

## 第17回革新的研究開発推進プログラム有識者会議 議事概要

- 日 時 平成28年8月4日(木) 10:00～10:50
- 場 所 中央合同庁舎8号館 6階623会議室
- 出席者 久間議員、原山議員、上山議員、内山田議員、大西議員、橋本議員、  
十倉議員、小谷議員
- 事務局 山脇統括官、生川審議官、進藤審議官、松本審議官、柳審議官、  
佐藤参事官、福島参事官
- P M 山海PM、田所PM、山本PM

### ○ 議事概要

午前10時00分 開会

- 久間議員 ただいまから第17回革新的研究開発推進プログラム有識者会議を開催させていただきます。

本日は公開で行います。

本日の議題は、「I m P A C T研究開発プログラムの進捗報告について」です。

まず、I m P A C Tの研究開発プログラムにつきましては、革新的研究開発推進プログラム運用基本方針に基づき、概ね半年ごとに、PMから進捗報告を受けることになっております。

本日は16名のPMのうち、山海PM、田所PM、山本PMの3名より研究開発プログラムの進捗状況について報告してもらいます。説明時間12分、その後の質疑応答3分、合計1人15分で、時間厳守でお願いします。説明の終了2分前と、説明終了及び質疑終了時間にそれぞれ鈴を鳴らします。

お手元の資料1をまず御参照ください。

では、山海PMから報告をお願いします。

- 山海PM おはようございます。それでは、早速始めさせていただきます。

私の方では、このプログラムの中で「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム」というものを作り上げて、このI m P A C Tの趣旨に合致したチャレンジをして

まいりたいと思っております。I m P A C Tプログラムの目標の中で、ここでは特に今申し上げたサイバニックシステムの研究開発を進めるわけですが、プログラム全体としては、とにかく我が国が直面する重介護問題を解決していくというところに焦点を当てて、そういった流れの中でソーシャル・イノベーションが達成できればと考えております。また、この考え方やこの進め方につきましては、現在、内閣府、そして有識者議員の主導の中で「S o c i e t y 5 . 0」という大きな流れができておりますが、こういったものと合致するものであると考えております。

そして、まず最初に全体を申し上げますと、あるべき姿の未来に立ちまして、重介護という状況がどうやったら解決できるか、こうだったらいいなというあるべき姿の未来に立ちまして、その未来から現在を見通して、解決すべき課題を明確化して、それらを解決することで、このチャレンジをすると、これは通常バックキャストイング手法と言われるものですが、こういう方法で進めます。

ここで作り上げてくるサイバニックシステムというものは、サイバニックインタフェースとデバイスとシステムに分けることも可能なのですが、実際にはこれがそれぞれ混ざっていたりするので、そこについては、大体こういう分野になっているということで御理解いただければと思います。そして、産業変革・社会変革につながるこういったプロセスを経る手順そのものを、好循環のイノベーションスパイラルを推進するための仕組みとして、このI m P A C Tが終わった場合でも、ちゃんとそれが社会に残っていけるような仕組みづくりにも挑戦したいと考えております。

こちらが私たちの社会が今直面している課題の一つですが、これは重介護の非常に厳しい状態です。介護する側も、される側も、厳しい状態になっております。どう解決するかというところで、要は、病院に行けば何とかとか、病院を退院したらもう患者さんでないとかという話ではなく、この高齢化社会では、医療と非医療が混在した、非常にグレーゾーンの部分がどんどん拡大しているという状況でございます。そこが一つの大きなイノベーションの開拓領域で、人に対する情動的インタラクションと物理的インタラクションといったものを一つの融合複合技術として作り上げていくということになるかと思っております。

先ほど申し上げましたように、あるべき姿というのはこういうことを考えております。高齢者の方も、病気の方も、いろいろな障害をお持ちの方も、テクノロジーとともに生きていくという社会でございます。それぞれのデバイスは、ちゃんとIT化されて、非常に

重要な情報がちゃんと管理されながら、次の時代の資産として使えるようなことを願って全体の構成をしております。この中で、人間の脳神経・身体系の機能改善・機能再生及び生活支援技術によって実現されるこのあるべき姿というものを実現し、先ほど申し上げましたビッグデータといったものがかなり貴重な軸になってくるということになります。

そのための技術づくりということが一つ重要です。こちらの方には、お手元の資料にも細かく書いておりますが、社会的課題、そして産業競争力に関する課題、そしてアプローチ、今申し上げた内容が書いてございます。

そのコアとなってくる技術はこういうものになります。脳神経系や生理を扱う技術、それからそういったものに対して、また物理的空間とやりとりをしていく世界というのは、このロボットのような技術あるいは環境に組み込んでいく技術、こういうものを準備しながら、サイバニックインタフェース、デバイス、そしてそれらをまとめて全体システムとして仕上げていく、これがサイバニックシステムということになります。最終的にこういったものを社会の一つのインフラとして組み込む水準にまで持っていきたいと考えております。こういう技術を使いますと、介護する側、される側、治療する側、治療される側に対しまして役立つ支援技術、そして、例えば身体機能が低下したり、脳神経系の機能が低下した方々の機能改善・機能再生というところにつなぐ技術になってまいります。

こちらに先ほどの3つに分けましたサイバニックインタフェース、デバイス、システムとありますが、ざっくり分けると、このようなものでございます。ここにございますのは、特にサイバニックシステムとして最終的な形として見えてくるのは、こういうデバイスを使って、「人とテクノロジーの一体化／共生／テクノピアサポート」というテクノロジーと人とが一緒に仲間支援をしていく社会。そして、こういったものを使いながら、最終的には、今回作り上げていきますデバイスがどんどん繰り出してくる非常に貴重な情報をちゃんと集約・処理して、物理空間とIT空間、情報空間がちゃんとつながっていくことを願っております。

