

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 令和元年10月24日(木) 9:30~10:37
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、橋本議員、篠原議員、山極議員
(学識経験者)
福田名城大学教授、山地RITE副理事長、中谷NARO副理事長、
門脇NARO理事
(文部科学省)
渡邊課長
(経済産業省)
遠山課長
(農林水産省)
山田課長
(NEDO)
山田室長
(JST)
古賀部長
(事務局)
須藤プログラム統括、赤石イノベーション総括官、別府審議官、松尾統括官、
佐藤審議官、十時審議官、柿田審議官、高原審議官、坂本参事官、
河合参事官、大塚政策企画調査官

議題 ムーンショット国際シンポジウムに関する有識者プレゼンテーション

議事概要

午前9時30分 開会

上山議員 皆様、おはようございます。

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、小林議員と松尾議員が御欠席でございます。橋本議員と篠原議員は少し遅れて来ら

れます。

本日の議題は1つで、公開で行います。「ムーンショット国際シンポジウムに関する有識者プレゼンテーション」について意見交換をさせていただければと思います。

本日は、国際シンポジウムの分科会のチェアを予定されている名城大学の福田先生、地球環境産業技術研究機構の山地副理事長、農研機構の門脇理事にお越しいただいております。まず、各先生方より御説明を頂いた後、質疑を含めて20分ほど意見交換をさせていただきます。

分科会3、「AIとロボットの共進化によるフロンティアの開拓」のチェアである福田先生からまずはお話を頂きたいと思います。

福田先生、早速よろしくお願ひいたします。

福田教授（名城大学） おはようございます。早速発表させていただきます。

名城大学の福田であります。

早速ですけれども、まず1ページをめくっていただきまして、Society 5.0と書いてありますが、左側の基盤技術ということで、AI技術、それから実空間に係る基盤技術ということでロボット技術、センサー技術、アクチュエータ技術、ヒューマンインターフェース技術、それに向けてここで超スマート社会におけるサービスプラットフォーム、それに向けて邁進しようということでもあります。

よろしくお願ひいたします。

そのポジションでありまして、AIとロボットの共進化による自ら学習・行動するロボットの実現ということでもありますけれども、AIとロボット、皆さん御存じのように、ロボット技術、それからAIというものがあります。それがこれからは自ら学習・行動するロボット、私はエボリューションAIと呼んでいますが、そのエボリューションAIというところに行きたいと思っています。

AIでは、これだけだとごく普通の絵のように見えますが、そのAIの左側に脳とAIのクロス/トランスレーショナルラーニングということを書いております。これがキーワードであります。ロボットでは、ハードウェアは立派なものをつくらないと、知能と利用法が共進化しないということでもあります。

次の4ページに行きます。先ほど述べました脳とAIのシンメトリック・クロスラーニングということでもあります。現在、私たちの世界では、研究では脳のブレインサイエンスとAIというものがそれぞれ研究されておりますけれども、脳、AIのトランスレーションは研究開発をよくやられております。ところが、AIから脳、これはなかなかまだ難しく、全くほとん

ど手つかずということでありませす。非対称なこれをもっとしかり日本では研究した方がいいのではないかと考えております。脳活動を中心とした生体情報に基づく、人工知能の開発。それから、人工知能から人間の頭脳に学習を促す理論・手法の開発ということでありませす。これらの対称性を持たせようということでありませす。

AIとロボットの導入想定事例では、それは世の中にたくさんありませして、環境、それからプラントのメンテナンス、コミュニケーション、交通、ヘルス、衣食住とか、そういうところでいろいろたくさんロボットの活躍の機会がたくさんありませす。それを単なる遠隔操作ではなくて、AIを用いて自律的に行動できるようなものはまだできておりませせんが、それをしかりやろうということでありませす。

次の6ページを見ていただきますと、これは快適空間をつくるためにはどうということかということで、病院や、寝ているとき、それから左側の街に、ユビキタスインホメーション、オフィスセキュリティ、ホームセキュリティ、家でリラックスするときのインテリジェントホーム、あるいはITSというものを含めて、これら全て快適な空間をつくるために、AIとロボティクスが必要ということでありませす。

皆さん、この図の中で、ブルーのものがありませすが、ブルーのものがそれぞれ後ろにありませすが、これが実はロボット、アバターでありませす。ハードウェアである場合もあるし、サポートするバーチャルなものでもありませすけれども、アバターで、これが後ろにいまして、これが必要とするときにポップアップする、フェイドアウトするというものでありませす。

これはいろいろなところにありませして、実は隠れているわけで、必要とするときに出てくるということでありませす。これらがクラウドコンピューティング、サイバーフィジカルなスペースの中で動いているという形になります。

次の7ページ目を見ていただくと、AIとロボティクスの導入想定事例と書いてありませすが、最近のドローンも含めたりモートセンシング、センサー、いろいろ用いてこういうふうな消火活動、社会に入っていくという導入の例でありませす。

8ページに行きませすが、ムーンショットプログラムとして戦略的に取り組む必要性ということで、これはロボットは皆さんがよく言われていることでありませすが、単なる作業ロボットからもう少し複雑なこと、タスクができること、さらにもう一つ、AIが自ら学習し、行動する、予測しながらもちゃんと自律で動いていく、自律に向かって進化するということが重要でありませす。

日本では、ロボット技術、特にファクトリーオートメーション等の工学アプローチについて

よく研究されていまして、我が国が世界的な競争力を有しているところであります。

一方、AI研究の周辺技術も米国、中国は非常に積極的に投資して、我が国は非常にピハインドなポジションにあります。特に、米国においては、サイバーフィジカルシステム、これはNSFが十数年前に言われたことですが、これが新たなセクターを生むということでやっております。

自律化の実装というのは、今、何が一番研究されているかと言うと、説明可能な、何でこれがそうなのか。最後、ぼっと出されて、これはネコですと言われても非常に困るわけで、なぜかという説明が必要です。それから、自律的にエボリューションなAIというのが次世代のAIの研究開発のもので、今現在、いろいろなところで研究が進んでおります。正に、今、少しずつ進んでいるところであります。

