

APRC-FY2022-PD-KOR03

海外の政策文書

原文： Innovate Korea 2045 Challenges and Changes for the Future（韓国科学技術情報通信部、科学技術政策研究所、韓国先端科学技術研究所）2020 年 10 月

URL：

https://www.msit.go.kr/bbs/view.do;jsessionid=idO3sds7E1R2Gnr39KjOMCFpJotEEkUN2lByOmLp.AP_msit_2?sCode=user&mPid=122&mId=123&bbsSeqNo=96&nttSeqNo=3179251

【韓国】

イノベート・コリア 2045
未来のための挑戦と変革

(Tentative translation)

【仮訳・編集】

国立研究開発法人科学技術振興機構
アジア・太平洋総合研究センター

【ご利用にあたって】

本文書は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）アジア・太平洋総合研究センター（Asia and Pacific Research Center；APRC）が、調査研究に用いるためアジア・太平洋地域の政策文書等について仮訳したものとなります。APRC の目的である日本とアジア・太平洋地域との間での科学技術協力を支える基盤構築として、政策立案者、関連研究者、およびアジア・太平洋地域との連携にご関心の高い方々等へ広くご活用いただくため、公開するものです。

【免責事項について】

本文書には仮訳の部分を含んでおり、記載される情報に関しては万全を期しておりますが、その内容の真実性、正確性、信用性、有用性を保証するものではありません。予めご了承下さい。

また、本文書を利用したこと起因または関連して生じた一切の損害（間接的であるか直接的であるかを問いません。）について責任を負いません。

APRC では、アジア・太平洋地域における科学技術イノベーション政策、研究開発動向、および関連する経済・社会状況についての調査・分析をまとめた調査報告書等を APRC ホームページおよびポータルサイトにおいて公表しておりますので、詳細は下記ホームページをご覧ください。

（APRC ホームページ） <https://www.jst.go.jp/aprc/index.html>



（調査報告書） <https://spap.jst.go.jp/investigation/report.html>



本資料に関するお問い合わせ先：

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）アジア・太平洋総合研究センター（APRC）

Asia and Pacific Research Center, Japan Science and Technology Agency

〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ

Tel: 03-5214-7556 E-Mail: aprc@jst.go.jp

<https://www.jst.go.jp/aprc/>

目次

概要 3

1. 韓国の次の 100 年への備え	7
1-1. 韓国はなぜ長期的な科学技術戦略を必要とするのか	7
1-2. 戦略の方向性	8
2. 韓国の未来像と科学技術のビジョン	10
2-1. 韓国の現状と未来	10
2-2. 科学技術の未来	19
2-3. 科学技術の展望	22
3. 2045 年に向けての科学技術戦略	23
3-1. 私たちの未来とビジョンを実現するための科学技術課題	23
3-2. 科学技術課題に対処するための政策変更	32
4. 科学技術の挑戦課題	41
4-1. 人類の生存を脅かす要因への対処	43
4-2. 持続可能な文明のための環境汚染対策	49
4-3. 次世代の生物医学技術による健康な生活の実現	53
4-4. 人間の身体的・知的能力の拡張	57
4-5. 農業、製造業、エネルギーにおける資源の枯渇に備えた革新	61
4-6. 宇宙生活圏および安全かつ便利なスマート・モビリティを実現する	65
4-7. 安全で多様な通信チャネルと信頼性の高いネットワーク	69
4-8. 人類生存のため未知の世界を探索する	73
4-9. 創造的知識の俯瞰：基礎科学における大きな疑問	76
5. 科学技術政策の方向性	80
5-1. 未来社会の変化の中で知的能力を最大化するための人材政策	82
5-2. 挑戦的かつ創造的な人材を生み出すための国家研究開発システム	86
5-3. 成長エンジンを構築・強化するための産業研究開発	90
5-4. 社会問題を解決し、生活の質を向上させるための公的研究開発	93
5-5. 産学研主導でイノベーションの中心地になる地域	96
5-6. 国境を越えたグローバル・イノベーションシステム	99

5-7. 科学技術と国家政策間の連携を強化する科学志向国家	102
5-8. 未来展望および国家政策間の連携を強化する未来志向国家	105

6. 実現へ向けた結論と提案	108
----------------	-----

6-1. 結論	108
---------	-----

6-2. 実現のための提案	111
---------------	-----

略語

註

参加メンバー一覧

概要

次の 100 年に備えて

「イノベート・코리아 2045：未来のための挑戦と変革」は、私たちが理想とする韓国の未来を実現するため、科学技術分野の長期ビジョンと議題を提案するものである。この戦略は、いくつかのポイントに焦点を当てて制定されたものである。第一に、前政権での長期戦略を受け継いで 1999 年に発表された「ビジョン 2025：韓国科学技術開発長期計画」と「科学技術のビジョン：2040 年に向けた韓国の夢と挑戦」である。第二に、社会の変化を反映し、経済成長率と世界ランキングなどの数値ではなく、これまでの急成長期では配慮が足りなかった安全、健康、信頼などの重要性を今後 100 年間の国家目標として提示するものである。第三に、有望な技術を示すだけでなく、科学技術が解決しなければならない「課題」（社会が将来直面する重要な問題）に焦点を当てる。第四に、課題に取り組むため、科学技術政策の「変化」を強調する。量よりも質に焦点を当てる。個々のコンポーネントを拡げるより、コンポーネント間のつながりを重視する。第五に、私たちは戦略全体を通して未来志向の視点を保ち、人類と我が国の未来についての根本的な疑問を提起するものである。

韓国の未来と科学技術のビジョン

私たちが理想とする 2045 年の韓国の未来像を示すため、我が国の現状を検証し、前政権の未来戦略に記された未来像を振り返り、国民が望む我が国の未来を調査しなければならない。また、社会的、技術的、経済的、環境的、政治的なメガトレンドにも注意を払うべきである。それらは、（1）人口の変化によって引き起こされる多文化傾向と高齢化、（2）新技術の出現と産業パラダイムの転換、（3）長期にわたる世界経済の減速と新興国の台頭、（4）気候変動、環境汚染、資源枯渇、感染症の恐れ、（5）政治的・社会的紛争。これらを踏まえ、私たちが理想とする韓国の未来は、「安全で健康な社会」「豊かで便利な社会」「公平かつ信頼できる社会」「人類社会全体に貢献韓国」である。