プログラム全体の実施体制につきましては、当該IMPACTの研究推進コアというものを準備いたしまして、私がPM、そして補佐、そしてプロジェクト補佐という形で構成され、さらにその下に、それぞれのプロジェクトを進めていくためのチームが構成されてございます。また、委託研究開発機関としても幾つかそれぞれ選抜しながら、そのタイミングごとにかえたりしながら進めてございます。

先ほど、あるべき姿のところでも申し上げましたが、ここでとにかく情報的なということの到達点というのは、人間の場合ですと、結局のところは最後は、情報空間からいろいろな情報をとりますが、それは脳ということになってまいります。また脳神経系、そして、人間の体というのは物理空間の一つになりますが、そこを介してほかの物理空間とも接触していくわけですが、そういう意味でこういう装着系のロボットの技術もあれば、あるいは身体の情報をとっていく技術、そしてこういったものを介護現場といったところで使える技術にしていく。こういったものが一つ出来上がってくると考えております。

厚生労働省や経済産業省は、こういった課題に対して、課題を一つ大きく絞り込んだものがございますが、そういったものとちょっと連動させますけれども、先ほどのようなバックキャストिंगの方法を使いながら、技術的課題といったものがこちらで、排泄、移乗支援などがありますが、次のスライドのところでもちょっと御説明します。

ここにありますように、要介護者が受ける介護支援の技術、それから要介護者の機能改善・再生ができる技術、そしてI o T化によるシステム化、ビッグデータの処理、それからあと異分野の融合、そういった観点からこういったデバイスの開発を進めてまいりたいと考えております。

その取組事例としましては、例えばALSという病気がございまして、進行性の病気です。体がもうピクリとも動かなくなって4～5年たつような方であっても、実は運動ニューロンは100%死んでいるわけではなくて、ただ、昔コンピュータを操作していたそういうものに対しまして、それを思い出してもらいながら、例えば今回作り上げたデバイスを使いますと、非常に状況の悪い、もう体がピクリとも動かないような方、人工呼吸器を着けなければ生きていけないような方に対してでも、体の中にはりの電極を指して検出する水準のデバイスで、そういったものを非侵襲で皮膚の表面から取り出してくるような技術もできまして、これを使って、文字入力とか、ナースコールあるいは環境制御、照明のオン・オフ、テレビのチャンネルを変えるといったことができるような技術を今進めておりました、これがかなりよくまとまってきましたので、これは恐らく今年ぐらいの段階では、そういった患者さん、利用者の方々のところで使えていけると考えております。

こちらの方は、私たちが生活するときに、血管が細くなって、そして心臓の状態が悪くなってくると、血栓ができて、脳に血栓が詰まって、運動麻痺、そして生活がもう全部駄目になってしまうような厳しい状況というのがあるわけです。それは血栓というものが非

常に大きな問題であったり、あるいは動脈硬化というのが大きな問題であったりするわけですが、結局のところ、そういったものを早期に発見していこうという技術の中で、動脈硬化を日常的に簡便に捉えるにはどうしたらいいかということで、従来の方法とは全く違う新しい方法で、光を使ってそれを捉えていくという方法と、生体電位を使って捉えていくといった方法を使いながら、非常に大きな装置が今病院で使われておりますが、これを原理を変えることによりまして、とうとう手のひらサイズで実現することができました。これもまたIoT化されておりますから、日常的に職場、そして生活環境の中でも私たちの生理管理ができていくだろうと考えております。

また、こちらの方は、脳の活動というのは非常に睡眠障害もそうだし、鬱病もそうですが、非常に厳しい状態になってから戻そうとすると、なかなか難しいところがあるのですが、そういったところを日常的に早期発見できるような技術として、今、病院では、大きな脳波計あるいは光を使う四、五千万円するような装置がございますが、これはそれぞれ別々の装置、また大きな装置になっておりますけれども、これも新しくどうしたかというところ、脳波あるいは脳血流といったものは、脳のヘモグロビン濃度が集まってきます。MRIなどではそれを断層で非常に深いところで見ようとしますが、そういったものを非常に簡便に見られる装置で、なおかつ非常にコンパクトにできるということで、新しくそういったものを特化して調べることができるデバイスを作りまして、これがとうとうこんなに小さくなりまして、この一つのモジュールで脳波や脳血流が測れるというものを作り上げました。これによって、一つのセンサーモジュールで脳波・脳血流を同部位で同時計測する世界初の超小型のハイブリッドモジュールができました。これを使うことによって、簡便に測る場合も、非常に細かく測る場合も、対応できるようなデバイスになってきていると考えております。

それから、こういう作業をしていくときの人たちの腰といったものを守っていく。これは、介護現場では8割近くの方が腰痛で悩んでおられますけれども、そういったものを作り上げていくということで、ここでいろいろ改良も加えまして、とうとうこういったものが介護現場で試験運用ができる段階に入りましたので、今それを開始しているところです。これは全体の重量も2.9キロで、カーボンファイバー、そしてモーターや電子回路も全部また新しく独自開発をしながら、今は小型・軽量・パワーといったものを解決するための開発を進めておりまして、入浴現場でも使えるように防水機能といったものもこういっ

たところで対応できるようにしてきました。

それから、こちらの方は、生活空間の中で、今倒れたのか、どこの階にいるのか、こういう小さなモジュールを一つ持つだけで、実際には音の情報、それから転倒情報といったものが分かるような、そして一つのデバイスで電池が半年もつぐらいのものも、MEMSの技術を使うことで実現できまして、これももう試験運用に入る段階になりました。

そして、人間の身体全体の機能を捉えるための新しいモジュールとして、一つのヘルスケアピットというもので情報をどんどん集められるようなデバイスとして、この春からの情報取得技術に加えて、さらに基礎研究を検証実施しておりまして、情報授受を行う新しいシステム開発の推進を進めております。こういったものは、G7でのグローバルヘルスの取組としても紹介させていただきまして、国際的な人の情報に対する国際ハーモナイゼーションへと展開してまいりたいと考えております。