我が国が従来から強みとしているものづくりも含めまして、リアルの世界とバーチャルな世界を結合したSociety 5.0のためには、次世代のAI、ロボティクスの高度な、フュージョンする研究の取組が非常に必要であると思っております。

各国はどうかをやっているか。AI、ロボティクスの分野で見ますと、2020年を境に、左の方を見ていただきますと、US、それからEU、それからCNはチャイナです。

USの方は、DARPA、Lifelong Learning Machinesとか、BRAIN initiative、それからQEOプログラムとか、AI絡みのものがたくさんあります。

もう一つ、黄色の方はロボットの方で、Ubiquitous Collaborative Robotsということで進んでおります。

EUの方は、皆さん御存じのようにHorizon 2020が進んでいまして、今はそのうちの2つ採用されている一つは、HBP、Human Brain Project、それはロボットで、ミュンヘン工科大学で研究をやっております。これは1,200億円のプロジェクトでやっております。

Horizon Europeが次に出てくるといことでいろいろ計画されております。

中国の方は、Brain Scienceということでいろいろ進んでおりまして、2030に向けてすさまじい勢いで研究をやっております。中国製造2025年があちらの標語になっているのは、皆さん御存じのとおりです。

次の10ページに移りますと、NSFはCyber-Physical System、CPSということをやっているとずっと言っていて、赤で書いてありますが、Integrative

Strategies for Understanding Neural and Cognitive Systems、NCSをいろいろエンハンスしております。

それから、Smart and Connected CommunitiesとかScalable Nanomanufacturingとかいろいろ提案してNSFがやっております。

NRI、National Robotics Initiativeは、Intelligent Co-Robotの下で、人間とロボットがどのように協働するかということを含めて、物理的、機械的なこと、Soft Structuresということも含めて、ハード、ソフトウェアのアーキテクチャをいろいろ研究しています。予算規模はそこに書いてあるとおり、NSF、DODがいろいろやっています。

次の12ページに行きますと、これはヨーロッパの方であります、Horizon Europe、これは次の2020年からの新しいもので、2027年に向けて、Pillar 1、Pillar 2、Pillar 3でやっています。Pillar 2のところに、ミッション志向型研究ということでいろいろ書いてあります。トータルで大体11兆円のものやろうということで、ロボット絡みはそういうところにあります。

次の13ページに行きますと、Horizonのクラスターの検討領域は保健から文化、社会、デジタル、気候、食糧ということで、いろいろここに書いてあるとおりであります。

14ページに行きますと、ロボティクス分野に日本の競争力、これは非常に日本がじり貧の状態になっているということでありまして、昔、中国が全然見えなかったのが、だんだん広がってきています。

15ページを見てもみますと、恐ろしいことに、左のところに日本の論文、ロボット知能化関係がどんどん落ちて総体的に落ちてきている。特に、アメリカや中国に抜かされて、若手がなかなか研究、論文を書かない、そういうことで非常に私たちも困っております。

16ページに行きますが、認知発達ロボティクス、これはエボリューションナルロボティクスなんです、ここは日本が強いところでありまして、昔からの産業ロボットだけではなくて、こういう新しい分野がエボリューションナルロボティクスということで出ております。

想定される研究課題としましては、富士山の形を書きましたが、頂上には、Embodiment、ロボットと人間のPhysical Interaction、Information含めたEmbodiment、身体性が重要であるということです。いかにもそれが私の体の一部であると感じるものです。

いろいろ書いておりますが、左の方がAI、右の黄色いのがロボット絡みで、下のハイブリッド・システムからずっと……。重要なのは一番下のEthical、Legal、Social Issuesが重要でして、私はIEEE、アイ・トリプル・イーのプレジデントに来年なりますが、そこではEthicalデザイン1、Ethicalデザイン2という指針を既に書いて出しております。

次の18ページ、Hybrid、AIとBI、AIはArtificial Intelligence、BIはBiological Intelligence、今のAIというのはBiological Intelligenceの下に動いておりまして、Rがロボットで、HがHuman、これが絡み合って、Hybrid Computational Intelligenceというものがこれから必要になるであろうと、そういうふうに思っております。

そこで、19ページでは、今後の研究課題はムーンショットプログラムとしては、どのような目標が考えられるかと言いますと、目標達成時に得られる社会像は何か。これからいろいろ検討していくことになっておりますが、目標達成に向けて取り組むべき社会的課題及び技術的課題の抽出。具体的に考えるイメージ。それから、アメリカ、ヨーロッパを初めとする諸外国の類似研究プログラムと国際連携ということが重要であります。日本の特徴とするAIエボリューションナルロボティクスということが必要です。

以上、私から発表させていただきました。よろしく申し上げます。

上山議員 今の御発表に関して、討議を始めたいと思います。

皆さんから御質問やコメントを頂ければと思います。いかがでしょうか。

山極議員 AIと脳の交流というか連結というか、そこに将来の大きな課題があると思いますが、AIは全てのAIを連結して統合することができますよね。ただし、脳はできないです。これは個人の中に埋まっていますから、将来的には統合されたAIが個人、個人にいろいろな指令を出すということになって、人間はAIに依存していくと思うんですけども、そのときにやっぱり脳は連結しないということが、実は倫理の問題だということの歯止めになっているわけです。AIをどんどん統合し、いろいろな指令を出していくときに、連結してしまっ、統合的な、つまり巨大な人工的な脳ができるということの中に大きな危険もはらんでいると思うんです。特に倫理的な問題です。どこに歯止めをかけるか、そういったことについてどう考えていらっしゃるかちょっとお聞きしたいです。

福田教授（名城大学） それは、先ほど述べたIEEE（アイ・トリプル・イー）でやって

いるEthicalデザインであります。Ethicalデザインでは先生のおっしゃられたようなAIベースのオートノマスシステムとインテリジェンスがどうあるべきかということとずっと検討し、それでEthicalデザイン1、Ethicalデザイン2という本にまとめ既に出版しております。そこで先生がおっしゃられたように、人間は非対称であるということが歯止めにもなっています。この歯止めにもなっているところを、そこをどこまでやるか、これは正に社会の合意といろいろ言われております。現実的には先生おっしゃられたように、グーグル社のようにたくさん合わせていけば、AI絡みのリンクさせる活動が可能ですが、ブレインの方は個人的なものですから。

