ムーンショット型研究開発制度に係る
戦略推進会議（第16回）

令和7年3月28日

内閣府科学技術・イノベーション推進事務局
（未来革新研究推進担当）

ムーンショット型研究開発制度に係る戦略推進会議（第16回）

議事概要

○ 日 時 令和7年3月28日（金）13:00～15:30

○ 場 所 8号館6階623会議室及びウェブ会議

○ 出席者

〈有識者〉

梅澤 高明 A. T. カーニー日本法人会長

C I C J a p a n 会長

梶原ゆみ子 産業競争力懇談会エグゼクティブアドバイザー

シャープ株式会社社外取締役

総合科学技術・イノベーション会議議員

須藤 亮 S I P プログラム統括チームアドバイザー

波多野睦子 総合科学技術・イノベーション会議議員

東京科学大学理事・副学長 東京科学大学工学院教授

福井 次矢 社会医療法人雪の聖母会聖マリア病院・常務理事

N P O 法人卒後臨床研修評価機構理事長

〈関係府省〉

川上 大輔 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局審議官

三木 清香 内閣府 健康・医療戦略推進事務局参事官

神部 匡毅 文部科学省科学技術・学術政策局 研究開発戦略課

戦略研究推進室 室長

佐々木昌弘 厚生労働省大臣官房危機管理・医務技術総括審議官

大熊 武 農林水産省農林水産技術会議事務局研究推進課産学連携室長

金井 隆幸 経済産業省イノベーション・環境局G Xグループ

エネルギー・環境イノベーション戦略室室長

雪田 嘉穂 経済産業省医療・福祉機器産業室総括補佐

〈F A〉

中島 英夫 J S T ムーンショット型研究開発事業部部長

吉田 朋央 N E D O フロンティア部ムーンショットユニットユニット長

綱澤 幹夫 BRAIN 総括研究開発監
小野山吾郎 AMED 研究開発統括推進室次長

〈PD〉

北川 勝浩 JST (目標6 PD)
大阪大学 量子情報・量子生命研究センター センター長
三好 建正 JST (目標8 PD)
理化学研究所 計算科学研究センター チームリーダー
熊谷 誠慈 JST (目標9 PD)
京都大学 人と社会の未来研究院 教授
吉田 善章 JST (目標10 PD)
自然科学研究機構 核融合科学研究所 所長

〈アドバイザー〉

宮園 浩平 総合科学技術・イノベーション会議議員

〈事務局〉

熊田 純子 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官
服部 正 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官
笠井 康子 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局
上席科学技術政策フェロー

○ 議事概要

午後1時00分 開会

○熊田参事官 それでは、定刻になりましたので、第16回ムーンショット型研究開発制度に係る戦略推進会議、2日目の議事を開始いたします。

昨日に引き続き、全体進行は内閣府科学技術・イノベーション推進事務局の熊田が務めます。

本日も有識者の皆様を始め関係者の皆様に御出席を頂いております。波多野委員は所用のため、議事の(4)目標6からの御参加となります。

本日の会議もユーチューブでライブ配信をしております。録画やスクリーンショット等は御遠慮ください。

それでは、早速、議事に入りたいと思います。

本日の進行も笠井上席科学技術政策フェローが担当しますが、少し遅れておりますので、到着するまでの間、私の方で議事を進めさせていただきます。

それでは、議題3となります。

目標8と9は、研究開始から3年目となることから、外部評価の結果とポートフォリオの見直し等について、JSTより御説明を頂きます。各目標の時間配分は、報告15分、質疑25分となっております。報告時間は厳守でお願いいたします。

それでは、目標8の説明について、JSTよりお願いします。

○中島部長（JST） JSTです。よろしくお願いいたします。

御説明いただきましたとおり、目標8の3年目中間評価に該当するプログラム外部評価結果について御報告します。

最初に、研究開発プログラムの概要と進捗状況はPDの三好先生から御説明をお願いします。よろしくお願いいたします。

○三好PD 資料を共有します。

プログラムディレクターを仰せつかっております三好建正です。

目標8、「激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現」という目標で取り組んできております。

まず、プログラムの状況についてですけれども、目指す社会像は、目標に掲げておりますように、台風や豪雨の強度やタイミング・発生範囲を被害を大幅に軽減できる程度に変化させる、制御の新しい技術を創るというものです。

こちらにそのアプローチを示しておりますけれども、まず、線状降水帯による豪雨の制御に対する介入のアプローチということで、アンサンブル予測に基づく複数の将来シナリオをコンピューターの中で作り出すことはできます。現在の天気予報はこのコンピューターの中に作り出した仮想的な未来予測から行っており、これを活用することで、望ましいシナリオを選択できるような介入の手法・技術というのをつくっていかうというのが基本的な考え方です。

例えば、この資料内に1、2、3と書いていますのは、極端気象を引き起こすような水蒸気分布や気流を変えて、雲のもとになる水蒸気が陸上に到達することを抑制することを表しています。こういうメカニズムに基づいて、陸上での雲の成長、雨を減らしてやろうというようなアプローチが例えば考えられるということです。

このような場合に、例えば、海の上で雲にシーディング物質を散布することによって海上での雲の発達を促す、それによって陸上に向かう水蒸気の量を抑制する、など様々なアクションが考えられます。

さらに、ほかのアクションも様々活用します。例えば、洋上にカーテンを敷くような技術を作って風の流れを遮る、あるいは抑制すること、あるいは、洋上の風力発電施設などを活用できる場合には、それを用いて風の流れに変化をもたらし、陸上で降る激しい雨を抑えることなどが考えられます。

数日前から豪雨が発生する可能性というのが予測できますので、この予測を更に向上するというのも重要ですし、その上で、より豪雨発生が日程的に近づいてくると、その豪雨の予測精度が上がってきますので、具体的なアクションにつなげていくというようなタイムラインを考えています。

解決すべき課題を資料内に示していますが、詳細は割愛しますが、気象制御の研究開発と社会実装に向けては、一つの分野ではなくて様々な分野の学際的な取組が重要になっております。

2050年の目指す社会実現のために、バックキャストして計画を立てております。そのために、2040年代には大規模屋外実験を行い、2030年には小規模な屋外実験を行う必要があります。

現在取り組んでいるのは、この小規模屋外実験に向けて、まずは数値シミュレーションで、気象がそもそも人間の力で変化し得るものかどうかということを確認することを、コンピューターの中で実証していくということをメインなゴールに据えております。これまで3年間取り組んできましたのが、この数値シミュレーションでの検証がメインになっています。

同時に、社会に受け入れられる技術を創る必要があるということで、社会科学的な側面、E L S I と言われますが、倫理的・法的・社会的な問題というのを研究の当初から科学技術と同じ重みを持って取り組んできているというのが、この目標の取組の特徴になります。

まずは、人間が扱える規模の介入で気象が変化するのかということを確認する科学的な研究です。それに引き続きまして、経済合理性を伴って可能であるのかというのを、これから2年間で取り組むという計画です。同時に、この実際の実験を行うことを、検討を進めていかなければならないので、そういう検討に着手していくということです。

マイルストーンをここに示しております。先ほど御説明した内容ですので、こちらは割愛させていただきます。

この目標に向かって、どのような体制で進めているかということですが、左側に示していますのがコア研究、2050年のゴールからバックキャストして進めている研究です。この二つのプロジェクトは台風をターゲットにした研究で、下の二つのプロジェクトは豪雨をターゲットにして研究を進めています。

要素研究というのを、当初3年間、早期の解決が必要な個別のボトルネックに対応ということで、4つの要素研究を進めてきております。この要素研究は3年間で終了しますので、今年度が最終年度となっております、3月に終了します。

こちらは国内外の研究開発動向との比較ですが、私たちが目指す気象制御というのが、各国でこれまで取り組まれてきた気象変化や気候調節とは異なる取組であり、災害を起こすような豪雨や台風をターゲットとしているということで、新しい取組だということを示しております。

これまでに得られた革新的な取組・成果ですが、飛行機で雲に介入していく、シーディングという手法があり、実際に散布可能な量、この場合ですと3.3トンのシーディング物質を飛行機に搭載して雲に散布していくことで、このような激しい雨の量を19%減らすことができたということがあります。

右側の方は、このような風を洋上に配置することによって、この下流側にある雨、特にこの場合、九州の北部で起こっている激しい雨を20%減らせることを示すことができました。

ですので、3年目のマイルストーンにつきましては達成したというふうに考えております。

台風につきましては、様々な研究を進めておまして、これは、台風中心付近に少し介入をしたときに、発達する台風を抑えることができたというように示しています。

こちら、また別の介入手法、シーディングですが、過冷却水滴に10トン程度のシーディング物質を想定した介入を行うことで、発達を抑えることができたということも確認しています。

台風に関しましては、一部の手法で見込みがあるということが分かってきていますけれども、更に効率的な介入というのを考えないといけないということが分かってきました。

ELSIについてですが、論点整理と体系化というのを実施して、倫理原則と小規

模屋外実験を行うためのガイドラインの草案を作成しているところです。ですので、こちらにつきましても3年目のマイルストーンを達成したというふうに考えております。

マネジメントの状況ですが、国際アドバイザリーボードを設立します。全てのコアプロジェクトを、共通する部分というのを効率的に進められるように、基盤ユニットという仕組みを導入します。

数理科学につきましても、数理検討チームを設置して、数理研究の方向性、また体制構築につきましても完了しております。

E L S Iにつきましても、この横断チームというのはこれまで取り組んできていたんですが、基盤ユニットとして更に活動を強化するという状況です。

プログラムマネジメントの状況ですが、産学連携につきまして、民間企業との具体的な連携を加速しているという点があります。

外部評価の結果とポートフォリオの見直しということで、評価委員の一覧につきましては、後ほど御紹介があります。

各プロジェクトの評価結果につきまして、ここでは御説明します。

豪雨制御につきましては、研究開発はおおむね順調で、加速的に進めるという評価をしております。

台風制御につきましては、課題が明らかになったことから、シナリオや計画を見直すということにしております。

要素研究ですけれども、これらは終了します。全て計画どおりに終了しますが、ここで得られた知見をコアプロジェクトに活かすように、この赤字で書いてあるような継続や連携、得られた知見を生かしていくというふうな取組です。

○中島部長（J S T） 三好先生、ありがとうございました。

それでは、続きまして、J S Tより外部評価結果について御報告いたします。

20ページに移していただけますでしょうか。

評価は、ムーンショットの運用評価指針にある評価項目に沿って実施いたしました。

17ページ、左側がプログラムの外部評価となります。

プログラムの総合評価としては、ここにありましており、一部の見通しが定かではない、プログラム運営の改善に向けて新たな手段、工夫が必要と判断されました。

総合評価をまとめておりますが、時間の関係上、割愛させていただきますが、評価された点としては、三好先生に御説明いただきました豪雨に対する取組でございます。一方、課題として挙げられているのは台風でございます。台風に対しては、今のところ考えられていた介入規模が過大であり、実現可能性が見通せているとは言えない状況であります。したがって、先行する豪雨制御の成果を活用するといった計画見直しを行うことで、2050年の目標達成を維持することが必要という指摘がございました。

また、E L S Iについても様々な取組がございまして、具体的な成果物として、気象制御の研究開発に係る倫理原則案及び屋外実験の実施のためのガイドライン案の草稿が作成されるなど、着実な成果が生み出されているという点が評価されました。

全体として、気象制御を実現するための納得感のあるシナリオが必要であり、産学連携や国の防災対策につながる現実的なアプローチを念頭に、研究開発を今後も進めていくことが重要との指摘がございました。

以上を踏まえ、4年目以降のマイルストーンを見直した上で研究開発を進めることが必要との評価です。

各評価項目に対する主な評価結果は21ページ、22ページにまとめてあります。

これらの評価結果を受け、今後の方向性について、再度、三好先生から御説明をお願いいたします。

○三好PD 今後の方向性について、残り1分強で御説明します。

まず、豪雨研究につきましては、加速・前倒しをして進めていく。

台風につきましては、当面、目標を少し延期するのですが、豪雨研究が先行しますので、こちらで取り組まれた内容を取り込むことで、当初の予定どおり、2050年目標達成を目指すということです。

介入手法の経済合理性・運用まで考慮した実現可能性を提示していく。

あと、介入の位置・強度・タイミングを最適化する数理の手法などに取り組んでいくという方針です。

プログラムのマイルストーンですけれども、豪雨と台風で進展の仕方が、台風の方が豪雨よりもずっと大きなシステムであるということから、台風の方を当面少し後ろ倒しにするようにマイルストーンの修正をしています。