先日、G7がつくばで開かれましたが、そこで基調講演、そして閣僚の方々のところで、こういったものをちゃんとインプットしながら、我が国の成功事例を含めた取組といったものを共同声明に盛り込むということも進めてまいりました。

そして、今後の展開としましては、今後のロードマップとして、ここに書いてございますようなものをさらに進めてまいりたいと考えております。

以上でございます。

○久間議員 どうもありがとうございました。

それでは、山海PMの研究開発プログラムの進捗状況に関して御意見をいただきたいと思えます。御自由にどうぞ。

では、十倉議員、どうぞ。

○十倉議員 意見ではなくて質問なんですが、ちょっと素人なので外れているかもしれないんですが、先生の中に、介護支援とか、そういうのを超えて、機能の回復も超えて、再生というお言葉があったのですが、一方、最近の医療でああいう再生医療というのが出てきていまして、ちょっとお話を聞いていて、介護というよりも、医療とこのテクノロジーとのドッキング、機械とのドッキングというのはちょっとイメージしてみたのですが、そういう使われ方もというか、そういう分野もあるのでしょうか。

○山海PM ここで最初の冒頭でちょっと触れましたが、異分野融合というところで、実はもう再生医療のチームの方々とも連携がとれるようになりまして、これで、一旦障害を持っ

た要介護者となった方々に対して、失った機能を一部戻すのですけれども、ただ、それではただ単に細胞がある程度増えた程度でおしまいなところを、機能の再生そのものは、今世界で脳神経系のアクセスをしながらそこをちゃんと作り上げていくのは私どもの技術だけですので、実はこれは日本のお家芸のような様々な再生医療と連動して、病院から退院させられて「もう治療はできません」と言われた方々はみんな要介護者として扱われるところを、その部分を内側からも、そしてさらに外からこういったデバイスを介在させながら、身体機能そのものを改善していく。そういったところが一つ大きな、また新しいチャレンジになると考えております。

○久間議員 よろしいですか。

では、橋本議員、どうぞ。

○橋本議員 いろいろなデバイスに展開されて大変素晴らしいと思ったのですが、それだけに逆に、先生が今までずっとやっておられた介護型のロボット以外のいろいろなデバイスは、多分競合が世界にたくさんあるのではないかと思います。インタフェースのところ注目されて、そのデバイスをいろいろ工夫されているのですが、その部分というのはいろいろな研究が世の中にある中で、多分このデバイスをうまく持って行ってアプリケーションを展開しているということなのかと思うのですが、その辺の、こういういろいろなものの世界の技術における位置付けを、簡単に答えていただけないでしょうか。

○山海PM 分かりました。

まず、装着系に関しては、恐らく現状で世界の水準の頂点を走っておりますので、ここは競合というのはほとんどないと思います。それはなぜかといいますと、脳神経系の情報とこういったテクノロジーを一体化させて、脳が人工物を制御しながら人間の身体を変えていくという装置は世界で初めてだからです。そして、そのインタフェースで使われている技術が今どんどん研ぎ澄まされまして、ALSのような方々に対してのこういう情報をとる技術も、世界でこの水準の情報をとれるものはないと思います。そういう意味では、そのほとんどにつきましては、頂点レベルだと思います。

そして、MEMSを使った技術につきましては、ここは恐らくMEMS技術をある程度持っている方の場合には、ある程度そこに近付いてくるところとかはありますが、今、現状で世界で比較してみますと、最も性能の高い技術として仕上がっております。

○久間議員 よろしいですか。

では、小谷議員、どうぞ。

○小谷議員 他と比べて素晴らしいということをデータに基づいてお話しいただくことは可能でしょうか。

○山海PM はい。世界に対して素晴らしいという話は、実は世界に競合があった場合にはやりやすいのですが、実はアンメットな世界でチャレンジしておりまして、これまでなかったところを開拓しておりますので、そこで先へ進んでおりますが、最近、類似したものも少しずつ現れてきております。しかし、原理そのものが、日本がそこで全部知財とかを押さえておりますので、なかなかその原理が使えないために、人間の奥深いところに入ってこられない技術として、形だけ似たものというのは出てきております。これをデータで比較するというのも可能なのですが、もともと軸が違っているところでチャレンジしておりますから、単純比較はちょっとしづらいのですけれども、単純比較できそうなものは、先ほどのMEMSの技術でのセンサーの性能とか、そういったものは単純比較できますので、こういったところは比較しやすいかと思っております。

○久間議員 よろしいですか。

どうもありがとうございました。

橋本先生の質問に関係して、血流を簡単に測るセンサーとか、ヘモグロビンの濃度を測るセンサーは、山海PMのアプリケーション以外にも、様々なヘルスケアシステムに活用できると思います。ですから、できる限りほかの分野にも使えるように研究開発を進めていただきたいと思います。

どうもありがとうございました。

それでは次に、お手元の資料2を御参照ください。

田所PM、報告をお願いします。

○田所PM 田所でございます。タフ・ロボティクス・チャレンジにつきまして御説明させていただきます。

タフ・ロボティクス・チャレンジは、災害という非常に重要な問題に対して、ロボットによる解を与えようというプロジェクトでございます。今現在のロボット技術はひ弱な優等生であるというのが私の考えでありまして、要するに条件が悪いと、本来できる仕事ができない、したがって災害現場に行くと使えないという問題点があります。この問題を解決して、タフでへこたれないロボット技術を作ることによって、実際に災害で有効なソリ



ューションを作っていきたいと考えております。

具体的には、タフでへこたれないというのは、厳しい環境条件でもアクセスできる、条件が悪くても、見える、聞こえる、感じるができる、失敗してもやり直すことができる、災害環境条件に適合して能力を発揮できるといった技術であります。

もう少し具体的に言いますと、現場で移動できないという問題点を解決するために、5種類のロボットのボディーを開発いたしました。そこに様々な技術を載せることによって、困難な状況で移動し、遠隔あるいは自律で動作ができるようにしようというものです。この問題は、一見すると、ただ単にそういう動けるメカを作れば終わりではないかと思われるかもしれませんが、全くそうではありません。災害現場で使えるためには、例えばこれに対して人工知能を載せ、またそれが周りの状況をきちんとセンシングして理解することができ、また作業をきちんとそこで遂行できるという能力を付けていかないとはいけません。