ただ、意見の合意を持つとか、いろいろな、どのレベルで持つか、ハイレベルで持つのか、中レベルか、ローレベルで持つか、ローレベルでは無理でしょうけれども、上か中でどこか持つことが可能でありますけれども、その辺りはどこで持つかというのは皆さんの社会合意のものと話だと思えます。

小谷議員 2つお聞きしたいです。1つ目は、9ページ目の青いのがアバターだとおっしゃられたのですが、先生のおっしゃるアバターの定義を教えてくださいたいです。というのは私のイメージではロボットは自律的に動くもの、アバターはリモートで自分の個性を投影して動くように思っていたので、先生のおっしゃる自律的ロボットとしてのアバターとはどのようなものを考えていますか。

福田教授（名城大学） これは小谷先生のおっしゃるとおりで、デジタルツインです。アバターというのは私の定義ではデジタルツインになっています。

小谷議員 自律的なものを目指されているのか、それともリモート制御のものも取り入れるのかいかがでしょう。。

福田教授（名城大学） これはもうリモートもオッケーです。デジタルツインですから、どこにあってもいいんです。

小谷議員 2つ目は、人間の活動を支援するようなロボットのことを想定されているようですが、先生のスコープの中にはクリエイティビティとか人間の発想を超えるような人工知能の開発もあるのか、それとも人間の活動を支援することに限定するのかどちらでしょうか。

福田教授（名城大学） 人間を支援して、サポータティブ、ヒューマンアシスタティブ、ヒューマンサポータティブな研究は面白いと、いろいろと、私の考えでは、2050年を目指せば、もっともAIが、2045年にシンギュラリティと言われておりますけれども、それを凌駕するような、AIがある意味で一つの問題解決をしてくれると思います。

例えば、これはすぐには不可能だと思いますけれども、定理の証明みたいなものが、多分AIでやると簡単なものから出来てくるだろうと思います。ただ、こういうロボットというのは、社会にアクセプトされることが重要でして、研究的にはそこに行っても、社会実装される時はまた違うものだと思います。

小谷議員 問題を自分で設定するのか、それとも与えられた問題を解くのかはレベルが違います。解くのは支援ですけれども、問題や価値観を設定することもロボットが自律的にやるようなことも考えているということですか。

福田教授（名城大学） そういうことだと世界ナンバー1になります。私たちは、研究のためには、そういうところまで目指して、いろいろ新しいこと、クリエイティブな、次の課題をやるためには、自分の限られたところでなくて、次のことを見出すことが必要で、例えば災害ロボットにいったって、その環境をリファインする能力が必要です。リファインされたら、そこで何をすべきかということをしてそこで考える必要があります。それが前以て考えた環境枠内だけですと、これは従来のオールドAIになってしまいます。ここで考えているのは、そこをエクスペロレーションするようなAIです。

議員 今のお話を伺ってしまして、例えば5ページのところに、導入想定事例がいろいろありますけれども、私は、人間ができないことをするロボット、例えば災害時のロボットなどが自律的に動くことには、非常に大きな期待があると思っています。

一方、アバターのようなものが自律的になっていくと、先ほどの倫理の問題が大きくなってしまふと思われるので、両方ともが同じように自律化していくというのは少し気になるところです。

なお、別の分科会でもアバターの議論があったと思いますので、その辺りの整理は事務局の方で調整が必要だと思いました。

福田教授（名城大学） もちろんそういうことだと思いますけれども、ロボットをつくる時にはシミュレーションするということは、実はデジタルツインをつくっているんですね。それでサイバーフィジカルのスペースとか、エッジコンピューティングをやっているわけで、正に先生おっしゃるように、アバターは先ほどの答えのように、ロボットにとってはデジタルツインなんです。

上山議員 ありがとうございます。

では、次のトピックにまいりたいと思います。分科会4の「完全資源・物質循環による地球環境再生計画」のチェアである山地副理事長からよろしくお願いします。

山地副理事長（ R I T E ） 資料3で説明させていただきます。

地球環境産業技術研究機構、 R I T E の山地でございます。「完全資源・物質循環による地球環境再生計画」の座長を務める予定になっておりますので、内容を説明させていただきます。

1枚めくっていただきまして、2ページ目、分科会名と概要でございます。

分科会名は、完全資源・物質循環による地球環境再生計画といたしました。完全資源・物質循環というのはビジョナリー会議の取りまとめの表現を借用したものであります。私個人的には、この「完全」というのは少し言い過ぎかなと思って、目的に合わせた地球環境の再生ということに合わせた循環ということだと思えます。

それを説明するために、資料3の一番最後、17枚目のスライドを御覧いただければと思います。これは炭素循環というもののポンチ絵でございます。

従来、循環リサイクル、リユースというのはこの黄色で書かれた線で、環境に出る前にリサイクルしたりリユースしたりする、あるいは C C S の場合は地中貯留もあるわけですが、今回考えているのは、一旦環境に出たものも回収・利用していく、 D A C、ダイレクトエアキャプチャーのことで、大気中の C O₂ をとって利用ないしはストレージをする。あるいは海の部分は、海に流れ出ていっても分解して無害化する。無害化で出た C O₂ も使えるものは使っていく。そういう拡大した循環を考えているということでございます。

また、2枚目に戻っていただきますと、概要に書いてありますとおり、これは今度のシンポジウムで詰めていきたいと思っておりますけれども、エネルギーと物質フロー、全体を統合して分析して技術開発を進めていくということを考えております。

次の3枚目のスライドでございます。これはビジョナリー会議、25の目標例との関連です。地球環境を回復させながら、都市文明を発展させるというところで、 から の中の、2050年までに完全資源・物質循環の達成を中心にして、赤い点々の、 、それぞれ S D G s のゴールのどれに関連するか記載がありますが、私の考えでは、この部分というのは総体としていずれも間接的ではありますが、 S D G s で言うと13で気候変動に具体的な対策を、14で海の豊かさを守ることと関係していくというふうに理解しております。

