・標準化データベースの構築技術の研究開発

個人のEHR/PHR<sup>41</sup>データから日常生活行動・環境情報等に至るまでの多種多様な大規模データを保管・管理するためのデータフォーマットの標準化や暗号化・セキュリティー技術、データ共有技術の研究開発が必要である。

<具体的な先端要素技術例>

- ・ILD・ビッグデータのデータベース標準化・共有化・セキュリティー技術
- ・医療とヘルスケアの質を保証するためのデータの取得方法、安全性、秘匿性、品質管理に関する技術（特にPHRにおける非医療情報）

## ② 適切なタイミングで介入を行うためのモデリング・予測

### 【要素技術 2-1】健康リスク因子・バイオマーカーの発見・同定法の研究開発

適切な介入タイミングを検知するためには、リスク因子の同定が不可欠である。EHR/PHRデータに加え、日常生活下での健康行動・状態、社会環境を含む情報空間（ILD・ビッグデータ）から、健康リスク評価に有効な生物・心理・社会因子を同定するためのデータマイニング技術の研究開発が必要である。疾患毎に、遺伝、生活行動、環境要因の交互効果も踏まえた多角的・多面的なリスク評価法の確立も重要となると考えられる。また、疾患依存のおよび介入の目的依存的に、リスクの変動・評価の時間スケールが異なる。長期に渡る行動や健康状態の変化と、短期的に発生する重篤で非可逆的な健康リスクイベント（心臓血管系発作や転倒等）の双方を評価するためには、健康リスク因子を階層的（マルチ時間スケール）に捉える視点が重要になる。一方、探索的・発見的に同定された健康リスク因子の生物学的意味・基盤を明らかにするためには、ヒト疾患動物モデルの構築とそれを用いた検証が有効である。動物モデルの活用は、リスク因子候補の絞り込みや「要素技術 2-2」での生体・生理モデルの精緻化、「要素技術 3-1」での誘導・制御手法の開発にも有用であると考えられる。

<具体的な先端要素技術例>

- ・センサーデータの分析と融合、パターン発掘・認識、行動の特徴抽出、データ可視化手法
- ・Deep learning や Cognitive computing 等の機械学習や統計モデリングによる健康リスク因子同定技術（短時間予測子的リスク因子と中長期的予測子的リスク因子の開発）
- ・「未病」から「病気」への移行を示すヒト疾患動物モデルの開発による生体・生理・行動マーカーの発見
- ・インテンシブなネットワーク空間における健康リスク情報の抽出手法

40 Intensive Longitudinal Data: 計測・情報通信技術の進展により可能となった行動・心理・生理等の超長期縦断計測データ

41 Electronic Health Record: 個人そして患者に関する医療情報（電子カルテ等）共有のためのICTの仕組み。Personal Health Record: 個人の生活の質の維持や向上を目的として健康医療情報を蓄積し自ら管理できる仕組み。

## 【要素技術 2-2】発症予測・異常発見技術の研究開発

定量化されたリスクに基づき疾患発症・重症化等の将来の動向予測技術が必要である。近年、疾患発症を含む生体现象の数理モデル化（生体・生理システムにおける機能発現メカニズムの定量的数理モデル化）の研究が発展してきた。例えば、糖尿病の発症メカニズムに関する生物学的研究の進展により、それら先端的知見を取り入れた詳細でリアルスティックな数理モデルの構築が可能となってきた。また、このような数理モデルと観測データとの融合により確度の高い未来の動向予測が可能となってきた。これらの先端技術を活用することにより、個人・集団の疾患発症や健康被害の顕在化等の予測やシミュレーションが可能になると期待される。「要素技術 2-1」で同定されたリスク因子を含む（徴候を再現可能な）数理モデルを生理学的知見・統計的因果関係に基づき構築し、個人・集団の健康行動・状態、社会環境等の計測データと融合することにより、将来動向を予測する技術の研究開発が必要である。モデル構築を通して、疾患毎にリスク評価（状態観測）に必要な不可欠な計測変数や制御可能な生体変数の同定等、発症・重症化の予測・制御に繋がるシステム工学的理解が必要となる。一方、疾患発症や健康被害が顕在化する直前の徴候、すなわちリスク因子の動的時間変化の特徴をマルチ時間スケールで捉えるアプローチも異常状態の検知に有用であると考えられる（「コラム 1: 動的疾患」も参照）。

<具体的な先端要素技術例>

- ・肥満や糖尿病等の発症過程を再現可能な詳細かつリアルスティックな多階層モデル
- ・食事・活動データに基づくフレイル・転倒等の老化顕在化評価モデル
- ・観測データと生理・行動の数理モデルとの融合技術（データ同化等）
- ・行動異常に基づく精神疾患・認知症の発症予測技術
- ・日常生活で使用可能な脳機能イメージングを用いた簡便な精神疾患・認知症の発症予測技術
- ・健康状態から疾病状態への変容（臨界現象発生）、さらには重篤イベントへの遷移が予測可能なマルチ時間スケールな数理モデル構築・解析技術

## 【要素技術 2-3】健康リスク評価プラットフォームの構築

将来動向予測技術に基づく個人・集団の疾患発症・回避率等に加え、企業・自治体等のコミュニティレベルでの保健医療経済的効果等のコストが同時にシミュレーション可能なプラットフォームの構築が必要である。下記「実証研究」によって蓄積されるエビデンス等を取り入れることによって、これらの最適化解の導出に資するシミュレーター等を提供することが可能になると期待される。そのためには、個々のユーザによる自身の健康データ登録（記録）と解析結果に対する高頻度なアクセスを促進する仕組みの開発も重要である。

<具体的な先端要素技術例>

- ・蓄積された大規模集団データに基づく個人および特定集団の健康リスク評価手法
- ・企業の健康事業推進と健康組合医療費の最適化手法
- ・自治体の健康増進施策の効果の予測技術
- ・個々のユーザによる健康データ登録（記録）と解析結果に対する高頻度なアクセスを促進する仕組みの開発

### ③ エビデンスに基づく効果的な制御・誘導

#### 【要素技術 3-1】健康行動・状態の先制的かつ効果的な誘導手法の研究開発

心身を健康な状態へ誘導する手法として、認知・行動への介入、生体信号の感覚系へのフィードバック、薬剤投与、神経・脳部位の電気刺激というように幾つかのレベルが考えられる。いずれもこれまでも行われてきている手法であるが、客観的エビデンスに基づくものは一部に止まり、さらには副作用のリスクの見積もりが困難である場合も多いと考えられる。そこで、各レベルにおける誘導手法を、定量的なデータ取得とその先端的な解析、およびそれらに基づくモデルを用いて効果的に実施できるようにしていくための研究開発が必要となる。

<具体的な先端要素技術例>

- ・生理機構を踏まえた行動の計算論モデルに基づく認知・行動療法
- ・脳・生体信号の処理を経た巧妙なフィードバックによる認知・行動の誘導手法や標的臓器の制御手法
- ・作用機序の数理モデルに基づく先制的・効果的な薬剤投与方法・スケジュール
- ・脳神経回路機構を踏まえた低侵襲の脳・神経刺激による認知・行動の誘導手法