私たちが理想とする未来社会を実現するためには、科学技術をうまく活用する必要がある。科学技術は、つながりあい拡大して発展し続け、不可能を可能にするのである。ここに、科学技術分野の長期ビジョンとして、「生活の質を向上させ、経済成長の質を高め、人類社会全体に貢献する科学技術」を提案する。

理想の未来社会とビジョンを見据えた科学技術戦略

まずは未来社会についての疑問をあげることから始め、科学技術の課題を導き出していく。「安全で衛生的な社会」については、「人類の存続を脅かす要因への取り組み」、「持続可能な文明のため環境汚染問題を解決する」、「次世代の生物医学技術で健康的な生活を実現する」など、いくつかの課題を掲げていく。「豊かで便利な社会」については、「人類の身体的・知的能力の拡大」「農業・

製造業・エネルギーの革新」「高速スマート・モビリティによる生活圏の拡大」を実現していく。

「公平で信頼できる社会」については、「安全で多様なコミュニケーションチャンネルと信頼できるネットワーク」を提案する。最後に、「人類社会全体に貢献する韓国」のために「人類生存のための未知空間の探索」という挑戦を提示する。

科学技術の8つの課題について、関連技術の開発を提案する。未来社会でどのようなものが必要になると予想されるかを説明し、関連技術の現状を検討して、将来必要となる技術を提案する。ここで説明するテクノロジーは、気象制御、レスキュー・ロボット、感染症ワクチン、プラスチックの代替材料、核融合発電、細胞治療、脳地図、人工組織や臓器、人工知能半導体、未来の食品、スペースシャトル輸送システム、完全自動運転車、脳波通信、量子暗号通信、再利用可能な宇宙発射体（ロケット）など、さまざまな分野をカバーしている。

これらの科学技術課題に取り組み、人類の知的領域を拡大するには、基礎科学の基盤をしっかりと確立する必要がある。今後も、人間の病気や老化の謎を探り、記憶や夢などの脳機能を解明し、宇宙の創造と進化の原理を発見し、物質の組成原理を理解して新しい物質を開発し、数学のさまざまな難しい問題を解決する、という旅を続けていかなければならない。

私たちは、未来へのメガトレンドを捉え、有望な技術を導入するだけでなく、私たちの社会が今後対処していかなければならない課題を示していくという政府の役割を重視する。過去と比較すると、個々の主体の専門知識と情報量は大幅に増えている。未来社会と技術の変化はあまりにも急速なため、政府が特定の技術を選び出して支援するという形は馴染まないだろう。したがって、政府は全体像を描き、メガトレンドを見て、国内や世界的に解決する必要がある問題を定義し、個人や組織が競争と協力を通じて問題解決する技術の開発を支援する必要がある。

科学技術挑戦課題と政策の方向性

未来のイノベーション・エコシステムに関する疑問から始め、必要な政策変更を導き出していく。主体については、「未来社会の変化の中で知的能力を最大化する人材政策」、「挑戦的かつ創造的な人材開発のための国家研究開発システム」、「成長エンジンを構築し強化する産業研究開発」、「社会問題を解決し生活の質を改善する公的研究開発」が考えられるだろう。宇宙に関しては、「協力と競争を促進する地域イノベーション・システム」「国境を越えたグローバル・イノベーションシステム」を提唱する。政策環境を参考に、「科学技術志向の国家政策」と「未来志向の国家政策」を定義する。

8つの政策について、16の詳細な課題を提示していく。我が国の知的能力をどのように強化していきけるか、大学や公的研究機関がどのように生き残り、発展できるか、科学技術が企業や人々の生活のためにどのように役立てられるか、地域・国・世界の活動をどのように結び付けて科学技術発展に取り組むべきか、我が国の政策における科学技術力と先見性を強化するために何をすべきかについて議論する。

私たちは、必要な政策を単にリスト化するのではなく、科学技術政策をどのような変更をすべきかに焦点を当てている。人材政策は、まとまった数の有能な人材の確保から、個人の能力の十分な発揮を支援することへ重点を移すべきである。我が国の研究開発システムについては、キャッチアップのための研究から挑戦的でイノベーション性のある研究に変化すべきである。産業に関する研究開発は、政府が特定の分野を選び出して支援するという形から、政府と産業界が手を組み一丸になって、未来の市場を確保できるように変化すべきである。公的研究開発は、専門家の力で「テクノロジーを完成型」の研究から、すべての人が恩恵を受ける「社会問題解決型」の研究へと変化すべきである。地方・地域政策は、すべての地域を均等に支援する形から、地域の産学研主導による広域クラスター化に変換すべきである。グローバル政策は、単体で宣言するような形から、実用的で連携を強化したものに移行すべきである。最後に、政府は科学技術を個々の部門のレベルではなく、国家管理の原則自体を見なすべきである。未来へ向けての政府の方針は、危機が起こった後に行動する形から、危機に先んじて準備する形へと変えるべきである。

政策変更と詳細な課題は、次のような哲学を共有している。科学技術政策は、政府だけでなく、すべての個人や組織の参加を得て設計し実行していくべきである。説明責任の所在を明らかにするため、使命を定義し、それを個人や組織に明確に割り当てる必要がある。また、管理と評価の観点から、パフォーマンスはミクロレベルではなくマクロレベルで管理するべきである。これにより、すべての主体がそれぞれの能力と情熱を自律的に発揮できるようにするのである。