また、防災効果の検証を明記しています。

豪雨制御には既存のマイルストーンの水準を適用し、台風については実現可能性の評価を当面の目的とするということで、このようにマイルストーンを変更しております。

以上になります。どうもありがとうございます。

○中島部長（JST） 三好先生、ありがとうございました。

目標8からは以上です。

○熊田参事官 三好先生、中島部長、御説明ありがとうございました。

ただいまの説明につきまして、有識者の皆様から御意見をお願いいたします。

須藤委員、お願いいたします。

○須藤委員 豪雨の方は順調に進んでいるようなので安心したんですけども、一番我々が当初から期待していた台風の制御というのが、かなり遅れが見えているというんで、ちょっと残念だなという気がしています。

目標は維持しながらも、マイルストーンを少し延長しながら進められるという、台風についてはそういうお話なんですけれども、具体的なマイルストーンというのはどこかに出ているんですか。

○三好PD はい。読み上げることはいたしませんでしたが、こちらに示しているとおりになります。

○須藤委員 それは何ページになるんだろう。

○三好PD 27ページです。

○笠井上席フェロー 三好先生、読んでいただくと良いかもしれないです。

○三好PD はい、分かりました。

まず、5年目のマイルストーン。

上から、では、10年目のマイルストーンですが、豪雨と台風で、豪雨は当初の想定どおりなんですけれども、制御操作に関わる小規模な屋外実験を実施する。実験に基づき、大規模な屋外実験に向けたルールの拡張を行う。2050年を見据えた気象制御の具体的な運用パッケージ例を示し、現業的な気象制御の実施に向けたE L S Iの解決に着手するというものです。

台風につきましては、制御の現実的な実現可能性を評価する。そのために、運用が可能で経済合理性のある介入により、台風の全体若しくは一部を変化させ、減災が可能であることを数値シミュレーションによって示す。豪雨制御で得られた実験ルールを参考にし、台

風の制御に有用な実験ルールを策定する。

5年目のマイルストーンにつきましては、豪雨が、制御の現実的な実現可能性のあることをロバストに示す。そのために、運用が可能で経済合理性のある介入により豪雨を変化させ、豪雨の減災が可能であることを数値シミュレーションによって示す。

台風は、制御の原理的な実現可能性を評価する。そのために、人類が扱える規模の介入により、台風の全体若しくは一部を変化させることを数値シミュレーションによって示す。

○須藤委員 分かりました。ただ、具体的に台風の介入というイメージが出てこないんですけども、まだ全然具体的な案が出ていないということなんですか。

○三好PD いえ、台風につきましては様々な手法をこれまで取り組んだのですが、現在のところ、この特に右側に示してある手法、これは約10トン、飛行機で搭載できるぐらいの規模の物質ですけども、この物質を台風の中心付近にある雲に投入することで台風の発達を抑えることができる可能性が示されています。ですので、台風の中心付近の雲に注目して、ここに介入をすることが有効そうだということがこれまでの取組で分かってきていますので、まだ可能性は十分にあるというふうに考えて、これからも更に取組を進めていきたいという内容になっています。

○須藤委員 分かりました。一応、シーディングによる介入の可能性がまだあるだろうということで、引き続き検討するということがよろしいんですか。

○三好PD はい、そのとおりです。

○須藤委員 分かりました。ありがとうございます。

○福井委員 ちょっとよろしいですか。

○熊田参事官 福井委員、お願いいたします。

○福井委員 大変うまくいっているようで、聞いていてエキサイティングな御発表だったと思います。

二つほど質問がございます。一つは、資料を読んでいて私が理解できなかったことですが、シーディング物質としては具体的には何が使われているのでしょうか。

○三好PD この場合、まず、シーディング物質になり得るものは様々な存在するのですが、台風の場合ですと、過冷却の水滴、非常に冷えたマイナス30度とかの水が凍らずに雲の中に存在しているときに、それを凍らせる物質になります。よく知られているのがヨウ化銀という物質ですけども、このヨウ化銀を散布すると水滴が氷に変わるということが起こ

って、それによって雲が変化します。

○福井委員 ありがとうございます。

もう1点、簡単で結構なんですけれども、これは内閣府の方針かも分かりませんが、20%とか19%豪雨を減らせるということであれば、これだけでも実際に行う価値があるんじゃないかと思ってしまいます。これを、少しでも被害を減らすために、できるだけ早期に現場で使えるようにする工夫はされているのでしょうか。

○三好PD ありがとうございます。

今ここに示しておりますのは、実際このような激しい雨が起こったということが分かっているときに、もし人間ができる程度の介入を行って、これがどれぐらい弱められ、変化させられるかということを確認したシミュレーションの実験になります。

ですので、実際のオペレーションというのをこれは考慮していなくて、5年目のマイルストーンで実際のオペレーション、経済合理性を含めて予測の情報に基づいて飛行機が飛んでいくオペレーションというのをデザインしないといけない。そういうようなことを考えたシミュレーションというのを今後進めていきます。

なるべく早期に前倒しして加速して、2050年と言わずに、なるべく早く実現できるように加速して進めると。これは、豪雨を先に進めることで台風の方にフィードバックを与えて、台風は後でもっと加速しないといけないので、豪雨でELSIや技術的な面で解決していることは台風の部分でスキップできると思っていますので、活用することができるという意味ですね。ですので、そのような形で工夫をして、早く実現できるようにというふうに考えております。

○福井委員 ありがとうございます。

○熊田参事官 梅澤委員、お願いいたします。

○梅澤委員 梅澤です。今の福井先生の質問につながるんですけども、豪雨の方のマイルストーンで、10年目で小規模な屋外実験というふうに書かれているんですが、この屋外実験をなるべく何か前倒しにできないのかなというふうに、このマイルストーンのタイムラインを見て感じました。5年目で実現可能性をまずシミュレーションで示せたら、あとはオペレーションを、まずは1回デザインをしてやってみるというステップを、多分6年目から何回かやりながらリファインをしていくみたいな道筋だと、少なくとも数年前倒しができるのかなと感じた次第です。

○三好PD どうもありがとうございます。

おっしゃるとおり、できることは早く始めるということが大事だと思いますので、この小規模、大規模というふうに言っているのは、ステップを踏んで進めていくべきというふうを考えているからです。E L S Iの問題というのは、実際に社会に影響を与えるような現象に対して介入にいくというのには合意形成のプロセスが必要になりますので、そういう屋外実験を行うハードルが上がってまいります。ですので、なるべく概念実証の部分、例えば雲に何か介入したときに、この雲はこう変化するはずだと予測ができ、その予測が正しくなるかどうかということ、やはり実際に実験をして確認していくステップというのがあると思っています。マイルストーンとしましては、2050年からバックキャストして、このように設定しておりますけれども、先ほど申し上げましたように、2050年と言わず、なるべく早く実現して災害を防ぐということが求められていると思っていますので、できることは早く、マイルストーンを待たずに早くというふう考えています。

○梅澤委員 ありがとうございます。

○熊田参事官 梶原委員、お願いいたします。

○梶原委員 梶原です。どうもありがとうございました。

このプロジェクト、テーマは自然に対して人が介入するということになるので、当初からE L S Iのところをどう考えるかというのは重要だということで、最初から取り組んでいらっしゃるということが御説明されてますが、例えば、18ページにある「気象コモンズ理論を提案した」というような話ですとか、あるいは「主に法制度の側面から、E L S I対応を着実に進めた」という記載について具体的に、あるいは事例ですか、もう少し分かりやすく御説明いただけるとすると、どんなことをされていて、社会でどういう認識に思われているのかみたいところを少し御説明いただけると理解が進むと思いますので、お願いいたします。

○三好PD ありがとうございます。

E L S Iにつきましては、先ほど説明を短くしてしまったんですけども、実際に社会実装を行うためには合意形成が必要であり、現状として法規制がありませんので、気象に介入する際に、やろうと思えば、法律が整備されていないという状況ですので、できてしまう状況です。まずはこのムーンショット目標を進める上で、自己規制といいますか、何でもかんでもやっつけていいものではないという理解をしております。どういうことが許される

のかを整理するための倫理原則をまず考えて、その上で、まず直近の課題となる、実際に実験を行えるようにするガイドライン、要するに自己規制なんですけれども、こういうルールに基づいてこういう実験をやっていますということを公表して、透明性のある研究を進めていく必要があります。

このために整理をした論点というのはここに示されております。地球規模のリスク、地域レベルのリスク、社会システムの脆弱性、自然・文化に関わる価値判断、社会的判断・意思決定プロセスに関わる課題、あとは、いわゆるRRIと言われる、責任ある研究・イノベーション実践という観点で論点を整理して、これらにアドレスする形で、倫理原則、ガイドラインという形でまとめていっているというのが現状になります。

○梶原委員 ありがとうございます。

そうすると、屋外は当然こういうことが必要だと思うのですが、屋内の時にもこれが何か適用されるような要素って出てくるんですか。

○三好PD 屋内で私たちが今想定していますのは風洞実験装置などを使ったもので、社会に直接影響を与えるような実験は考えておりませんので、屋内実験を行うためのガイドラインや倫理原則というのは今のところは考えておりません。

○梶原委員 ありがとうございます。

○福井委員 もう1点よろしいですか。

○熊田参事官 福井委員、お願いします。

○福井委員 梶原先生のELSIに関する質問とも部分的に関係すると思いますが、シーディング物質がもし地上に降り注いだり海上に降り注いだ場合に、人間とか海洋生物に悪影響を与えるとか、そのような心配はないのでしょうか。

○三好PD ありがとうございます。

どのような物質を散布するかということによりますので、先ほどヨウ化銀という話を申し上げましたが、ヨウ化銀は大量にあると有毒であることが知られています。ですので、安全性が非常に重要。気象災害を防ぐために環境を破壊しては本末転倒といたしますか、そういうことは目指してはいませんので、安全な技術として、どんな物質がいいのかということも含めて検討が必要だと思っています。

ドライアイスを散布するという方法も有効だということが分かっているんですけども、ドライアイスはそのような危険性のある物質ではありませんので、様々な物質を検討して、

あとは安全であることを確認して進めていきます。

ヨウ化銀は大量にあると毒性があると申し上げましたが、実際、ヨウ化銀を使った人工降雨の実験というのは世界中で行われ、実際に行われています。それらを行う際に、このようなガイドラインのようなものを独自に設定して、例えばアメリカで、ワイオミング州だったと思いますが、冬の雪雲に介入にいくというような実験をされていまして、そういうところでは独自ルールを設定して、安全性に考慮した実験を実施しているというふうに伺っております。

ですので、ここでも環境影響などはしっかり考慮して行っていくという方針です。

○福井委員 ありがとうございます。

○熊田参事官 他に御質問等ございますでしょうか。

○須藤委員 豪雨の方が結構進んでいるということなのでお聞きしたいんですけども、三好先生御存じのように、S I PとかB R I D G Eで線状降水帯の予測というような研究はいろいろやってきているんですよね、今。その中で、具体的に線状降水帯が予測したとおりに発生したかしないかって確率的に見ると、まだまだ20%とか30%という状況になっていて、必ずしも完全に予測はできないということ。そういう状況を考えると、その後介入するということ考えると、どのタイミングで介入したら効果があるのかって、その辺までもう少し突っ込んだ研究というのはやられているんですか。

○三好PD はい、検討はしておりますが、それにつきましては今後2年で取り組むという計画にしております。経済合理性を伴って介入が可能であることを示す必要があり、実際のオペレーション、不確実な予測の情報に基づいてどのような意思決定をするか、そのリアルタイムのタイムラインを想定してシミュレーションを行う必要があります。

その準備として、例えば、ここに示しておりますのは線状降水帯に対するタイムラインですけれども、予測の準備というのは早めに始めなければならない。線状降水帯の場合ですと、数日前ぐらいに可能性の予測ができるようになっていきます。これは外れるかもしれない予報ですが、可能性があるときに早期に準備を始めます。豪雨の発生に近づいてくると予測がだんだん正確性を増してきます。そうしたときに具体的な介入手段を決めて、1時間前ぐらいになるともう発生位置が分かるようになりますので、それに、そのタイムラインに適した手法を適用していくということを想定しています。