#### 【要素技術 3-2】生活・環境の再デザイン等による健康維持・増進手法の研究開発

上記「要素技術 3-1」が個人の行動・生理システムへの介入技術であるのに対し、人工環境や社会環境を変化させることによっても、個人・集団の健康リスクの制御や健康行動の誘発・誘導が可能である。これは、健康リスクに影響を及ぼしている心理・社会的要因を主として制御することに相当するが、特に、生活行動やコミュニティ内での人とのつながりなど、日常生活に深く埋め込まれた要因が健康リスクに多大な影響を及ぼすことが、近年明らかになりつつある。そこで、例えば行動科学（行動経済学、行動医学など）の知見に基づき、先制的に生活や環境の変化を促しリスク低減を図る情報通信技術の研究開発が必要となる（「コラム 2: 選択と行動誘導」も参照）。

<具体的な先端要素技術例>

- ・携帯型 BMI 等を用いた人工環境調整システム
- ・快適な生活と良質の睡眠を誘発する室内環境制御システム
- ・日常生活行動の分類と健康リスク可視化に基づく「生活の再デザイン」プラットフォーム
- ・心理・社会的要因への介入における JITAI<sup>42</sup> の基盤技術
- ・社会的ネットワークの定量的理解に基づく Aging-in-Place に適したコミュニティ構築手法

42 Just in Time Adaptive Intervention: 情報端末等を用いて日常生活下で行動の誘導、効果的な情報の提示や治療指示を必要な時だけ行う技術。

■ 統合的実証研究のための研究開発課題

3-2 で述べるように、本報告書では、先端要素技術の研究開発と並行して、構築システムの社会実装・普及を視野に入れた実証研究を同時に推進することを提示する。最終的には、上記の先端技術が取り込まれたリスク制御型健康医療システムの樹立が望ましいが、短期的（3~5年）、中期的（5~10年）研究開発では、その時点での最新要素技術および既存要素技術を組み合わせることによって、健康リスク制御システムの臨床医学上のエビデンスやコミュニティでの有用性を提示していく。以下は、課題例である。

【実証研究1】社会実装のための統合的実証研究

< 短期的：具体的な実証研究課題例<sup>43</sup> >

- ・ 糖尿病ハイリスク群を対象とした日常生活行動のILD計測と先制的生活誘導法の開発 (図3-1)

糖尿病ハイリスク群（あるいは患者群）を対象とした小規模コホート研究。モバイル機器を活用した日常生活での食事・運動等のILD計測、高頻度な血糖値モニタリング・定期健診を実施。機械学習や統計モデルによる日常生活行動と臨床医学的評価指標との相関、発症リスクの増減等のモデル化。リスク要因と成り得る生活習慣の改善を目指した認知行動療法を実施し、介入タイミングや介入手段の影響等を検証する実証研究。一方、糖代謝・インスリン分泌制御の生理学的知見を取り入れた数理モデルと計測データの融合モデルの構築、それによる発症リスクの推定等に関する研究開発。

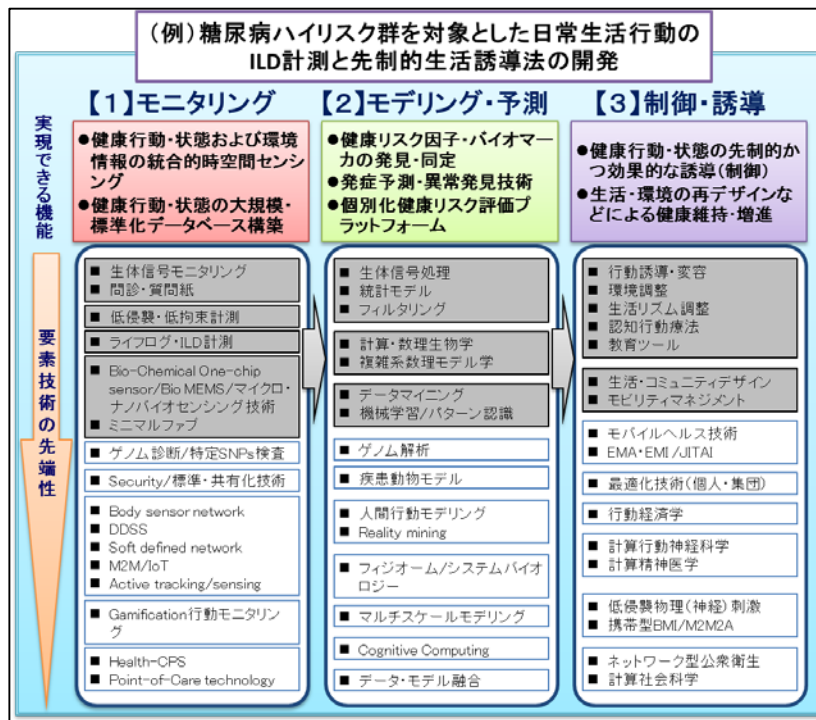


図 3-1 短期的な実証課題例

43 以下、課題例に含まれる実施内容もあくまでも一例である。



#### ・日常行動データに基づく認知症発症予測

認知症発症リスクが高い高齢者を対象とした実証研究。スマートセンサーネットワークによる家庭内行動ログ（活動量や電化製品の使用ログ、通話・音声記録等）の取得。「モノ」の使用状況・パターンや家庭内での活動パターン等の日常生活情報から認知症発症リスク評価に有効な因子を同定。地域コミュニティへの参加誘導等の生活様式の再デザイン等による発症回避効果の検証等。

#### ・その他、疾病（肥満、循環器疾患、睡眠障害、うつ病等）の患者群、ハイリスク群に焦点を絞った実証研究

<中期的：具体的な実証研究課題例>

#### ・個人の健康とコストバランスを考えた健康経営戦略および健康増進施策

企業や自治体単位における健康維持・増進の取り組みの成果とそのコストとのバランスを評価する大規模な実証研究。日常生活のバイタルサインデータや行動情報を取得・管理可能な環境の構築、定期的な運動・喫煙・食生活の改善等の健康増進運動の取り組みの実施等による個人の健康維持・増進への影響や、インセンティブ付加がコンプライアンスに与える影響、企業レベルでは業務上のパフォーマンス等も含め、健康経営・健康関連施策に関する費用対効果の多面的・多角的評価を可能とするエビデンスを蓄積する実証研究。

#### ・社会実装を視野に入れた大規模コホート研究

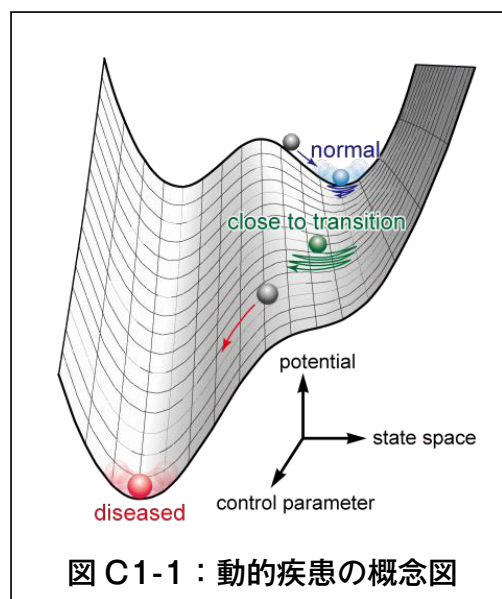
短期的研究開発課題を企業・自治体レベルに発展させた健常人を含む大規模な実証研究。患者群、ハイリスク群を対象とした研究と比較し、取得可能なデータの種類や頻度も限られると考えられる。小・中規模実証研究で同定された疾患毎のリスク因子に関連するデータを中心に取得。構築数理モデルの予測精度の向上やコホート研究によるエビデンスの提示を目的とする。

