

総合科学技術・イノベーション会議有識者議員懇談会

議事概要

- 日 時 令和2年3月26日(木) 10:01～11:08
- 場 所 中央合同庁舎第8号館 6階623会議室
- 出席者 上山議員、梶原議員、小谷議員(We b)、小林議員(We b)、
篠原議員、橋本議員、松尾議員(We b)、山極議員
(事務局)
佐藤審議官、十時審議官、堀内審議官、柿田審議官、高原審議官、
坂本参事官、大塚政策企画調査官、河合参事官、須藤プログラム統括、
藤田PM、山川PM、山本PM(We b)
- 議題 I m P A C T成果報告について(3)
- 議事概要

午前10時01分 開会

○上山議員 定刻になりましたので、ただいまより総合科学技術イノベーション会議有識者議員懇談会を始めます。

本日は小谷議員、小林議員、松尾議員がWe b会議での御出席です。

議題は公開で行います。一つで、I m P A C Tの成果報告について意見交換をさせていただければと思います。本議題は先週に続いて3回目になります。

I m P A C Tプログラムのプログラムマネージャーのうち、本日は山川PM、藤田PMにお越しを頂いております。山本PMにおかれましては、アメリカからWe bでの参加です。三つのプログラムに関して各PMから御説明を頂いた後、意見交換をさせていただきます。

では、早速ですけれども、山本PMから御報告をお願い致します。15分となっております。よろしく願いいたします。

○山本PM 私どものプロジェクトは、研究開発の柱が三つございまして、量子人工脳と量子セキュアネットワークと量子シミュレーションであります。

最初のテーマ、量子人工脳におきましては、最も重要な成果の一つとして、コヒーレント・イジングマシンのクラウドサービスというものを、2017年から18年に掛けて1年ほど行いました。このシステムは、2,000ビットを搭載したコヒーレント・イジングマシンの実機と、これを記述する量子論をプログラムしたGPUによる量子シミュレーションを行う、二

つのバックエンドを国内外のユーザーに使っていただくというものでありまして、1年間、中断することなくサービスを提供することができました。この間、約520万件のアクセスがございました。

第2の分野、量子セキュアネットワークにおきましては、高知医療センターを中心とした電子カルテの分散バックアップシステムというものを構築いたしまして、個人の医療データを秘匿しながら、なおかつ、衛星回線を経由して、9秒で復元するということができるようなシステムを構築しました。

3番目のテーマ、量子シミュレーションの分野におきましては、`Quantum Toolbox in Python`というオープンソースライブラリーを公開いたしまして、この分野における世界の研究者がこれをスタンダードとして使うようになりまして、例えば2016年の場合ですと、年間274件の論文がこのQUTiPを使って研究を行ったという実績がございます。

最初のテーマにおきましてプロジェクトが目指したものでございますが、現代社会の様々な分野、例えば創薬や無線通信、交通・物流、スケジューリング、機械学習、圧縮センシング、金融工学などの分野に現れる最適化問題というのは、問題サイズが大きくなりますと、現代のコンピュータでは、多くの場合、効率良く解くことが難しくなります。研究のモチーフという意味では、その下に書いてあります、多数の自由度からなる自然系——脳を含むわけですが——で観測されるマクロな秩序相の形成過程というものは、自然が行っている最適化を捉えることができること。この臨界現象あるいは相転移現象にヒントを得て、新しいコンピュータの原理を開拓して、これを量子光発振器で構成するニューラルネットワークで実現するということを目指しました。

具体的な計算機システムの構成は下に書いてありまして、与えられた問題が現代コンピュータの中に入ってきますと、その問題の難しさに応じまして、例えばNP-困難クラスの最適化問題の場合には、コヒーレント・イジングマシンにタスクを飛ばす、NP-完全クラスの最適化問題の場合には、コヒーレント・SATマシンにタスクを飛ばす、連続量最適化の場合には、コヒーレントXYマシンを使う、量子多体系のモデルを解きたい場合には、量子シミュレーションのマシンを使うという、四つの言わばアクセラレータを現代コンピュータのバックエンドとして使って、この種の問題を何とか処理しようという、そういう考え方があります。

開発されたコヒーレント・イジングマシンの性能を、他の量子マシンに対して比較・評価を行いました。使った問題は、数学の用語で言うところのMAX-CUT問題、物理ではイジン

グ問題と呼びますが、代表的な組合せ最適化問題でありまして、この組合せ最適化問題というのは、問題サイズをスピンの数で勘定しまして、 $N=20$ スピンから 150 スピンまでと問題サイズが大きくなっていったときに、正解を得るまでにどのような計算時間が掛かるかということを示してあります。

一番左側のコラムには、最適アルゴリズムとして知られるグローバールアルゴリズムを搭載した、汎用の量子コンピュータの理想的なものが将来できたとしたときの計算時間がまとめられています。 $N=20$ スピンの場合ですと、4ミリ秒で答えが出ますが、 $N=50$ スピンになりますと、600秒、 $N=100$ スピンでは、 2×10^{10} 秒、 $N=150$ では 6×10^{17} 秒（これは大体200億年という計算時間になります）、と指数発散して、これではとても使い物にならないということが分かります。我々が解きたい組合せ最適化問題のサイズというのは、少なくとも数千スピンから数万、数十万スピンという問題を解きたいので、これではソリューションにはならないということが、このテーブルから分かります。

この問題を解決するために、様々なヒューリスティック・マシンが提案され、研究が近年行われています。その代表的なものが三つ、右側のコラムに書いてありまして、一つは、MITで提案された量子-古典ハイブリッドマシンで、これをQuantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) といいます。 $N=20$ スピンの場合には120秒と、理想的な量子コンピュータよりかは遅いんですけども、 $N=150$ になっても、1,000秒で答えを出すことができると。そういうものです。

2番目のコラムには、カナダのD-WAVE社が開発した量子アニーリングマシンを使った実際の実験結果が示されています。 $N=20$ スピンで約10マイクロ秒、 $N=50$ スピンで約2,000秒という値が得られています。