次のスライド4でございます。それをイメージ図にしたものでございます。

産業革命以降、資源を採掘して製造して消費して廃棄という、一つの流れでオープンの中でやってきたわけですが、その結果、 C O₂ が大気にたまって温暖化を招いている。あるいは廃棄によって環境に負の影響を与えている。今までももちろん省資源、省エネ、リサイクルを促進してきましたが、それを完全という言い方でもう少しチャレンジしていく。つまり環

境に出たものもまた回収して使う、そういうことであります。

キャッチーな言葉ということで考えて、2050年頃には温暖化を克服して、クールアース社会を実現する。また、使用済みの製品や副生物の廃棄をなくして、クリーンアースを実現する。そのために使用済みの製品とか副生物を転換・再利用して資源・物質を循環させていく。

具体的には温暖化のクールアースの方は、温室効果ガスのCO₂、N₂Oも一部念頭にありますが、今、問題になっている海洋プラスチック問題、その循環に取り組むということで、下のマンガに、今までの一方向の流れを大きく、環境のところで出たものも再利用し、あるいは分解させる、無害化ということ考えた、クール&クリーンの実現を図るという、そういうビジョンでございます。

次の5枚目のスライドでございます。我が国、省資源・省エネということでは世界に先駆けて相当リードしたポジションにあると思います。この図の左側の方は、赤が実質GDPでございます。もちろん平成に入って以来、成長は鈍っておりますが上昇トレンドを持っているわけです。それに対してエネルギー効率、実質GDP1円、あるいは1ドル当たりのエネルギー消費量を見ると、このブルーのところの下がってきている。これも一時足踏みしましたが、また更に下げつつあります。

それから、右側の図ですと、エネルギー消費効率はやはり非常にトップレベルにあるということは確かであります。しかし、それでもまだやはり問題は発生し続けています。それに対して対応をとろうということでございます。

まず、6枚目のスライドでクールアースの方から説明いたします。

温室効果ガス、CO₂が日本で専ら言われておりますが、日本にとってみるとエネルギー起源のCO₂というのが温室効果ガスで最も大事なものですけれども、世界的に見ると、例えば森林破壊から出るCO₂もありますし、農業活動によるメタンやN₂O、それからフロン類があります。

排出量そのものがVで、億t/年で書いてあります。温室効果というものはCO₂を1として、グローバルウォーミングポテンシャルという温暖化計数がKで、それを掛けてやると、V×Kで温暖化影響が出てくる。グローバルにおいてもやはりCO₂が1番。メタン、N₂Oもありますが、日本にとってみるとやはりエネルギー起源のCO₂が最も重要な温室効果ガスということになります。

それで、現状これも皆さん御存じのことかと思えますけれども、7枚目のスライド、上側の図は温室効果ガスの排出量でございます。皆さん、新聞等ではネットゼロエミッションにする

など、いろいろ将来の目標が語られていますが、現実はどうかと言うと、実は京都議定書を経て、むしろ発展途上国の成長によって、温室効果ガスの排出量はまだ増えています。まずはピークを打って、マイナスに持っていかなければいけない。そういう危機感をもう少し持って、現実的な対応をしていこうという考えであります。

ここもオレンジのところはCO₂でもっと濃いオレンジのところはこれは森林からのCO₂。ブルーのところはメタンやN₂Oということでございます。

大気中の濃度も、0、500、1000年と飛ばして書いていますけれども、最近まで二酸化炭素は、産業革命時代に280ppmでずっと安定していたものが今は400ppmを超えています。

メタンとN₂Oに関しては、これはppbですけれども、上昇傾向が非常にあります。やはり温暖化は生じている。地球の全球平均気温が上がっているというのが7枚目のスライドの右側の図でございます。

それに対して8枚目のスライドは炭素循環、炭素の場合はメタンも一応炭素でありますけれども、これをCO₂の回収からCO₂を有効なものに転換して利用するところまで、これをCarbon Capture、Utilization and Storage、CCUSと言います。これもなかなか実はいろいろな難しさを抱えています。特に、CCUということに関しては、例えば建築材にするというものはあることはあるんですが、本格的な利用となると、水素もカーボンフリーでできた水素と組み合わせると、メタンやメタノールなどの燃料にする。あるいは化学品にする。そういういろいろなプロセス、技術革新の可能性がたくさんある。CO₂回収も現状行われておりますけれども、これも例えば大気からとるとなると、新しい技術革新が必要になる。そういう認識であります。

次に9枚目、クリーンアースという方でございます。

これは廃棄物、特にプラスチックを念頭に置いています。9枚目のスライドは我が国の、いわゆる一般廃棄物と言われるものです。赤が、いわゆるサーマルリサイクル。かなりの量を焼却させているわけですが、相変わらず直接資源化も含めると最終処分というのまだ残っている。これが年間まだ4,000万トンレベルあるわけです。

次の10枚目のスライドは廃プラスチックで、これも大体1,000万トンのレベルで出ており、最近少しは減っていますが、棒グラフの下から言うと、ブルーがマテリアルリサイクル、量は総体的に少ないですが、ピンク色がケミカルリサイクル、薄い緑色はサーマルリサイクル、その次の紫は単純燃料、埋立て、有効利用率とあるわけですが、それでもやはり出てい

くものはある。サーマルリサイクルに関してはCO₂が出ますので、それをどうするかという問題があります。

海洋プラスチックが、その次の11枚目のスライドでございます。

これはなかなか推定に幅があるので、ミニマムなケース、マックスのケースで480万トンから1,270万トンあって、我が国は国別で言うと30位で少ないですが、グローバルだと非常に問題でありまして、2、3万トンあるわけでございますから、その部分に対して、我が国の技術開発で世界展開ということで、どういうことを考えているかと言うと、次の12枚目のスライドです。

プラスチックももちろんリユースはするわけですが、汎用用途のものですと難分解性、従来のプラスチックは今説明したようにマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクル、あるいは埋立てということで、やっぱりどうしても環境流出分もある。