### ■ ELSI 研究課題

健康リスク制御システムの ELSI のうち倫理的課題・法的課題については 3-3 で触れる。一方、社会実装の観点からは、これらの課題と社会経済的影響等との関係を実証的に検討していく必要がある。具体的には、短期的・中期的（特に後者）に行われる上記実証研究の中に、健康医療データの把握やモニタリング活動の scope を拡大し、各人の生活習慣、就労状況、収入、教育、支出等の消費行動といった個人毎の社会情報やシステムの受容性や効用、福利までカバーしたコホート研究を経済学者等の参画を得て行う、といった課題も含めることを検討する。

## コラム 1: 動的疾患

動的非線形システムの状態あるいはその適切な統計量が一定に保たれているとき、システムは動的定常状態<sup>44</sup>にあるという。この状態では、物質・エネルギーや情報が絶え間なく流入・流出しているにもかかわらず、「全体として」両者がバランスする。心臓拍動は洞房結節ペースメーカー細胞群の周期的な興奮<sup>45</sup>に駆動される心筋組織の動態であるが、その基本的特性は、動的定常状態のひとつであるリミットサイクルアトラクタ<sup>46</sup>を有する非線形振動子として数理モデル化される。例えば、致死性不整脈である心室細動は、リミットサイクルが不安定化し、複雑な動態を示すカオスアトラクタに変容した状態であることが明らかにされている。心拍動は、交感神経（興奮作用）と副交感神経（抑制作用）の制御を受けており、両者の強度とバランスに依存した拍動周期の変動が、心拍揺らぎとして観測される。心拍揺らぎにもまた複雑系の諸性質が観察されることが知られており、自律神経系を含む心循環系の動的定常状態は、古典的レギュレータ等とは異なる非線形制御によって達成されていることを示唆している。加齢や健康状態に依存した心拍揺らぎ特性の変化から、自律神経支配の強度やバランス、あるいは心機能の制御に関わるシステムパラメータ値の変化を定量的に捉えようとする試みは、生体に関わる非線形物理学の先端的研究課題のひとつである。「動的疾患」は、種々の疾患の重症度や発症の兆しを類似の視点から定量的に捉える試みの中核的概念である（図 C1-1）。動的疾患は、生体システムのパラメータ変化に伴う動態の質的変容（分岐現象）で特徴付けられる。変容が発生する臨界点付近では、しばしば、状態の揺らぎ（観測生体信号の揺らぎ）の分布や時間構造に複雑で特徴的な変化が現れる（例えば長周期揺らぎの増大）。健康状態に対応するアトラクタの U 字型ポテンシャルの形状や臨界点付近でのその変化は疾患発症や重症化を予測する重要な情報を提供すると考えられ、近年では、大規模データとの融合により、本報告書で提案するように疾患の各ステージに応じてそれらの詳細な特徴抽出が可能となることが期待される。システムパラメータの臨界点への接近に鋭敏な状態指標（動的バイオマーカー<sup>47</sup>）の探索は、健康リスク制御システム開発のキーテクノロジーである。



44 ここでの「定常」は、確率過程の定常性とは必ずしも同一ではない。

45 細胞膜内外の電位差の一過性の上昇・下降を活動電位あるいは膜の電気的興奮と呼ぶ。活動電位は、細胞膜上の種々のイオンチャネル蛋白質の構造変化によるイオンの流入・流出が動的にアンバランスすることによって生成される。これは細胞レベル・臓器レベルの動態の基盤としての蛋白質レベルの動態である。

46 Limit cycle attractor とは、非線形微分方程式の孤立周期解で、システムの状態空間で閉軌道となる。安定なリミットサイクルの周辺の状態点は、時間とともにリミットサイクルに吸引 (attract) される。

47 L. Chen, R. Liu, Z.-P. Liu, M. Li, and K. Aihara: "Detecting Early-warning Signals for Sudden Deterioration of Complex Diseases by Dynamical Network Biomarkers," Scientific Reports, Vol.2, Article No.342, pp.1-8 (2012)

コラム 2: 選択と行動誘導

結果的に全く同じ行動を取るとしても、それを自ら選んで行うのと、強制されて行うのでは、人は前者を好むということが、様々な心理実験の結果から示唆されてきた。昨年報告された研究<sup>48</sup>で、人がそのように自由選択を好むことが、より厳密に交絡要因を排除するようにデザインされた実験においても確かめられた(図 C2-1)。その研究では、そうしたバイアスは行動が損失よりも利得につながる確率が高い場合に現れること、さらに、脳内の神経修飾物質ドーパミン(その放出量が、得られた価値の、予測からの誤差を表すと考えられている)を介した情報伝達に関わるタンパク質の遺伝子の個人差(多型)によってバイアスのパターンが異なることが新たに見出された。そして、それらの特徴から、神経回路の数理モデルの動作解析も踏まえて、人が自由選択を好むのは、選択を行う際にドーパミンを放出する神経細胞に大きな影響を及ぼす大脳基底核の神経回路が活動することでドーパミンの放出が促進され、それにより予測誤差信号が増幅されて、選んだ行動の価値の見積もりが上積みされることに依っている可能性(図 C2-2)が提案された。このように、人が自由選択を好むという性質についてその条件や特徴が明らかとなり、さらにはメカニズムの部分にまで研究が及んできたため、今後それを、多くの人に健康のための行動を好んで取ってもらうための方略に活かしていけるようになることが期待される。ただし、メカニズムについては、まだ複数の可能性の一つというような段階であり<sup>49</sup>、今後多方面からの研究を行い絞っていく必要がある。また実は、上で述べた研究とは逆に、選択肢が多過ぎるほどある時など、人はむしろ選択肢が少ない方を好む場合もあることを示唆する実験研究<sup>50</sup>もある。そのため、様々な条件における選択の自由の影響の詳しい検討・解析をさらに進め、効果的な方略を探っていくことが必要だと考えられる。

図 C2-1

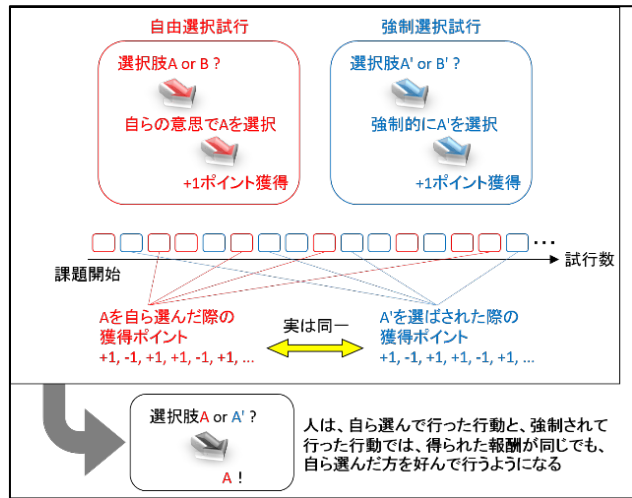
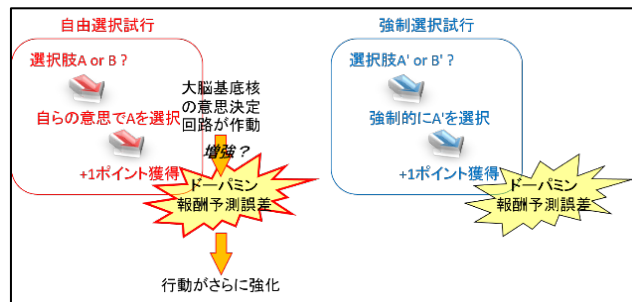