○須藤委員 そうしますと、比較的発生する可能性が高まったところで具体的な介入が始まる

というような手順が一番有力なんですか。

○三好PD はい、そのように考えております。

完全な予測は、気象がカオスティックな力学系ですので、完全な予測というのはどうしてもできないと思っていまして、幅のある予測情報に基づいた経済合理的な選択ができるというのがこの技術だと考えておりますので、無駄な準備をする可能性もあるわけですね。数日前の予測だと外れる予報かもしれないので、ある危険度があるというときに無駄な準備をするかもしれないけれども、この準備はそんなにコストが掛からない形で準備をすべきですし、そのような実現シナリオという、社会実装できるというシナリオを作っていくというのが今後の研究の直近の予定になっています。

○須藤委員 ありがとうございます。よく分かりました。

○熊田参事官 他に御質問等ございますでしょうか。

無いようなので、次の目標に入りたいと思います。

三好先生、お忙しいところ、ありがとうございました。

○三好PD どうもありがとうございます。

○熊田参事官 笠井上席フェローが到着しましたので、ここからは笠井上席フェローが担当します。

○笠井上席フェロー 遅れて申し訳ございませんでした。

次は、目標9のポートフォリオの見直しにつきまして、外部評価の結果とポートフォリオの見直し等について、JSTさんより御説明をお願いいたします。

○中島部長（JST） ありがとうございます。

目標9について御報告します。

同様に、最初は研究開発プログラムの概要と進捗状況を、PDの熊谷先生から御説明をお願いいたします。よろしく願いいたします。

○熊谷PD よろしく願いいたします。

目標9の中間報告をさせていただきます。PDの熊谷でございます。よろしく願いいたします。

こちらが本日のアジェンダとなっております。

まず、プログラムの状況に関しましてですが、ムーンショット目標9は「2050年まで

に、こころの安らぎや活力を増大することで、精神的に豊かで躍動的な社会を実現」という目標でございまして、私ども、心の安らぎや活力を増大する技術や、サイエンスベースの技術、そしてサービスを世に実装することによって、こうした社会を実現するといった目標でございます。

その際、心に関して二つの要素に分けまして、一つが安らぎ、ネガティブな状態を抑制する方向。もう一つは活力でございます。ポジティブな状態を増進していく方向に沿って研究開発をしてございます。

そうした技術を、理想的には2050年までに、世界のいつでもどこでも誰でもそういった技術にアクセスできる状況を目指すに当たりまして、2040年には市町村レベル、自治体レベルでこうした技術の実証試験が行われると。その一歩手前の10年前、2031年度には小規模な社会で実証を行う。そのためにはプロダクトやサービスのプロトタイプが必要でございますので、2026年度、5年目には試作品の完了を目標としてございます。その際にプロトタイプの良し悪しを判断するための指標も、現在開発中でございます。

この度、3年目は実験室レベルで、そうした技術、コンセプト検証を行うということで、実験室レベルの限定的な環境下で、自らの心の状態の一部を客観的に把握できる要素技術、さらには、自らの望む大まかな方向に心を遷移できる要素技術が検証されるということで、後ほど幾つかプロジェクトを紹介いたしますが、おおよそのプロジェクトがそのマイルストーンを達成できているという状況でございます。

現在13プロジェクトございまして、コア研究は、心の状態理解技術、心の状態遷移技術を開発し、それを社会実装するという統合的なプロジェクトでございまして、要素研究は、一部の要素に特化した研究プロジェクトで、今年度で終了ということになりますが、その中で、細田PMと菱本PMのコア研究提案が採択されまして、次年度よりコア研究を推進していただくことになってございます。

この目標9の立ち位置でございまして、各プロジェクトに脳神経科学者が多く在籍し、課題推進者として研究を進めておりますが、脳科学に関しては既に各国で大型の国家プロジェクトがございまして、その中でも米国ブレインイニシアティブなどは7,500億円以上の非常に巨大な予算が付けられているといった状況ですが、そうしたプロジェクトの目標、目的は、これは脳機能の解明というところでございますが、私どもは、そうした技術や知見を生かした上で社会を変えるというところが、大きく方向が異なるということでございます。

ます。

また、幸福指標に関しましても、社会科学の分野ですとか、あとはグローバルな指標もございいます。そうした指標を国政に活用する、あるいは地方行政に活用するという流れもございいます。ブータンの国民総幸福（GNH）というものが有名ですが、ただ、例えばブータンの場合ですと、使っておる指標はおおむね主観的な人生満足度でありましたり、あるいは行政の客観データ、疾患率とか失業率とか、そういったものでございまして、こういう脳データとかバイタルデータを使うということには至っていない状況でございまして、私どもはその両方をやるというところでございいます。

こうしたプロジェクトは、シンクタンクの俯瞰調査を行った結果、国家プロジェクトとしては世界にまだ存在していないという状況でございまして、事実、この目標を進めておりますと、各国の研究者から一緒にやりたいという依頼が来ております。米国、ドイツ、オランダなどと今共同でワークショップ等々を行っております。ドイツに関しましては、ライプニッツ・レジリエンス研究所の研究者3名が筒井プロジェクトと山田プロジェクトに課題推進者として昨年度着任いたしまして、研究開発を進めている状況でございいます。目標9が、今のところはですけれども、世界をリードする形で研究開発を進めている状況でございまして、そうした中で多数成果が出てございいます。

例えば、菱本プロジェクトに関しましては、国内唯一、アジア最大、1,600例の自殺者DNA試料を有しております。世界初の知見を獲得してございいます。

子供を3群に分けまして、健常者と、被虐待歴のある子供たち、加えて自殺傾向のある子供たちと、3群に分けまして末梢血を用いたエピゲノム解析を実施しましたところ、こうした2群に関してはエピゲノム年齢の異常な老化が見られたといったところで、3群を分けることができっております。

加えて、ケアの介入によりまして、このエピゲノムの老化が可逆的であると、若返るということも実証できております。すなわち、例えばこの辺りの数値が出た子供がいた場合に、ケアをするとこういう安全な群の数値に下げることが可能な、可能性があるといった状況でございいます。

こうした知見を今後社会実装することで、自殺の予防・防止とか、あるいは治療の方に役立てることも大いに期待されるところでございいます。

細田プロジェクトに関しましては、子育てに血縁関係のない第三者に加わってもらうシス

テム、チャイルド・ケア・コモンズというシステムを開発いたしましたして、東北大学で実証試験を行いました。半年ほどでございますが、もともと家族ごとにばらばらであった各人が有機的に結び付き、更には定常化し、全体のWell-beingが高まるという結果が出てございます。

これが今後、様々な局面で実証試験を進めていきまして、例えば、企業とかがこうしたシステムを取り入れた場合に、子育てのために休職あるいは離職をしないといけない方々が、そういうこと、会社に残って仕事に専念することができる、生産性を上げるということにもつながっていくのではないかと期待してございます。

あと、私ども昨年度報告させていただきましたが、当初のビジョンが非常に抽象的であるという御指摘を頂きましたので、昨年度、ビジョンの具体化を進めました。高度化を進めまして、「Well-going」というキーコンセプトを導入いたしました。

こちらは京都大学の哲学者、出口康夫先生が提唱されているコンセプトでございます。Well-beingというコンセプトが、現在指向型、今現在のウエルな状態を指すのに対しまして、このWell-goingは、今仮にウエルではない、イルな状態であっても、きっと未来ウエルになるであろうとか、未来に向けてうまく進んでいるという、行為の遂行順調整を表すコンセプトでございまして、Well-beingに加えてこのWell-goingを取り込むということをキービジョンの軸に据えました。あと社会課題も、あらゆる課題を対象にしていきたいといったところから、やはりそれではばらばらになってしまうということで、8つの課題に絞りました。例えば自殺率。先ほどの菱本先生のプロジェクトなどは、こうした自殺率を低下させる課題解決につながる可能性があるということで。

あと、指標も、ばらばらに並べるのではなくて、構造をしっかりと示していくことにしました。まず、指標全体を、活力増大に関する指標、安らぎに関する指標と2群に分けてまして、さらに、合計7つの指標群を設定いたしましたして、各PMが今、それぞれの指標群に属する個別の指標を開発中でございます。

こちらも、要素研究終了に伴って、新しく細田プロジェクト、菱本プロジェクトが加わるという形になっております。

国際連携については先ほど御説明いたしましたして、E L S Iに関しましても、プログラム内の横断E L S Iワーキンググループを組織しまして、議論を重ね、ガイドラインの暫定日本語版と英語版を公表いたしましたして、英語版に関しては「ネイチャー」のホームページ

にリンクを頂いてございます。

先ほどの指標に関しても、このようにもともと並べていたものを、指標ワーキンググループで統合していくという、今作業を進めてございます。

続いて、外部評価の結果等々について御報告をさせていただきますが、各プロジェクトの評価がこちらのとおりでございまして目標全体の報告を中島部長からお願いいたします。

○中島部長（JST） 熊谷先生、ありがとうございました。

続きまして、外部評価結果について御報告いたします。

外部評価の方々、23ページ目の左側にありますので、適宜御参照ください。

プログラムの総合評価としては、マイルストーン達成あるいは達成への貢献が期待どおり見込まれ、成果が得られていると判断いたしました。

熊谷先生から特筆すべき成果として御説明ありましたとおり、様々な分野の多様な研究者が集まり、統合的にプログラム進められた結果、革新的な研究成果も幾つか出ているということが大変高く評価されました。

一方で、4つの点について留意すべきという御指摘がありました。3点のみ紹介させていただきます。

1点目、16ページで社会課題が提示されましたが、これら社会課題に対して、どのような研究を進めるかといったバックキャストの考え方をより強化する必要があるという御指摘です。

2点目、現状、研究対象が個人に絞り過ぎているとの指摘もありました。個人だけが頑張るのではなく、社会システムの変化で心が安らぐ、あるいは活力の増加につながる仕組みの検討が必要との御指摘です。

3点目、目標9での取組に対する科学的厳密性の担保が必須であると。そのためには、心に関係する用語を使用する場合、言葉の定義を一般用語ではなく科学的な用語で定めるといふ点、さらに、多様性のある生体の測定結果の解釈においては、特異性を反映した慎重な分析・考察が必要であるとの指摘です。

各評価項目に対する主な評価結果は、29ページ、30ページにまとめてあります。

これらの評価結果を受け、今後の方向性について、再度、熊谷先生から御説明をお願いいたします。

○熊谷PD ありがとうございます。

外部評価を頂きまして、こちら7点挙げてございますが、まずは、ターミノロジーの整理が不十分なことで科学的厳密性を損なっているという御指摘に関しましては、今、PM、全PMに用語集を作っただけでございます。社会実装するためにやはり、一般の方々に分かりやすい説明、一般表現の定義で、さらには科学者向けの科学的な説明ということで、一般向けと科学者向けの2つにしっかり分けた用語説明をするということで、今、内部で用語集を作っておるところで、対応中でございます。

社会的な視点というもののアプローチが不十分であるという御指摘に関しましては、この度、集団・社会の観点から新しい公募を行いまして、充実を図っていく予定でございます。

あと、Well-going研究開発指標というものが各プロジェクトの客観指標候補を集めたものにとどまっているというところにつきましても、指標ワーキンググループを今年度組織いたしまして、先ほどお見せした図のように、統合的な指標のまとめというものを今構築しているところでございます。

また、脳科学中心の基礎研究を心の問題の社会実装に結び付ける方策が明確でないという御指摘も頂いてございまして、こちらにつきましても、ビジョン24で明らかにした社会課題を踏まえまして、社会実装ワーキンググループというものも横断的に設置いたしました。その際、研究者、科学者だけではなくて産業界の方、VCの方とかも交えて、しっかり効果的な社会実装を行う。そういうプランニングに変えていくということで、今進めてございます。

ELSIに関しましては、こうした技術の悪用により社会的な受容性というものが低下する可能性があるという点については認識してございまして、先ほど申しました、暫定版でございますが、英語版と日本語版のガイドラインを作成して公表してございますが、今後、専門家、さらには市民の皆様方と議論を重ねて、修正をしてまいりたいと思っております。

また、目標9の独自性を世界に広めるためには、研究レベルを国際水準、国際的な最高水準に引き上げる必要があるという御指摘を頂いております。こちら、国内にも世界的なトップ研究者はもちろんおられるわけですが、世界各国のトップスカラー等をどんどん巻き込んでいくということで、先ほど米国、ドイツ、オランダとは既に連携をしておりますが、それ以外の国も、英国などからも打診は来ていますので、国をどんどん広げて、トップスカラーを巻き込んでいくという連携も強化したいと思っております。