イノベート・コリア2045: 未来のための挑戦と変革

ビジョン

生活の質を向上させ、経済成長を促進し、
人類社会全体に貢献する科学技術



私たちの未来とビジョンを実現するための科学技術課題

人類の生存を脅かす要因への対処

持続可能な文明のための環境汚染への対処

次世代の生物医学技術による
健康な生活の実現

人間の身体的・知的能力の拡張

農業、製造業、エネルギーに革新をもたらす

高速スマート・モビリティで生活圏を拡大

安全で多様な通信チャンネルと
信頼性の高いネットワーク

人類生存のための未知領域の探索

創造的知識の俯瞰：基礎科学における大きな疑問

人間の病気と老化の謎 記憶と夢の脳機能
宇宙の創造と進化 新素材の開発 数学のミレニアム問題

科学技術課題に取り組むための政策変更

未来社会の変化の中で知的能力を
最大化する人材政策

挑戦的かつ創造的な人材開発の
ための国家研究開発システム

成長エンジンを構築し強化する産業研究開発

社会問題を解決し生活の質を改善
する公的研究開発

協力と競争を促進する
地域イノベーション・システム

国境を越えたグローバル・イノベーションシステム

科学技術志向の国家政策

未来志向の国家政策

1. 韓国の次の 100 年への備え

1-1. 韓国はなぜ長期的な科学技術戦略を必要とするのか

私たちは今、今まで経験したことのない、劇的な変化のある時代を生きている。その変化の中心にあるのは、科学、技術、革新である（science、technology、and innovation, STI）。私たちの社会のあらゆる分野で、デジタルデバイス・通信、ビッグデータや人工知能、生物医学技術、新エネルギー、新素材、宇宙探査などが主導する革命的な変化を目にしている。

未来は、私たちにとってチャンスにも危機にもなりうる。科学技術の発展が人間の仕事を減らし、貧富の格差を広げる懸念が存在する。そのようなネガティブな側面に備えることももちろん大事ではあるが、科学技術を利用して、未来を開拓するためには、ポジティブで積極的な態度を持つことが何より大切である。私たちの未来は、定まった運命ではなく、自分の行動によって変えるものである。将来を正確に予測したり、思い通りに作ることはできないが、理想とする未来に到達するために長期的な戦略を立て、今から準備する必要があるのだ。

では、なぜ予測不可能な変化の時代でも、将来の戦略を立てる必要があるのか？未来を正確に予測して備えることは難しいため、物事が発生した後に迅速に対応するほうが効率的だという見解もある。しかし、2020 年の COVID-19 危機でも明らかだが、未来のために備えている国の方が危機をよりうまく乗り越えられる。韓国は、病床数や高度な医療機器の数で OECD 諸国の中で最高レベルという優れた医療体制を持っているため、COVID-19 にうまく対応できた。ただ、このような医療体制になれたのは、2015 年の MERS の経験から教訓を得て、検疫と医療システムを強化し、診断キットを事前に開発したからである。

また、科学技術は急速に発展しているため長期的な戦略は不要であり、短期的な計画で十分であるという意見もある。科学技術、特に宇宙や材料などの基礎研究分野で競争力を発揮するには長い時間がかかる。また、我が国の未来への対応能力を強化するためには、「先見性－戦略の策定と実施－戦略の修正」の過程を通じて、長期にわたる経験を蓄積する必要がある。したがって、未解決の問題に迅速に対応するだけでなく、我が国の長期戦略を準備することはとても重要である。

科学技術は、天然資源が不足している韓国にとって、理想の未来を実現するための貴重な資産である。歴史上、科学技術は人類の文明の発展の原動力であり、さまざまな発見や発明を通じて人類はめざましい進歩を遂げてきた[1]。私たちが科学技術分野において卓越した可能性を秘めた国民であることは、歴史を見てみれば明らかである。近年韓国は、半導体、情報通信、自動車、造船、テレビ、スマートフォンなど分野で世界クラスの産業を育成し、一人当たりの所得が 3 万ドル以上、人口が 5 千万人を超える 7 番目の国となった。これらすべてを可能にしたのは、我が国の卓越した科学技術力である。

2045 年は韓国の独立 100 周年であり、韓国にとっては特別な意味を持つ年である。わが国の過去 100 年を振り返り、次の 100 年に備えることは有意義である。

そして 2045 年は、今の若者達が社会を主導していくと思われる。彼らより、安全で健康な社会、豊かで便利な社会、公平かつ信頼できる社会、そして人類社会全体に貢献する国で生活できるよう、今から未来へ備えなければならない。

1-2. 戦略の方向性

「イノベート・コリア 2045：未来のための挑戦と変革」は、私たちが理想とする韓国の未来を実現するための、科学技術分野における長期ビジョンと課題を提案するものである。この戦略は、以下の内容を念頭に置いて制定された。

第一に、これは歴代政権の長期戦略を受け継いだものである。1999 年「ビジョン 2025：韓国の科学技術開発長期計画」（以下「ビジョン 2025」）、2010 年「科学技術ビジョン：韓国の 2040 年への夢と挑戦」（以下「ビジョン 2040」）のように、10 年ごとに長期科学技術戦略が制定されている。

「イノベート・コリア 2045」は、これらの戦略および成果を包括的に再評価し、将来の研究開発と政策の方向性および詳細な課題を反映したものである。

第二に、「イノベート・コリア 2045」は、これまでの戦略を引き継ぐだけでなく、社会の変化を考慮し、今後 100 年間の韓国の新たな未来像と目標を提案するものである。経済成長率や世界ランキングなどの定量的な数値ではなく、これまでの急激な経済成長の渦中では慎重に検討されてこなかった安全・健康・信頼などの定性的な価値を、今後の国家目標として提案する。2019 年に発表された包括的な国家戦略である「革新的でインクルーシブな国家になるためのビジョン 2045 年」が包摂性、公平性、平和を強調したのも同じ文脈である。つまり「イノベート・コリア 2045」は、我が国の科学技術発展の目標が、生活の質の向上、経済成長の質の向上、そして人間社会への貢献であるべきと示唆している。

第三に、「イノベート・コリア 2045」は、私たちが理想とする未来の実現における科学技術の役割を強調し、科学技術が解決しなければならない課題を提案する。難病や環境汚染などは、社会が将来直面する深刻な課題である。政府が特定の技術に投資し、大きい成果を得られる時代は、もう過ぎている。研究開発の主体が有している分野別の専門性は日々高くなっており、社会に流れている情報の量も実に膨大である。このような社会や技術が急速に変化する今の時代において、有望な技術を特定することは難しい。したがって、政府の役割は、メガトレンド（世界の在り方を形作るほどの力を持った経済のマクロな動き）をよく見極め、国内および世界的に解決する必要のある問題を特定することによって全体像を描き、問題を解決するための有望な技術を研究開発の主体が気づくようにすることである。