図 C2-2



3  
検討から見えてきた今後の方向性

48 Cockburn et al., 2014, Neuron 83:551

49 Niv et al., 2015, Trends Cogn Sci 19:4 (上記論文の紹介・解説記事)

50 Iengar & Lepper, 2000, J Pers Soc Psychol 79:995、シーナ アイエンガー (著)、櫻井 祐子 (訳)「選択の科学」(文藝春秋)

### 3-2 研究開発の推進

研究開発推進の方向性については、①研究レベルでの科学的・臨床医学的エビデンスの確立、②実証実験などを通じたコミュニティでの有用性の提示、③先端要素技術の開発、を並行して実施することが望ましい。短期的、中期的に社会実装例を提示していくことにより、病院・医療・社会の変容を引き起こし、同時に必要となる産業・人材育成を行う必要がある（図 3-2）。エビデンス確立や実証実験では、技術面に加え、人文科学者や経済学者なども交え、ELSI 面を同時に検討する。ELSI については、国内外の他のプロジェクトにおいても様々な取り組みがなされており、必要に応じて連携を図っていくことが必要である。最終目標は、20 年後に、先端技術を統合したシステムの社会実装・普及が進み、「リスク制御型健康医療システム」が確立していることである。

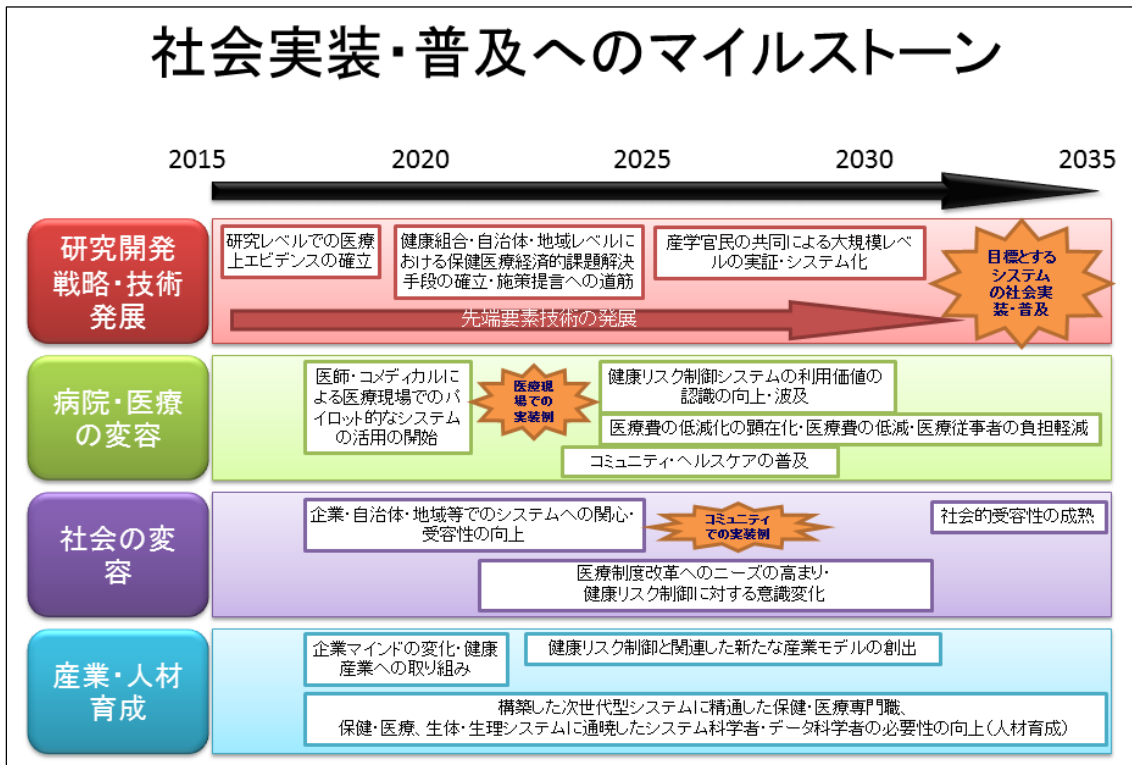


図 3-2 健康リスク制御システムの社会実装・普及へ向けた戦略推進方法の案

#### (a) 研究開発戦略：短期的（3～5年）成果

先端要素技術の開発と並行して、既存技術を統合したシステムを構築、生活習慣病や精神疾患の患者群、ハイリスク群の小・中規模集団を対象とした健康リスク制御の効果を検証する研究の推進が求められている。その際、疾患ごとのリスク検知に有効かつ必要な観測変数の同定や抽出手法、個別化リスク評価・制御のための生体・生理モデルの構築に係る研究が必要となる。これにより、発症リスク予測・行動誘導など、構築システムの有用性・有効性に関する科学的・臨床医学的エビデンスを確立、社会受容性の向上を目指す必要がある。

### (b) 研究開発戦略：中期的（5～10年）成果

企業や自治体、地域などのコミュニティレベルで、先端計測技術を活用して、データを長期的に蓄積、さらに、このデータを活用するためのビッグデータ技術やデータ分析技術、ネットワーク技術などの先端技術を取り入れたシステムを構築、検証し、社会受容性の向上とシステムの普及を目指す。また、①オープンイノベーションなどでの活用、②企業の健康経営・自治体の医療費削減など保健医療の経済的課題への取り組みを視野に入れた最適化手法の開発、など社会経済的展開のための仕組みの確立に向けた取り組みが必要である。

## 3-3 ELSI、社会制度

### (a) ELSI

健康リスク制御システムは、第一義的には自己制御のための補助システムである。自己制御は既にセルフメディケーションなどの形で行われており、その手法、効果などが科学的な研究対象となると考えられる。その上で、臨床医学的エビデンスの提示を狙った実証研究等は、現行の「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に沿って実施される。

一方、社会に対してデータや予測が提供されると、「健康寿命の延伸、持続的社会保障制度の形成」、「病院からコミュニティ・ヘルスケアへの移行」、「データ中心科学によるリスク推定精度の向上」、「健康リスク制御に関わる産業の発展・進展」など様々な主効果とともに、例えば、「リスクの不可知性ゆえの、平等に基づく公的社会保障制度への影響」、「医療サイドからみたヘルスケアの質保証」、「個人の健康情報のビッグデータ化に関わる ELSI」といった副次的効果が現れ、「人の尊厳」、さらには「不健康の自由」を前提としつつどこまで主効果を高めることが可能かといった公衆衛生上の倫理問題も発生する可能性がある。これらの問題を、インフォームド・コンセントに基づく医療の問題として扱うか、ユーザの完全な自己決定に委ねるか、あるいはその中間として、リバタリアン・パターナリズム<sup>51</sup>のように福利に資する誘因についてのみ行動科学に基づいた緩やかな誘導を行うかといった点も含め、バランスの取れた社会実装方法を実証的に見出していく必要がある。

また一方で、科学的・臨床医学的エビデンスの蓄積に伴い、より良い QOL に向けて自己啓発・自己選択・自己誘導を行う文化が醸成される可能性があり、別の形での普及も考えられる。文化の醸成のひとつの事例として、米国カリフォルニア州シリコンバレーから始まった新しいムーブメントである Quantified Self (QS) がある<sup>52</sup>。コンピュータや各種のガジェットなどを用いて、人間の行動や状態を定量的に観測し、新たな知見を得ていく方法であり、ユーザの健康状態や行動をトラッキングするツールやソフトウェアの開発者と、それを使って自分の問題解決を図り、新たな発見を得るユーザがコラボレートして進めている。また、ミートアップと称して、このような活動を行っている者同士が、ローカルでミーティングを重ね、各個人の問題意識やアプローチ、データや分析を紹介し、意見交換を行っている。各個人が健康に対する意識を高め、行動変容を行う文化を醸成してい

51 Thaler, R. H. and C. R. Sunstein. Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness. Yale University Press, 2008.

