

## 第28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29年6月8日(木) 9:59~10:32
- 場 所 中央合同庁舎第8号館 623会議室
- 出席者 久間議員、原山議員、上山議員、大西議員、橋本議員、十倉議員、  
内山田議員
- 事務局 山脇統括官、生川審議官、黒田審議官、柳審議官、佐藤参事官、  
鈴木参事官、JST
- P M 山本PM
  
- 議事概要

午前 9時59分 開会

○久間議員 第28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。

今日は、小谷議員が御欠席です。

本日の議題1「研究開発プログラムの進捗状況について」と、議題2「研究開発機関の追加について」は公開で行います。議題3の「革新的新技術研究開発基金の報告について」は非公開で行います。よろしいでしょうか。

それでは、議題1「研究開発プログラムの進捗状況について」です。IMPACTの研究開発プログラムについては、「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から進捗状況を報告することになっております。

本日は、16名のPMのうち山本PMより研究開発プログラムの進捗状況を報告してもらいます。説明時間は12分、その後の質疑応答8分の合計20分間です。時間厳守をお願いします。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を御参照ください。

それでは、山本PM、よろしく申し上げます。

○山本PM おはようございます。

それでは、量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現につきまして、プログラムマネジャーの山本より御報告いたします。

まず、初めに研究開発プログラム構想をおさらいいたします。現代社会の様々な分野にあ

らわれる組み合わせ最適化問題を高速に解く量子ニューラルネットワークのハードとソフトの技術を開発します。具体的な適用先は以下に述べる五つの分野を想定しています。創薬におきましては、疾患の原因となる標的たんぱく質に安定に結合する化合物を膨大な候補の中から有力な順に少数個同定するリード最適化について。無線通信の分野におきましては、ネットワーク全体のスループットを最大にする各ユーザーへの周波数、通信方式の実時間最適割当てについて。また圧縮センシングの分野においては不十分なデータから情報源のスパース性を利用して元画像を再生するスパース推定の効率的なやり方について。機械学習の分野では、文字や画像情報の深層学習を高速に実行するためのボルツマンサンプリングの実装について。最後に、金融分野におきましては、リスクと利益のトレードオフ関係を実時間で処理する連続量最適化という問題に取り組んでおります。

これらの組み合わせ最適化問題に特化した量子ニューラルネットワークというマシンを現代コンピューターのアクセラレーターとして使うというアーキテクチャーを提案しています。具体的には、NP困難問題を解くコヒーレント・イジングマシン。NP完全問題を解くコヒーレント・SATマシン。連続量最適化に特化したコヒーレント・XYマシン。秘匿クラウド計算を実現する暗号化ニューラルネットワークの四つのマシンについて開発を行っております。

このIMPACTのプロジェクトと並行して、世界の有力企業や大学でコンピューターの将来技術の開発が加速しています。IBM、Google、Microsoft、Intelなどではゲート型の量子コンピューターが。D-WaveやMITではアニール型の量子コンピューターが。IBM、スタンフォードでは、ニューチップを使った脳型コンピューターが。最後に、富士通や日立ではFPGAチップを使ったイジングマシンの開発が行われております。

次のスライドに、IMPACTで開発を進めていますネットワーク型を従来のゲート型やアニール型の量子コンピューターと比較しております。

我々のマシンの特徴は実装した2,000ビットの全てが同一の特性で有効に動作しているということと、それら全ての2,000ビットが400万のシナプスで全結合されているということにあります。このため、2,000以下の問題サイズであればどのような組み合わせ最適化問題でも実装することができます。

競合相手のD-Wave社の2,000ビットマシンは同じサイズのビット数を持っているのですが、そのうちの95%だけが有効に動作し、しかも結線数が6,000と非

常にスパースな結合しか持っていないために、実際に解ける問題のサイズというのは40から50に現状限られております。これらゲート型、アニール型の二つの方式の量子コンピューターにおきましては、マイクロ波領域で動作する超伝導量子回路を用いているために、10mKという極低温で動作させる必要があるわけですが、我々の装置は光領域で動作する光パラメトリック発振器を用いているために、室温で動かすことができるという特徴を有しています。