最後の右端のコラムに、NTTで開発されたコヒーレント・イジングマシンを使った場合の計算時間がまとめられています。 $N=20$ スピンで0.1ミリ秒、 $N=50$ スピンで0.37ミリ秒、 $N=100$ スピンで2.5ミリ秒、 $N=150$ スピンで54ミリ秒という値が得られています。現時点では、QAOAマシンに比べて約7桁、量子アニーリングマシンに比べても約7桁、1,000万倍の高速性というものが達成されていることになっております。

プロジェクト開始の時点で、IMPACTでは社会実装可能な実用的な技術の芽をつくる、ブレークスルーを目指すということで、「Nature」とか「Science」といったハイインパクトジャーナルに論文を出すことが目的じゃないということを、CSTIの議員の方からも言われましたし、私自身も同様のメッセージをプロジェクトメンバーに繰り返し流して

きたんですけど、蓋を開けてみて終わってみますと、現場の研究者はやはり論文を書くことを非常に大事に考えていまして、そのことは良く理解できるのですが、このスライドにまとめられていますように、「Nature」、2件、「Science」、4件を始めとして、インパクトファクターが10以上の論文というのが62件出ました。これらの論文数というのは、ある意味、ImPACTプロジェクトが最先端の研究分野で、国際競争力を保持していたかどうかということ、大ざっぱに見る目安にはなるのではないかと思います。

次の緑で囲ったコラムには、インパクトファクターが2～10の間の論文数がまとめられています。総数で359件の論文が出ました。これらの論文というのは、プロジェクトに参加した大学院生が初めて書く学術論文というのは、大体ここに属しています「Physical Review Letters」であったり、「Physical Review B」であったり、「Physical Review A」であったり、そういう学会誌に科学論文を書く最初にトライする雑誌が大体この領域にありまして、一人一人の研究者の学問を進化させたり、将来の研究者を育成するということに、どの程度プロジェクトが貢献したかということ、測る目安ではないかと思っています。

最後のコラムは、インパクトファクターが2以下のいわゆるノーネームジャーナルなんですけども、将来のブレークスルーの種になるような新しいアイデアというのは、関連研究者が多数おりませんので、「Nature」や「Science」のような商業誌では、なかなか取り上げてくれないということで、こういう雑誌に新しいアイデアを発表するという意味で、非常に重要なものであります。34件の論文を出したわけですけども、将来のブレークスルーのトリガーになるような、種はまけたのではないかというふうに考えています。

総数455本の論文のうち、約100本の論文が引用件数でトップ1%、5%、10%以内に入っていますので、それなりの注目は得られたのではないかと思います。

最後に、ImPACTプログラムの後継について、次にお話しいたします。

量子セキュアネットワークは内閣府のSIPに、量子シミュレーションは文部科学省のQuantum Leapに、それぞれ引き継がれました。一方、量子人工脳は米国に研究活動を拡張することになりました。

その一つは、NTT Researchという新会社が、シリコンバレーに昨年7月に設立されまして、その中にNTT量子計算科学研究所（通称PHILabs）というものができました。ここを中心にした10の外部研究機関、ここにありますように、ハードウェア研究ではスタンフォード大学、カリフォルニア工科大学、コーネル大学、MITという、四つの大

学と、ソフトウェア研究に関しては、NASA Ames、カナダの1QBit、オーストラリアのスインバーン工科大学、ミシガン大学・理化学研究所、東工大、ノートルダム大学といったところと、一種のオープンラボラトリーという枠組みを組んで、5年間で50億円という研究費で研究がスタートしております。

米国における研究のもう一本の柱は、一昨日3月24日、NSFから発表がございましたけれども、Expedition in Computingという、NSFが計算機科学の分野で持っている最大のプロジェクトなんですけれども、2年に1回、全米から三つのプログラムが選択されるわけですが、その一つにコヒーレント・イジングマシンが選ばれて、このスライドに書いてあるようなメンバーで、研究をこれから5年間やっていくということになりました。このNSFのプロジェクトでは、例えば、私ども、NTT ResearchとかMicrosoftのような日米の企業研究所の研究者、あるいはNASA AmesやNIIのような日米の国立研究所の研究者が、研究費をいただかない外部の研究協力者としてプロジェクトに参加し、大学の研究者と共同研究するという仕組みになっています。

この二つのプログラムを柱に、研究が今後進展していくということになるかと思えます。

それで、ImPACTのプロジェクトの良い点、悪い点といったものを整理して、まとめのスライドを1枚入れるようにというふうに言われたのですけれども、私が申し上げたいことは、ここに書いてあります、研究者を育てるといふことの重要性であります。この年表は、NTTとスタンフォード大学という、量子人工脳の研究の中心を担った研究機関が、この50年間にこのプロジェクトで使われた技術や知識をどのようにして磨き上げてきたかという年表であります。光パラメトリック発振器という、コヒーレント・イジングマシンの心臓部が初めて実証されたのは、今から50年前、スタンフォード大学で実証実験が成功しました。もう一つの柱である光ホモダイン検波技術というのは、10年ほど遅れて、NTT基礎研究所でコヒーレント光通信の脈絡の中で誕生しました。

それから、40年、50年たって、ImPACTのプロジェクトがこの5年間行われてきたわけなんですけれども、そのImPACTのプロジェクトの中で重要なマイルストーンになった最初の小規模コヒーレント・イジングマシンを実証した研究者というのは、1968年に光パラメトリック発振器の実証実験を博士論文研究として行ったスタンフォード大教授の学生だった人の仕事であります。2年後の大規模のコヒーレント・イジングマシンを実証させた研究者というのは、東北大学のPhDの学生だった時にスタンフォード大学で研究に従事し、その後NTT基礎研究所の量子光学研究グループで腕を磨いてきた研究者です。こういう5年という短期

間に大きな成果を競うような研究というのは、それを実現するためにはお金は非常に大事なんですけども、研究費だけではうまくいかなくて、何十年という技術・知識の蓄積と研究者を育てる場があって、初めて可能になるものではないか、というふうに感じています。日本は、もっと研究者を大事にすること、研究者を育てる場を大事にすることが必要だと思います。