第四に、必要な政策を列挙するより、韓国の科学技術政策が行うべき「変換(changes)」を強調している。韓国はこれまで、人材育成、法制度の確立、インフラ整備の面で一定の成果を上げてきた。しかし、既存のシステムでは未来に対応することは難しい。漸進的な改善ではなく、破壊的変革（イノベーション）が必要である。政府は量より質を重視し、政府のリーダーシップに基づくイノベーシ

ョンよりも産学連携に基づくイノベーションを重視し、個々の要素を拡大するよりは、構成要素間のつながりを強化する必要がある。何より、人材、研究開発、成長エンジン、地域の生態系、グローバル協力などに関連する科学技術政策は、私たちの前にある課題にどれだけ効果的に対処できるかに重点を置いて推進する必要がある。

第五に、本戦略は、未来志向の観点を維持する。他国との技術格差や韓国の科学技術エコシステムの問題を反省するよりは、将来を見据えることで、挑戦と変化が必要である点を強調している。

ではまず、誰もが将来について持っている疑問から、議論を始めよう。「人間は何歳まで健康に暮らせるか」「人口減少と人工知能の時代に、どうすれば人材を確保し、やる気出させるのか？」など、人類と国家の未来についての基本的な問いを語る中で、どのような答えと、どのような戦略を選択すべきかを考察する。

国家戦略の策定は、我が国の長期的な方向性を決定する重要なプロセスであるため、さまざまな分野の専門家が緊密に協力できるように設計されている。科学技術情報通信部は、「イノベート・코리아 2045 委員会」、「科学技術小委員会」、「イノベーション・エコシステム小委員会」を立ち上げ、65 人以上の専門家による議論を経て結論を出している。科学技術政策研究所（STEPI）と韓国先端科学技術研究所（KAIST）に所属されているイノベーション政策に対し先見性研究の専門家らが、戦略の枠組みを設計し課題と政策を導き出すための複数回に渡り諮問会議を開催し、1,000 人を対象（国民）にアンケート調査も実施している。

各章の概要は次のとおりである。第 2 章では、2045 年に私たちが理想とする韓国の未来像を「安全で衛生的な社会」「豊かで便利な社会」「公平かつ信頼できる社会」「人類社会に貢献する韓国」とし、その実現に向けた科学技術が果たすべき役割を解説する。第 3 章では、2045 年の未来社会に関する疑問から、科学技術の課題（望ましい未来とビジョンを実現するために取り組む必要のあるもの）と、必要な政策を導き出す。科学技術の課題と必要な政策変更についての詳細は、それぞれ第 4 章と第 5 章で述べている。第 6 章では、戦略の結論を要約し、当該戦略の活用方法、他の戦略との関連性、および次の戦略のための提言が含まれている。

2. 韓国の未来像と科学技術のビジョン

2-1. 韓国の現状と未来

韓国の現状

昔の韓国経済の成長率は高かったが、そのペースを保つのは容易ではない。かつては（1970～1980年代）2桁の成長率を見せていたが、近年には2～3%まで落ち込んでいる。このような低迷な成長率はしばらく続く見込みである。その理由は、まず、経済成長の原動力の一つである人口が少子化によって減少しているからだ。今の状況から推移すれば、我が国の人口は2017年の5140万人から2045年には5000万人、2065年には4000万人に減少する見込みである[2]。特に、15歳から64歳までの労働年齢人口は2017年以降すでに減少が始まり、2067年になれば、65歳以上の高齢者人口よりも少なくなるだろう。

これまで経済を牽引してきた半導体、石油化学、自動車、造船などの主要産業で発展途上国の企業との激しい競争に直面している。輸出品における競争と新産業の不振により韓国の経済は伸びしろを失っている。一部の産業は、コアとなる技術が不足しているため、主要な材料、部品、および機器を外国に依存している。既存のものに替わる新しい成長エンジンはまだ見つかっていない。我が国の経済規模は世界のトップ10に近いものの、投資先や貿易相手国としての魅力は比較的低いのが現状である。GDPに占める輸出入の割合が他国に比べて大きいため、将来的に国家の地位を高める必要がある。

韓国は過去半世紀にわたって「漢江の奇跡」を成し遂げてきたが、それと同時に成長の後遺症に苦しんでいる。韓国の高齢者の貧困率と自殺率は高く、所得の不平等も深刻化している。イデオロギー、世代、地域の違いによって引き起こされる差別と葛藤は日々深刻になっている。また、経済成長と環境保全、福祉の拡大と減税、データ主導の技術革新と個人データ保護など、相反する価値観が衝突している。これらのことを反映され、韓国はOECDのより良い生活指標の「人生への満足度」指標で40か国中33位という下位レベルにランクされた[3]。

環境面では、産業構造が多くのエネルギーを消費するため、温室効果ガスや粒子状物質が大量に排出されている。高いエネルギー消費量は、産業が発展している証でもあるが韓国の一人当たりのエネルギー消費量が過去30年間で毎年約5%増加しているに対し、他国の消費量は減少している現状を見ると[4]、エネルギーの消費方法を変えることを検討しなければならない。廃棄物処理も社会問題のひとつである。廃棄物の量は増え続けており、焼却や埋め立てはますます困難になっている[5]。エネルギー利用効率の高い産業構造への転換や資源の再利用が可能な循環経済システムを構築するなど、積極的に変化に取り組まなければ、人々の生活の質は低下し、持続可能な経済成長も不可能である。

ただ、悲観的である必要はない。かつて資源が足りない中、世界が驚く経済成長を遂げたことがある。韓国は1960年代に世界で最も貧しい国の1つから世界12番目のGDP、5番目の輸出量、そし

て 2018 年には 1 人当たり GDP が 3 万ドルを超える経済大国に転換した[6]。人口 28 位、土地面積 107 位である点からすると、これらの成果は高い評価に値するものである。

韓国が科学技術への投資を開始したのは 1960 年代になってからだったが、60 年足らずでめざましい成果を上げた。我が国の科学インフラと技術インフラは、IMD 世界競争力ランキング 2020 で、調査対象となった 63 か国中、それぞれ 3 位と 13 位にランクされた[7]。さらに、優れた科学技術力を持つ韓国企業は、半導体、ディスプレイ、情報通信などのいくつかの分野で世界のトップレベルとなっている。韓国は初めて CDMA および 5G ネットワークを商用化し、現在では世界でも最高レベルの情報通信ネットワークを持っている。私たちの成功体験、人々の高いモチベーションと優れた適応性、そして高い科学技術能力は、我が国の将来にとって貴重な資産である。