52 Quantified Self Tokyo  
<http://qs-tokyo.com/>

く動きのひとつである。近年では、この QS をより積極的に取り込んだヘルスケアシステムの研究開発が開始されつつある<sup>53</sup>。

### (b) 社会制度

我が国では、2003年に個人情報保護法を含む個人情報保護関連5法が制定された。最近では、2013年からIT総合戦略本部の「パーソナルデータに関する検討会」が中心になって<sup>54</sup>、個人情報保護法の改正に向けた議論が行われている。

ビッグデータのプライバシーに関する課題については、主として、以下のような観点から議論がなされている<sup>55</sup>。

第一に、パーソナルデータを取得する際の本人同意が形骸化しており、いかにして分かり易い表示・説明をし、実質的な本人同意を実現するか、ということである。多くの場合、プライバシーポリシーは、長文で難解な文章になっているため、多くの消費者が中身を全く読まずに盲目的に同意してしまっているというのが実態になっており、本人同意が形骸化している。この問題については、我が国でも経済産業省などによって様々な取り組み<sup>56</sup>がなされている。

第二に、ビッグデータに含まれるパーソナルデータを匿名化することによって利活用を図りたいという要望とプライバシー保護の要請をいかにして調和させるか、ということである。この点については、我が国では、「パーソナルデータに関する検討会」などで議論されてきた。これらの報告書でも匿名化技術についての記述があるが、再特定技術が発達してきているため完全な匿名化が難しいことにも触れられている。

なお、ビッグデータの利用については、上記二つの課題のほかにも、いわゆるプロファイリングの問題も指摘されている。2013年のデータ保護プライバシーコミッショナー国際会議では、プロファイリングを実施する際の条件を定めた「プロファイリングに関する決議」が採択された<sup>57</sup>。また、EUの一般データ保護規則案でも、プロファイリングを規制する条文が盛り込まれている。

社会制度については、まだ課題も多く、今後、改正に向けた様々な議論が進んでいくと思われる。このような関連する法律や制度の改正の動向なども汲みいれて、本システムの社会実装に向けた研究を推進していく必要がある。

## 3-4 推進体制

健康リスク制御システムはカバーする研究領域が広く、また未来創発型アプローチによるものであり、必然的に挑戦的な課題を多く含むため、最低でも10年間にわたる継続的

53 IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 関連情報  
<http://jbhi.embs.org/special-issues/sensor-informatics-quantified-self/>

54 パーソナルデータに関する検討会 (<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/pd/index.html>)

55 村上康二郎：ビッグデータ時代におけるプライバシー・個人情報の保護と法的問題点（ビッグデータ・マネジメント，2014，269-279所収）

56 パーソナルデータ利活用の基盤となる消費者と事業者の信頼関係の構築に向けて  
<http://www.meti.go.jp/press/2013/05/20130510002/20130510002-2.pdf>

57 Resolution on Profiling, adopted on 24 Sep. 2013  
<https://privacyconference2013.org/web/pageFiles/kcfinder/files/2.%20Profiling%20resolution%20EN%281%29.pdf>

な研究開発が必要である。研究開発が途切れないように継続的なファンディングを促す戦略提言、国内外の研究コミュニティ定着化のための学会活動活性化、産業界や実社会に価値を認知してもらうための社会実装の促進を行うことが重要である。同時に、欧米ではほぼ同時にスタートする Horizon2020 (PHC)<sup>19</sup>等のプロジェクトや COI<sup>5</sup>等の国内プロジェクトとの連携を図り、共同主催国際会議を開催、国際共同研究、国際的学会誌の発行などの国際連携を推進することが重要である。

また、参画する研究者個人の「複数分野にまたがる学際領域研究の遂行と方法論」に関する意識の改革、向上を促すよう、他分野の研究者との交流ができる環境を整備し、意図的に交流の機会を提供する配慮が求められる。特に、システム科学技術に精通した保健・医療専門職（医師、コメディカル）、保健・医療、生体・生理システムに通暁したシステム科学者やデータ科学者は、米国 PCAST 報告<sup>18</sup>を見るまでもなく、両者ともその育成が国際的に強く求められている。これらの人材のキャリアパスの開発に向けた成功例の呈示や評価システムの確立を行なうことが必要である。さらには、将来的に本研究開発領域を支えるであろう人材の育成においては、大学の学部教育の段階など、できるだけ早期からライフサイエンス・臨床医学とシステム・データ科学の複数分野にまたがる専門性を備えた人材を育成する仕組みを作り上げることも重要である。

### 3-5 研究開発の効果

2-3 で示した健康リスク制御システムの構築は、以下に記載するような効果が最大限になるように研究開発を進める必要があり、また、効果の可視化や検証も研究開発の推進と合わせて進める必要がある。以下、研究開発の効果をまとめた。

#### (a) 医療・病院の変容

疾患発症や重症化に至る、特に初期の過程を制御することにより、慢性疾患の発症や重症化、合併症発症の回避が可能となり、医療費の抑制・削減や、高齢者の場合は健康寿命の延伸につながる（「コラム 3: 経済効果」、「コラム 4: 重症化防止」も参照）。また、研究開発の成果として保健・医療に関わる専門職へ支援ツールを提供することにより、例えば、地方で医師不足の状況で奮闘しているこれらの人々の負担軽減が可能となる。

2-1 (a) Aging-in-Place の必要性で述べた通り、現在の医療システムの持続性は脆弱であり、超高齢社会のなかで医療・病院の変容が求められている。特に、病院が社会、とりわけ地域社会の中でどういうあり方ができるのかを考える必要がある。その一つとして、病院診療から在宅医療、高齢有病者の重症化予防を含むコミュニティ・ヘルスケアへと、医療ニーズのシフトに対応することが求められている（図 3-5）。本報告書において、先端技術の可能性から発想される近未来のヘルスケアの姿（健康リスク制御システム）をデザインし、システム構築技術により新旧の要素技術の統合化を推進することにより、このような医療・病院の変容を科学技術の側面から後押しすることができる。さらには、システム科学・データ科学に基づく新規かつ包括的な保健・医療・福祉戦略（reactive から preventive/proactive なヘルスケアへ）の提案を誘発し、その実証を可能とする。