私の発表は以上になります。

○上山議員 ありがとうございます。

続きまして、山川PMの方からお願いいたします。

○山川PM 山川でございます。本日はよろしくお願いいたします。

私のプロジェクトは、「脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現」ということで進めさせていただきましたので、その御報告をさせていただきます。

お手元の資料にございますとおり、皆さん御承知のとおり、脳・精神疾患に関する社会的・経済的な損失は非常に大きいものがある中で、世界中の取組としては、病気をしっかりと治そうというような大きな研究があるのと同時に、逆に、もう脳は壊れてしまったら直るものではないから、AIとかIoTを使ってそれを補うようなことをしましょうという、グローバルのトレンドがあるかと思います。そのような中で、5年前、私自身は、個人個人がいつまでも脳が元気でいられるような研究開発というのを何としても進めたいということで、このプロジェクトを始めさせていただいた次第でございます。

こういうことをすることによって、次のページにございますとおり、医療費、介護費等、多くなっているという中において、病気になった後に治療をするというよりは、もっと手前の時点から健康増進というところを進めるというのを、何としてもできないか、これは国の問題というよりは、実は個人の問題としても、病気になってから、費用が掛かっていくよりは、それより前に幸せな生活ができればというのが、青臭いかもしれないですけど、何としてもやりたいと思ったところでございます。

このような大きな新しい社会課題に対しての取組に対して、私自身はマネジメントの立場から、大きくステージを三つに分けて、最初の頃はいろんな研究者の方にお集まりいただいて、特にアプリケーション寄りには、モデルケースをどんどんつくっていきこうという形で用意しつつ、それを支えるようなエコシステム型の研究開発、この二段構成でつくらせていただいて、徐々に次のステップでは、いいものは残し、更に予算を追加して、残念ながら、悪いものに対して、あまりこれから進捗しないものに関しては、少し淘汰をさせていただきつつ、さらには、その先にはスタートアップをつくるなりということをお願いさせていただいて、今に至っているところで

ございます。本日はこの話を一通りさせていただければと思います。

小さな資料で大変恐縮ですけれども、ここに書いてございますとおり、今申し上げたステージ I のときは、10 カテゴリー、26 グループの研究グループを配しまして、色々な研究、非常にすばらしい研究ございましたけれども、その中でも、やはりもう一段、社会に実装できるという視点で、もう一步進めていただけるような9 カテゴリー、12 グループに狭めさせていただきつつ、さらには、最終的には4つのカテゴリー、7つのグループに分けて、良いモデルケース、さらには、それを支えるようなプラットフォームというところを、おかげさまでこの4年半、5年ぐらいでつくれてきたのではなかろうかなと考えている次第でございます。

その中で、まず一つ目、非常にきれいなモデルケースになったと思っておりますけれども、京大の神谷先生にリードしていただいたブレインロイドというようなアプリケーションでございます。何か物を見たときに、高度なMRIの撮像技術を使うことなく、脳の状態を予測するというものを開発してございまして、ある画像を見たときに、自分の脳がどういうふうに反応するのかというのをエミュレートできるようなところまでは見えてきました。

更にもう一段進んでいただいて、その脳の活動パターンがどういう意味を持っているか、特にここでは、どういう形容詞をイメージしたかを検索できるようにしまして、ある物を見たときに脳がどのように反応して、どういった意味合いを持てるかというところの技術開発を進めてくださって、これをいよいよ、どういうものを見たら人の心が安らぐのかというふうに使っていくようなベースの技術が、できたというところでございます。

現在は、どちらかというところ、ある種、残念ながらなんですけれども、いわゆるヘルスケアの領域というよりは、アートの領域に展開をございまして、脳の状態から画像を再構成して、新しいアート作品を創るといったところを進めてくださっている次第でございます。

一方で、これが今回の一番メインの研究開発でございましたけれども、ATRの川人所長に進めていただいたニューロフィードバックと言われるものです。脳の状態をリアルタイムで解析して、その解析した状態を、後ろ側にデータベースで、認知機能の高い脳活動パターンと低いときの脳活動パターンのマッチングをして、その結果を御本人に返す。これにより、今のあなたの脳の状態は、これぐらい脳がいい状態で、認知機能が高まっている状態ですよとか、逆に今はあんまり良くないですよというのをフィードバックすると、きれいにその人の認知機能がある程度向上するというのが実験室の中で実際に実装できまして、それを実際に論文等でも発表し、さらには、去年、川人先生がスタートアップも創業してくださったというところでございます。

私としては、本来、その創業したスタートアップに関しても、ヘルスケア領域でやっていき
たかったのですけれども、そういう意味では私の力不足もあるんですけれども、川人先生自身
は、出口は創薬の方とか治療の方にシフトをされて、I m P A C Tでできた技術を、ニューロ
フィードバックとして会社をつくっていただいて、去年1.8億ほどの増資も完成したという
ことで、方向感は違えど、その研究が更に社会にいかされるという意味では、非常に大きな進
捗があったと思っている次第でございます。

実際に、ここに書いてございますとおり、今までですと、脳・精神疾患の治療は、基本的には
お医者様が主観的に判断していく中で決めるものなんですけれども、先ほどの川人先生の技
術を使うと、客観的にその人の診断ができるのはもちろんのこと、さらにその先にはその人を
治療できる、いよいよ精神疾患の治療が見えていることもあり、製薬メーカー等との共同研究
も進めるに至っているところでございます。

最後のロールモデルになっているのは、阪大の石黒先生に進めていただいたもので、もう一
歩進んで、脳をもう少しよくするためにロボットを使ってみようと思いました。これはちょうど
左下の絵に描いてございますとおり、脳の活動パターンを取りながら、3本目の手を動かすとい
うようなことをしています。これは決して、別に3本目の手をうまく動かすというのが目的
ではなくて、人間の手はもちろん2本で頭は処理するんですけども、3本目の手を動かそうと
頭が努力することによって、どうも脳が良くなる、改善されるということは、実験的にも示さ
れましたので、そういった研究を今も続けて、いよいよ先々には新しい脳の機能を追加させる
ようなところを、進められるようにしたいと、目下、石黒先生は継続して研究を進めてくだ
さっているところでございます。