韓国の未来

将来、私たちはどのような社会に住むだろうか？どんな社会に住みたいだろうか？答えは世代ごとに異なる。1945 年からの数十年間、韓国人にとって最も重要な目標の 1 つは経済発展だった。しかし、所得水準が上がり社会が発展するにつれ、私たちが望む未来は変わりつつある。

前政権によって策定された未来戦略は、人々が当時望んでいた未来のイメージを示している。1999 年に発表された「ビジョン 2025」における科学技術開発の目標は、「情報社会をリードする」、「産業競争力を強化し、国の富を生み出す」、「質の高い生活（安全、健康、快適、利便性）を実現する」、「国家安全保障を確保し、世界における国家のステータスを強化する」「知識の創造と革新の促進」というものであった。2010 年の「ビジョン 2040」では、「私たちが夢見る未来」を「自然にやさしい世界」「豊かな世界」「健康な世界」「快適な世界」という 4 つの世界であると表現した。

では、韓国の人々が今日望んでいる未来はどんなものなのか？答えを見つけるためにアンケート調査を行った。調査の際の質問は、2045 年はどのような世界になっていると思うか、国が将来に向けてどのような問題を解決すべきか、問題を解決するためにどのような戦略を立てるべきか、などの内容で構成されている。調査の結果を見てみよう。

第一に、人々は将来多くの危機が発生することを懸念していることが分かった。所得格差、社会的信頼、環境汚染、災害、生活満足度が現在よりも悪化すると予想される。中でも、所得格差や環境汚染への懸念が最も高い。最善の対応戦略を策定して「改善」するとしても、わずかな改善しか期待されておらず、私たちが直面している非常に難しい状況に直面していることを意味する。危機感を持って、未来に備える必要がある。

第二に、人々は、環境汚染、人口減少、失業、経済の減速を、2045 年までに解決すべき緊急の問題としている。これは、所得の不平等と環境汚染に関する前質問の結果と一致している。人々が、生活

の質、社会的信頼、社会的透明性など、さまざまな社会的問題にも関心を持っている。人々は国が、環境、経済、社会のすべてをバランスよく発展させていくことを望んでいる。

第三に、将来の社会問題を解決する戦略の選択について、人々は異なる意見も持っている。多くの人は GDP に対する研究開発投資の割合を維持し、国の成長エンジンを育成するための規制を緩和することを求めた。特に、人工知能、ロボット、バイオテクノロジー、再生可能エネルギーに投資する必要があると主張している。しかし同時に、所得の配分、技術開発による失業への対応、生命倫理、個人情報、安全に関する規制の強化を真剣に検討するよう国に求めた。将来的には、社会の多様な価値観を反映して、社会的葛藤を緩和し、最良の選択肢を見つけないといけない。

メガトレンド：チャンスと危機

韓国の現在から未来への道のりで、どのようなチャンスと危機が私たちを待っているだろうか？メガトレンドは私たちの生活のあらゆる部分に影響を与える可能性が高く、韓国の未来を設計するために真剣に検討する必要がある。参考資料と専門家の意見から、社会的、技術的、経済的、環境的、政治的側面のメガトレンドを次のように要約することができる。

最初のメガトレンドは、人口の変化によって引き起こされる多文化化と高齢化である。多くの専門家は、未来を予測するための手がかりは人口の変化にあると指摘している。16 世紀から 17 世紀の世界人口は 5 億人未満だった。しかし、産業革命後の 18 世紀から 20 世紀の間に急速に増加した。1804 年に 10 億、約 130 年後 1930 年に 20 億に達した。30 年後 1960 年に 30 億、14 年後 1974 年に 40 億、13 年後 1987 年に 50 億、12 年後 1999 年には 60 億、さらに 12 年後 2011 年には 70 億。そして 2020 年 78 億となり、2045 年までに 95 億に増加すると予想されている[8]。

このような人口増加は、主にアジアとアフリカの発展途上国で起こっている。ほとんどの先進国では、人口増加率または人口自体が減少している。さまざまな国における人口増減は、戦争や紛争、輸送や通信の発達などの他の要因とともに、国家間の人々の移動を促し、韓国を含む多くの国で多文化化が続くであろう。

人口の変化は高齢化にも影響を及ぼす。医療技術の発達と出生率の低下による平均余命の伸びは、総人口に占める高齢者の割合を高めている。特に韓国は世界で最も速いスピードで高齢化社会に向かっている。

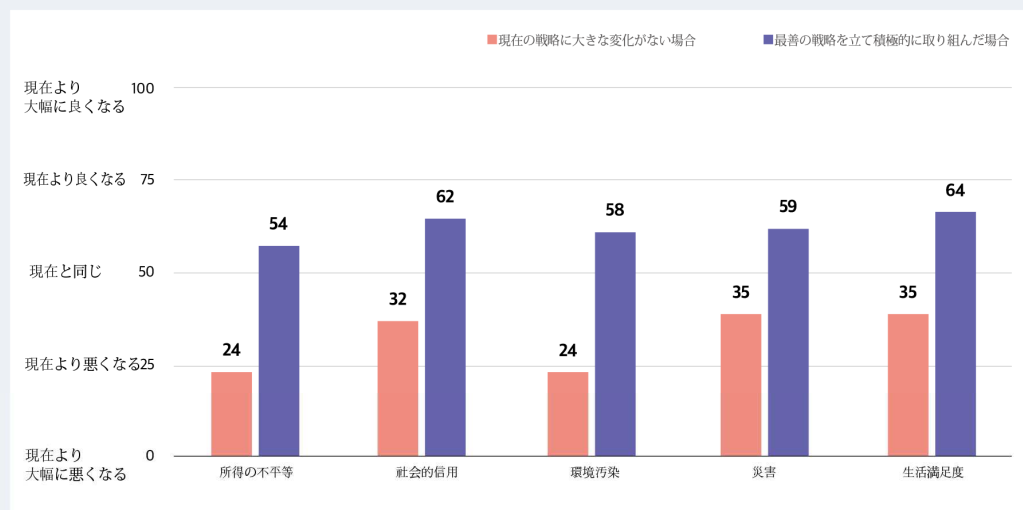
調査の主なポイント

調査は、2019年7月9日から7月15日まで、韓国全土に住む10代から60代の男女1,000人を対象に実施された。参加者は性別、年齢、地域別に整理され、男性は51.1%、女性は48.9%だった。10代の若者は8.7%、20代は18.0%、30代は19.0%、40代は22.1%、50代は22.2%、60代は10.0%だった。