特に、最近では生分解性を中心に分解性のプラスチックがありますが、これも全部自己分解してくれるかという、しっかり機能させていかなければいけない。どこかでその機能をスイッチさせる技術というのはいり得るだろう。

そういう意味で、難分解性プラスチックというのは環境に流出させない施策・管理をしていくし、技術開発をしていく。分解性のプラスチックというのは、流失しても自己分解していくようなものを考えていこうというわけでございます。

13枚目、まとめでございます。

今まで申し上げたことですが、地球再生ということで、いわゆる物質・資源の循環を考えて、クールアースとクリーンアースを目指す。炭素資源、それから先ほどから炭素資源の話ばかりして恐縮ですが、窒素資源についても考えてみたい。クリーンアースの方は廃プラスチックの話をしてきたけれども、メタルもありますし、廃油とか汚泥もある、そういうものも議論のカバレッジに入れて取り組んでいこうと思っております。

14枚目、先ほどお示ししましたイラストのとおり、今度のシンポジウムで議論を進めたいと考えております。

私からは以上です。

上山議員 どうもありがとうございました。

それでは、分科会4に関しまして、コメントや質問をどうぞ。

山極議員 CO₂とプラスチックに焦点を絞ったというのは懸命なやり方だと思いますが、例えば、プラネタリー・バウンダリーの指標からすると、窒素、リンというのも大きな懸念材

料になっています。もう一つ、それに関連して、これは次の課題にも関係すると思いますけれども、人間の利用拡大ということ以外に、家畜の増加というのがあって、これに係る様々な資源が地球環境を相当傷めているというのがあります。特に、窒素、リンに関して何かお考えがあれば、窒素の話は考えるという話だったですけれども。

山地副理事長（RITE） 本日はCO₂と専ら廃プラスチックの話をしましたけれども、窒素に関しては、一部少し言及しましたように取り組んでいけるものならいきたいというふうに考えているところです。

リンはいろいろ議論して、技術的な面白い可能性が開けてくればリンに対しても対象としようと思っていますけれども、今はまずはカーボンでその次の窒素、その後にはほかのものも循環できればという考えです。

おっしゃるように、リンとか窒素というのは工業プロセスではなく農業系のプロセスから随分出ますので、そこは可能な範囲でカバレッジの中に入れていきたいと思っていますが、まだ具体的な技術が見えないというふうに今の段階では考えています。

橋本議員 今の質問とある意味逆なんですけれども、非常に大きいから、山地さんの話で特にまた大きくなっているし、全部重要なんですけど、実際にやるときにはどうするのかという問題があって、実際の技術開発何なりは普通各論になります。普通各論になったら、これらの問題は実はみんな課題があるからみんなやられているわけです。そういう状態の中で、ある限られた予算と期間の中で、どういうふうに進めていくのか。今の問題設定は素晴らしいと思います。今の最後のページでも全体を通してという話はよく分かるんですけれども、実際に進めていくときに、その中の幾つかの事例を挙げてやると、前の各論をやっているのを2つ、3つ組み合わせただに過ぎなくなるし、そうじゃなくて、こういうふうにお題目をかけてやるとなると、それなりの別の違ったコンセプトを持っていくことになるかなという気がします。

例えば、一つ、お話を伺って感じたことは、これは物質循環するということは、エネルギーインプットが絶対に必要なわけだから、そのエネルギーインプットのことをもう各論のときから考えるんだと、それは例えば一つのスタンスなんだと思います。そういうようなフィロソフィーと言いますか、その辺のことを明確に出さないといけないんじゃないかなと思うんですが、いかにお考えですか。

山地副理事長（RITE） おっしゃるとおりだと私は思っています、特にカーボンリサイクルは最近非常に言われているんですけれども、実際のプロセスを考えると、全体プロセスの中で、例えば水素の投入であるとか、エネルギー投入もあるわけです。したがって、システ

ム全体のライフサイクルでの評価で、それに伴う経済性とボリューム、温暖化影響に対する効果、いろいろなCCUがあるんですけど、その中でもボリュームゾーンはどこで、経済的競争力があるのはどこか。技術があるということは、今でも幾つか同定されていますが、その中で新しいもの、突破するものがあるか、やはりそういうものをムーンショットの中で考えていく。だから、今、言われていること以外にもブレークスルーができるようなものを見るとともに、今の中でライフサイクル、システム全体で考えると少し問題があるものは選択の中から外していく。そういうライフサイクル評価という観点で、特にこのカーボンリサイクルの場合には循環そのものに対して重要だと思います。おっしゃるように、自然に循環するわけではなくて、循環させるためのエネルギー投入が必要で、十分に視野に入れて対応していきたいと思っています。

橋本議員 具体的には、こういう中で、今言われたような視点から適当なものを幾つか選んで、それを統合的に進めていくというようなことを目指した議論になるのでしょうか。難しいのでしょうか。

山地副理事長（RITE） これからの話でございますので、是非そういう新しい温暖化対策の道というのを見つけてみたい。特に、今までダイレクトエアキャプチャーというのは言われてはいるけれど、具体的なチャレンジ、少なくとも国内では十分な規模では全く行われていないので、そこに一步踏み出したいというのが実はこの中にはあります。

上山議員 もしなければ、時間も迫っておりますので、一旦、閉じさせていただきます。

続きまして、分科会5の「食料供給量の拡大と地球環境保全を両立させる食料生産システムの創造」のチェアであります門脇理事、お願いいたします。

門脇理事（NARO） それでは、ただいまより「食料供給量の拡大と地球環境保全を両立させる食料生産システムの創造」について、御説明をさせていただきます。

1ページにお進みください。

まず、本日ですが、1のところ、2050年における食料と環境を取り巻く状況、そして解決せねばならないことを説明させていただき、2ではムーンショット研究が目指すべき方向を提案させていただきます。

2ページです。ムーンショットにより解決すべき課題です。

ムーンショット研究開発制度は、社会的課題を対象として野心的な目標を設定するものです。食料の持続的な確保と地球環境保全の両立の実現により、SDGsの17、全ての目標達成に貢献できるものです。