あとは、社会実装を広く行うため産官学民の交流の場が必要であるということに関しましては、オープン・イノベーション・プラットフォーム（O I P）の設立準備委員会の、更にコアメンバー委員会というものを今年度発足しましたが、次年度には、そのコアにより多くの人を巻き込んで設立準備委員会を設置いたしまして、O I Pを作って、その場で産業界とのマッチングや、市民とのより活性化した議論等々を行うということを考えてございます。

やはり、先ほどの指標に関しまして、こちらの図も、右側の社会課題の方からしっかりバックキャストしていくべきだという御助言頂きましたので、そちらも指標ワーキンググループの方で今議論をしておるところでございます。

あと、最後にですけれども、公募につきましてはこちらのとおりでございますが、間もなく公募を開始したいと思っておりますが、集団・社会に関わるプロジェクトを募集したいと思っております。

以上で報告を終わらせていただきます。

御意見、御助言等々頂けますと幸いです。

ありがとうございます。

○笠井上席フェロー 熊谷先生、J S T、御説明ありがとうございました。

非常に難しい課題なのですが、ある意味ムーンショットらしい課題でございます。先生方から御意見を頂ければ幸いです。

福井先生、よろしく願いいたします。

○福井委員 ちょっとピント外れかも分かりませんが、最近マスコミで報道されている、世界のほとんど全ての国の幸福度のランキングで、日本は非常に低くて、ほとんどがトップテンは北欧の国々とされています。先生のプロジェクトにはブータンが具体的に挙がっているんですけれども、あのような報道を聞きますと、日本の状況と北欧の状況などを比べることによって、そこに重大な対応策が隠れているんじゃないかと何となく思っています。先生の御発表になったことと直接関係ないかもしれないですけれども、御意見を伺えればと思いました。

○熊谷PD ありがとうございます。

重要な指摘でございまして、おっしゃるとおり、世界の幸福度ランキング、様々な幸福度指標がございまして、それらの中で上位に来る国々というのはやはり北欧の国々でござい

ます。デンマークとかスウェーデンとか、やはり福祉がすごくしっかりした国が上位に挙がっているというところがございます。

その一方で、日本の場合はかなりランキングが低くなっていると。取り分け子供の夢や希望等々のランキングに関しますと、OECDの中で日本は最下位であるといった状況もありますので、もちろん国民全体での幸福度を高めていく必要もございますが、私ども、子供にもやはりより重点を当てながら、子供のWell-being、Well-goingに注力していきたいと思っております。

その際に、ブータンという言葉、国が出てきましたが、レスター大学が出した幸福度指標で、上位に北欧の国々がランキングしている中で、ブータンが第8位ぐらいにランキングされていまして、それで注目された国でもございます。そうした中で、西洋の国々の中から学べるところもあるでしょうし、そして、アジアの国の中でも貧しい、GDPランキングはブータン162位ぐらいですけれども、そういう財政が乏しい中でも割と高い幸福度を維持しているという国からも、学べるところが大きいにあるのではないかと思っております。

その辺りも今後しっかりと、Well-beingに関しても日本と海外との比較をしていくながら、どのあたりを注力していくかというところ、ターゲット探していく必要があるかと思ひまして、非常に重要な御指摘、ありがとうございました。

○福井委員 ありがとうございます。

○笠井上席フェロー 福井先生、ありがとうございます。

梅澤先生、お願いいたします。

○梅澤委員 ありがとうございます。梅澤です。

大変興味深いプログラムだと思います。現時点で様々な介入手法、想定をされていると思うんですけども、仮説で結構なんですけど、具体的に例えばどのようなものを今後実装していくことをイメージして取り組まれているのでしょうか。

○熊谷PD 介入方法でございますか。

○梅澤委員 はい。いろんな分析を経た後での、社会的に、あるいは個人に対しての介入方法ということですね。

○熊谷PD ありがとうございます。

例えば、様々な介入方法を今トライしておりました、芸術を用いた介入ですとか、あるいは仏教瞑想、マインドフルネスとかいうものが最近割と有名になっていますが、そのベースにある仏教の瞑想というものを介入方法として取り上げている今水プロジェクトもございます。

そうした、今、社会にあるものをサイエンスベースでどの程度効果があるかということを検証しておりますので、その辺りをサイエンスベースでしっかりと個人の心の介入というところにつなげていきたいと思っております。あと、集団ということでありまして、先ほど紹介させていただきました細田プロジェクトの場合には、第三者を交えた子育て支援ということをすることにより、個人だけではなくて全体のWell-beingが高まるといった結果が出ております。各プロジェクトが介入手段として様々なもの出しておりますので、そうしたものを順次取り入れていきたいというふうに思っておる次第でございます。

○梅澤委員 ありがとうございます。

ちょっと手前みそな話を二つさせていただきます。

一つは、私自身、トランセンデンタル・メディテーションというもの、40年近く続けていまして、個人的には極めて高い効果を感じているので、毎日40分瞑想しています。世界的にこのメソッドを広げているマハリシ総合研究所が、一応いろんな研究レポートも出しながら、その効果を世界にアピールしていると。その研究レポートの信頼性は僕自身評価したことないので、サイエンスの観点で見たときにどうなのかというのは見ていただきたいと思うんですけども、少なくともそういう材料があって、数十年の蓄積があって、私自身も数十年の実体験があります。というものが多分世の中にはいろいろあると思うので、そういうところからスタートして、実際にそれが本当に効果があるのかっていうところの検証をされているものだと思うんですけども、一応御参考までに一つの例として申し上げます。

もう一つが、オープン・イノベーションのプラットフォームを作ろうというお話をされていて、これももし御関心があればですけども、私が今、C I C J a p a nという会社で、日本で一番大きなスタートアップの集積拠点、C I C T o k y oを虎ノ門で運営しています。ここがいろんなオープン・イノベーションの場になっていて、我々にとってもライフサイエンスが二本柱のうちの一つで、ライフサイエンスの中でもマインドフルネス的なものも含めて体と心と両方、議論の場としてはいろんな方に使っていただいているので、も

し御関心があればちょっと一度お話をさせていただいて、東京にはなりませんけれども、そういう場があるので、お使いいただく可能性もあるかなと思って、今日のプレゼンテーションを伺っていました。

○熊谷PD 貴重な御助言、ありがとうございます。

二つ目の方ですが、オープン・イノベーション・プラットフォームを私どもは、準備委員会、コアメンバー委員会というものを作りました。様々なオープン・イノベーション・プラットフォームがあるということは承知はしているのですが、その中でどういうところを参考にしていけばいいのかと今議論をさせていただいているところです。是非、先生のオープン・イノベーション・プラットフォームの方も、もしよろしければ視察させていただきまして、何らかの協力等々頂けますと大変有り難く存じます。よろしく願いいたします。

○梅澤委員 御連絡いただければ。

○熊谷PD ありがとうございます。

○梅澤委員 いつでも対応させていただきます。ありがとうございます。

○熊谷PD あと、最初のメディテーションの方も、先生御自身がもう40年間やられて効果を感じておられるということで、やはりそういうふうな声は様々なメディテーションを実践されている方からお聞きするところでございます。

今、今水プロジェクトには、仏教学の蓑輪先生という東大の教授で、仏教学の、メディテーションの専門家がおられるんですけれども、もともとは仏教の古典的な瞑想の研究をされています。最近のマインドフルネスであったり、様々な国の様々なメディテーション、仏教にしてもありますので、そうしたものを今調査されていまして、その中で御自身のオリジナルのメディテーション方法、特に一般の方々が宗教によらず使いやすいようなメディテーションのパッケージを作って、そのプロトタイプを今実証しているというところでございます。先ほど先生にお知らせいただいた情報も今水プロジェクトにフィードバックさせていただきたいと思います。

貴重な情報、ありがとうございました。

○梅澤委員 ありがとうございます。

多分先生は御存じだろうと思いますが、御参考まででした。

○熊谷PD ありがとうございます。

○笠井上席フェロー 梅澤先生、心強い御支援、ありがとうございます。

ほか、ございますでしょうか。

梶原先生、よろしくお願いいたします。

○梶原委員 梶原です。

プロジェクトの当初からユニークでチャレンジングで、どのような方向に行くのかということで、期待と不安とで見えていたところございましたけれども、熊谷先生が熱意を持って取り組んでいらっしゃるというところで、非常に、ここまで来ているというのはすばらしいなと思います。

Well-goingということで変わっていくということですが、企業の方は割とWell-being、社員のWell-beingを高めるために、いろいろな取組をしてきているのが今の実態だと思います。そういった企業との連携で、多分されていると思うんですが、そこに対しての今の研究の成果が、あるいは、新しいことを取り組むことによって更にもっと社員とか家族の指標が変わるみたいな取組をどの程度されているのかということ、ちょっと伺いたいなと思いました。先ほど仏教とか芸術とかという表現が出ていましたけれども、企業にしてみると、スポーツを応援することとか見ることとか、企業がスポーツを応援することで社員のWell-beingが上がるんじゃないかというような話も出たりしますが、ここではスポーツ的な要素って何か取り組まれていますか、というのを少し伺いたいというのが2点目。

最後に、先ほど冒頭で、福井先生の方から日本人が、とありましたが、日本人は自己肯定感や自己効力感がグローバルで見ると低いというのがどういう要素のところから出てくるのでしょうか。こういう介入をすると本当に上がりますか、というところで、誰がそれを介入するかが一番ポイントのような気がします。やっぱり人のマインドセットをコントロールするのは、第三者がすべきではないみたいなところもあったりします。先ほどどう受け止められるか、自らが、あるいは、一緒に変わろうねという中で変えていくような介入だと思いますけれども、そういった、先ほど社会システムが全体的に変わらないと難しいという中で、その方向性を、どう考えていらっしゃるかというのを伺えればと思いました。すみません。

○熊谷PD ありがとうございます。

期待をしていただいているのは大変有り難いことですが、同時に不安を与えてしまっているところは不徳の致すところで、本当に先生方の、今も私どものサブPD

の先生方、アドバイザーの先生方、外部の先生方の御助力によって、何とか不安を払拭できるように、これからも進めてまいりたいと思っております。

まず、2番目の御質問ですが、スポーツに関しまして、先ほど、申し訳ございません、情報をお伝えするの忘れておりましたが、山田プロジェクトが体の制御、身体の例えば姿勢とかの制御と前向きさとの関係性について研究を進めておりまして、その際にトップアスリートの心の前向きさの調査というものも行っていますので、スポーツという視点というものは入れておるプロジェクトもございます。

トップアスリートというのは一部の特殊な方々ですけれども、私ども、ふだんそんなにスポーツをするわけではないですが、火事場の馬鹿力じゃないですが、時にやはりそういう極限の身体能力を使ったりしないといけない状況が発生するというようなこともありますので、トップアスリートの体の使い方、あと、心の前向きさみたいなところについての研究は進めているところでございます。

あとはフローですね。トップアスリートとかが極度な集中状態に入ったときに、「フローに入る」と言われるようなものに関しまして、個人のフローと集団のフローというものの両面で、チームフロー、チームスポーツの中でチーム全体としてフローが高まっていくというのと、個人で、個人競技などで個人の集中、極度な集中状態、そのフローについても研究を、これはカリフォルニア工科大学の方で進めておるところでございまして、そのフローを上昇させるようなテレビゲームの試作品というものを今作っておる状況で、来年度辺りには何らかのものをお見せできるんじゃないかと思っておるところでございます。

続きまして、3番目でございますが、これは本当に難しい御指摘で、ここも含めて今後、集団・社会の観点を持ったプロジェクトを新たに加えたいと思ひまして、公募しようと思っております。

そうした中で、今いるプロジェクトの中で集団のWell-beingを扱っているチームは、細田チームが割と主となっておりますけれども、その際、先ほど先生がおっしゃった視点で、20名規模あるいは30名規模ですので、そこに関わる個人が、やはり自分の心がウエルになりたいといった明確な意思を持って入っている集団ですので、第三者が不察知な状態で勝手にWell-beingをコントロールしたりとか、そういうものではないというところがございます。