2045年の韓国のイメージ

人々は、韓国の現在の戦略に大きな変化がなければ、所得の不平等、社会的信頼、環境汚染、災害、生活満足度は現在よりもわずかに悪化すると予測した（「現状シナリオ」）。また、最善の戦略を立てて積極的に取り組んでも（「改善シナリオ」）、現状を維持するか、状況を少しだけ改善するにすぎないと考えている。

2045年の韓国のイメージ: 現状シナリオと改善シナリオの比較

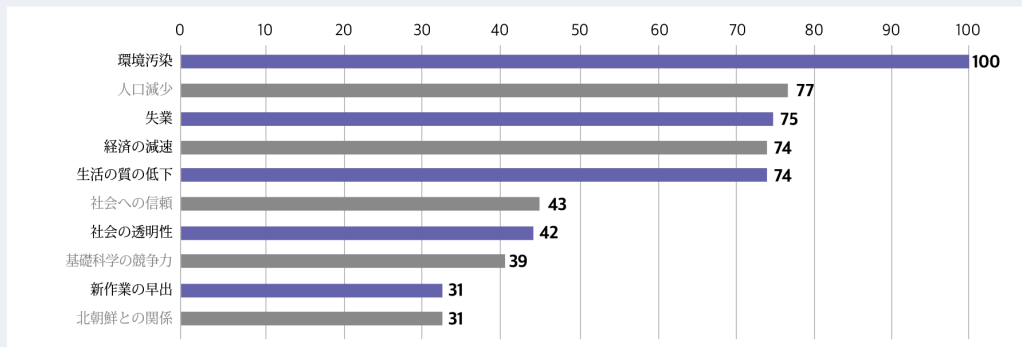


注：回答者が「大幅に悪くなる」から「大幅に良くなる」までの5つの項目の中から選択した結果を、100のスケールに変換（「現在と同じ」=50）

2045年までに韓国が取り組むべき緊急課題

私たちが理想とする未来の韓国を実現するため2045年までに取り組むべき緊急課題として、環境汚染（100）、人口減少（77）、失業（75）、経済の減速（74）、生活の質の低下（74）、社会への信頼（43）、社会の透明性（42）、基礎科学の競争力（39）、新産業の創出（31）、北朝鮮との関係（31）が引用された（括弧内の相対スコア）。

2045年までに韓国が取り組むべき緊急課題 (top 10)