**(b) 人材育成**

地域医療では、各種専門医を配置することが困難なため、医療を広範に診ることが出来る総合診療医のトレーニングが重要とされている。これに加えて、システム科学技術のツールに精通した保健・医療専門職（医師、コメディカル）の育成が必要となる。文部科学省の未来医療研究人材養成拠点形成事業<sup>58</sup>では、「リサーチ・マインドを持った総合診療医の養成」を掲げて15大学が取り組みを進めている。その中で、例えば名古屋市立大学（名古屋学院大学、名古屋工業大学）を拠点とする「地域と育む未来医療人「なごやかモデル」」<sup>59</sup>でも、医工連携のもと病院との連携や地域住民との交流を進めることの出来る実践的な人材（医師）を育成する試みがなされている。

一方、保健・医療、生体・生理システムに通暁したシステム科学者やデータ科学者の育成も急務である。現在、我が国の大学の工学教育では、欧米のような「バイオメディカルエンジニアリング」に特化した教育を行う組織が少ない。このため生物学や医療に詳しい情報通信技術者が育っていない。現在、健康医療分野では、情報通信技術を利用した医療情報収集やネットワーク形成が進められつつあるが、多額な予算が投じられてもその拡張性や持続性に問題があり、保守、維持にも人材や資金が必要な状況にある。結果として、予算措置が終わると得られたデータが十分に活用出来ていない場合が多く、技術系人材不足はその主因の一つとなっている。

このように、システム科学技術に精通した保健・医療専門職と、保健・医療、生体・生理システムに通暁したシステム科学者やデータ科学者の両面からの人材育成が急務である。健康リスク制御システムを構築する研究を進めるなかで、このような人材育成が可能となる。

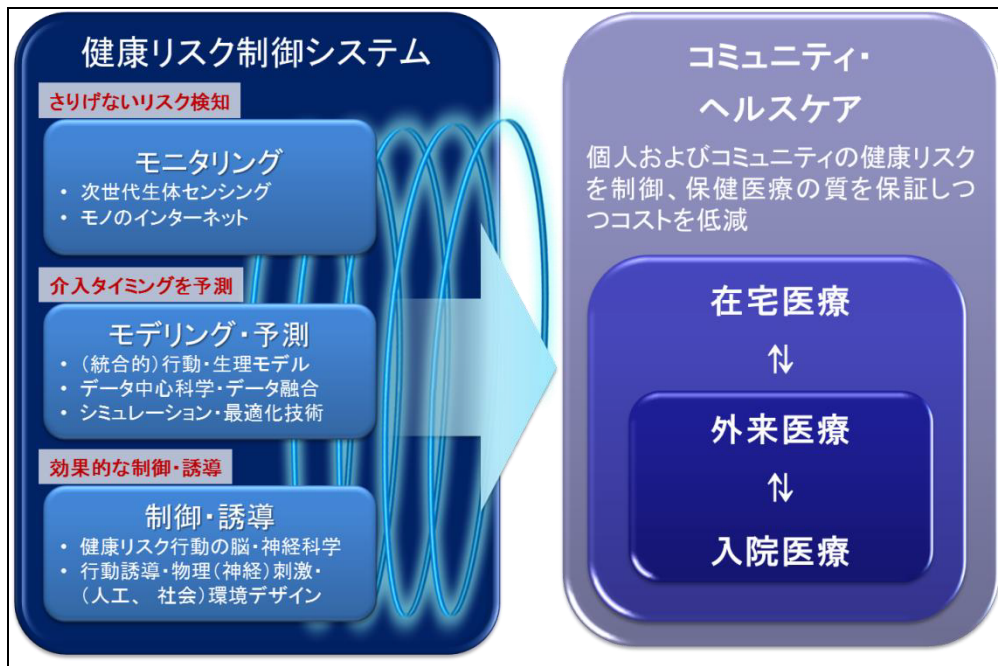


図 3-5 医療・病院の変容デザイン

58 文部科学省 未来医療研究人材拠点形成事業 [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/kaikaku/1332981.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kaikaku/1332981.htm)

59 「なごやかモデル」拠点HP <https://nagoyaka-model.jp/>



### (c) 産業への効果

産業界において、モバイルヘルス事業の動きはすでに始まっている。Apple やソフトバンクのような情報通信メーカーがウェアラブル端末を販売し、センシングしたビックデータを活用した健康産業を推進する動きがみられる。我が国の COI（文科省、JST）<sup>5</sup>においても、企業と大学の連携により、さらなる革新的な技術開発が進められている。これらに加え、本報告書の特徴であるモデリング、シミュレーション、制御・誘導技術（いわば活用手法）の研究開発が進めば、各種デバイス・サービス等の普及も促進され、そのことによる産業効果が期待できる。また、このような個々のデバイス・サービスの普及による産業効果だけでなく、本研究開発は健康経営戦略への展開も可能であり、そこには生産性や企業価値向上といった幅広い産業効果も含まれる。

### (d) 科学技術上の効果

本報告書のドライビングフォースとなるシーズ研究を進めることで、例えば、習慣行動や依存、さらには精神・神経疾患を解明するための脳・神経科学研究（「コラム 2: 選択と行動誘導」も参照）や、生体・生理モデリングを用いた動的定常性制御システムの研究（「コラム 1: 動的疾患」も参照）などの推進が図られる。

また、現在我が国で行われている複数の疫学コホート研究（遺伝・環境要因に焦点を絞った研究が多い）を補う形でインテンシブな行動モニタリングデータが得られ、遺伝・行動・環境の相互作用を考慮した慢性疾患のリスク要因に関する臨床研究・疫学研究の推進につながるとともに、システム科学・データ科学による新たな医工連携分野として、情報通信・ネットワーク型の公衆衛生研究の創出が期待できる。

### コラム 3: 経済効果

現行の医療システムにおいて、健康者数の増加は経済的にプラスではないという見方もある。病院に行く人数が減れば、病院の収入が減り、医薬品等への個人支出が減る。この部分だけを見れば、経済効果はマイナスである。一方、健康寿命の延伸は、社会システム全体を見ると、大きな経済効果がある。例えば 2009 年の自殺・うつによる社会的損失は、約 2 兆 6782 億円と推計されている<sup>60</sup>。同様に糖尿病<sup>61</sup>や高血圧症、脂質異常症などの生活習慣病についても同様の算出が可能である。これらの損失を減じる動きが一般的になれば、損失を減らせるだけでなく、生活改善のためのジム・その他のスポーツ産業、サプリメント・健康食品・有機食品産業の拡大という産業活性効果が期待できる。さらに、健康診断・モニタリングビジネス、メンタルヘルスビジネス等の新たなニーズ・市場の拡大も考えられる。また、人口の大きな割合を占める高齢者が、健康で社会との関係を保つことができれば、その経済効果も大きい。就労期間の延伸による所得の増加や、日常生活活性化に伴う消費の拡大が考えられる。例えば、内閣府の経済財政報告<sup>62</sup>によると、65 歳以上の者が優先的にお金を使いたいと考えているものの割合が大きい項目は、1 位の「健康維持や医療・介護」に次いで 2 位に「旅行」があげられている。このように、二次的なものを含めて経済効果が期待できる。

また、現在の財政赤字が削減できないのは、高齢化による社会保障・医療費の増加があり、その赤字部分が国債発行によりまかなわれている現状を鑑みると、この社会保障・医療費を現世代で健康医療システムの変革により削減する効果があれば、世代間の税負担の平準化に役立ち、世代間の負担の公平化をもたすことが期待できる。