次に重要なポイントとして、極限状況でのセンシングがあります。例えば、視界不良でも画像認識ができるとか、騒音下でも音が聞こえるといったことです。また、作業が失敗したときにリカバリーできるということが大切ですし、環境への適合性というのは非常に重要です。

ということで、今、サイバー救助犬、索状ロボット、飛行ロボット、脚ロボット、建設ロボット、このような5種類のロボットが、ここに書きましたようなミッションを果たすという目的のために、これらの課題を解いているところであります。

これは全体の構成でありますけれども、分科会、研究会、あるいはフィールド評価の委員会などを作りまして、鋭意研究開発を進めております。

これが実際に現場で使われるイメージを並べたものでありますけれども、災害といいますが、これは時間によって様相が変化します。災害が発生する前は平時ですけれども、この平時には災害の予防・減災が大変重要です。例えば、このようなプラントとか、そういったところを保守点検し、あるいは修理するというのが非常に重要である。しかしながら、プラントの中には非常に狭い場所とか、なかなかそれが難しい場所もあって、その問題を解いていかないと、例えば地震災害が起きたときには大きな被害になってしまいます。また、発災後72時間は人命救助等が非常に重要でありますし、その後、緊急の工事あるいは復旧等が重要です。

これらの問題をCOCN（産業競争力懇談会）の中で、50社ほどの企業の方々と一緒

に整理いたしまして、このプログラムを立てさせていただきました。例えば、震災への緊急対応という問題を考えますと、このような災害現場、これは熊本地震の様子ですが、ここには様々なミッションがあります。例えば、このような情報収集とか、人命救助とか、緊急工事といったことです。これらにおいて、ドローンとか救助犬、ビデオスコープあるいは遠隔建機といったものは非常に威力を発揮するわけですが、例えばビデオスコープ、ファイバースコープの場合ですと、瓦れきの中に入れようとするのだけでもなかなか入らない、入ったはいいのだけれどもどこに入ったかよく分からないという問題点があります。したがって、こういった様々な問題点をそれぞれのロボットにおいて解決するというのを今頑張っているところであります。

これはプラント点検の事例でありますけれども、こういった現場で高所を点検する、あるいは狭いところを点検する、あるいは緊急工事を行う、これは非常に大きなミッションです。今は通常は点検の作業者が行っているわけですが、墜落の危険があったり、はしごが腐食していたり、狭いところにはもちろん入れませんし、こういった事故まで起きているというのが現状です。それに対してビデオスコープは、非常に重要なソリューションでありますけれども、配管だけしかできないとか、あるいは曲がりが多いと無理とか、そういった問題点があるわけです。これらの問題点を技術開発することによって解決しようとしています。

各ロボットにつきまして、今の現状はこのようになっています。サイバー救助犬、サイバースーツを開発して救助犬の飛躍的な能力の拡大をしようというもの。あと索状ロボットあるいは脚ロボット、被災プラントの高いところに登って行って、非破壊検査あるいは重作業ができるようにしよう。あるいは飛行ロボット、従来の飛行ロボットでは無理な条件下、例えば風が15メートルとか、雨が100ミリとか、そういったところで飛ぶような技術。あるいは建設ロボット、これまでの建設機械では不可能な移動ができたり、あるいは双腕作業ができるようなもの。こういったものの開発を目標に掲げまして開発を進めているわけです。

これらの中で、サイバー救助犬と飛行ロボットに関しましては、最終的な技術熟成度9というところに目標を定めておりまして、要するにこの期間内に実際に現場に入れて使えるような形にしていきたいというのがここでの目標であります。

今日は、時間がございませんので、索状ロボットだけにつきまして成果の御説明をした

いと思っております。達成目標としましては、この図のような瓦れきの中にこのような蛇形の索状ロボットが入っていきまして、中をくまなく調べてやる。それをマッピングして、プラントであれば、どこがどうなっているのか、瓦れきであれば、どこに要救助者がいるのか、そういったことを外部に教えてくれるというシステムであります。

これを実現するためには様々な技術が必要でありまして、一つは移動能力です。また、音響・画像情報を収集する能力です。また、三次元で位置のマップを作る技術。また、遠隔操作の技術。これらが融合して初めてこのミッションを果たすことができるわけです。

これに対して現状は、例えば移動能力であれば、瓦れきであれば、下方向には移動できるけれども、水平に移動するのは不整地だと難しい。したがって、この問題を解決して瓦れき内で自在に移動ができるようにしようということが目標になっています。また、配管で言えば、こういったところしかできませんので、達成目標としてこういうものを掲げています。また、音響・画像情報収集・マッピングにおきましても、狭いところではマッピングは困難である、あるいは見るできないという問題がありますので、これを解決しようということです。また、遠隔操作におきましても同じようなことです。これを解決することによって、タフなロボットの技術を作っていこうとしております。

では、先日6月1日に公開でのフィールド評価試験というのを行いましたので、ビデオをお目にかけます。

#### 〈映像視聴〉

○田所PM 進捗状況はこのようになっておりまして、移動能力、それから音響・画像情報収集あるいは三次元位置マップ、こういった技術に関しましてこのような進捗状況で、これらの要素技術を先ほどのようなプラットフォームに搭載していくということで研究が進んでいるところであります。この研究の中でフィールド評価会というのが非常に大きな役割を果たしております。これは公開でのフィールド評価会の様子でありますけれども、6月1日にこのような屋内のフィールドあるいは屋外のフィールドにおきまして、開発したロボットを動かしまして、実際にユーザーの方あるいは企業の方あるいは一般の方々に見ていただくということをやっております。この屋内フィールドは、プラントの現場を模擬したものでありまして、ここでうまく動いて中を調査できる、点検ができるということを示そうとしています。また、この屋外の瓦れきフィールドは、熊本地震の調査に基づいた瓦れきあるいは被災家屋を再現しておりまして、この中での能力というものを検証している