これは集団ですけれども、個人、集団、社会というふうに我々三つ分けていまして、その

集団の規模は、ダンバー数が100名ぐらいですかね。お互い一応名前と顔が分かるぐらい、集団を考えていますが、そこから社会と、例えば1,000人、2,000人となったときに、匿名の状態で、その社会の構成メンバーが分からない状態で、それを制御していくとなったときには、先ほどおっしゃったように、第三者が本人が望まない状態でWell-beingを、仮に高める形であっても、それがいいのかどうなのかといったところも、今後しっかり議論が必要になっていくと思っております。

ですので、今のところは個人、集団というところまでは割と見通しがついているんですが、それを今度社会に広げていくときには注意が必要で、どういう部分はやってよくて、どういう部分は注意しなければいけないというところも、E L S I の議論をしっかり進めていきたいと思っております。貴重な御助言、ありがとうございました。

あとは、一つ目の方でございまして、最近「Well-being」という単語がようやく日本の国内でも定着してきたところがございます、政府も「Well-being」という言葉を使うようになりましたし、各種企業が「Well-being経営」とかそういった単語を使って、Well-beingが定着してきていると思っております。

目標9におきましてはWell-beingというものは極めて重要なものですので、今のウエルな状態をどう高めていくか、イルな状態をどう下げていくかというところは引き続きやっていながら、先ほど申しました、イルな状態でも前向きに過ごしていけるような、これを、山田プロジェクトが「ネガティブ・ケイパビリティ」という単語を新たに加えて、前向きといったときも、100%ポジティブでいいところだけ増強していくのではなく、悪いところ、ネガティブな状態も受け入れながら、すぐに結論を出さずに、そこで耐えていける力、能力というところにフォーカスをしまして、その両輪で、できればウエルをどんどん高めていきたいと、しかしながら、ウエルじゃない状態も何とかそこを耐えていける。その両輪でやっていきたいというふうに思っておりますので、現在の企業の方々のWell-beingをWell-goingで阻害するという形ではなくて、そこに更にWell-going的な要素も付加できれば、今後より良い「Well-being経営」ができてくるのではないかと考えてございまして、是非そういった周知の取組も進めていきたいと思っております。

すみません、ちょっと長くなりましたが、以上で回答とさせていただきます。

○笠井上席フェロー ありがとうございます。

そのほか、ございますでしょうか。

須藤先生、お願いいたします。

○須藤委員 単純な質問なんですけれども、国内外の研究開発の動向というのは、説明があったんですけども、このプロジェクトの中で出た成果というのはどれぐらい論文に出しているのか。どういうところでまた出しているのかというのを教えていただけますか。

○熊谷PD ちょっと今正確な論文数についてお答えできない状況ですので、またJSTの方から、後ほどかあるいは後日御報告させていただきたいと思いますが、例えば「ネイチャー」系の論文とか「サイエンス」系の論文とか、そういったあたりで、論文雑誌でいいますと成果を出しておりますが、これはサイエンス系の研究でございまして、あとは社会科学系の研究成果についても、論文名まではちょっと今すぐお答えはできませんが、社会科学におけるレフェリー付きの、インパクトファクター付きの雑誌に投稿しているといった状況で、文理融合の研究体制となっておりますので、各分野のトップジャーナルに皆さん投稿して、しっかりとしたレフェリーといたしますか、ピアレビューを受けた形のもので論文を公表するという形で進めてございます。

○笠井上席フェロー ありがとうございます。

須藤先生の御質問の趣旨としては、おそらくどこの分野に論文投稿しているのかということかと思うのですが、いかがでしょうか。

○熊谷PD そうですね、ライフサイエンスとか脳神経科学、認知科学あたりの分野が。研究者の所属、ディシプリンに応じてということになりますので、割と目標9は脳神経科学や認知科学の研究者の割合が多いというところがありますので、そうした分野の論文雑誌に投稿している状況でございます。

○笠井上席フェロー なかなか論文にするのも難しい分野だと思うのですが、しっかり論文を出されているということですね。

○須藤委員 その中で、グローバルな視点で少し注目を浴びた論文とか、そういうのは出ているんですか。

○熊谷PD そうですね、はい。注目を浴びたというのは、すみません、どういう意味で注目を浴びたというのは、なかなか自分でも言いにくいところがありますので。例えば、論文を出した後にプレスリリースを出して、ちゃんと主要メディアに報道されたといったケースもございますので、そのディシプリンの中で評価を受けて、かつ社会的にもある程度インパクトを出した成果というものも、幾つか既に出てきてはおります。

○須藤委員 ありがとうございます。

○笠井上席フェロー ありがとうございます。

そのほか、ございますでしょうか。

○波多野委員 波多野ですけれども、よろしいでしょうか。

○笠井上席フェロー 波多野先生、よろしく願いいたします。

○波多野委員 遅くなりまして、すみません。

今お話に出ました社会的なインパクトっていうものの指標に、何か指標をお考えかどうか。

今、世界中で社会的なインパクトをどう測ればいだろうというような議論も進んでいますが、何かお考えいただければと思います。よろしくお願いします。

○熊谷PD ありがとうございます。

貴重な御指摘で、今この社会的インパクトというものをどう測るかというのは、様々な場所で議論がなされておるかと思います。理系分野でいうと、インパクトファクターの高い雑誌に採択されると、それが科学コミュニティにおけるインパクトの高さだという指標の一つであると思うんですけれども、例えば社会科学とか人文科学とかの分野ですと、必ずしもインパクトファクターだけではない要素もあります。あとは、学術以外にどうインパクトを与えたかということになりますと、先ほど申し上げました、メディアにどれだけ取り上げられたとかっていったところも一つの判断基準にはなるとは思いますが、ちょっと目標9の中で、社会的なインパクトで、この要素、この要素、この要素といったところを明確に作っておるわけではございませんので、今日頂いた御指摘を持ち帰りまして、どういった要素で社会的インパクトを評価するかということも、目標内に持ち帰って議論させていただければと思います。

○波多野委員 是非よろしく願いいたします。

○熊谷PD はい。ありがとうございます。

○笠井上席フェロー ありがとうございます。

そのほか、ございますでしょうか。では、目標9はここまでとさせていただきます。

熊谷プログラムディレクター、どうもありがとうございました。

JST様、ありがとうございました。

続きまして、目標6におけるプログラムの進捗、自己評価について取り組みたいと思います。目標6は、研究開始から4年目となります。プログラムの進捗、自己評価について、

後半5年の見通しも含めて、JSTから御説明を頂きます。時間配分は、報告15分、質疑25分となります。よろしくお願いいたします。

○中島部長（JST） ありがとうございます。

では、目標6について、最初に、研究開発プログラム概要と進捗状況、今後の方向性について、プログラムディレクターの北川先生から御説明をお願いいたします。北川先生、お願いします。

○中島部長（JST） 北川先生のスライド準備ができるまでの時間を頂きまして、先ほど目標9の方で須藤先生から論文数について御質問があったので、回答させていただいてよろしいでしょうか。

○笠井上席フェロー 是非お願いいたします。

○中島部長（JST） 2022年の目標9開始から昨年10月頃までので集計したことによりますと、論文の発表数は123件でございました。

以上です。

○梶原委員 先ほどの120何件というところに対して、関係されている、参加される研究者の数というのはどのぐらいなんですか。JSTの方に。

○中島部長（JST） 少々お待ちください。調べておきます。

○笠井上席フェロー 目標6の北川先生の御準備が整ったということですので、よろしくお願いいたします。

○北川PD すみません、急いでいきます。本当に10分間無駄にして申し訳ありませんでした。目標6の北川です。手短かにいきたいと思えます。

まず、このページを見ていただきまして、目指す社会は、誤り耐性型量子コンピューターのスパコンを超える計算能力によって、地球規模の社会課題が解決された未来です。

例えば、マメ科植物の根に寄生する根粒菌が行っている窒素固定などの解明によりまして、アンモニアの生産を大幅に省エネルギー化することが期待されます。

この酵素反応に、実は50個以上の電子が複雑に関与しておりまして、スパコンでも厳密な計算は困難です。

しかし、2017年に、誤り耐性を持った量子コンピューターなら2,000論理量子ビットで 10^{17} ゲートの手間でこれができると、必要な精度の量子化学計算ができるということが分かりました。さらに、21年には 10^{10} ゲート、つまり7桁少ないゲートででき

ることも分かりました。

一方、今実現している量子コンピューターの性能というのは、物理量子ビット数が大体100から1,000です。そしてゲート当たりの誤り率はベストでも0.1%程度です。計算の成功確率というのは1,000ゲートなら37%、3回に1回は成功しますが、1万ゲートだと0.0045%となって、ほとんど成功しません。つまり、誤り率 p がゲート数 g の逆数以下でないと計算は成功いたしません。現状の誤り率 10^{-3} (0.1%)とアプリケーションが要求する 10^{-10} の間には7桁の大きなギャップがあつて、これは量子ビット、量子ゲートの物理的な改善だけでは到底埋められません。そこで、量子誤り訂正を行いながら高精度の計算を行う誤り耐性量子コンピューターの実現が待望されています。

多数の物理量子ビットに誤り訂正を行って一つの論理量子ビットとして使うわけですが、誤り率0.1%とする場合は一つの論理量子ビット当たり500程度、2,000論理量子ビットだと100万物理量子ビット必要です。誤り率が1桁下がって0.01%なら1論理量子ビット当たり100程度。先ほどの2,000論理量子ビットでは20万物理量子ビットになります。つまり、物理量子ビット数は、数、質ともにまだまだ足りないというのが現状であります。

このように、現状の量子コンピューターと誤り耐性量子コンピューターの間には大きなギャップがあり、それを埋めようというのが目標6の研究開発です。そのための2030年のマイルストーンとして、量子誤り訂正が可能となる規模の量子コンピューターを開発し、量子誤り訂正を実行して、その有効性を実証することを掲げました。その手前の2025年のマイルストーンとしては、その規模まで量子ビット数を増やすことのできる技術と量子誤り訂正方式の開発を設定しました。

このように、主要な5種のハードウェアを競争的に研究開発する七つのプロジェクトを縦糸とし、ハードウェアの限界を超えて量子的につなぐ量子通信ネットワークの三つのプロジェクト、量子誤り訂正・量子誤り耐性理論のプロジェクト、誤り訂正システム開発のプロジェクトを横糸とするポートフォリオでプログラムを推進しておりまして、国際的な中間評価では、このポートフォリオに関して高い評価を頂きました。

世界的な状況ですが、昨年8月にグーグルが105量子ビットの超伝導量子コンピューターで量子誤り訂正を行い、実際に97物理量子ビットを使って、訂正前よりも誤り率の低い1論理量子ビットを実現したというのが世界最先端の結果であります。巨大IT企業や

ベンチャー企業を中心に野心的なロードマップを発表しており、2030年までに、おおむね100論理量子ビットを目指しているところです。

目標6でも、次に紹介しますように、光量子、半導体、中性原子で世界トップレベルの成果が出ています。

光量子の古澤プロジェクトでは、NTTの5G、6G技術を活用した光パラメトリック増幅器を用いて光の論理量子ビットの生成に世界で初めて成功し、また、アナログ光量子コンピューターの実機を開発して公開しています。

シリコンの樽茶プロジェクトでは、世界トップレベルの1量子ビット誤り率や、誤り耐性閾値をクリアする2論理量子ビットゲートと測定の誤り率を実現しました。

中性原子の大森プロジェクトでは、独自のパルス方式により世界最速の2量子ビットゲートを実現しました。

理論・ソフトウェアの小芦プロジェクトでは、大規模誤り耐性型量子コンピューターの最適設計を可能とするクロスレイヤー協調設計モデルを構築し、超伝導に適用可能にしました。また、誤り耐性について世界トップレベルの理論的成果を次々に輩出しており、効率的なFTQCのアーキテクチャー、FTQCよりも手前で実現可能なアーキテクチャー、これは富士通との共同研究ですが、さらには、この誤り耐性型量子コンピューターの最難関と言われている魔法状態蒸留の効率的な手法を提唱しました。この最後の成果は、グーグルによる更なる効率化の発見につながるなど、国際的な貢献が認められています。

プログラムマネジメントで特筆すべきことは、2024年7月に3日間の合宿を行い、1,000名中300名の研究者が参加して、研究の共有と熱心な議論を行いました。

国際連携については、2023年7月に目標6の国際会議を東京で開催しました。

また、国のQIH主催の国際会議、クオantum・イノベーションに2021年の初回から毎回共催しており、特に今年は8月、後半の2日間、8月1日、2日に目標6の国際会議を行います。