このような形で、私としては、最終的には健康な脳をつくるというのを最終ゴールにしてき
たわけなんですけれども、脳科学を健康な脳に持っていく中で、今申し上げた三つの先生方にリー
ドしていただく、基礎研究をしっかりと商品の技術にするというところまでやってきたん
ですけれども、それだけではやはり社会に実装するというところまでは進まないという思いも
ございましたので、実際にI m P A C Tのときから脳情報のプラットフォームづくりみたいな
ものは、私自身としても進めさせていただきました。

具体的にその成果は、ここにございますとおり、日本には脳ドックという非常にすばらしい
社会的なインフラがございまして、今でも20万人ぐらいの方がMRIのデータを撮って、健
康な方の脳を撮っています。それ自身は必ずしもつながっているわけではございませんでした
けれども、今回のプロジェクトを通じて、30拠点ほどのMRIの拠点の方々からデータをい

ただいて、あなたの脳はどれぐらい良いですよ、こういった脳疾患の可能性がありそうですから気をつけましょうみたいな、レポーティングの仕組みをつくらせていただきました。

一方で、今のは、どちらかという、一般の方が自分の脳を見えるようにするための社会的なインフラですけれども、こちらでは脳科学を専門としないような方でも、MRIのような高度な計測技術を使えるようなインフラづくりということで、非脳科学者、ここでいうと、建築の先生とか経営の先生とか美学の先生にもMRIの情報、脳の情報を使っていただくような仕組みをつくるとともに、それだけではなくて、民間企業の方にも御参加いただいて、実際に自分のところの従業員の方々の脳を取るというようなことをさせていただくような取組も進めさせていただいて、その中で、特に、一般の企業の方ですと、脳の情報があるままでは見づらいなので、そのための脳健康管理のための物差しといったBHQというの、つくらせていただいたというところでございます。

特にこのBHQに関しては、おかげさまでIMPACTがございましたので、国際的な標準化、H. 861というナンバリングもつけさせていただいて、実際に、ちょうどこの図にございますように、BHQの値は100を平均値プラスマイナス15の中に入るような、IQと似たようなインデックスの作り方をしているのですけれども、どうも皆様の脳は、1年間に大体0.6ポイントずつ萎縮していくというの、きれいに見えましたし、逆に言うと、40歳でも20歳ぐらい、非常に若々しい脳の方もいらっしゃる一方で、残念ながら、40歳にもかかわらず、60ぐらいの少し萎縮が進んだという、脳があまり健康でないというの、ある種、赤裸々に分かりますし、さらには、これは脳ドック学会の先生方と連携してやったものですが、どうもやはり認知症の方ですと、この脳の数値というのが大体78ポイントぐらいまで下がっている。

普通の方は、同じ75歳ぐらいでも、健康な方ですと96ぐらいという値ですけれども、認知症ですと78ぐらいということですので、やはり残念ながら、私たちの脳は年とともに老いるのはもちろんで、その先には認知症という非常に怖い疾患があります。けれども、逆に言うと、40とか50ぐらいから上の方にいらっしゃる方とか、更に言うと、60になっても上の方にするような努力をすれば、変わるのではなかろうかなというふうに思っているところでございまして、こういうところも色々な国々の人たちの共感を得まして、ITU-TというところでWHOと連携しているe-ヘルスの領域で、2年前に承認を頂いたところでございます。

おかげさまで、BHQというのがございましたので、川森先生を中心にスタートアップをつくってくださって、先ほど申し上げた脳ドックのインフラも使いながら、今ですと、恐らく皆

様の一部の方は行かれたことあるかと思いますが、脳ドックへ行くと、この所見なし、年相応ですねというふうなレポートは返るのですけれども、その中で、今、あなたの脳は大体これぐらいですよ、本来ですと、同じ年齢に比べると7ポイント低くて、どうも12歳ぐらい老けているというのを、脳ドックの先生方と川森先生のつくられた会社とともに、サービスインを始めようという準備しているところでございます。

一方で、企業の皆さんは、2019年5月からは民間の活動としてスタートさせていただきまして、BHQコンソーシアムということで、おかげさまで異業種の民間企業様40社、これまでのように自分の商品が良い悪いというところだけではなくて、自社の従業員にもっと健康な取組を提供するようためにBHQを使うというようなことも含めて、金融機関さんとかも含めて御参加いただいて、こういった取組をいよいよ本格化させていただきたくところです。

以上がこれまでの取組で、最後に一つ、私なりのIMPACTのまとめとさせていただきます。いわゆる産学官連携してやってきた取組だと思いますけれども、まず学においては、本当に非常に先生方は素晴らしい御研究してくださって、応用につながるような目覚ましい成果を出してくださったというふうに正直思っております。

一方で、産業界の皆様も、やはり新しい産業をつくるというのを非常に旗頭にさせていただいて、ある種、組織化であったり標準化というのを進めてくださった。

それに対して、内閣府の皆さんもそうでしたし、JSTの皆さんも非常にサポートしてくださったので、いわゆる研究開発と産業形成みたいなものを、非常にうまく進められたんじゃないかなというふうに思っています。

ただ、残念ながら、IMPACT、終わった後に、先ほども少し申し上げましたとおり、先生方の研究というのは、やはりどうしても既存マーケットに持っていくというところを中心にします。また、こう言ったら大変恐縮ですが、民間企業の皆様も、新しくヘルスケアのマーケットよりも、今ある、目の前にあるマーケットとか、AIに対しての取組というのを、残念ながら中心にしているんだらうなということです。これは私の力不足でもありますけれども、やはり個人で創業していただいたり、社会実装をしているということもございますので、一つ、私なりに提言させていただきただけであれば、次、新しい革新的な成果を目指すという研究開発はもちろんですけれども、IMPACTなり、次のムーンショット等に出てくる成果を育てるような政策というところも、是非視野に入れていただけるとうれしいと思っている次第でございます。