ということでございます。

この公開のフィールド評価会に加えまして、まだパテントが取れていない技術などを非公開のフィールド評価会で実際に実験をやりまして、それをCOCNの企業の方々に見ていただいて、いろいろと御意見を頂くということをやっております。これをやることによって3つのイノベーションを起こしたいと考えております。一つは、技術的なイノベーション、つまりユーザーの方とかいろいろな方々から研究者が意見を頂くことによって、それをフィードバックした研究開発をやること。また、社会的な非連続イノベーション、つまり災害に使えるソリューションをつくっていくこと。そのためにユーザーの方に来ていただいて、ユーザーの方から、現場はこうなのだからこうしないといけないのだということを知ってしてもらおう。あるいは、ユーザーの技術を余り御存じでない方に対して、ロボットはここまでできるのだ、あるいはこれはできないとか、そういったことをきちんと知ってもらおうということをやっております。また、産業的イノベーションを起こすということで、これらの研究成果・要素技術等を産業界の方に見ていただいて、自社の防災以外の独自の事業にも展開していただくということを御検討いただいております。

ということで、プロジェクト全体としまして、計画どおりに成果が出てきつつあるというのが現状でございます。これから防災ユーザーへの売り込みと申しますか、どうやって使っていただくかということ、あるいは本当に現場に持って行ってそれを試験するといったフェーズに入っていきたいと考えております。

以上です。

○久間議員 ありがとうございます。

それでは、御質問はございますか。大西議員、どうぞ。

○大西議員 ありがとうございます。

御説明いただいたように、対象とする現場というのは、あらかじめ想定できないというか、いろいろな状況があると思うんです。そこに対応するには現場体験を持っている方からのフィードバックというのが大事だと思うので、今フィールド評価をするということをおっしゃったけれども、4ページのところに、その横に公募審査委員会と書いてあって、ここも協力企業群との間に矢印がありますけれども、ちょっとこの委員会というのはどんな役割をするのかを説明していただけますか。

○田所PM このプロジェクトの中でのミッションを定義する際に、このCOCNで調

査した結果というのが非常に大きな役割を果たしております。網羅的に様々な災害現場で何が必要とされているかということを中心に大きな表、何十ページもあるのですが、それにまとめておまして、それらの中からピックアップするような形でこのプランニングを行いました。したがって、この公募の審査あるいはその研究を進める上で、そこで御貢献いただいた方々の御意見を反映させようということで、委員に入っていたり、あるいはアドバイザーに入っていたり、いろいろな形でその御意見を反映しているところでございます。

○大西議員 それはフィールド評価とは少し違うんですか。

○田所PM いえいえ。フィールド評価におきましても、そういった企業の方あるいは省庁の方、ユーザーの方々においでいただいております。そこで御意見を頂いております。ただ、この図の中の公募審査委員会というのは、公募テーマが幾つもありますので、公募のテーマの書面の審査を頂いたということでございます。

○大西議員 もう一つ、いいですか。

○久間議員 大西議員、どうぞ。

○大西議員 現場に応じて、現場対応で少し機能を変えとかということも必要になってくるのではないかと思います。既製品で現場に持って行って対応させるというよりは、そういう発想というものもあるのでしょうか。

○田所PM はい。それは、我々が、例えば福島第一とか、様々な再開現場でこれまでやってきた中で大いに経験してきているところでございまして、それも含めた形でこれから研究を続けていきたいと考えております。

○久間議員 では、十倉議員、どうぞ。

○十倉議員 日本はプレートの上に立っている災害列島と言われますし、それと、私の会社は化学ですけれども、日本の重化学工業というのは、海外ではプラントを最近建設しているのですけれども、国内ではなかなか投資の機会がなくて、老朽化していつているのです。そういうときに予防保全、そういうIoTとかビッグデータ以外にこういうのも含めて予防保全をやるというのは非常にインパクトがあると思うんです。そういう意味で、これは思い付きで申し訳ないんですけれども、昔、東日本大震災が起こって、福島原発が水蒸気爆発を起こしたときに、放水で何とかしようというのを見ていて、多分国民の皆さんは非常に絶望的な思いにとらわれたと思うんですが、例えばこういうものが全部できていれ

ば、ああいう福島第一原発は、こういう措置をとれて、こういう第二次被害が防げたと、そういうのを例示するようなことをしてもらおうと非常にインパクトがあると思うんですけども。

○田所PM なるほど。いいアドバイスをありがとうございます。福島原発でどういうことが必要であるかというのは、きちんと整理がなされておりますので、それに対して我々のソリューションは、ここの部分はこうできるようになった、あるいはここはできないとか、そういった整理はさせていただきたいと思います。

○久間議員 内山田議員、どうぞ。

○内山田議員 実際に災害が起きたときに、原発の事故についても同様だと思いますが、いざロボットを災害現場に投入してみると、それが想定していた環境と合っていないということで、十分に動けないという事例が多いものですから、この研究のように、タフなロボットの開発という社会からの要請が高いところだと思っております。そういう意味で研究成果を大いに期待しておりますけれども、産学連携の視点から、現在このプロジェクトに参加している大学の数や企業数は大体どれくらいでしょうか。

○田所PM 大学の数が、大学というか、その研究グループの数が約60です。これは、指名したものもありますし、公募したものもあります。大学というのは、特に要素技術の非常に狭い範囲しかカバーできないことが多いので、ロボットに総合的な能力を持たせるためには幾つかの大学が協力しないと、一つのロボットプラットフォームが出来上がりません。企業がそれらに付いている大学と付いていない大学もありまして、あるいはロボットの5種類のプラットフォームには、ほとんどが企業あるいはユーザー企業もありますが、そういったものが付いておりまして、協力しながら研究開発を進めているということです。企業数は、具体的にはちょっとあれですが、20ぐらいはあったと思います。数はちょっと分からないのですけれども、そういう感じです。