産業界との連携ですが、目標6は12PMのうち3PMが民間企業所属、参画機関45機関のうち15が民間企業、うち4社は量子スタートアップということで、比較的産業界からの参画が多い方だと考えています。その上で、目標6の実現には製造業からの本格的な参入が不可欠であると考えておりまして、連携強化を模索しています。

産業界からの関心の特に高いテーマ、FTQCに期待されるアプリケーション、FTQC

にどれだけ近づいたのかなどでオンラインのミニシンポジウムを行い、毎回300名超の参加者がおられて、その過半数が企業からの参加で、大変好評を頂いています。

また、参加企業のこれまでの顕著な成果として、浜松ホトニクス光子検出器、NTTの光パラメトリック増幅器、アルバック、アルバック・クライオの希釈冷凍機があります。

また、プロジェクトからの社会実装として、光量子と超伝導の実機がクラウド公開される予定です。さらに、古澤プロジェクトからOptQCを起業いたしました。

広報・アウトリーチでは、毎年公開シンポジウムを行っているほか、サマースクールや高専との交流会など若手の人材育成に特に注力しています。

今後の方向性ですけれども、まずは中間評価で頂いたコメント、要素技術のインテグレーションによる量子コンピューターシステム開発加速、アプリケーション、コンピューターサイエンス、特にアーキテクチャーの参画への対応を考えています。

それに加えて、2030年に向けて、若手、新規参入、産業界からの更なる参入を促すために、ポートフォリオの大胆な再構築が必要と考え、ステージゲートとしてプロジェクトマネジャーの公募を行います。

ポートフォリオとしては、ハードウェアを各物理系最大1プロジェクトとし、横串の通信を量子バス・量子通信ネットワークの最大1プロジェクトとします。また、横串にアプリケーションのプロジェクトを追加いたします。

量子コンピューターシステムについては、2030年に世界に伍するものを目指していただくこと、将来中核となる企業を入れることなどを条件としています。

5番のアプリケーションの部分は、このプロジェクトは結局、誤り耐性型量子コンピューターの社会実装というのは、これ、アプリケーションを通して実施されるため、このアプリケーションのプロジェクトにはELSIも担当していただきます。

目標6のプログラムとしてのマイルストーンも表現を変えました。

2030年には、小規模又は部分的な誤り耐性を持つ量子コンピューターの実現でPOCを目指します。

2040年には、中規模な誤り耐性量子コンピューターの実現、スパコンを超える有用計算が可能なものを目指します。

現在の誤りのあるNISQベースの量子コンピューターをベースとした表現から、誤り耐性量子コンピューターを目指すことをより明確に表現いたしました。

次はJSTにお願いいたします。

○中島部長（JST） 北川先生、ありがとうございました。

続きまして、自己評価結果について御報告します。

総合評価としては、マイルストーン達成、達成への貢献に向かって、期待どおり達成が見込まれて、成果が得られていると評価されました。

まず、10ページ目で御説明がありましたプログラム構成、3カテゴリー、12プロジェクトを連携させる目標6独自のポートフォリオは、世界にも類がないとして、コンサルティングファームの分析あるいは外部有識者による評価として、高く評価されております。

また、海外企業が誤り訂正や誤り耐性に方向転換を進めているということから、先んじてこれに取り組んだ目標設定は極めて妥当であると考えられます。

5年目のマイルストーンは達成することが見込まれていますが、このように研究開発が世界的にも大きく進展していることを踏まえると、ハードウェアだけではなく、ソフトウェア系の研究を進めることが重要でありまして、そのために、2026年度以降にプロジェクトを再編しプロジェクト間の連携を強化する、2030年のマイルストーン達成を狙うという考え方は適切であると評価されました。

再編に当たっては、現在プロジェクトに参加している世界的著名な研究者が中核になり、さらに、2050年に向けて次世代の研究者を育成すること、研究・開発・実装のステージをサステナブルに行うメンバー構成を考慮することが重要と考えられます。

これらを念頭に、北川PD共々事務局も研究推進支援を行ってまいります。

以上です。

司会にお戻しします。

○笠井上席フェロー ありがとうございます。

それでは先生方ご意見をお願いいたします。波多野先生、よろしくお願いいたします。

○波多野委員 波多野です。

御説明ありましたように、当初の計画と進め方というのは非常に戦略的だったと思います。ただ、確かに世界も進歩していいしますので、それに合わせて後半は再公募してメンバやテーマを変えていくということと理解しました。

3点お聞きしたいです。

一点目は、古典コンピューター、特にコンピューターアルゴリズムとかコンピューターサ

イエンスの研究者がより多く貢献するとよいと思いますが、その分野の研究者はプロジェクトに参加していますか。

○北川PD ここは、どこに入るかといいますと、まず、古典のコンピューターサイエンスとかアーキテクチャーの人というのは、例えば誤り訂正、誤り耐性理論のところ。

○波多野委員 理論ですか。

○北川PD ここはアーキテクチャーをやっていますんで、ここであるとか、あるいは、誤り訂正システム自体も割と高速の古典のコンピューティングシステム。

○波多野委員 そこ、「古典部分」と書いてあるの、そうなんです。

○北川PD 古典部分の分、この二つのところに主に入ります。

また、通信のところでも、その分散コンピューティング系の方とかは入れますんで、この横串の三つのところ、まず、コンピューターサイエンスとコンピューターアーキテクチャーの方に入ってください。

さらに、各プロジェクト、例えば今、超伝導のプロジェクトには入っています。

もう一つ、アプリケーションのところは、これは、そのアプリケーションの分野、例えば化学であるとかの専門家とか、生物の専門家、あるいは流体力学とか、そういう専門家と同時に、やはり、そのアプリケーションを作るに当たって、コンピューターサイエンス的な方というのはたくさん入っていただけるのでないかなというふうに考えています。

○波多野委員 ただし、そのあたりの分野ってとても人材が不足しているので、すごく獲得するのが大変だと思いますが、そのあたりはうまくやられているのでしょうか。

○北川PD 全くおっしゃるとおりで、それ、中間評価のときに私、そのように、全く今の波多野先生と同じお答えをしたんですけども、海外の委員の方の指摘に対して。

私たちもそれに手を打たなきゃと考えていまして、例えば、アーキテクチャーの方が参入しやすいように、FTQCアーキテクチャー研究会というのをコンピューターアーキテクチャーの先生方と一緒に立ち上げて、そのキックオフを行いました。ここには目標6の研究者とコンピューターアーキテクチャー関係の研究者が集いまして、熱心に議論して、今後こういうものを定期的にやっていくということを決めました。

という形で、割とそういうアウトリーチ的なことから始めて、人材獲得しようというふうに努力しております。

○波多野委員 ありがとうございます。

一方で、各キュービット、5種類ぐらいあるキュービットは、そこは選択をしないのでしょうか？、

○北川PD そうですね。ここは、現状は、超伝導、イオントラップ、光量子、半導体、中性原子というのは、世界的にもどれが勝つかというのを誰も分からない状態ですし、また時代とともに変わっていくというふうに予想してしまっていて、例えば先ほどの各社の、この各社の、割とロードマップなんか見えても、やっぱりどの方針も今の時点では捨てるのが難しいというふうに考えています。

○波多野委員 しかし限られた予算と限られた人材の中で、先ほど重要とおっしゃった横断的なテーマも人材が不足する中で、どこかに特化するという考えもあると思うんですけども。もちろんだれか中止するわけではなくて、どこかに集中するという考え方も。あると思います。

○北川PD どこに集中するかというのは、博打になってしまうので。今だと、科学的な根拠じゃなくて雰囲気、例えば超伝導に張ってみましょうみたいなことになってしまいます。

それを科学的にやるためには、先ほどの横串プロジェクトの、この小芦プロジェクトのような、今こういうモデル化をやっているんですね、クロスレイヤー協調設計モデルで。これを今、超伝導には割と対応したんです。これを今後ほかの方式にも全て対応して、そうすると、この理論の上で、どれが将来的に、どこをどうしたらどれがどう有利になるみたいなことが予測、ある程度理論的に予測可能になります。

それができればそういうことも可能なんですけれども、現時点では世界的にも、そこはこの中でどれかにえいやって張ると。

○波多野委員 どこか特化することもあるかなと、確認しただけです。

それで、やっぱり産学連携、そして国際連携がキーになってくると思いますが、量子は御存じのとおり経済安全保障の対象にもなってくると思いますので、そのあたりを踏まえて、オープンとクローズをどのように進めてるかのお考えや課題がごございますか。

○北川PD もちろん、それは主には有志国と、経済安全保障で問題のないところとの連携になりますけれども、そうであっても、例えば米国とか英国とかドイツとかにしても、一応競争関係にもあるわけで、その連携と競争というのをどうするかとか、非常に難しい問題ですね。

だから、基本的には日本企業。

○波多野委員 日本企業なんですね。

○北川PD 日本企業でできれば一番いいと思いますし。

海外と連携する場合、いろんな方法があるんですけども、ただ、今、ムーンショット目標6の中で、割と自由にディスカッションできるベースを作っているんですね、このプロジェクト間で。そこに海外企業が入った場合、ちょっとシールドしなきゃいけないという状況も出てくるわけです、全部の情報が筒抜けになってしまうといけません。という非常に難しいマネジメントが発生するので、海外との連携というのは、ムーンショットでは求められていますけれども、かなりセンシティブなことだということで、我々がそこをどうするかというのは、非常に難しい判断が要求されるなと思っていますし、前回は実は内閣府や官邸まで巻き込んだようなマネジメントが必要だったところです。

○波多野委員 なるほど。

あと、人材なんですけども、若手人材を育てていらっしゃると思いますが、いっそのこと、量子はまだ長いので、先、若手にリーダーを替えることはみ考えていないですか。

○北川PD 若手がいればもちろんいいんですけども。

それと、リーダーっていうのはPMのことですよ。

○波多野委員 はい。

○北川PD PMというの、もともとムーンショットではPM、30代ということを言われていました。

○波多野委員 そうです、はい。

○北川PD それが……

○波多野委員 それで、それは育てて、5年間の間に育たなかったってことですか。

○北川PD すごく単純な話で、2020年に30代でないと2050年に60代越してしまう。こういう単純なロジックなので、そこは今回、公募方式にしたことによって、PMの高齢化による交代とかも可能にはしています。

○波多野委員 分かりました。

○北川PD ただ、PM専業であれば、別に年取っていてもいいんじゃないかなというふうに考えるところもあります。マネジメントで結構研究時間を奪われてしまうので、若い人にはPIで活躍していただいて、PMは多少年取ってもいいのかなというふうに今は考えて

います。

○波多野委員 分かりました。ありがとうございます。私からは以上です。

○笠井上席フェロー 波多野先生、ありがとうございました。

そのほか、先生方、御意見ございますでしょうか。

○福井委員 よろしいですか。

○笠井上席フェロー 福井先生、お願いします。

○福井委員 すみません、全く専門分野が違うものですから、たくさん理解できないところもあるんですけども、一点、全くの素人に分かるように、もしお願いできればと思いましたが、4ページの目指す社会像に、この研究の行き着く先として、誰もが分かる言葉では人工光合成のことと人工窒素固定が出ていますが、それらを含めて人間社会にどういう影響を与える研究なのか。一般の人が分かるような形で、もう少し書かれているといいなと思いました。

○北川PD 分かりました。

○福井委員 申し訳ありません。

○北川PD いつもはスライドが入っているんですけども、ちょっと今回枚数が多かったので減らしました。すみません。

まず、窒素固定は、先ほど説明したんですけども、アンモニアの合成っていうのはハーバー・ボッシュ法という100年ぐらい前に発明された方法でやっているんですが、高温高压が必要で、人類はアンモニアの工業的生産に全消費エネルギーの2%内外を消費しているというふうに言われています。これは非常にエネルギーを食うので、地球温暖化の炭素の排出にもつながっていますんで、地球温暖化にも悪い意味で貢献していると。

これが、先ほどのマメ科植物の根に寄生する根粒菌、根粒菌が空気中の窒素をせっせと固定してくれているわけですけども、これは全然、エネルギーはほとんど消費しないし、ありふれた物質でできているということで、これを解明して、まねすることができれば、アンモニアの合成に関しては、もう革命が起こるわけですね、ほとんどエネルギーを消費せずにと。そういうことが可能になると、そうすると、エネルギー問題と食糧問題を同時に解決できると。