3 ページです。生産について御説明します。

2050年の世界食料需要量の見通しです。左側の図ですが、世界の人口の見通しは2010年と比べて、2050年には1.3倍に増加します。右です。世界の食料需要量の見通しは1.7倍必要と予測されております。

4 ページです。世界の穀物生産の動向です。グラフを御覧ください。

人口は増加しておりますが、収穫面積はほぼ横ばいです。一番下の青い線です。つまり一人当たりの収穫面積は減少傾向にあります。これまでは単位面積当たりの収穫量が向上してきましたが、近年は単収の伸び率が鈍化する傾向です。一番下に数字を書いております。近年は数字が小さくなっています。

5 ページです。環境についてです。

今後の温暖化に伴う気候変動リスクです。左の図は温室効果ガスの排出を厳しく規制した場合、右は全く規制しない場合です。右の場合は赤色が濃くなっております。つまり平均地上温度の上昇が想定されます。

右下です。世界の穀倉地帯の温暖化、乾燥化による穀物生産の大幅低下・不安定化が大きく懸念されます。

6 ページです。水資源の制約による農業生産等への影響です。

上の図です。年平均降水量の増減率です。地域差が大きくなります。

左下です。目的別の世界の水使用量の推移です。年々増加しています。

右下です。世界における土地劣化の現状が進んでおります。

7 ページです。我が国の自然災害による農作物被害等の現状と見通しです。

今後、豪雨頻度が高まり、農作物被害等が激甚化する予測があります。左は豪雨の発生予測。右は昨年7月の豪雨の被害額を示しています。このように莫大な被害が発生しております。

8 ページです。我が国の農林水産業による温室効果ガス排出量の動向です。

2050年までに温室効果ガスの80%削減に大胆に取り組むことが求められています。図の中央上に、黒い矢印があります。御覧ください。現行の地球温暖化対策に基づいた場合は、右から2つ目の棒グラフですが、2050年、ケース1となります。これでは、2050年ケース2の目標達成することができません。目標達成には革新的な技術開発が急務になるわけです。赤い矢印の技術開発が必要になります。

9 ページです。食料消費の実態についてです。

先進国を中心に食料の3分の1が廃棄されているという報告があります。左です。世界の総

食料廃棄量の推移を示しており、総廃棄量は16億トン、年々増加しております。世界の一人当たりの食料、廃棄量を示しています。消費段階の廃棄はエンジ色で示しています。

10ページです。我が国の食料消費の実態と海外依存状況についてです。

食料自給率の低い我が国では国内農地面積の2.4倍もの農地を海外に依存しています。

左の図です。世界の食料需給量の増大は日本の食卓にも大きな影響があります。

右下は我が国における食品ロスの実態です。45%が家庭から出ています。

11ページです。2050年を見通した社会的課題です。

従来型の生産方式には限界があります。地球規模で環境保全を維持しながら、食料を持続的に確保するための革新的イノベーションが不可欠です。フードロスに対応した食料の提供システムや消費行動の在り方の見直しが必要です。

食料の増産要求があり、肥料・水等の資源要求量が急増し、それにより土壌・地下水等の生産環境が悪化し、温室効果ガスが増加します。そして、砂漠化、温暖化が進行するという、この負のスパイラルが進行しています。現状のままでは、地球規模での食料の持続的な確保が困難になります。

そこで、12ページです。 、ムーンショット研究が目指すべき方向について説明を進めます。

13ページです。私どもはムーンショット研究が目指すべき研究については次のように考えています。

まず、食料の持続的な確保が人類共通の課題です。地球規模での食料供給量の拡大と地球環境保全とを両立させる革新的なソリューションを創出することが重要であります。そのため、以下の3つ、赤い枠に書いてあるゴールを掲げて挑戦的な研究課題を推進します。3つについては、順番に話を進めます。

14ページです。まず、1つ目のゴールです。 - 1、急激な気象変動にも即応できる、強靱な農林水産システムの確立、完全自動化です。これはミッション目標例 です。2040年までに農林水産業の完全自動化を実現に相当するものです。

以下の3つの研究目標を考えており、順に説明を進めます。

15ページです。まず、 - 1の全体像を軽く紹介します。

作物生育の予測精度を飛躍的に向上させ、ロボット群が自律分散・協調作業を行うインテリジェント農場を創出します。気象変動に即応可能なシステムを確立します。

左の現状・課題の赤印ですが、農家の長年の経験と勘に頼って食料の安定生産は不可

能です。右の図は、2050年の目指すべきイメージ像です。

16ページです。ここからは研究目標です。 - 1 - 1 「匠」の五感を超越する（超精密農業を可能とする革新センシング技術の開発）です。におい、超音波、非可視光などのセンシング技術をフル活用し、人の五感では見出せないような予兆を測定します。病害虫の超早期発見、個体毎の生育管理、収穫適期の判断等が可能になります。

中央の上部です。個体センシングの高度化を行います。

右の写真です。非破壊計測を装備する収穫ロボットなどの研究を開発します。

中央の下です。農作物の健康状態を個体レベルで把握して、品質・収量を最大化することを目指します。1例ですが、IMPACT研究成果等を活用して進めます。

17ページです。 - 1 - 2、「匠」の判断を超越する人工知能の開発研究です。

3か月前に気象を予測して、作付計画を立案、1週間前に台風被害を予測し事前収穫判断をするなど、匠の判断、計画行動を超える人工知能の開発をします。

中央上で、人工知能による作付計画の立案と研究対応を可能にします。

下です。1993年レベルの大冷害や巨大台風襲来でも収益性を確保することを可能にするものです。

18ページです。 - 1 - 3、「匠」の技を超越する24時間、365日稼働するインテリジェント農場の創出研究です。

左の図です。一例ですが、農作物や調製作業に応じて、ロボットハンドを自動着脱したり、群知能をもとに複数の自動化農機が相互に通信し、判断して協調作業を実施します。農機の多機能・知能化で操作性・収益性・自己修復性を向上し、日本のインテリジェント農場モデルが世界の農家に展開し、世界レベルの生産性を向上するものです。