○久間議員 よろしいですか。

では、時間が来ましたのでこれで終わりますが、技術開発は順調に進んでいると思いますが、開発の現場をよく知る産業界のメンバーと一緒に、実用化に向けて開発を加速してほしいと思います。よろしく申し上げます。

どうもありがとうございました。

続きまして、お手元の資料3を御参照ください。

山本PM、報告をお願いします。

○山本PM それでは、量子人工脳 I m P A C Tプロジェクトの進捗状況を御報告いたします。

私は、プログラム・マネージャーを務めます山本喜久です。

まず初めに、目標設定の背景を御説明いたします。現代コンピュータが不得意とする問題の一つに組合せ最適化があります。N個の自由度が0と1という2つの状態をとるとき、解の候補は全部で $2^N$ 通りあるわけですがけれども、現代コンピュータを使った総当たり計算の場合には、その一つ一つについて計算を全て終わった後でないと最適解が求まらないということになります。自由度の数Nが10ぐらいですと、解の候補はたかだか1,000なのでありますが、問題サイズが20、30、40、50と大きくなりますと、解の候補は100万、10億、1兆、1,000兆と爆発的に大きくなり、スーパーコンピュータを使っても追い付かない、いわゆる計算量爆発が起こります。一方、量子コンピュータにおきましては、状態0と状態1を同時にとり得る量子ビットをN個準備しますと、この $2^N$ 通りの全ての入力値に対して同時に計算することができますので、たった1回の計算で最適解が求まるということになります。私たちのプロジェクトでは、この量子コンピュータの原理を人工的なニューラルネットワークに実装して、様々な問題を解決したいと考えています。

プログラム構想には3つの柱がありまして、それぞれについて解決すべき社会的課題と I m P A C Tプロジェクトでの狙いがまとめられています。

まずはじめに、現代社会の様々な分野、例えば創薬、通信ネットワーク、スパース推定などの分野では、大規模な組合せ最適化問題を高速で解く手法というものが必要とされています。私たちは、従来のコンピュータアーキテクチャーを捨てて、ニューラルネットワーク全体に広がった量子力学的な波動関数を利用して計算を行う量子人工脳を開発して、この問題を解決したいと考えています。

次に、社会にクラウドサービスが普及して、サーバやネットワークに存在する個人情報や機密情報のセキュリティを今後どう守っていくのかということが喫緊の課題になっているわけですがけれども、このプロジェクトでは、クラウドユーザーだけが持っている秘密鍵で暗号化された暗号文の上で直接計算を実行できる秘匿計算ネットワークというものを開発したいと考えています。

最後に、物質探索や分子合成の現場では、数値シミュレーションの重要性が日々増して

いるわけですが、現代コンピュータの計算能力はそうした需要に追いついていないという現状があります。プロジェクトでは、対象とする物質や分子を記述する理論モデルを直接量子力学的な波動関数に載せて、模擬実験によりこの科学的探索を可能にする量子シミュレータを開発したいと考えています。

現代コンピュータが不得意とする様々な分野で、いわゆるアクセラレータに相当するものを開発して、問題を解決しようと考えています。小規模な組合せ最適化はチップベースのFPGAイジングマシンで、大規模な組合せ最適化は光電子ハイブリッドイジングマシンで、秘匿クラウド計算はユニタリ暗号マシンで、最後に量子シミュレーションはXYマシンで解決したいというのが、プロジェクトの狙いであります。

3つの研究テーマに対してプロジェクト開始時に実現された実施体制が次のグラフに示されています。プロジェクトの柱となる量子人工脳の開発を加速するために、その後、研究グループと研究予算をこの量子人工脳のチームに集約するというところを行って研究を進めているところであります。

次に、量子人工脳のハードウェアの開発状況について述べます。私たちが開発しようとしている量子ニューラルネットワークを構成するニューロンというのは、光パラメトリック増幅器と光ファイバーからなるリング共振器で構成された光学系に発生される時分割の多重光パルスが担います。一方、量子ニューラルネットワークを構成するシナプス結合の方は、光ホモダイン検波器とFPGAのフィードバック回路でこれを実現します。このようにしてN個のニューロンと $N^2$ 個必要なシナプス結合をたった一つの光パラメトリック共振器とたった一つの測定フィードバック回路で実現するというのが、量子人工脳の特徴です。

スタンフォードで開発されたマシンは、100個のニューロンと1万個の連続値全結合機能を持ったシナプス結合を実装して、現代コンピュータが最も不得意とするNP困難MAX-CUT問題の厳密解を1ミリ秒という短時間で出力することができます。一方、NTTで開発されたマシンは、2,000個のニューロンと400万個の離散値全結合機能を持ったシナプス結合を実装して、同じMAX-CUT問題の近似解を現代コンピュータに比べて50倍速く出力できます。

開発されたマシンを競合技術とこの表で比較しました。私たちの量子人工脳の特徴は、2,048ビットの全結合を実現していることによって、他の方式と比べて大きなサイズ



の組合せ最適化に対応できるというところにあります。

最後に、今後のマシンの開発計画について述べます。2,048ビットの離散値全結合と512ビットの連続値全結合を切り替えられる可搬型のマシンを今年度末までに開発する予定です。平成29年12月までには、10万ビット離散値全結合と1万ビット連続値全結合のマシンを開発する予定にしております。有名なIBMのニューロチップ（True North）は、256ビットを全結合したコアを4,000個並列に動作させて、トータルでは100万個のニューロンと2億個のシナプス結合を持っているわけですが、私たちが作ろうとしているマシンは、10万個のニューロンを100億個のシナプス結合で結合して、IBMの方式に比べて2桁大きな問題サイズに対応できるようなものを開発しようと考えています。