また、光合成の方も、これはやっぱり同様に、電子が70個ぐらい関与してしまっていて、これは非常に難しい研究で、ノーベル賞は毎回候補になっているような研究で、これを完全

に解明するには量子コンピューターが必要というふうに信じられています。なんで、これを解明して、やっぱり天然の光合成をまねすることができれば、非常に高効率に太陽光と水から、CO₂を減らして酸素を作り出す、酸素とエネルギーを作り出すってことが可能になります。

これはもう地球温暖化の多分決定的な解決手段になるということで、この二つを一番インパクトのある例として挙げております。

○福井委員 ありがとうございます。

○笠井上席フェロー 福井先生、ありがとうございます。

そのほか、先生方、いかがでしょうか。

須藤先生、お願いいたします。

○須藤委員 先ほどの波多野先生のとときの議論で、ハードウェアのシステムとしては五つの方式をそのまま継続するという事なんですけれども、これで、例えばどの方式によっても日本の企業が実際に参加しているのでしょうか。ちょっと中性原子とかその辺は、もしかしたら企業がついていないのかなという気がするんですけれども。

○北川PD コメント分かりました。現状をまずお知らせします。

現状は、超伝導は、ムーンショットに限定しなければ、富士通が割とやっています。

○須藤委員 超伝導はやっていますよね。

○北川PD はい、やっています。

それからイオントラップは、現状、ベンチャー企業1社しかございません。

それから光量子に関しましては、このプロジェクトから、自らOptQCという会社を起業して、それがやっております。

まず、中性原子いきますと、中性原子は、これ、日本には今まだないんですけれども、光量子と同じように、中性原子でムーンショットのプロジェクトから1社起業しようとしています。これは非常に近日中に、多分ニュースとして出ると思います。

半導体に関しては、ここは日立が参入しております。

という状況でありまして、基本的に大企業はなかなか参入しないので、自分たちでベンチャーを創ってやっているのが多いということでございます。

○須藤委員 分かりました。中性原子がないのかなと思ったんですけれども、じゃ、企業ができそうなんです。近々。

○北川PD はい。中性原子は、多分ごくごく近日中にニュースとして出ると思います。

○須藤委員 そうですか。ありがとうございます。

○笠井上席フェロー 須藤先生、ありがとうございました。

そのほか、先生方、いかがでしょうか。

梶原先生、お願いいたします。

○梶原委員 御説明ありがとうございました。

私からは、人材育成について少しコメントをさせていただきます。

ムーンショットの新しい評価の基軸で、人材育成の重要性をやはり捉まえていただきたいということで、全プロジェクトに対して、当初はあまりそこに重点は置かなかったですけれども、できるだけ人材育成も入れるように変えました。その観点でいうと、このテーマは、以前お話伺ったときに、若手というか、中・高生、高校生かな、大学生か、教育、サマーキャンプをやったり、教育という意味での人材を増やすことで動かれているというお話は聞いて、そのときの質問で、あらゆるプロジェクト・研究分野についてそれぞれやられているのかなと思いましたが、実は一部の研究分野に対して動いているというような話でした。今後、先々考えたときに、もっと幅広く、全部の研究分野に対して人材育成の視点が入るだとか、あるいは、研究者の育成を図ると言っている中での研究者というのは、先ほどのグローバルというような話があって、経済安全保障の話がありましたけれども、日本で、日本人だけなんですか。それとも、有志国・同士国と、割と広くグローバルな研究者、人材育成ということも視野に入れていらっしゃいますか。何かその辺の観点で、今後の5年に向けて、抱負というんでしょうか、お願いいたします。

○北川PD ありがとうございます。

ごく一部の分野と言いましたのは、ムーンショット目標6は目標が決まっていますので、それに関連する分野しかお金が支出できないという事情があって、その分は支出していませんけれども、このサマースクールはもう少し広い分野として、波多野先生の量子センシングやら、あるいは量子通信やら、量子全体を含んだような分野のサマースクールの、ムーンショット目標6に関係する部分をサポート、割と強力にサポートさせていただいているという、そういうことで2022年から毎年やっています。50名ぐらい参加して、大学生、大学院生をメインにやっています。

これは、日本語で密なコミュニケーションをとるという意味で、日本語で日本人相手にや

っているんですけれども、海外からの申込みがあったりもします。

それで、若手のこの分野に参入、その基礎的なことをやるという意味では、大学の学部生、大学院生ぐらいが日本語でやるというのは非常にいいと思うんですけれども、一方、研究開発レベルを上げるって意味では、恐らくマスターの2年とかドクターの学生、あるいはポストクの若手研究者を中心に、国際的なスクーリングというか、そういうのをやる必要があるというふうに考えています。それはもちろん英語で、海外からの参加者も含めて、要するに、将来ライバルとなるかも分からないような人たち、既にライバルとなっているような人たちと議論を戦わせるような、そういうものを想定しています。

それで、その二つをやらなきゃいけないと考えていまして、今は日本語でやっている国内のやつが多いですけれども、後半5年には国際的なものもやらなきゃいけないなというふうに考えております。

○梶原委員 ありがとうございます。よろしく申し上げます。そういう意味で、人不足の日本において研究者を育てていただきたいと思います。ありがとうございました。

○北川PD スクーリング以外では、結構海外にドクターの学生を派遣するというのをやっています。割と欧州中心ですけれども、欧州と北米中心に、かなりの人数を派遣しております。

○笠井上席フェロー 梶原先生、大切なところ、ありがとうございました。

そのほか、先生方、御意見、御質問等ございますでしょうか。

では、もしなければ、川上審議官から、今までのお話をまとめていただいて、一言頂ければと思っております。

○川上審議官 委員の皆さん、どうもありがとうございました。

今日の議論の中で指摘があった、ターゲットの変更とポートフォリオの変更について、しっかり進めていただきたいと思います。

今、新しい量子技術の推進方策を作っており、その頭出しは、「エコシステムを構築」するということです。その大きな柱としては、民間投資を呼び込むことと、それを実現するためのユースケースの開発、今日のプレゼンの中ではアプリケーションになると思いますが、焦点に当たっています。ポートフォリオの変更の中では、このようなことをしっかり強調して組み直していただけたらいいのではないかと思います。これが1点目。

それから2点目は、今日、委員の先生方からの御質問の中に多くあった、人材育成を含め

たE L S Iの推進、国際展開、経済安全保障という視点、この辺りの一層の推進をお願いしたいと思っております。

私からは以上でございます。

○笠井上席フェロー 北川先生、どうもありがとうございました。

J S Tさん、ありがとうございました。

○北川PD 不手際で、お時間を取らしてしまいまして、申し訳ありませんでした。

○笠井上席フェロー いや、お疲れさまでございました。

次が、本日ようやく最後の議題となります。目標10のプログラムの進捗状況について、J S Tから御説明を頂きます。配分時間は、報告10分、質疑20分となります。

J S Tさん、それでは、御説明のほど、よろしく願いいたします。

○中島部長（J S T） よろしく願いします。

目標10につきましては、昨年10月の第14回戦略推進会議で、3名のプロジェクトマネジャーが採択されたことを御報告し、今後のプログラムの進め方について御助言いただきました。その後、プログラムディレクターとプロジェクトマネジャーの間での作り込みの作業を経て、12月から研究活動を開始いたしました。

本日は、これら前回戦略推進会議後の進捗及び今後の進め方について、プログラムディレクターの吉田先生から御報告していただきます。

それでは、吉田先生、よろしく願いいたします。

○吉田PD プログラムディレクターの吉田です。本日、お時間を頂きましてありがとうございます。MS10の進捗について報告をさせていただきます。

MS10は、ここにイラストを掲示しておりますけれども、フュージョンエネルギーがいろいろな形でいろいろな空間において活用され、人類の積極的な活動を支える技術として社会実装された2050年の未来像を想定し、そこからバックキャストして、今突破すべき技術チャレンジを見定め、ブレークスルーとなるイノベーションを目指すということで取り組んでいるところであります。

この2050年未来像からのバックキャストという点が、後で述べますように、いわゆる核融合研究の主路線、取り分け2030年代発電実証という議論が今行われていますけれども、それらとの関係の上で重要なポイントであります。

核融合技術の特徴は、一言で言いますと、重厚長大ということでもあります。そのために、

ベースロード電源の開発を目指す主路線の研究は選択と集中をせざるを得ず、一本道となってボトルネックで停滞が起こります。国際的に進めているITERが、今正にそれを体現しているところでもあります。

こうした研究の縮退を避けるために、課題設定の自由度を高めることで、今までにない挑戦で破壊的イノベーションを狙うというのがMS10の役割であります。こうしたMS10の目的をプロジェクトを提案される方に理解してもらうために、こうした三つのレイヤー、レイヤー1、レイヤー2、レイヤー3という形で整理して、しっかりしたアウトカムを得るまでのシナリオの明確化を提案に求めているところでもあります。

この図では、縦軸にいろいろな応用というイメージを仮の例で示しておりますけれども、後でもう少し論理的に、それを主路線との関係という形で整理して、今回スタートした三つのプロジェクトの役割を説明いたします。

今、2030年代での発電実証ということが世界中で話題となり、日本もそれを目指すために、日本型原型炉、JA-DEMOの計画見直しが進められています。こういう動きと2050年未来像を掲げたMS10との関係、MS10は何を成すべきなのかということの説明いたします。

2030年代で発電実証という目標が掲げられますと、そこからのバックキャストで今何をすべきかということを考えることになります。具体的に作業を積み上げていくと、例えば超伝導材の調達には一刻も早く走らなくてはならないという具合で、工程は極めてタイトになります。ベンチャーと違って、国のプロジェクトで行う場合は失敗は許されませんので、今から何ができるのかという話になってプランが萎縮してしまう。つまり、コンサバティブな設計を選択せざるを得なくなるという問題があります。

発電実証は、社会実装への端緒、初戦に相当する一つのマイルストーンであって、これに成功したからといって最終的な勝利にはなりません。むしろ注意すべきは、作戦が稚拙で戦況を傾けないかということになります。端的に言えば、10年ないし15年後において、我が国が開発しようとしているJA-DEMOが、国際的競争力のない、時代遅れのものにならないということが問題になるわけです。

ここで難しいのは、フュージョンシステムは重厚長大で、設計から製作、運転までのプロセスが非常に長いという慣性が大きい要素が多数あるということです。

そうした中で、2050年の多様な社会実装からバックキャストしたMS10の課題設定

は自由度が高く、挑戦的なイノベーションを狙っています。そこで生まれる破壊的イノベーションがパラダイム転換を起こすならば、それをどのように主路線に取り込めるのか、これが重要なポイントになります。

このために、世界の原型炉あるいは発電実証計画と我々のムーンショット研究開発の関係を明らかにして、社会実装に向けた連携の可能性を探るとともに、イノベーションを狙うべき課題とそのタイムラインといった、イノベーション戦略の中核的なインテリジェンスをMS10が担うべく、メタ研究を実施しています。この図は、その分析の一端であります。

核融合研究の最大の特徴は、繰り返しになりますが、重厚長大ということでもあります。物量の大きさ、システムの複雑さ、それから要素間の連関が非常に強いということ。言わば、非線形性と高次元性のために予測が難しいということでもあります。

黎明期には様々な試作機でトライ・アンド・エラーを行いましたけれども、ゴールに近づくにつれて実験装置・試作機が巨大化し、研究のサイクルが桁違いに長期化して、過度に選択と集中をせざるを得なくなってくるということが大きな課題です。

そうした中、クリティカルな課題は、いかに最適解を探しながら研究開発のスピードを上げるかということでもあります。そのために、これら三つのプロジェクトが重要な貢献をいたします。

まず、第1の星プロジェクトであります。これは、デジタル・AI技術によって極めて高次元のモデル空間の中でトライ・アンド・エラーを可能にし、最適解を生み出す技術を獲得するということを目指すものです。そのために、世界一の大きさと多様性を持つデータ空間の構築を目指す。ここでは、DFFT、データ・フリー・フロー・ウィズ・トラスト、そういったふうな技術を導入して、これを目指しているというところでもあります。

2番目の奥野プロジェクト、これはビーム技術を核融合分野で展開するというもので、フュージョンシステムのアキレス腱というものが、高負荷に耐える長寿命かつ低放射化の材料開発であるわけですが、その性能試験は真の社会実装の必須の条件であります。材料の寿命試験という時間を要する試験を桁違いに加速できるような、現在まで進められているIFMIF計画というものがありますけれども、その10倍の中性子フラックスを持つ加速器を開発し、ゲームチェンジャーを狙うというものであります。