ただし、平均寿命と健康寿命の差を縮めることで国全体の医療費・介護費が削減できるとの推定<sup>63</sup>が出されている一方で、従業員のヘルスケアを社内の取組みとして導入したことにより、血圧などで異常値が見つかり、受診者数が増えたため、返って医療費が増えたという事例もある。長期的にみれば、将来の大きな疾患を防ぎ医療費を削減できることになるかもしれないが、結果を検証するには時間を要する。

健康リスク制御システムの構築とその研究開発においては、設計段階および開発過程において、システム全体を考慮し長期的に見た経済効果を、その都度評価検証して進めるべきである。

60 国立社会保障・人口問題研究所社会保障基礎理論研究部 金子能宏・佐藤格  
自殺・うつ対策の経済的便益（自殺・うつによる社会的損失）の推計  
<http://www.mhlw.go.jp/stf2/shingi2/2r9852000000sh9m-att/2r9852000000shd1.pdf>

61 調査資料-227 健康長寿の実現に向けた疾病の予知予防・診断・治療技術の俯瞰 - 生活習慣病（2 型糖尿病）を対象として -  
<http://www.nistep.go.jp/archives/16786>

62 内閣府平成 26 年度年次経済財政報告 第 3-3-5 図高齢者を取り巻く環境と対応  
[http://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je14/h05\\_hz030305.htm](http://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je14/h05_hz030305.htm)

63 日本公衆衛生雑誌 2014;61(11):679-685. doi:10.11236/jph.61.11\_679  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jph/61/11/61\\_14-041/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jph/61/11/61_14-041/_pdf)

### コラム 4: 重症化防止

疾患発症後の重症化、合併症併発、およびその防止による効果に関して、糖尿病性腎症の例を紹介する。

糖尿病は発症しても初期には自覚症状はあまり出ないが、重症化予防のための血糖コントロール等の処置を行わず放置しておく、3大合併症（糖尿病性神経障害、糖尿病性網膜症、糖尿病性腎症）をはじめとする様々な障害を全身に引き起こす。3大合併症の1つ糖尿病性腎症は、糖尿病患者の約3人に1人が発症している<sup>64</sup>。適切な治療を受けず放置すると腎機能が低下し続け、やがて、腎機能が正常の30%以下に低下し腎不全と呼ばれる状態に進行する。わが国では現在、透析導入の原因となる疾患で最も多いのが糖尿病であり、年間1万人以上が新たに、糖尿病性腎症の結果透析導入となっており、その総数は10万人以上になっている<sup>65</sup>。

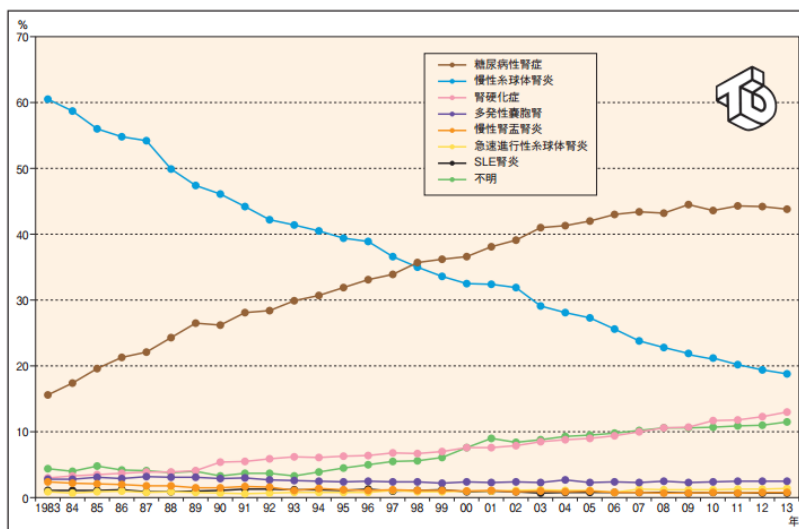


図 C4-1: 透析導入患者の主要原疾患の割合推移

(出典：日本透析医学会「図説 わが国の慢性透析療法の現況」)

糖尿病性腎症の結果、透析が必要となった場合、患者のQOLを著しく下げるだけでなく、1人あたり年間およそ500万円の医療費がかかり、医療費を一気に押し上げる（透析導入前に比べ、十数倍～二十数倍の医療費）<sup>66</sup>。糖尿病それ自体の発症予防（1次予防）だけでなく、糖尿病発症後の2次予防、3次予防による重症化抑制、合併症防止が、患者のQOL維持や医療費抑制の面からも非常に重要であることがわかる。

64 糖尿病血管合併症の疫学  
<http://www.jc-angiology.org/journal/pdf/2010/523.pdf>  
 65 日本透析医学会「図説 わが国の慢性透析療法の現況」  
<http://docs.jsdt.or.jp/overview/>  
 66 2型糖尿病の医療経済 ～医療費とQOL  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sjws/11/1/11\\_10006/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sjws/11/1/11_10006/_pdf)

## 付 録

### 付録 1 未来創発型アプローチによるシーズ

「はじめに」と1. 検討の経緯でも述べたように、本報告書は、CRDSによる研究開発戦略の立案プロセスの一つである未来創発型アプローチ<sup>3</sup>による検討を経て導出されたテーマ「A: 医療と病院の変容」に基づくものである。

以下に、テーマ「A: 医療と病院の変容」に加え、テーマ「B: 人と機械の新たな関係」及び「C: 人の能力とコミュニケーション」において、未来社会を実現する駆動力となる技術（ドライビングフォース;DF）として当初挙げられていたものを示す。本報告書で提示した具体的な研究開発課題（3-1 参照）は、Aだけでなく、BやCのテーマであげられたドライビングフォースとも密接に関連する。焦点があてられた未来社会のテーマにかかわらず、先端的な技術が実装された社会の実現には、複数の共通する技術の関与が想定されているとすることができる。

#### A: 医療と病院の変容

DF1 物理的刺激（力学的刺激、熱的刺激、光刺激、磁気刺激など）による新しい治療法の開発

これまであまり検討されてこなかった物理的刺激を治療に取り入れ、新しい治療分野を開拓する。細胞、組織は物理的刺激に応答するメカニズムを持っている。生命現象と物理的ストレスとの関係を研究するメカノバイオロジーという領域ができていますが、まだ黎明期。超音波刺激により骨折治癒が促進されるなどの事例もある。

DF2 加齢医学による疾患予防

老化と疾病発症との関係理解に基づく疾患予防を目指す。老化は疾患の大きな要因となる。例えば、老化の結果の一つである動脈硬化は、子供の時から進行している。老化に関わる遺伝子（Klotho、Sirtuin）などの同定、加齢因子や若返り因子の存在の示唆、カロリー制限の抗老化作用など、老化への理解が進みつつある。

DF3 統合生理モデルの研究開発（システム生理学）

部分的な機能モデル（循環器系、呼吸器系、内分泌系、消化器系、温熱系、免疫系）を統合した生理モデルの確立の試みが始まっている。近年、生命あるいは、生体の生理機能の総体を意味する「フィジオーム」が提唱され、その研究が活発化しているが、それに刺激されて統合生理モデルの研究も進みつつある。