次に、量子人工脳の適用先に関する検討状況について、現状を御報告します。最初に化合物探索について述べます。例えば、創薬の分野におきましては、ターゲットとなる蛋白質に安定に結合する化合物の構造というものは分かっているわけですが、それぞれのサイトにどういう原子種を割り当てるかという自由度がありまして、膨大な数の中から解を探索する必要があります。例えば、12サイトに6原子種を割り当てるだけの問題でありましても、対象となる化合物の総数は20億に上りますので、計算機シミュレーションによってあらかじめこの数を100個ないし1,000個に初期フィルタリングしておくということが非常に重要であります。量子人工脳は波動関数の揺らぎを使って計算しますので、エネルギーの低い順番に励起状態を拾ってくるボルツマンサンプリングという機能を持っていますので、こうした応用には非常に適していると考えられます。

この加工物探索の問題をイジングモデルにマッピングして、実際解いてみますと、6サイト6原子種の化合物探索の問題ですと、化合物のエネルギーの分布というのはこういう分布をしているわけですが、そこにある温度を仮定してボルツマン分布を計算してみますと、その結果は、量子人工脳が吐き出してくる分布と区別できないことが分かります。この結果から、ボルツマン分布を確かに再現しているということが分かりました。同時に、同じエネルギーを持った化合物が数種類ある場合でも、ほぼ同じ確率でそれらの化合物を拾ってくれるという特性を持つことも同時に分かりました。

次に、無線通信システムについて述べます。無線通信の分野では、時々刻々トラフィックが変化するわけですが、周波数バンドや送信パワーといった通信リソースを基地

局間で最適化して、ユーザー間の干渉あるいはビットエラーを最小化し、スループットを最大にするということが非常に求められています。例えば、近接したユーザー間では基地局を介して通信を行う代わりに、公衆無線LANや直接デバイス・トゥ・デバイスで無線通信を行うことができますと、周波数の利用効率が向上され、高速化・低遅延化、通信容量の増大あるいは基地局負担の低減などを同時に実現することができます。

ここでは、各ユーザーの送信電力と周波数バンドを最適化して、相互干渉を最小化する問題を量子人工脳にマッピングして解かせた結果が示されています。横軸は、基地局を介するユーザーに割り当てられる通信速度を決めたときに、デバイス・トゥ・デバイスを使うユーザーの通信速度を計算したものです。従来方式の場合には、こういう最適化というのは1分以上の計算時間が掛かったわけですがけれども、量子人工脳の場合には、その計算時間が1秒程度で済み、また通信容量も改善されることが分かりました。

最後に、スパース推定について述べます。例えば、医療とか天体観測などの画像解析の分野におきましては、我々が観測できる情報量は、もともと高次元のデータが持っていた情報量に比べて圧倒的に小さなものであります。なおかつ、元データの間でのクロストークあるいは雑音も付加されます。そのようなひずみを受けた観測データからどれだけ忠実に元画像を再生できるかという手法の一つが、このスパース推定というものであります。

背景にある思想は何かといいますと、我々が対象としている系というのは、ある種の秩序が自己形成されていて、系が持っているランダムさ、すなわち情報量というのは、理論的な限界よりもずっとずっと低いという情報のスパース性です。そのスパース推定という手法を使って画像を再構成するためには、元画像（ベクトル）の非ゼロ項の個数を最適化しながら、観測データに最も近い元データを推測するという最適化問題を解くこととなります。この問題をやはり量子人工脳にマッピングしまして、ここに数値シミュレーションの結果があるのでありますが、 $14$  掛ける  $14$  の画像データについてひずみを受けた観測データが与えられたときに、元の画像に比較的近い復元画像というものが得られるということが分かりました。

最後に、研究開発のロードマップをお示しします。平成28年度末までに2,048ビット量子人工脳の開発、これは開発済みなんですけれども、これに関する報道発表を行いたいと考えています。平成29年度半ばまでには、この2,048ビットの量子人工脳を可搬型にしたものを用いた外部ユーザー向けの運用を開始したいと考えています。

以下は、先ほど述べましたように、より大きな1万ビット～10万ビットの量子人工脳の開発を行って、それを使った外部ユーザー向けの運用を開始するということを今後行っていきたいと考えております。

以上です。

○久間議員 どうもありがとうございました。

それでは、御質問等をお願いします。橋本議員、どうぞ。

○橋本議員 中身はよく分からないのですが、順調にハードの方もソフトの方も進んでいるということで、大変すばらしいと思うのですが、最終的な形態とその後についてお伺いしたいです。例えばハードの方も、いろいろな競合があって、いろいろなアプローチがされているわけです。今、このプロジェクトでやっているものが完成したときに、その後の競争優位性はどのように保つものなのでしょうか。

それから、ソフトの方もいろいろなこういう問題を解く理論を開発されているわけですが、そういうものが今後どのように競争優位性を保つのでしょうか。

○山本PM 先ほどお示ししましたこのグラフなんですけれども、当面の競合相手である量子アニーリングマシンとか古典アニーリングマシンというのは、ニューロンとニューロンの間をつなぐシナプスの実装にどうしても限界があるために、解ける問題サイズがルートNでスケールしますので、いずれどんなに大きなビット数のものを積んだものでも、本当に解きたい大規模な組合せ最適化というのは恐らく難しいのではないかなと考えています。一方、測定フィードバックという量子人工脳の柱の一つを用いますと、今のプロジェクトの考えでは、10万ニューロンを100億のシナプス結合で全結合できますので、10万ビットの組合せ最適化の問題には恐らく一番速く到達できると思っています。ただ、それ以上の問題を近似的に解きたいというときに、現代コンピュータに載るアルゴリズムがいろいろ考えられていて、こういう新しいハードで問題を解決するのではなくて、アルゴリズムでそれを解決するという手法が、本当の意味で強敵といいますか、近似解を高速で見つけてくるよいアルゴリズムが見つかってきたときに、10万以上の問題で量子人工脳は、このアルゴリズムの進化にどのように太刀打ちするのかというのは、多分真剣に考えていかなければいけない問題だと思います。