プロジェクトでは、この開発したコヒーレント・イジングマシンを用いて、今年11月にクラウドサービスを開始する予定にしております。このスライドにその必要性をまとめました。

量子コンピューターを開発している各社は実機を用いたクラウドサービスを開始して、それぞれユーザーグループの形成に乗り出そうとしています。IBMは2016年にゲート型5ビットマシンを既にクラウドサービスに供しており、D-Waveは2017年7月にアニール型2000ビットマシンを、Googleは2018年4月にゲート型49ビットマシンを供する予定にしています。

量子情報技術分野での我が国の存在感を示すため、また世界の最子コンピューター・量子アルゴリズム開発の潮流を従来のゲート型、アニール型から我が国の独自技術であるニューラルネットワーク型へ引き寄せるために、ImPACTプロジェクトでもクラウドサービスを早急に実施すべきだという結論に至りました。

また、ImPACTプロジェクト外にありますアルゴリズム開発機関が量子ニューラルネットワークを自由に使える環境を提供することにより、このマシンの社会実装に至るまでの開発期間を短縮できると期待しています。

クラウドサービスの構成についてはこのスライドにまとめてあります。想定しているユーザーは量子ニューラルネットワークの原理と性能の検証に興味があるアカデミックユーザーと実問題に対するアルゴリズム開発を行っているインダストリーユーザーであります。

システムのフロントエンドになるウェブ公開用のサーバーにつきましては、国立情報学研究所が担当いたします。

バックエンドのうち、量子ニューラルネットワーク実機を用いた量子計算サービスについてはNTTが、また理研のスパコンに実装したバーチャルマシンを用いた量子シミュレーションサービスについては東大がそれぞれ担当することになっています。

クラウドサービスの内容と開始時期を次のスライドにまとめました。

2017年11月に開始予定の第1次サービスにおいては、ニューラルネットワークの一つであるコヒーレント・イジングマシンの動作原理と性能を理解し、NP困難最適化問題への適用に利用してもらうということを目指しています。

2018年4月に開始予定の第2次サービスにおきましては、もう一つの量子ニューラルネットワークであるコヒーレントSATマシンを導入して、その動作原理と性能を理解し、NP完全組み合わせ最適化問題の適用に利用してもらいたいと考えています。

最後に、2018年11月に開始予定の第3次サービスにおきまして、ここに書いてありますような実問題に対するアルゴリズムを公開して、外部のアルゴリズム開発者からなるユーザーグループの形成をしたいと考えています。

次に、量子ニューラルネットワークの技術的な内容について少し御説明いたします。スタンフォード大学で開発されましたコヒーレント・イジングマシンの性能がこのスライドにまとめられています。

計算理論で最も難しい問題とされるNP困難のMAX-CUT問題をベンチマークの対象にしています。こちらの図はメビウスラダーグラフと呼ばれるスパースなグラフの厳密解正答率を問題サイズに対して評価した結果になっています。N=100という問題サイズにおきましては、約10の3乗ある解の候補の中から、一つの最適解を21%という高い成功確率で出力することができます。こちらは全てのノードが全てのノードに結合している完全グラフにおける、やはり厳密解の正答率を問題サイズに対して評価しています。

D-Wave社が開発したD-Wave II Xというマシンにおきましては、問題サイズ45までいきますと、正答率は0.01%まで指数関数的に減少するわけですが、スタンフォードマシンにおいては問題サイズ100においても5%という高い成功確率を有していることが分かりました。

次のグラフはNTTが開発したコヒーレント・イジングマシンについて説明しています。同じNP困難のMAX-CUT問題のこちらはN=2000の完全グラフに対する近似解、87.8%の近似精度を保証する解を拾ってくる計算時間を現代のアルゴリズムと競争させています。

ホップフィールドタンク型と呼ばれる古典ニューラルネットワークをアルゴリズムとして理研のスパコンに実装し、近似解を求めたところ、近似解を求めるまでの時間は7ミリ秒でしたけれども、NTTのコヒーレント・イジングマシンでは、それが70マイクロ秒で求められたということで、約100倍の高速化が実現されたことが分かります。