以上で発表を終わります。ありがとうございました。

○上山議員 ありがとうございます。

では、続きまして、藤田PMの方、お願いいたします。

○藤田PM それでは、「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」ということで、藤田が御報告させていただきたいと思います。

パワーポイントの量が多いので、スキップして御説明させていただきます。

高レベル放射性廃棄物の課題についてはもう皆さん御存じなので、ここではちょっと詳しく御説明しませんが、いわゆる原子力、今やめたとしても高レベル廃棄物は残るということで、これを次の世代で解決するのではなくて、私たち世代で解決できるような選択肢を提案するというのを目的にしております。現状の処分計画というのは、左の図にございますように、300メートルよりも深い地層に、ガラス固化体の形で処分することになっております。これに対しまして、この高レベル放射性廃棄物を少しでも低減化する、あるいは、貴重なレアメタルのようなものは回収して再資源化するというのを目的にしまして、このプログラムを進めてございます。

プログラムの構想ですが、私どもが研究開発目標といたしましたのは、高レベル放射性廃棄物を資源化する、また低減化するような、分離回収と核変換を実現するプラントの概念を提示するということが最終目標でございます。これまで、原子炉で核変換する場合は、半減期の長い核種を同位体分離して核変換してきましたが、これは経済性が成り立たないということで、私どもの構想としましては、同位体分離ではない偶奇分離法と、加速器を使った核変換を構想いたしました。

プログラムの概要としましては、半減期の長い長寿命核分裂生成物LLFPを回収するプロセスと、新しい核反応を使うために新しい核反応データを測定し、かつ、これが本当に核変換できるかという実証を、実Pd-107を使った試験で確認しております。また、選定しました核変換反応を実現する加速器の開発とプラント概念の設計、そして、高レベル廃棄物を中低レベルにするシナリオと、高レベル廃棄物を資源化するシナリオ、これについて検討いたしました。

プログラムの構成は、今、御紹介しましたように、高レベル廃棄物から分離回収するものをプロジェクト1で、新しい核反応測定をするものを、それから実証試験をプロジェクト2で行いました。この核反応データをプロセスにするためには、シミュレーションコードを開発するというので、ここは連携しながらしております。実際にこの核反応を加速器として開発するというのをプロジェクト4でしてございまして、プロジェクト5では、この分離回収から核変換

の加速器までのシステム概念設計と、先ほど御紹介しました廃棄物の低減、それから資源化の検討をまいりました。実際には、核変換プラントの社会実装を2040年ということで想定して、進めてまいりました。

研究開発のプログラムの成果をまとめたものでございますけれども、まず廃棄物の低減につきましては、高レベルではないレベルの低いものは、中深度処分と言われる中レベルのものにするというシナリオを検討いたしました。また、このプログラムのメインのテーマであります同位体分離を使わない核変換については、偶奇分離法と処理用の加速器を用いて、核変換のできるプロセスを提案いたしました。一方、資源化につきましては、実は核変換をしなくても偶奇分離法で半減期の長い核種を取り除くと、もう残りのものは安定核種ですので、それで資源化が達成できるということも、このプログラムで成果として得られました。

2番目のこの偶奇分離法と加速器は低減化と同じものでございまして、最終的に資源化するには、どういう使い方をして健康に問題ない放射能のレベル、クリアランスレベルと申しますが、これを世界で初めてPd-107とZr-93にして提案しまして、受理されまして、将来的にICRP、IAEAでお認めを頂くということになっております。

本プログラムの基本的なコンセプトをこの発明で御紹介したいと思います。

従来技術は原子炉で核変換するということでしたので、半減期の長い核種をそれだけ同位体分離で取り出さないと、核変換がうまくいきませんでした。それに対しまして、このプログラムで提案いたしましたのは、入射エネルギーをコントロールした加速器を使うということで、実際のLLFPは奇数核種を取り出すだけで十分に核変換できるという原理を見つけまして、これを特許といたしました。実際には、平成30年度の発明協会21世紀発明賞を受賞しております。

ここで、プロセスについて、Pd-107を例に御紹介したいと思います。

実際には、Zr-93、Se-79についても同じプロセスで核変換が可能です。高レベル廃棄物中に含まれますパラジウムを化学的にまず回収します。このパラジウムに含まれております核種は、このように半減期の長い核種はPd-107だけでございます。これを同位体分離すると非常に大変なんですけれども、偶数と奇数核種のみをレーザーで回収しまして、これを加速器の核変換に持っていきます。資源化のためには、やはり放射能が問題ないレベルということで、クリアランスレベルの検討をしたというものでございます。

実際のプラントの概念検討でございますが、高レベル廃液からLLFPを化学的に分離するプラントにつきましては、既にこのような設計ができてございます。

続きまして、偶奇分離法ですが、左の下にございますような使用済みのパラジウムは、このような組成になっております。こちらに偏光レーザーを当てますと、奇数核種のみが光を吸収して励起されますので、こちらをイオン化して回収するというのが偶奇分離法でございます。実は、偶奇分離法というのは、レーザーを用いた同位体分離法の前処理プロセスとして検討されたものですので、同位体分離に比べて非常にプロセスがシンプルだということがお分かりいただけると思います。

パラジウムにつきましては、既往研究では円偏光を使って、レーザーを3台使っておりましたが、ここでは直線偏光、レーザー2台を使うことによりまして、資源化、すなわち半減期の長いものだけは除去しまして、かつ効率化いたしましたところ、いわゆる処理容量、これが当初の10万倍という装置を開発することができました。

実際のイメージとしてはこういうもので、実機の350分の1の規模の装置の設計までできております。

続きまして、核変換について御紹介したいと思います、こちらは動画で御紹介したいと思います。

(動画)

○藤田PM 次に、実際に核変換する加速器の検討について御紹介したいと思います。

これについては、ImPACT2017モデルということで検討いたしました。今まで実際に使われている加速器と申しますと、ビーム径が2~3cmで、電流値が2~3mAというのが通常でございますが、これは処理装置としての加速器ですので、ビームとしまして重陽子を使いまして、電流値を通常の数百倍の1A、ビーム径を10cmという加速器を設計いたしました。実際には、このようにいろいろなメーカーにお願いしまして、ImPACT2017モデルを概念設計しております。