19ページです。ここからは2つ目のゴールについて御紹介します。

- 2、自然界に存在する生物機能を究極活用し、水・肥料等の資源制約を克服するものです。

ミッション目標例、2050年までに生物多様性を増大させる農業を地球規模で実現に相当します。

以下の3つの研究項目については順に説明を進めます。20ページです。

まず、 - 2の全体像について触れます。

育種のサイバー化によって、農作物やバイオマス植物の環境適応力を格段に高めます。化学肥料・農薬ゼロの新たなソリューションの確立を目指します。現状課題は左です。

環境適応遺伝子を栽培種に取り組み必要性があります。温室効果ガス削減の必要性があります。生物多様性の保全、増大を両立する必要があります。

右側は2050年の目指すべきイメージです。

21ページです。ここからは研究内容です。 - 2 - 1、スーパー農作物等の開発、サイバー育種です。遺伝子機能を全解明し、サイバー空間で農作物等をデザインします。未利用遺伝資源を最大活用し、スーパー農作物を迅速に創出します。例えば、右下ですが、野生種から1万年かかった育種を10年で達成するものです。

22ページです。 - 2 - 2、土壌微生物環境の完全制御（化学肥料ゼロ）です。土壌中の微生物環境を完全解明します。最適な土壌環境を創出し、化学肥料ゼロを目指します。

右上です。微細物の最大活用により肥料効率を最大化し、温暖化防止にも貢献します。

中央の下です。化学肥料ゼロの農業を実現します。

23ページです。 - 2 - 3、昆虫等の完全制御（農薬ゼロ）です。ロボット技術やバイオテクノロジーを駆使して、農薬ゼロの農業を目指し、生物多様保全との両立を図るものです。AI、ICT、ロボット等をフル活用した防除法を開発します。生物機能をフル活用した防除法を開発します。

中央下です。害虫・害獣の調査から防除まで統合した技術で、農薬ゼロの農業を実現します。

24ページです。ここからは3つ目のゴールについて御紹介します。

- 3、食料の無駄をなくし、環境・健康に配慮した合理的な食料消費を促すソリューション開発です。ミッション目標例、2050年までにフードロスをなくし、全ての人々に必要な食料を効率的に届ける、に相当します。

以下の3つの研究目標を考えており、順に説明します。

25ページです。まず、 - 3の全体像です。

パーソナライズド食品製造技術の確立やAIを活用した需給調整システムを開発します。地産地消・半自給自足の消費行動をグローバルに推進します。

左側の現状課題では、廃棄農産物・食品の多くは需給ミスマッチに起因しています。食品ロスの半分は家庭から発生しています。

右は、2050年の目指すべきイメージ像です。

26ページです。研究内容です。

- 3 - 1、健康・嗜好に応じたパーソナライズド食品（リユース）です。余剰食品等を個々人の健康状態や嗜好に応じ、好みの食品に自在に再加工します。健康・環境に配慮した合

理的な消費行動を促進します。

例えば、余剰食材を粉体にし、それを分別し、A Iシェフマシンを開発、A I 3 D調理アプリによる個人の健康状態毎のオンデマンド型の個食を提供するものです。

27ページです。 - 3 - 2、物流、品質、個人情報駆動によるA Iサプライチェーンの確立(リデュース)です。

サイバー空間・フィジカル空間のリアルタイム融合及び最適化を行い、生産・流通段階における食品ロスをゼロにします。

右下です。サイバー空間情報を駆使して、食品ロスゼロ、価値向上及びQ O L向上を実現します。この場合も例えばI m P A C T成果などを活用して進めたいと思います。

28ページです。 - 3 - 3、食品廃棄物の残渣ゼロに向けた新たなソリューションの開発、リサイクルです。

図を御覧ください。未利用昆虫の機能をフル活用した陸上残渣ゼロ・ソリューションです。陸上残渣を高度昆虫処理施設により処理し、バイオ燃料、タンパク素材、飼料等に変換し、新産業創出して、養殖産業振興、陸上残渣ゼロに貢献するものです。

29ページです。国際連携に向けた取組も計画中です。

ファンディングエージェンシーとして農研機構が欧米、アジア等との国際共同研究を主導します。

中央下です。国際連携を通して、技術の開発・展開を行い、経済へ貢献します。地球規模の社会問題を解決します。

30ページ、最後です。まとめです。ムーンショット研究が目指すべき方向です。

中央に書いております1番、2番、3番の研究は、どれか一つが欠けても目標達成は困難です。そのため3つの研究を連携して強力的に推進することで、中央上部に書いております、食料供給量の拡大と地球環境保全を両立させる食料生産システムの創造を達成するものです。

以上で、私からの説明を終わります。

上山議員 どうもありがとうございました。

時間もちょっと限られておりますけれども、ただいまの御説明につきまして御質問を。

橋本先生、お願いします。

橋本議員 大変よく検討していただいていると思うんですけども、実は6年前にS I Pを始めたときに、危機感がすごくありまして、実はあのときも似たように、いろいろなものが組み合わさって出てきたんですね。そのときのS I Pは大体トータルで一つのプロジェクトで、

200億ぐらい使っていると思います。これはそれより少ないですね、トータルの予算として、このムーンショット、単純に割ると。

あのときも実はそのお金でそんなこと結局できないんじゃないですかという議論がありながら、途中でばっさり切っていったんですね。これはタイトルがすごく大きいから、それに、真面目に計画を立てられたせいだと思うんだけど、とてもこんなにたくさんのができないんじゃないかと、みんなある意味バラバラです。目的は一つでつなげているけれども、やることは非常にバラバラで、現実的な今回の予算と、人もそうだと思いますけれども、こんなにたくさんのごことを狙ってできるんでしょうか。

門脇理事（NARO） 予算額全体が私たちまだ知るところにありませんが。

橋本議員 私も分かりませんが、トータルが決まっていますから、プロジェクトが幾つになるか分からなくても、一つということはないですから、幾つかになりますと、そうするとどんなに考えても1プロジェクト、5個できたら200億円ですよ。