3番目の木須プロジェクトは高温超伝導技術のプロジェクトでありますけれども、磁場閉

じ込め核融合装置のボトルネックは強磁場の超伝導マグネットシステムであって、例えば、JA-DEMOで2030年代の発電実証を狙おうとするならば、今から線材の調達を始めないといけないとされるほど律速条件となる技術要素であります。これに関して、高品質な量産技術を獲得するということが、試験装置開発の段階から勝ち筋となる重要な技術であります。

この図では、こうした開発加速の技術がどのようなアウトカムをもたらすのかということ、主路線との関係を四つの縦軸で表し、縦展開のための具体的な研究開発の項目を示しているものであります。ここにありますように、主路線からの距離感として、主路線以外のシステムを使う、それから、発電以外の核融合エネルギーの利用、さらには、他の革新技術への波及という形で、アウトカムを整理しているところであります。

以上のような観点を押さえつつ、プログラムを推進してまいります。プログラムディレクターとして、特にフュージョンエネルギー分野の学際化を進め、技術の一般化という観点から広い分野と連携することで新しい血を入れる。そうした中で、挑戦的な研究に取り組める人材を育成していく。そういったこれまでにない発想と方法で破壊的イノベーションに挑戦しています。

同時に、多岐にわたっている要素技術の産業ネットワーク、サプライチェーンを構築し、社会実装に向けた基盤強化に努めていきます。このために、広い分野に呼びかけたワークショップや交流会を実施しております。

また、本年スタートした3プロジェクトに加えて、更に縦展開を意識したプロジェクトの追加公募を行います。ムーンショットの特徴として、PMは、社会実装まで貫通するシナリオと、それを実現するためのイノベーションをパッケージで提案することが求められます。重厚長大のフュージョンシステムについて、これを短期間で構想し、提案することは容易ではありません。そのために、いわゆる補助線を入れて公募を行いたいと考えています。

具体的に申しますと、参考資料に示しましたように、キーワードを整理し、公募に先立って意見交換会・交流会を実施して、まず、どのようなハードルの克服が新しい道を開くのかを議論し、実装に向けた技術の統合ということのイメージを新しい挑戦者たちと共有することです。

それから、いわゆるマイルストーン型の提案を公募し、比較的短期間の目標設定をした調

整を幅広く採択し、達成度によって選択と集中を進めながらプログラムを実施していると、そういうふうな形の、言わば一点突破・全面展開型の戦略を取ることです。

さらに、共同利用機関や国研が有する研究施設の利用をアドバイスして、挑戦者がプロを、プロがサポートする形でマイルストーン達成の可能性を高めると、こういった工夫を行っていく計画であります。

今申しましたことをまとめると、このようになります。この図は馬場戦略官が描かれたものです。いろいろな斬新なルートを切り開くべく、そのよりどころとなるベースキャンプの設営計画をマイルストーンとして明確にし、そこへの挑戦を核融合研やQSTなどの最新設備を持つプロ集団が言わばシェルパのようにサポートすると、そういうふうなイメージを描いているところであります。

内閣府で国家戦略をまとめて、原型炉開発、それからイノベーション基盤の整備、スタートアップを含めた産業界の巻き込み、それに加えてムーンショット10といった総合的な取組が進められている中で、我々ムーンショット10は破壊的イノベーションを狙うという役割を担っておりますので、その責任を十分果たすと同時に、他の事業との連携をしっかりと取り取るよう、俯瞰的かつ果敢にプログラムを実施していく所存であります。

以上です。

○中島部長（JST） 吉田先生、ありがとうございました。

目標10からは以上です。

○笠井上席フェロー どうもありがとうございました。

では、ただいまの御説明につきまして、議員の先生方から御意見を頂ければ幸いです。

須藤先生、お願いいたします。

○須藤委員 ありがとうございました。

確認なんですけれども、主路線の加速、それから主路線以外の加速というところまではよく分かるんですけれども、今回の特色として、発電以外にも応用するとか、他の革新技術へ波及効果があるんじゃないかというようなことを入れているんですけれども、これは、もしかしたら少し長期的にやるテーマとしては、右の二つやめて、やっぱりエネルギーのところだけに集中すべきじゃないかというような考え方もあると思うんですけれども、これはあえて右の二つも入れて、他分野・他領域までイノベーションを拡大していこうとい

う路線で進めるのでしょうか。

○吉田PD それはいろいろな議論があろうかと思います。

発電以外の多様な応用としては、例えば中性子源があります。中性子を用いて医療用のアイソトープを作るとか、こういったフュージョンエネルギーの応用というものを幅広く考えることで、一つの効果として、比較的早い時期での社会実装を狙うことができるということがあります。フュージョンのエネルギープラントを造るということになると、様々な技術を統合する必要があり、具体的な形で社会の利用に供するというのにどうしても時間が掛かります。しかしながら、例えば、奥野プロジェクトの加速器技術の場合ですと、中心的な目的は強力な中性子源を開発して材料試験システムを作ること、材料試験が行われていないものはフュージョン発電プラントとして社会実装できませんので、これは必須の技術になるわけですが、その手前に、この同じ技術の医療応用ということも考えることができる、こういう多方面に展開する戦略です。

例えば宇宙開発に擬えて言うと、いきなり火星に基地を造るという前に、まず地球を回るとか月に行くとか、それぞれの効用を産みながら、徐々に延ばしていくというイメージで進めようというわけです。フュージョンエネルギーの場合にも、核融合のいろいろな技術が、実はエネルギープラントが実現される前に様々な形で役に立てることができると思います。そういう進め方によって、一つには産業界、それから他分野の研究者を巻き込んでいく、そういう戦略のために、こういう多様な応用を考えるという形を取っているということがあります。

○須藤委員 趣旨は本当によく分かります。正にそのとおりだと思いますけれども、一方で、米国とか欧州の動きを見ていると、結構いろんなタイプのフュージョンエネルギーというのは進んでいますよね、今。それと競争しながら進めていくには、むしろある程度特化しないと海外に後れを取るんじゃないかなというような気も一方ですけれども、その辺は大丈夫なのでしょうか。

○吉田PD 今、いろいろな議論が核融合の世界で巻き起こっている中で、鍵を握っている技術は何だろうかということの研究すること、すなわちメタ研究が、このムーンショットのイノベーション戦略として重要だと考えています。世界中でスタートアップがいろいろな提案をしていますが、まだ越えないといけないハードルが多々あります。この点は専門家がしっかり明らかにしていく必要があって、それはムーンショットにおいてもE L S Iの

関係、アウトリーチ活動で重要だと思っている事項の一つでもあります。

例えば木須プロジェクトの狙いは、超伝導コイルの技術で勝ち筋を得ようとするものです。いろいろなスタートアップが高温超伝導線材でマグネットを作るといっていますが、それは何キロメートルにもわたる高温超伝導線材を巻いてみて、試験して性能が出るということが必要です。何キロメートルもある線材の中に1か所でも劣化している部分があると性能が出ないわけです。そういう極めて高品質の、しかも量産できるシステムを作り上げることができないと、そういう計画は全く絵に描いた餅になってしまいます。こういう現実が、今、核融合についていろいろ流布されている言説の他方に実はあります。

ムーンショットは、そののところをしっかりと別決して、技術的な課題を明確にする中で研究開発を行い、こういう鍵を握る技術でイノベーションを起こすことが、まさに最終的な勝ち筋をつかむ重要なポイントだと考えております。

○須藤委員 分かりました。

○笠井上席フェロー 須藤先生、ありがとうございました。

そのほか、先生方、御意見等ございましたら、頂ければ幸甚でございます。

梶原先生、お願いいたします。

○梶原委員 ありがとうございました。

これ、フュージョンで1年間経っているわけですね。

○吉田PD はい。

○梶原委員 そういう意味で言うと、1年間の成果は、今日説明していただいた中で、全体の構成が定まったところでしょうか。この1年間での成果のポイントがちょっと分からなかったのと、同じように追加公募をするということで、具体的に研究が動き出すのが恐らく年内になっているので、そこまで研究の作り込みをするということでしょうか。そういう意味で言うと、この1年のある意味課題ですとか、今後に向けて何かあれば、そんな視点でお話しいただけることは可能でしょうか。

○吉田PD ありがとうございます。2023年12月に目標が設定され、PM採択が2024年10月、研究開始は2024年12月です。

核融合の分野の重厚長大さの中で、時計の進み方が大変速いという感覚はあるわけですが、この1年間の重要な前進は、ここに整理しましたような形で課題設定を明確にしたことです。これら3プロジェクトは、横型と呼んでいる基盤技術を開発するものでありま

す。それぞれのコアになる部分については既にスタートしている部分もありますけれども、これらの基盤技術から縦展開させていく、つまりムーンショットの最も重要なポイントである具体的な社会実装につなげる具体的なストーリー、シナリオを持つために、この縦軸と横軸の交点のところをしっかりしたP Iを置いていくというところに、十分時間を掛けながら、設計しているところでもあります。その辺りの戦略が明確になったところで、縦展開を行う計画です。

具体的には、例えば星プロジェクトであれば、このプラットフォームに要求される技術要素として、どのようなA I技術とデータサイエンス技術を構築していくかの戦略として、S I Pで開発された新しい技術をここに融合させて、D F F Tの実現というテーマを組み込んでいくというところに、前哨戦でありますけれども、力を入れているところでもあります。

それぞれのプロジェクトでは非常に多くのワークショップを開いておりまして、そのワークショップには多くの産業界の方々に参加していただいています。ムーンショットの研究開発を進めていく中で、走っている間から社会実装していく、産業界とのつながりを作っていくという形で進めています。今までフュージョン技術というと、何が課題か分からない、巨大な技術で取りつく島がないような雰囲気だったと思いますが、多くの種類の産業界の方々がこういったワークショップに積極的に参加していただいているということで、社会実装に向けた枝葉を伸ばすということも進みながら、スタートしたというふうに認識しております。

○梶原委員 どうもありがとうございます。

○笠井上席フェロー ありがとうございます。

雰囲気の醸成をしていただいているということで理解いたしました。

そのほか、先生方、御質問等ございましたら。

では、本日は、長時間の間、貴重な御意見、御議論を頂き、どうもありがとうございました。

進行を事務局にお返しいたします。

○熊田参事官 吉田先生、ありがとうございました。

○吉田PD ありがとうございます。

○熊田参事官 笠井上席フェロー、進行ありがとうございました。

昨日も申しましたけれども、このムーンショット型研究開発制度は、我が国初の破壊的なイノベーションを目指し、大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発を推進するプログラムとして銘打っておりますので、国民の皆様の理解を得ることが何よりも重要であると認識しております。国民の皆様に制度を知っていただくために、来月開幕する大阪・関西万博に各研究推進法人と内閣府で参加します。チラシも作っております。全てとは言いませんけれども、各目標のこれまでの成果ですとか、各目標が目指す未来社会像を体験・体感することができる展示となっておりますので、是非、皆様、会場まで足を運んでいただければと思います。また、周りの皆様にも御周知いただければと思います。

それでは、本日の議事は以上となります。

有識者の皆様、御出席いただいた皆様、2日間にわたり活発な御議論いただきまして、本当にありがとうございました。

○中島部長（JST） 熊田参事官、JSTです。すみません、追加情報を提供してよろしいでしょうか。

○熊田参事官 どうぞ。

○中島部長（JST） すみません、梶原先生から御質問がありました目標9の参加者なんですけれども、プロジェクトマネジャー14名で、課題推進者PIが67名で、参加者、学生まで含めると、おおよそ700名参加しております。

あと、もう一つですが、目標10でございますが、先ほど、これも梶原先生からの御質問にありましたけれども、1年間の成果ということで御議論されましたが、目標決定が一昨年度の12月26で、プロジェクトの採択は昨年10月、研究開発が12月なので、実質、研究活動が始まったのは12月、年明けぐらいからだという状況でございます。

以上です。

○熊田参事官 ありがとうございました。

今後、有識者の皆様から頂きました御助言等を踏まえ、目標達成に向け、関係者一同、検討を進めてまいります。

以上をもちまして、第16回ムーンショット型研究開発制度に係る戦略推進会議を終了いたします。

午後 3時30分 閉会