最後に、プログラムの成果としまして、高レベル廃棄物の低減とそれから資源化について御紹介したいと思います。

私どもが考えましたのは、いわゆる放射能レベルが低いものについては、ここにございますような濃度制限シナリオ、10万年後に年間20mSv/年の被曝をしないような廃棄物にするということで、今回、私どもで検討しましたパラジウムからセシウムについては、この核変換すると全然問題ないレベルだということで、高レベル廃棄物を低減することができることが分かりました。

一方、資源化の方ですけれども、通常、放射性の物質というのは、放射線管理区域の中に取り

り扱うようになっていますが、これを一般の生活環境に出そうと思うと、クリアランスレベルと言われて、どんな使い方をして健康に問題ない放射能レベルを設定しなくてはなりません。実は、Pd-107、Zr-93については、今まで再利用するという概念がございませんでしたので、ここでは新たにクリアランスレベルを設定するという検討をしました。

実際にパラジウムの例でしますと、このようにリサイクルして使われております。実際にどの経路が一番パラジウムの被曝が大きいかといいますと、実は歯科技工士さんがパラジウムの入った合金を加工するときの粉塵が最も被曝しやすいということで、クリアランスレベルとしては 3.3×10^3 といういわゆる3,000 Bq/gという量をクリアランスレベルとして試算いたしました。これを論文投稿しまして、受理されまして、現在はICRP、IAEAに提案する段階になっております。

プログラムの成果のまとめはこのようでございますが、IMPACTらしい非連続な成果としましては、偶奇分離法という新しい方法で、経済性の高い資源化の達成ができました。また、実パラジウム（放射性のPd-107）を用いた実証試験による確認というのを、4年半の中ですることができましたし、世界で初めて処理用の加速器概念を提案することができました。また、再利用という観点では、Pd-107とZr-93のクリアランスレベルの提案をすることができました。

社会へのIMPACTに対する見通しとしましては、実は偶奇分離技術というのは、今、加速器が一番最先端で研究されています医療用材料を製造する加速器に横展開することが可能です。また、放射性のパラジウムを資源化するという観点では、科研費等を今後検討しております。また、ムーンショットにも提案したいと思っております。

これらの成果、実は、論文については600件以上、論文投稿して、アクセプトされておりますが、今回はプレスリリースの件をちょっと御紹介したいと思います。プレスリリースだけで12件してございまして、お手元に補足資料としてお配りした中にそれが入っていると思えます。また、このプレスリリースに関わりまして、海外誌でも取り上げられておりますし、一般誌でも43件取り上げられております。毎日新聞社さんあるいは日経新聞社さんの日曜版、あるいは東洋経済社さんというところにも取り上げられてございまして、今後こういう分野が発展していくことを祈念しております。

マネジメントで工夫した点は、先ほどちょっと申し上げましたように、このプログラムといえますのは、本来は分離回収から核変換をシリーズで行うものなのですが、これを4年半で成果を出すために、全てを並行して進めました。その代わりに、各プロジェクトリーダーには他の

プロジェクト会議に参加していただき、情報共有をするということをしていただきました。

また、日本では、国立研究所や国立大学では、コンセプト特許、基礎研究の知財戦略というのがなかなかうまく展開できてないということで、ここではコンセプト特許については、21世紀発明賞を取りましたこのプログラムのコンセプトだけではなくて、加速器の概念あるいは加速器のターゲット等についても海外出願してございます。

それから、I m P A C Tの成果の今後の展開ですが、非常に幅広いということで、このプログラム全体を次にそのまま続けるのは難しいということは考えていますが、社会実装は10年前出しの2040年というふうに想定しております。

それから、最後にアピール事項ですが、原子力の施設のある地域でこのような研究をしていることを、ワークショップや講演会を開催しまして、地元の意見等を幅広く聴いて、プログラムに反映いたしました。一例がこちらでございます。

また、I m P A C Tを始めとした国の大型プロジェクトに関する所感・提言ですけれども、やはり省庁を超えた大型のプログラムが必要だと。省庁を超えることが重要ではないかというふうに考えております。

I m P A C Tの利点としましては、広報活動、これが非常に容易だったということが良かったということと、先ほどの省庁を超えるということで、分野横断の研究ができて、原子力研究だけでなく、若い研究者の参画と新しい研究分野の提案ができたと考えています。それから、概念特許の海外出願をサポートしていただいたことは、非常に重要だと思います。

今後については、原子力についても広く意見を聴いて、日本の国情に合った原子力政策を立てるべきですし、研究開発も進めるべきです。また、ニーズからシーズを掘り起こすという形にするべきだというふうに考えております。

I m P A C Tに対して良かった点については、もう既に申し上げたように、PMに権限が全て任された点、プレスリリースなど広報活動に重点が置かれた点と、PM補佐、アシスタントの体制が非常に良かったこと、改善点としましては、J S Tが資金管理のみをやっていただく方がいいと。民間の出身者も、J S T 100%にならないようにしていただくといいと今後、考えております。残り、記事リストが2枚入っておりますので、御覧いただきたいと思います。

以上です。御清聴、ありがとうございました。

○上山議員 ありがとうございました。それでは、これまでの説明について、御意見、御質問がある方はお願いいたします。W e b参加で御参加の議員におかれましては、御発言がある場合は挙手をお願いします。御発言の際はまずお名前を言ってください。

橋本先生。

○橋本議員 どうもありがとうございました。たくさん質問がありますが、時間ないようから1点、国際連携というか、そういう視点から、山本先生と山川さんに伺ったらいかなと思うんですけども。

山本先生の話のように、お話を伺って、やっぱり最先端の物理の世界というのは、本当に国際的な連携の中で進んでいくんだなということは、非常によく理解できて、それが大変うまくいっているなということで、論文からも、それからプロジェクトの展開も大変素晴らしいと思うんですが。とはいいいながら、実はすごい量子の世界というのは、国際競争、国間の競争もむちゃくちゃ激しいですよ、現実的には。