○橋本議員 そうすると、このマシンをこの方法で更に最適化するとか、そのような方法で勝てるという話とはまた別の次元の競争が出てくる可能性があるというわけですか。

- 山本PM はい。このテーブルに出てきているハードの開発の中では、恐らくスケールするのはこのマシンだけなので、そういう点では余り心配していないのですけれども、いわゆる現代コンピュータやFPGAの中に直接アルゴリズムとして新しい解法を載せるようなものというのは、恐らく日進月歩で出てくると思いますので。
- 橋本議員 このソフトの方はどうなんですか。今具体的に3つの事例を出されましたが、こちらの方の、これはちょっと私は内容が分からなかったのですが、このマシンによって異なるのですか。基本的なスキルのところは変わらないんですよね。
- 山本PM はい、これは全て組合せ最適化問題を一度イジングモデルに落としていますので。
- 橋本議員 同じですよ。
- 山本PM そうです。量子アニーラに載せようが、古典アニーラに載せようが、あるいはニューロチップに載せようが、同じです。
- 橋本議員 分かりました。そうすると、こういうものの競争というのは、どこまでいったら良くて、それ以降はどうなるのですか。
- 山本PM 今、例えばこの例ですと、この計算機シミュレーションでやっているのは6サイト6原子種の問題なんですけれども、このぐらいの小さなサイズの問題であれば、恐らく今の現代コンピュータの中で全数探索をしております。
- 橋本議員 すみません、私の質問は、このソフトというか、こちらの方の理論式の研究には大変力が入っていますよね、日本のいろいろな方を入れて。この方の競争優位性というのはどのようなものですか。
- 山本PM そこに関しては強敵がいます、D-Wave社の近くで立ち上がったベンチャーに1QBITという会社がありまして、100人ほどのベンチャーなんですけれども、量子ソフトに特化した企業がありまして、そこにこういう様々な組合せ最適化をイジングに落とす数学に強い人たちが集まっています。そこにたくさんの新しいソフトが蓄積されていて、その会社では、別にどこのハードを使っても最終的には使うソフトは全部うちのソフトになるというので、そういう意味で一番大事なところを押さえている会社が実はあります。米国には、GoogleやNASA Amesにも強力なソフト部隊がいます。ImPACTが抱えているソフトの開発部隊というのは、1QBITのように組織化されたソフトの開発部隊にまだなっていないので……。
- 橋本議員 そことはどういう関係でやることになるのですか。これは、すごくシンプルに言

うと、そういうところがあるのだったら、もうソフトの開発はそこに任せてしまおうとか、例えばですよ。単純に最終的な成果を見たときに、もちろん学問的には、日本を代表される方が入っているからすごいと思うんですが、しかし、こういう問題についてそういうベンチャーがばっとやっているのだったら、そこに勝てるのだったらやった方がいいし、勝てないのだったら……。

○山本PM 比較的急いで、外部ユーザー向けの運用開始のために可搬型のマシンを開発して、来年の10月を目安にこういうことをやろうとしているのは、このマシンに1QBITの様々なソフトを載せてもらおうと思って……。

○橋本議員 例えばマックとウインドウズの戦いみたいな感じなのか。言ってみれば、OSの開発競争みたいな感じで。

○山本PM そうです。今はD-Wave社の量子アニーラだけが彼らが使えるハードなんですけれども、IMPACTのマシンが立ち上がってインターネットにつながれば、恐らく自分たちが持っているソフトを量子人工脳の上で走らせるはずなので。

○橋本議員 そういう競争なんですね。OSの競争みたいなことが行われると理解していいんでしょうかね。分かりました。分かったというか、外形が分かりました。

○久間議員 組合せ最適化問題というのは、例えば何十億、何百億とある解の中で、最も適した解を探す問題です。しかし、本当に一番いい解が必要だという問題は、現実的にどういう問題があるのか、まずそれを説明すべきです。普通の問題なら、何十億ある解のうちの100番目でも1,000番目ぐらいでも十分というケースがほとんどです。

それから、ボルツマンサンプリングとかスパースモデリングなどは別の人のアイデアであって、山本PMのオリジナリティは、ボルツマンサンプリング等の理論モデルをイジングマシンにマッピングしたところなんです。とすると、イジングマシンの工学的価値が問題になります。イジングマシンには光演算の部分とFPGAの部分がありますが、FPGAでの計算量が多いと、ハードウェアとして価値が高くないので、光演算によって全体の計算量が大幅に減少するということを、分かりやすく説明する必要があると思います。次回はそのようにお願いします。

ということによろしいですか。

ほかに御質問がありますか。小谷議員、どうぞ。

○小谷議員 組合せ最適化は、日本の数学者でも結構強い人がいますが、先生のチームに入っ

ているのでしょうか。

○山本PM はい。プロジェクトの開始当初は、東大生研の合原先生のグループだけがここを担っていたのですが、やっぱりここが大事だということで、グループを再建していろいろな人に入ってきてもらっています。実際には、ここには書いていないのですが、この人たちが考えたアルゴリズムを実問題に載せたときの性能をいろいろ評価していただくために、例えばスパース推定とか創薬とか無線通信とか、それぞれの分野のプロの方がプロジェクトの外部にいて、そちらの人たちは、実際は現代コンピュータの上でいろいろなアルゴリズムを走らせてやっているわけですが、そこそこ競争して、よりよいものを探していくということを今やっているわけです。

○久間議員 よろしいですか。

イジングマシンは、まだ小さいモデルですが、ハードウェアとして動作し始めているので、技術は進捗していると思います。引き続き頑張っていたきたいと思います。

どうもありがとうございました。

それでは、事務局から今後のPMからの報告予定について説明してください。

○福嶋参事官 次回のPMからの進捗報告につきましては、8月18日に藤田PM、宮田PM、山川PMの3名からの報告を予定しております。よろしくお願いいたします。

○久間議員 ありがとうございました。

以上で第17回革新的研究開発推進プログラム有識者会議を終了させていただきます。

午前10時50分 閉会