ImPACTの参加企業の中でNTTの取組について次のスライドで説明しています。当初計画になかったクラウドサービスを行うということで、平成29年度にNTTは1.8億円の研究費をImPACTプロジェクトに拠出しました。初めに開発した2,000ニューロン、400万シナプスのコヒーレント・イジングマシンの1号機というのは、この写真にありますように実験室全体に広がった大規模な装置だったのですけれども、クラウドサービスを行うためにはこれを可搬型の装置に仕上げる必要がありまして、この2号機を仕上げるため、更には次の世代の10万ニューロンを100億シナプスで全結合するマシンの開発費の一部として内部資金が使われています。

また、ImPACTのメンバーとして入っている物性科学基礎研究所の研究グループを支援するために、先端デバイス研究所ではPPLN導波路デバイスの作製を担当し、ソフトウェアイノベーションセンターでは、ウェブインタフェース、あるいはミドルウェアの仕様作成を担当し、グループ会社であるNTTアドバンステクノロジーではこの2号機のコピーの構築とウェブインタフェースやミドルウェアの実装ということを担当して、全社的な支援体制が出来上がっている状況であります。

最後に、ImPACTのプロジェクトから発表された論文件数について触れさせていただきます。

ハイインパクトファクターを持つ雑誌に投稿された論文数というのは、プロジェクトが最先端の研究分野で世界をリードする競争力を現在保持しているかどうかを判断する一つの指標になると考えています。

一方、様々な技術専門誌に発表された論文数というのは、関連した学問分野を深化させて、将来の研究者や技術者の育成に貢献しているかどうかということを見る一つの指標だと考えています。

最後に、インパクトファクターがほとんどないようなノーネームジャーナルというところに発表された論文というのは、プロジェクトにとっては非常に重要な役割がありまして、誰も評価することができないような遠い将来のブレークスルーの種となるようなアイデアを同時に創出しているかということを知る尺度だと考えています。

ImPACTプロジェクトでは、カッティングエッジの研究ということと同時に、パイプラインへの目配りもバランスよくできているかということをも今後も気にしながら運営を進めていきたいと考えています。

以上です。

○久間議員 ありがとうございます。

それでは、山本PMの研究開発プログラムの進捗状況に関する御意見をお願いいたします。  
橋本議員、どうぞ。

○橋本議員 質問は2点あります。

3ページで、このネットワーク型のアドバンテージが一目瞭然で分かるわけですが、ディスクアドバンテージはほかのものに比べてないのでしょうか。

それともう1点は、スタンフォード型とNTT型の関係というか関連を教えてくださいませんか。

○山本PM 2番目の質問ですが、スタンフォードのマシンは搭載したビット数が小さくて、原理を実証してその背景にある様々な物理を丁寧に調べていくことを目標にしています。それともう一つは新しいアルゴリズムを試してみるために使うという目的があります。NTTの方は、大規模なマシンを開発して、現代コンピューター、現代アルゴリズムを含めてほかの方式では対応できないような問題を解くというのを目標にしてすみ分けを行っています。

私たちのマシンのディスクアドバンテージというのは、組み合わせ最適化問題の周辺に特化し、様々な組み合わせ最適問題をイジングモデルとか、充足可能性問題（SAT問題）にマッピングして解くということになりますので、不得意な分野があります。例えば現代暗号の解読に必要な因数分解であるとか離散対数であるとか、ゲート型の量子コンピューターが得意とする分野というのは余り得意ではない。そういう暗号の解読に使えるようなマシンを開発したいということであれば、やはりゲート型のマシンをつくっていかないといけない。適用分野が違うということだと思います。