それで、先生の成果をNTTさんが核となったところに、いろんな大学がその後を引き継いで出てきたのも、日本は理研と東工大がぽこっと入っているだけだったし、それから、アメリカのプログラムの中には、日本人1人入っていたけど、アメリカの大学で、先生方はお金をもらわないでちょっと入っているみたいな、そういうサポートをするみたいなことになっていて、先生が指導をしてこられたFIRST、IMPACTとあって、この分野を物すごく展開させたと思うんですけども、その出ていく先がなかなか国内に、だから我が国だけという必要は全然ないけれども、しかし、そんなきれいごとじゃないと思うんですね。

そういう意味で寂しいというか、寂しいというより、もう今後の政策の上において、我が国が投入したお金を、グローバルな連携があっても、我が国を核として展開していくことが望ましいと思うんですけども、この先生のFIRST、IMPACTでつながった成果の今後の展開としては、どうなっているんでしょうか。

○山本PM コヒーレント・イジングマシンは日本で生まれた技術で、それがアメリカで受け入れられて、NSFの計算機科学の最大のプロジェクトに採用されたということは、すごく大きなことだと思うんですね。そのプロジェクトの中には、実はたくさん日本人研究者が大学院生やポスドクとして参加しています。ああいう国ですので、アメリカの国内、ヨーロッパからもそれなりに力のある人がたくさん入ってきて、日本人研究者は彼らと切磋琢磨して、研究を進めていく環境というのが、今のコヒーレント・イジングマシンの研究フェーズに必要なだと思っています。いよいよ社会実装を目指して、いろいろな応用分野を開拓する、ソフトウェアに研究の中心が移って、アルゴリズムの開発に研究の中心が移ったときに、アメリカも巻き込んで研究をしていくというのは、やはり避けて通れないことだと私は思っています。

NTT本体の国内の研究所がハードの開発は引き続き行っていて、その基本技術というのは、

国から外には出ないように仕組みはできていまして、コヒーレント・イジングマシンのハードを中心とした技術というのは、国内に残してあるんですけども、それをどこに使ったら実際、世の中の役に立つのかということ、いろんな角度から調べていくという分野のことは、やはりアメリカの力を借りるといのは、今の時点では避けて通れないんじゃないかなというふうに私は考えています。

○橋本議員 そうすると、今おっしゃったオープン・クローズド戦略の中で、オープンの部分を今日はお話しになったと、今後の展開としての。そういうことなんですかね。

○山本PM はい。そうですね。

○橋本議員 分かりました。どうもありがとうございました。

山川PMはいかがですかね。あの話も実は非常に国際的な広がりがあると思うんですけども、規格化の話だけで出てきましたけども、そういう連携あるいは展開はどうなんでしょう。

○山川PM おっしゃるとおり、脳科学も非常に国際的な競争、激しい分野になっていて、いろんな国の方々と今回も一緒にやらせていただいたところもありますけれども、実はおかげさまで、脳の健康というところに行った途端に、日本が非常に他の国からも期待されますし、先を進んでいるので、いいフィールドを日本側でつくと、他の方々も逆に日本に来ていただけるようになるんだろうなと思います。恐らく、ここ2～3年後ぐらいには、他の国もいよいよそこを本気でやろうと思い、そうなる、今度は日本はパスされてというふうになるようなことがあるので、せっかく国際標準もできたこともあるので、何しろ日本にいろんな研究者も来ていただくようなことを、何ともしたいというふうには思っているところでございます。

○橋本議員 その仕組みはある意味できつつあるというか、要するに、他国から海外が参画したときに、日本のこれが中心になっていけるような仕組みと申しますか……

○山川PM そういう意味ですと、実は脳ドックという、日本にしかまだ今のところはない。不思議なと言ったら語弊ありますけど、元気なうちに脳を測るという不思議な仕組みがしっかりと今ございますので、そこに来ていただくというのができれば、十分可能性はあるというふうに思っています。

○上山議員 ほかにいかがですか。

○篠原議員 先ほどの山本先生のお答えのときにNTTという名前があったので、ちょっとお答えしておく、ハードウェアについては、実はキーデバイスを日本が押さえていますので、そのキーデバイスを使いながら、ハードウェアについては国内の方でしっかりやっつけよう。現時点で、もう少しビット数を増やすとか、幾つか改善点がありますので、それは国内ベース

でやっていこうと思っています。

山本先生の方では、さっき御紹介していただいたアプリの話以外に、物理の原理的な話についても進めていただいています。アプリについては、山本先生がおっしゃったような格好で、グローバル、アメリカを含めて進めていく話に加えて、今、S I P光・量子の戸川先生のプロジェクトが、このコヒーレント・イジングマシン、CMOSアニーラも含めて、いろんな問題をどうやって解いていくか取り組んでいただいていますので、山本先生が進めていただいているアメリカの動きと、日本のS I Pで進めていく動きを、うまくハーモナイズしていくというふうな話になるのかというふうに思って……

○橋本議員 誰がオーガナイズしていますか。

○篠原議員 このS I Pですか。

○橋本議員 いや、違う。そうじゃなくて、今言われた全体像。

○篠原議員 それはオーガナイズするというよりも、S I Pのこれからの進捗状況とアメリカの進捗状況なんかを見ながら、こういう場を含めてですね。誰か1人、トップがいるというわけじゃないですから。

○橋本議員 本部が調整する必要はないと。

○篠原議員 調整というよりも、ある程度その進捗が出てきた段階で、例えばこういうところで議論、そのS I Pの更に先をどうするかなどを議論していくべきではないかなと思っています。

あともう一つ、山川さんの話について、イスラエルの痴呆症・脳疾患のベンチャー企業が、お年寄りのたくさん集まっている地域で実証実験をやっていますので、日本全体をつないでいる脳のデータも大事ですけど、山川さんがおっしゃったように、健康増進に取り組むのであれば、国内のお年寄りのたくさん集まっているところのデータ活用を進めていかれた方がいいと思います。