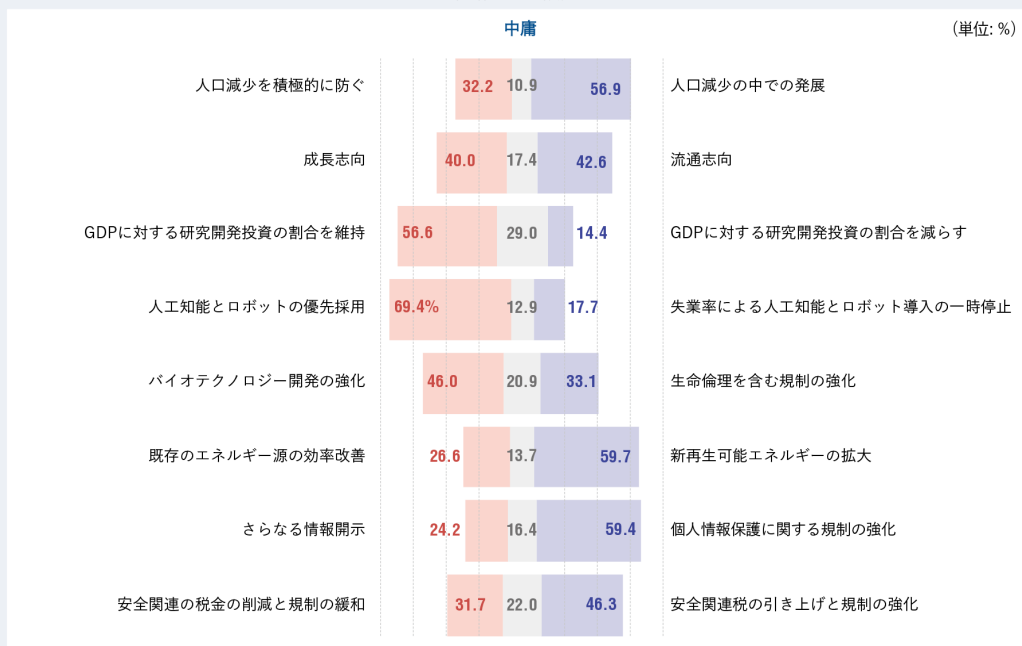


注：相対スコア（「環境汚染」＝100）

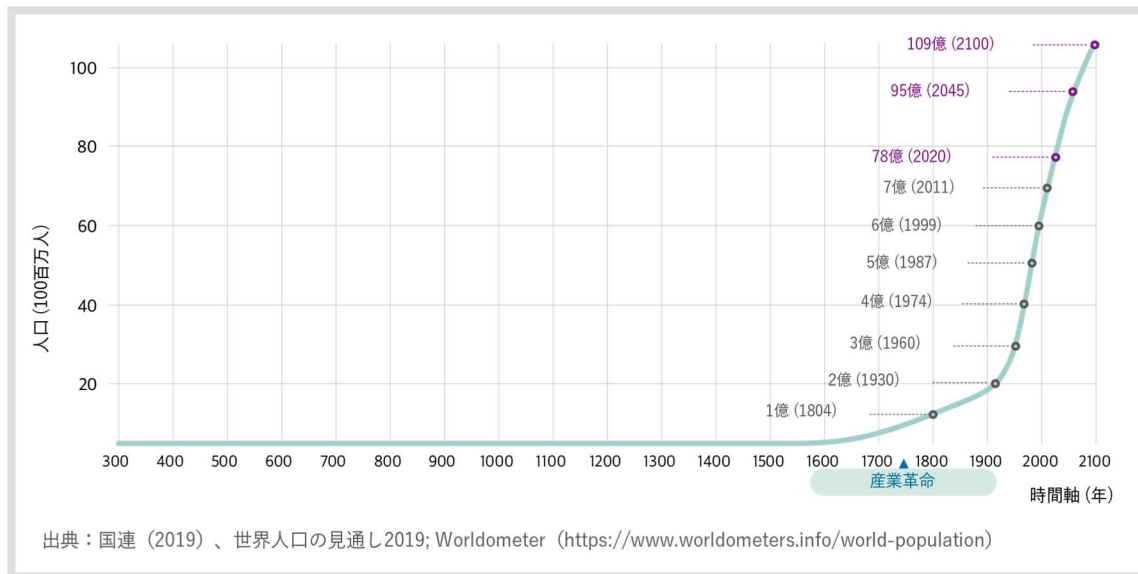
戦略選択の傾向

「人口減少の中での発展」（56.9%）、「GDPに対する研究開発投資の割合を維持」（56.6%）、「人工知能とロボットの優先採用」（69.4%）、「バイオテクノロジー開発の強化」（46.0%）、「新再生可能エネルギーの拡大」（59.7%）、「個人情報保護に関する規制の強化」（59.4%）、「安全関連税の引き上げと規制の強化」（46.3%）がそれぞれ好ましい戦略とされた。「成長志向」（40.0%）と「流通志向」（42.6%）を好ましいとした人はほぼ同じであった。

戦略選択の傾向



世界人口の長期的な傾向

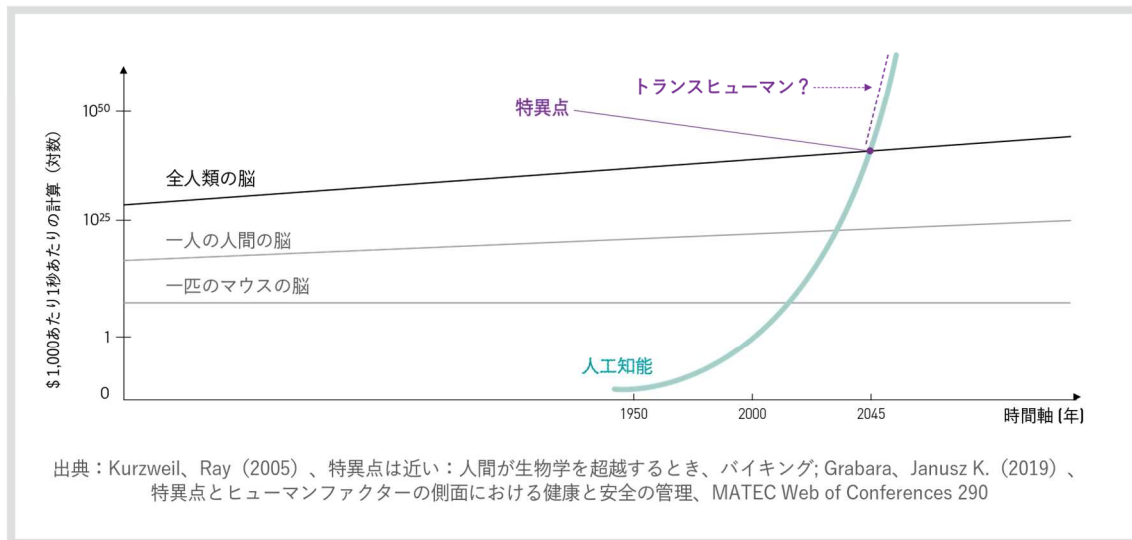


現在の状況が続くと、65歳以上の高齢者の割合は2017年の13.8%から2045年には37.0%に増加し、世界で最も高齢者の多い国となる[9]。医療技術の進歩にもかかわらず、心血管疾患、癌、糖尿病、認知症など、依然として難治病がある。韓国では、2017年に2つ以上の慢性疾患を持つ65歳以上の高齢者の割合が73.0%に達した[10]。将来的には、全人口の過半数を占める高齢者が、長い残りの人生をどうやって健康に過ごすかが深刻な社会問題となるだろう。

次のメガトレンドは、新技術の出現と産業パラダイムの変革である。技術的特異点(Singularity)（人工知能の合計が人間の知能の合計を超える時点）は、2045年までに発生すると予測されている[11]。それが起こるかどうかわからない、いつ起こるのかを判断するのは難しい。しかし、インターネット（1989年にワールドワイドウェブが開発された）とスマートフォン（最初のiPhoneは2007年に発売された）が、それぞれ30年と10年でいかに私たちの生活を変えたかを考えてみれば、今後20年から30年の間に人工知能の開発が私たちの生活や産業に与える影響が非常に大きいことは確かである[12]。将来的には、人類はより論理的に考え、人工知能をより生産的に活用することで、既存の産業の効率を高め、新しい産業を創出するであろう。

近年、バイオテクノロジーは急速に発展している。イノベーションが医療および製薬産業（いわゆる「レッドバイオ」）、農業および食品（「グリーンバイオ」）、環境、エネルギー、材料（「ホワイトバイオ」）、および海洋（「ブルーバイオ」）を含む幅広い分野で行われていることを考慮すると、バイオエコノミーがまもなく実現することが期待できる。機械、電気、デジタル技術が過去にくつつかの産業革命をもたらしたように、生物学、エネルギー、材料、製造、またはその他の未知の技術は、新しい産業パラダイムを引き起こし次の産業革命を生み出す可能性がある。

技術的特異点



3つ目のメガトレンドは、世界経済の長期的な減速と新興国の台頭である。先進国の経済成長が停滞し、中国やインドなどの開発途上国の経済成長が鈍化する中、世界経済の低成長は長期的に続くと言われている。OECDは、世界経済の成長率が2018年の3.5%から2060年には2%に低下すると予測している[13]。