○橋本議員 1ページ目で述べられた最適化問題、これについてはネットワーク型は得意だと思っ

○山本PM 組み合わせ最適化問題に関しては、ほかの方式の量子コンピューターや現代コンピューターのアルゴリズムに十分勝てるのではないかと考えています。

○大西議員 ちょっと途中のところでクラウドサービスを始めるというお話がありましたが、大事なステップだとお聞きしましたけれども、これに加わってアルゴリズムの開発を一緒にやっていくような、そういう対象というのは何か基礎的な講習を受けたり、あるいは基礎的な情報を開示されて、一定の理解の上で参加するというプロセスが必要なのでしょうか。そうすると、ユーザーを増やしていくことがまず必要になるのではないかと。クラウドサービスだけではなくて。講習をやるとか、情報開示するとか、というふうにも考えるのですが、そ

のあたりはどういうふうにやっていくのでしょうか。

○山本PM 現在述べました五つの分野につきましては、プロジェクト内に担当する研究グループが張り付いていまして、自分たちで五つのアルゴリズムについては開発して、約1年半後ぐらいになりますけれども開示したいと考えています。

プロジェクトの外にこのマシンに興味を持っている研究グループがいます。米国のNASA Amesの研究所のグループや、カナダの1Qbitというベンチャーのグループ、あるいはハーバード大学とか、幾つかのIMPACT外のグループができればこのマシンを使って、自分たちの抱えている問題を解くアルゴリズムを試してみたいという周辺グループがいます。

その外側（がわ）に更に私たちには見えてないたくさんの実問題に関心のある人たちがいて、実際にどういう制約条件の下にそのクラウドサービスを使っていただくかということについてはまだ最終的な方針を固めてはいません。

今の段階では、できるだけたくさんの人に理解して使っていただいて、ユーザーグループを形成するというのを第一義に考えています。そのため、和文、英文とも150ページからなる技術資料（white paper）を11月に開示する予定にしています。このマシンを使ってアルゴリズムを開発するというを中心にやっていきたいという研究グループを世界でできるだけ増やすという、そのための手当をするということを第一義に考えたいと思っています。

○大西議員 今おっしゃった五つというのは、2ページ目に書いてある創薬から金融までの五つということですね。

○山本PM はい、そうです。

○大西議員 スライドの6ページ目に、第3次、来年11月開始というところにこの五つが並んでいますが、その前に1次と2次があって、ここで既にクラウドサービスを始めていこうということなのですからけれども、ここが今おっしゃったようにまだ見えていないユーザーの参加を得て、活発に行われるためには何か促進するための方策があるような気がするのですが、その辺も是非お考えいただくといいのかなと。

○山本PM 今、余りたくさんの方は考えてないんですけども、一つにはこのクラウドサービスにアクセスできるポイントを米国内であれば、スタンフォード大学とハーバード大学に置いておくということ。ヨーロッパでは、チューリッヒのETHと、オックスフォード大学に置いておくということで、比較的量子情報の研究分野の人がよく訪れるハブにリンクを

張らせていただいて、世界中の研究者がこのクラウドサービスのことを知ってくれるような仕掛けをしたいと考えています。

○久間議員 ほかに御質問はございますか。

○橋本議員 今のことに関連して確認ですけれども、将来にわたって国際的な競争力を開発したマシンが持つための、そういう戦略として今の御説明はデファクトスタンダードみたいなものをしっかりつくってしまうという、そういう流れでやっていると理解していいのでしょうか。

○山本PM やはりゲート型の量子コンピューター、アニール型の量子コンピューターというのにはたくさんの研究グループと研究者が今張り付いていますので、やはりニューラルネットワーク型という新しいマシンが出てきて、こちらの方が使い勝手もいいし、いろいろな問題が解けるということをしてできるだけたくさんの人に知ってもらうということが大事なのではないかと。

○久間議員 私から質問ですけれども、コンペティターの方式に比べて、山本PMのマシンの構造は光ファンバーと大きなFPGAの回路ですよね。それでフル結合ができるのが山本プログラムの特徴です。一方、コンペティターは、フル結合ではなくスパースだけでも、チップ化できるといった、大きなメリットを持っています。