○上山議員 松尾先生。どうぞ。

○松尾議員 名古屋大学の松尾です。

2点お伺いしたいことがあります。一つ目は、山川先生にお伺いします。これはすばらしい研究成果が上がっていると思うんですね。従来、脳ドックというと、我々、例えば血管の状況を見たり、あるいは動脈瘤を見たりして、かなり近い先の疾患を予想するというので今使われているんですが、先生の研究は非常に画期的な研究だと思っています。

ただ、最後の方のところ、これだけ成果が上がっていて、言わば協調研究の領域ですばら

しい研究が上がってきて、その先の社会実装とか、あるいはビジネスモデル化というところで、ちょっと問題があるというふうなお話がありました。その中身がよく分からなかったんですけども、もう少し具体的にお伺いできればと。それから、先生の方から、これをそういうふう
に実用化し、かつ、社会のイノベーションにつなげていくためのアイデア等がありましたら、
教えていただきたいと思います。

○山川PM 松尾先生、貴重な御意見いただいてありがとうございます。

おかげさまで、素晴らしい先生方のおかげで、いわゆる30年ぐらい先を見据えて、日々の
脳の健康を管理するということが、BHQによってできるんだというふうに思っています。今、
日本は今、脳ドックといういい仕組みがあると言いましたけれども、ある種、すごいんですけ
れども、逆に言うと、たかだか20万人しか使ってないとも言えます。20万人は、脳のデー
タとしてはすごく多く、世界ではこんな量はないんですけれども、逆に言うと、本来、高齢者
の皆さんはほぼ撮っておいてもいいよねというところに比べると、数千万人が撮ってもいいん
ですけど、そこには非常にギャップがあると。

さらに、もともとやっぱりMRIという装置は、日本製がほぼ今なくなりつつございませ
うので、海外のものを買うということもあって、1件当たりの単価が高いので、20万人が数百万
人にどんどん伸びるかという、残念ながらそこは難しいんだろうなと思っていて、そういう
意味では、非常に多くの企業さんも一般の方々も脳ドックの先生方も、皆さんが、もろ手を挙
げて喜んでいただいている一方で、じゃあ一般の方々が毎回毎回4万、5万払って脳を撮るか
という、そこはまだ難しいので、ビジネスモデルとして抜け切れないというのが現状でござ
います。

そういう意味では、一つ大きな方向としては、もしかしたら、MRIではない新しく替わる
ような装置なのか、逆に言うと、データに基づいて、ある行動からBHQを推定するような形
で少しちょっと違った視点、例えばスマートシティの中で、脳の状態が分かって、結果として
BHQを出すみたいな、ちょっと違った取組、MRIではない方法というの、考えていくと、
いよいよ新しいフェーズになるんだろうなと思っている次第でございます。

○松尾議員 その辺りのところのビジネスモデルづくりの検討みたいなものは、チームという
か、そういう中では検討されているんでしょうか。

○山川PM 今、40社の企業様、実はIMPACTが終わった後に半分ぐらいなくなった
んですけども、さらにもう一回戻って、違うメンバーで40社ぐらいに増えてございませ
うので、その方々が色々な、スマートシティの中で使おうとか、家の中で使おうとか、新しいデバ

イスで開発しようとかということを考えてくださっているので、その中でもう一段ギアを上げていけたらいいなと思っている次第でございます。

○松尾議員 ありがとうございます。すばらしい研究だと思いますので、是非これの実用化、かつ個人に跳ね返るといふふうなことになればいいなと思います。ありがとうございました。

○山川PM ありがとうございます。

○小林議員 すみません。小林です。

○上山議員 小林先生、どうぞ。

○小林議員 藤田先生に1分やそこらではお答えが難しい御質問を敢えてさせていただきたいと思えます。一つ目は、先生の最後のまとめの「所感や提言」として、「地元の意見を広く取り入れ、日本の国情にあった原子力政策を立てるべき」と書いておられるんですが、これは現状のパラジウムのアイソトープとか、そういうレベルを超えて、例えばモルテン・ソルトのトリウム、熔融塩炉のようなものまで想定されているのでしょうか。二つ目は、パラジウムの資源化をムーンショットに提案すると書いておられますけれども、これはパラジウム光触媒とか、そういう環境上のアプリケーションをお考えなんでしょうか。質問は以上2点です。

○藤田PM 最初の方は、タリウムまでは考えてなくて、やはり現場のニーズというものを、結構、自治体でワークショップとかしますと、いろいろな、例えばパラジウムの例でいきますと、やっぱりレアメタルを資源として回収して、備蓄できるようなものは、廃棄物じゃなくてできるという観点では将来性があるので、地元としてはやりたいという話があるんですけども、原子力の場合って、基本的に政策がトップダウンで研究開発も下りてきてしまいますので、なかなか地元のニーズというのがうまく受け入れられていないというのがございます。

二つ目は何でしたっけ。ムーンショットですね。ムーンショットについては、実は原子力はムーンショットに入っていないということで、どちらかという、資源化の方でうまく入れられたらというふうに考えています。なかなか難しいと思うんですけども。もともと資源って日本は非常に少ないということで、放射性の廃棄物をうまく資源化できますと、ある意味で、備蓄という観点で日本にとって非常に重要な政策にできると思うんですね。そういう観点で、どちらかという、NEDO関係のムーンショットにうまく取り入れられたらいいなというふうに、ちょっと今考えています。ただ、なかなかそこもオリジンが原子力なので、どれだけ入れていただけるかということに大きな課題があって、廃棄物も減らせるし、レアメタル戦略にも重要だというような、そういう意味で、省庁横断のプログラムを推進していただきたいなということを書かせていただきました。

○小林議員 分かりました。ありがとうございました。

○上山議員 ありがとうございました。

少し時間も超えておりますので、本日の議題は以上とさせていただきます。山本PM、山川PM、藤田PM、本日はどうもありがとうございました。

これで公開の会議は終了となります。関係府省及びプレスの方は御退出をお願いします。

午前11時08分 閉会