もっと多分できるんじゃないかと思います。SIPでやったのが大体200億円ぐらい使っていますから、なのでそういうところから考えても、ちょっと余りにも、予算の面からも欲張りすぎじゃないかなと。

門脇理事（NARO） 私たちが一番最初に考えたのは、今のタイミングでこのような問題に取り組まなければ大変なことになるということで、問題意識がまず先にありまして、それをするために、何らかの技術的なブレークスルーがなければ大変なことになってしまう。そのためには何ができるかということから、このような計画を立てて提案した次第でございます。

山極議員 おっしゃることはよく分かるし、この3つがどれが欠けても難しいということもよく分かります。

ただ、超スマート農業という技術を高めていくとすると、この気候変動が激しい世の中でコントロール力を高めるといって言えば、屋内に囲い込む方が楽ですよ。今でも、屋内で農業をやる人が増えています。それはコントロールしやすいからだし、完全に自分たちが思うものをつくれるからです。ただすごく無駄な投資をしないといけないです。しかも、価格は高くなります。高品質のものをつくるにはコントロールした方がいい。

これを見ていると、屋内ではなくてやはり屋外で自然環境の中で農業をすることにこだわっているように見えるんですけど、それでいいですか。

門脇理事（NARO） 私どもの提案の中にも、17ページに「匠」の判断を超越する人工知能の開発というようなものもありまして、例えば気象の将来予測はどんどん精度が上がります。

すので、恐らく今のような天気予報どころではなくて、もっと長期の天気の予測もできるでしょう。そうしたときに前もって営農者の判断を人工知能がやりながら危険分散をしながら、ある一定程度は屋内、ある一定程度は露地、とにかく収益性を上げるためにはどのような農業をやっていくのがいいのかというようなこともこの研究の中で進めることができれば、安定生産にもつながるのかなというふうには考えています。

山極議員 その思想は屋内で生産すれば、世界中どこでも同じものがつくれるわけです。工業化するわけだから。しかし、地球環境の多様性ということを尊重した農業をするということなんだろうと思うんですね。

だからこそ各国で多分つくるものは違うし、流通というものもそれに依存した形で行われていくという世界観の下にこれができているんだというふうに思います。それでいいのかなと思ったんですけど。

門脇理事（NARO） いろいろ議論があると思いますが、それも含めて今後議論していきたいと思います。一つには、フードマイレージのように、いろいろなものが海外から運ばれてきて、それに油を使いながら輸送するのがいいのかどうかとか。海外で生産されるものが日本に来るときには、海外の農業用水を大量に使いながら持ってくるわけです。そういうのがいいのかどうかという、そういう議論も含めながら、あるべき姿、最適化についても議論が必要かなと。そういう意味ではフードロスの議論なんかもしっかりやっていく必要があるのかなと思います。

小谷議員 今回提案された強靱な農林水産システムとは短期的な天候変化にどう対応するかということのようですが、気候変動を前提にすると植生とか水の中の魚とかも大きく影響をうけます。そのような変化をきちんとデータをとって、長期的に日本の農業はどのような構想を持つべきというような農業政策みたいなものは入らないのですか。

門脇理事（NARO） 長期だけですと、プロジェクトを運営するのは難しいので、やはり短期、中期、長期の観点から様々な研究内容を盛り込みながらやりたいと思います。気候変動が想定内に入っているとすると、

小谷議員 長期的な政策をするためのデータ収集とか、データ解析みたいなものも入ってもいいのかなと思いました。

門脇理事（NARO） おっしゃるとおりです。

多分長期で、御提案できる一つの例は、やはり温暖化対策だと思います。日本における温室ガスに占める農業の割合は約1%、あるいは2%なんですけれども、世界全体で見ると、2

0%ぐらいの温室効果ガスが農業から発出されていますので、温室効果ガス削減に向けた様々な取組もこの中でやりながら、それを世界に転換するというようなことも重要ではないかなと思っています。

小谷議員 政策誘導していくために、10年、20年、30年後も日本の気候を考えるデータをとって解析することはどうでしょう。

門脇理事（NARO） ありがとうございます。それはもう実はそれはとってしまっていて、農研機構のある研究所が数十年差単位の将来の温暖化の予想をしまっていて、例えばりんご農家の産地が変わるとか、あるいは稲の生産性がどのくらい影響されるかということは、IPCCのデータを使いながらモニタリングをして、それを農家の方に示しながら、特に果樹の場合は、産地が変わるのに数十年かかりますので、そういうデータは既に提供している技術がございます。

篠原議員 非常によく御検討なさっているのですけれども、分科会に向けてお願いがあります。今回の資料は研究開発として100点をとることを目指しているように見えます。ムーンショット目標を立てる際には、例えばここはできなくてもいい、という部分があってもいいはずです。先日、農家の方とお話ししたのですが、農業の完全自動化というより、厄介なところだけ自動化してもらえば十分だという意見もあるわけです。

だから、技術オリエントに資料ができすぎているような気がします。あとは必須な食料と嗜好品の食料とあって、今年のみかんは余り甘くないよねという会話があってもいいはずで、全ての食料に関して100点満点をとる必要はないので、本当に目指すべきところは何かを是非分科会で議論していただければと思います。

上山議員 ありがとうございます。

ちょっと時間もありませんけれども、今日、お三方にお聞きして、見えなかったのは今回の国際シンポジウムの分科会をどういう場所として使おうとしておられるのかということがよく分からないなど。せっかく各国から来られて、ムーンショットの目標は何かについて、恐らくそれぞれの分科会で議論されると思いますが、その絞り込みみたいなことは事務局とやっけていかれるのか、あるいはイニシアチブペーパーを書かれるときに、既にそこまで到達しているのかというところが少し気になったところでございます。

深く議論することは、もう時間がありませんからできませんけれども、今後また検討課題として、事務局が受けてくださると思います。

福田先生、山地先生、門脇先生、本日はどうもありがとうございました。

これによって公開の会議は終了とさせていただきます。
関係府省の方及びプレスの方は御退室をお願いいたします。
どうもありがとうございました。

午前 10 時 37 分 閉会