DF4 3次元多細胞体構築技術

*in vitro* で生体中の組織、器官にできるだけ近い機能をもった多細胞体構築技術。構築された多細胞体は、医薬品・医療機器の研究開発におけるテストベッドとして活用することで、従来の培養細胞では得られなかった知見が得られ、医療技術研究開発の効率化・加速が可能になる。再生医療（構築した組織、器官の移植）にもつながる技術であるが、テストベッドの構築に焦点を合わせ、工学的技術も積極的に取り入れ、テストベッ

ドとして使いやすい多細胞体構築に注力する。

## B: 人と機械の新たな関係

### DF1 モノのインターネット (IoT)

Internet of Things (IoT) 対応製品が増大する。管理、流通、メンテナンスを支える情報システムとそれを促進する社会制度、法制度の設計は未完成。センサーネットワークが将来的にどのように構築されていくか、日本国内に必要なネットワークは何か、世界的な市場はどこが有望か、センサーネットワークはどのように構築・維持・更新されるのか、その電源は何か、といったことを明らかにする必要がある。

### DF2 知のコンピューティング

知の創造を促進し、科学的発見や社会への適用を加速する。知は人間が賢く生きるための力である。知のコンピューティングは、知の発見、創造、蓄積、伝播、探索、影響を実現し、加速する。

### DF3 人間と機械間の意思疎通インタフェース

コンピュータの情報処理能力が向上し、情報の種類が拡大しても、現状のマンマシンインタフェースでは、人間と機械間のコミュニケーションには限界があり人と機械の協調、協奏も制限される。より広く深く、人間とコンピュータが情報や意図を交換できるインタフェースの開発が必須となる。ただし、単に交換する情報の容量を増やすのみならず、シンタックス & セマンティクス (文意と文脈) を理解した上で、さらに相互の意図を推論することが重要である。そのためには、それぞれが自分と相手のモデルを持ち、それらのモデルを連携、合成するアプローチが必要になるだろう。モデルの自己組織化による複雑性が招く問題 (組合せや計算量の爆発など) の回避手法なども研究が必要と考えられる。

## C: 人の能力とコミュニケーション

### DF1 脳機能の非侵襲計測技術

脳磁計、fMRI、脳波計、近赤外光計測などの脳機能非侵襲計測技術をさらに発展させるとともに、原理に基づく計測技術も開発し、高い時間・空間分解能で脳計測を行い、脳機能の解明を行う。

### DF2 脳科学と情報技術の統合化、ブレイン・マシンインタフェース (BMI) の進展

- ・ 知覚機能の再建、深部脳刺激からコミュニケーションや運動機能への展開
- ・ 情報技術による解読の進展・脳内情報を解読して脳にフィードバックすることによる脳状態の制御
- ・ 心を読んだり制御するような倫理的問題
- ・ 脳神経科学、情報技術、生体適合の電極、人体通信、移植システムの統合化

### DF3 脳機能とコンピュータを連携させる技術

様々な意思決定を行う際、大量の情報を参照したうえで、望ましいと考えられる方向

へ導いてくれる意思決定支援システムの開発が進むことで、国、企業、個人の意思決定をサポートすることが期待される。今後の検討においては、認知科学、教育学、心理学などからの参画も必要。

## 付録 2 専門用語説明

本文中だけでなく、図の中で使用している用語の解説も含む

### **Active tracking/sensing**

センサーがセンシング対象を追従し、さらには擾乱を与えて通常の受動的なセンシングでは得られない情報を取得する新たなセンシング技術。

### **Body sensor networks**

小型かつ低コストのネットワーク化されたセンサーと、先進的な信号処理・情報抽出を組み合わせたもので、身体状態や生活スタイルの革新的なモニタリング及び介入を目指すもの。

### **Cognitive computing**

人や機械が単独で行える範囲を超えるべく、自動システムが学習し、人と自然に相互作用する能力を指し、ビッグデータを活用してより良い判断を行うのを助けるもの。IBM が提唱。

### **DDSS (Decentralized Distributed Smart Sensors)**

処理機能を有したセンサーがネットワーク様に相互に結合・分布し、さらに集中型ではなく分散型処理を行いながらデータを取得するセンシング技術。

### **Deep learning (深層学習)**

脳の神経回路を模した計算機上のモデルであるニューラルネットワークの一つで、並列計算技術と共に用いることで超多層の学習が可能となり、パターン認識等で圧倒的な性能を示す。

### **EMA (Ecological Momentary Assessment)**

情報端末等を電子日記として用いて、日常生活下での気分や身体症状等の自覚症状を実時間の問診により記録する手法。

### **EMI (Ecological Momentary Intervention)**

情報端末等を用いて日常生活下で行動の誘導や効果的な情報の提示、治療などの介入を行う手法。

### **Gamification 行動モニタリング**

Gamification を駆使して行動のモニタリングを行なうこと。Gamification とは、ゲームのデザイン技術やメカニズムを利用して利用者の選択性を上げる活動のこと。

### **Health-CPS (Health Cyber Physical Systems)**

実世界でのスマートセンシング・ネットワークなどにより収集された莫大な健康医療関連

モニタリング情報をサイバー空間に集積し、データサイエンスなどの技術により得られた「知」に基づき、最適で効率のよい健康医療サービスを社会に提供するためのシステム。

### **M2M (Machine to Machine)**

ネットワークに繋がれたデバイス同士が自律的に相互にリアルタイムに情報を交換し、自動的に最適な制御が行われるシステム。

### **Mobility Management**

自転車や歩行など、より環境にやさしく健康に良い移動手段を誘導すること。インセンティブ付与や市街地のデザインに加えて、最近では GPS や地理情報システムを含む ICT を利用した取組が欧米で開始されている。

### **Point-of-Care technology**

病院外で予防・検査・診断・治療が必要なその場で使用出来る医工学技術。

### **Soft defined networks**

ソフトウェアによって仮想的なネットワークを構築する技術のことで、ネットワーク機器の構成や機能をソフトウェアのみで設定できるようにすることを目指す。

### **ミニマルファブ**

極小型の半導体製造装置（ファブ）及びそれを並べた設備。クリーンルームを使わず、低コストで、多品種の半導体を少量ずつジャストインタイムで製造することを目的とする。



## ■報告書作成メンバー■

浅島 誠	上席フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
永井 良三	上席フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
吉川 誠一	上席フェロー	(イノベーションユニット)
山本 義春	特任フェロー	(システム科学ユニット)
矢倉 信之	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
児山 圭	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
鈴木 久敏	フェロー	(システム科学ユニット)
辻 真博	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
土井 直樹	フェロー	(情報科学技術ユニット)
富川 弓子	フェロー	(システム科学ユニット)
中村 亨	特任フェロー	(システム科学ユニット)
飛田 浩之	フェロー	(ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
前田 知子	フェロー	(政策ユニット)

平成 26 年度のチーム組織です。  
※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2015-RR-03

### 調査検討報告書

## 「システム科学技術を用いた予測医療による健康リスクの低減」に関する研究開発戦略

平成 27 年 10 月 October 2015

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
ライフサイエンス・臨床医学ユニット  
Life Science / Clinical Research Unit, 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://www.jst.go.jp/crds/>  
© 2015 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](mailto:crds@jst.go.jp). Any quotations must be appropriately acknowledged.

---

**ISBN 978-4-88890-466-7**