山本方式の有利な点とともに、不利な点も正確に説明した方がいいですね。応用からすると光ファイバーと大きなFPGA回路マシンは、それほど数が出ないです。

山本PMのマシンを用いて価値のある最適化問題を早く見つけることが、実用化に向けての第一歩だと思います。

膨大な数の可能性のある解から最も最適な解を探すことが最適化問題ですが、多くの問題は様々な制約条件があって、ユーザーはその制約条件を自分でマシンに入力しなくてはなりません。それをサポートする体制をしっかり作り込むことが必要です。

○山本PM 今日はちょっと時間がなくてお話しできなかったのですが、第3次のサービスの中では、様々な実問題であられるその制約条件をどうやって取り込むかということについて二つの方式があって、プランAとプランBがありまして、問題によってAの方がよかったり、Bの方がよかったりというのがありますが、そういうプロジェクト内に持っている知識みたいなものは、一応全部開示して、それだったら自分はBでいこうとか、自分はAでいこうとか、自分自身の問題を解いてもらうためのヒントは開示したいと思います。

○久間議員 その辺をやらないと、最適化問題を解くマシンの論文で終わります。実際の問題



では複雑な制約条件があり、それを加えた最適化は難しいので、制約条件の取り込み方のサポートをお願いします。

他にご質問はよろしいでしょうか。

どうもありがとうございました。

山本PMが研究開発を推進する量子人工脳については、日本が基礎技術の分野で世界に先行する技術ですので、今後の研究開発に大いに期待したいと思います。実用化に向けていろいろな装置そのものの改良もあるでしょうし、ユーザーを抱え込むといった活動も必要だと思いますので、是非アクティブにやっ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。

(山本PM 退室)

○久間議員 それでは、続きまして、議題2「研究開発機関の追加について」に移ります。

16名のPMに関しましては、研究開発プログラムの進捗に応じて、研究開発機関の追加が随時生じております。研究機関の追加につきましては、革新的研究開発推進プログラム運用基本方針取扱要領に基づき、PMに関係する機関がない場合は、有識者会議に報告をし、確認を求めることになっております。事務局から研究開発機関の追加について説明してもらいます。

○鈴木参事官 事務局の鈴木でございます。

お手元の資料2を御覧ください。

今回5名のPMの方から研究機関の追加の申出がございましたので御報告いたします。

申出がありましたPMは、伊藤PM、佐野PM、山海PM、藤田PM、原田香奈子PMでございます。

真ん中から下でございますが、伊藤PMは、しなやかなタフポリマーの開発を進めていただいておりますが、このタフポリマーにつきまして、ポリエチレン、あるいはポリウレタンという更に広い産業分野に応用していくという目的で、その下の表でございますが、旭化成、宇部興産の研究機関を追加したいという申出でございます。

次のページを御覧いただきたいと思います。佐野PMでございます。

現在ユビキタスパワーレーザーを開発していただいておりますが、光放出電子顕微鏡、これの高性能化、低コスト化を検討するために管製作所の追加を申出がございました。

それから、3点目は山海PMでございます。革新的サイバーニックシステムを開発していただいております。現在幾つかのサイバーシステムがもう既に動いているわけでございます

が、これらの効果、使用時の利便性等の有用性について実際の医療現場において確認を行うということで、京都大学の附属病院を追加してございます。

それから、藤田PMでございますが、高レベル放射性廃棄物の低減、あるいは資源化といったことで、これらプロセスにおける高レベル放射性廃棄物の分離回収、あるいは核変換処理、これを一貫処理するプロセスについての課題を抽出するための検討ということで、次のページでございますが、日本原子力研究機構を追加させていただいております。

それから、原田香奈子PMでございますが、バイオヒューマニクノイドの開発をさせていただいておりますが、手術用のツールとしてのマニピュレータなどの開発について、それら基盤となる技術を持っておられます九州大学の先端医療イノベーションセンターを追加するという申出でございます。

以上でございます。御確認をお願いします。

○久間議員 その他、ご意見はいかがでしょうか。

どうもありがとうございました。

次の議題は非公開で行いますので、プレスの方は、速やかに御退席ください。

(以下、非公開にて開催)

それでは、以上で第28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。

本日はどうもありがとうございました。

午前10時32分 閉会