さらに、2020年に世界を襲ったCOVID-19により、私たちは第二次世界大戦以来最悪の不況に見舞われている。世界銀行は、2020年の世界経済成長率を-5.2%と予測し、不況はさらに悪化すると警告した。一部の国では、COVID-19への対応が遅れ、景気後退が発生している[14]。世界経済の長期的な減速と国家間の成長の不均衡は、貿易紛争や世界的な金融危機などの深刻なリスクをもたらす可能性がある。

多くの研究機関によると、北米とヨーロッパを中心とした世界経済のリーダーシップは、近い将来に再形成され、アジアが世界経済のより大きなシェアを占めると言われている。しかし、韓国は経済力の低下を非常に懸念している。人口と国民一人当たりのGDPは数十年にわたって増加しているものの、人口、特に労働年齢人口が減少するにつれて、将来的にはそれらの継続的な増加は見込めないとされる。国民一人当たりのGDPが大幅に増加しない限り、GDPの成長について楽観視することはできない。生産性の向上、産業構造の変化、グローバル・バリューチェーンにおける地位の向上を通じて国民一人当たりのGDPを増加させることは、韓国経済にとって極めて重要である。

4番目のメガトレンドは、気候変動、環境汚染、資源枯渇、感染症の恐れである。現在の気候変動の傾向が続くと、楽観的なシナリオでも、世界の地表気温は1850年から1900年に比べて、2045年には1.5から2°C上昇すると予想されている[15]。それは人類の生存にとって大きな危機となりうる。たとえば、気候変動によって海面が上昇すると、沿岸都市が破壊され、世界地図が今日とはまったく

異なったものになってしまう。大規模な台風や干ばつなどの災害は、さらに頻繁に発生するだろう。さらに、都市化と工業化が進むにつれて、粒子状物質を含む大気汚染物質、家庭廃棄物、産業廃棄物、有害化学物質の排出が増加するだろう。

将来、人口増加や経済成長などにより、世界的に水、食料、エネルギーの不足が深刻化するだろう。これらの3つの問題は密接に関連している（水-食料-エネルギーのつながり）。その中の1つだけを解決しようとする、他の問題が悪化する可能性があるため、統合されたアプローチが必要である。たとえば、食糧不足を緩和するために農業生産量を増やすと、それに比例して水とエネルギーの使用量が増え、水とエネルギー不足の悪化をもたらす。

資源の枯渇と生物多様性の喪失も重要である。2018年の時点で確認されている石油埋蔵量は1.7兆バレルであり、これは世界で使用する約50年間分に相当する[16]。石油探査技術の進歩により確認埋蔵量は増加しているが、最終的には石油が枯渇することは避けられない。一方、生物多様性の喪失は生態系の安定性を損ない、食料、薬、エネルギーなど自然から受けるさまざまな恩恵を減少させ、最終的には人類の生存をも脅かす。

人類の生命を脅かすもう一つの要因は感染症である。過去にはさまざまな種類の感染症があった。しかし、2003年のSARS、2009年の豚インフルエンザ（パンデミック H1N1 / 09）、2015年のMERS、2019年のCOVID-19の場合に見られるように、今日ではさらに頻繁に発生し、さらに広く広がっている。新型インフルエンザのワクチンの開発には、通常10年以上かかるため[17]、感染症の発生後に対応するだけでは不十分である。ワクチンや治療法の開発をいかにスピードアップするかは、今後の社会において重要な問題となるだろう。

最後に、5番目のメガトレンドは政治的および社会的紛争である。ほとんどの国は過去にグローバリゼーションをめざした。しかし、グローバリゼーションによる不平等に苦しんでいる国々は、現在、自国の利益を優先するように動いており、非グローバリゼーションを求めている。世界の政治情勢が単極システムから多極システムに移行するにつれて、超大国間の紛争は激化している。さらに、近隣諸国間の紛争、テロ、大量破壊兵器が世界平和を脅かしている。世界の政治情勢の変化と近隣諸国のダイナミクスの中で、南北関係を改善し、統一を達成することは、韓国の重要な役割である。

韓国は社会紛争も解決すべきである。最近の調査によると、人々はさまざまな社会的葛藤が深まっていることを懸念している[18]。人々は、保守派と進歩派の間、金持ちと貧乏人の間、従業員と雇用主の間、開発と環境保全の間、高齢者と若者の間、そして大都市圏と他の州の間の対立が特に深刻であると認識している。

「アンナ・カレーニナ原則」は、目標を達成したい場合はすべての条件が満たされている必要があり、いずれかの条件に欠陥がある場合は目標を達成できないというものだ[19]。この原則は、わが国の将来にも当てはまるかもしれない。私たち全員が夢見る理想の国家に将来の世代が住むためには、私たちに与えられた好機を無駄にせず、至る所に潜むすべてのハードルを克服しなければならない。これまでの成果に満足するのではなく、長期的な視点で積極的に将来に備えていく必要があるのだ。

我々がめざす韓国の未来

韓国の現状、前政権が策定した戦略の未来社会イメージ、人々がどんな未来を望むのかという調査結果、社会的、技術的、経済的、環境的、政治的メガトレンドについて議論してきた。これらすべてのことを考えると、実現の仕方については意見が違うかもしれないが、私たちが理想とする未来の社会を想像することができる。私たちは韓国がめざすべき理想の未来は、次のようなものであると考えている。

まず、安全で健康な社会であることは必要不可欠である。科学技術を有効に活用することで、気候変動や環境汚染など自然環境の急激な変化という危機を乗り越え、感染症や災害など人類の生存を脅かす要因に対処する。そして、やがて来る超高齢社会に備えて、不治の病の治療と予防医療技術を進歩させ、生涯にわたって病気のない健康的な生活を実現する。

第二に、豊かで便利な社会。世界的デジタルテクノロジー大国の一員として、韓国は高付加価値産業を創出し、水、食料、エネルギーなどの不足を解決することで世界をリードしていく。人工知能、ビッグデータ、バーチャルリアリティなどの最先端技術により、社会では生活のさまざまな分野でパーソナライズされたサービスが拡大し、複雑な都市環境であっても移動の速度と利便性が向上する。水、エネルギー、輸送、電気通信などの社会インフラと、教育、医療、公安、行政などの公共サービスが十分かつ効率的に提供される。

第三に、公平かつ信頼できる社会。デジタル・インフラと市民社会の相互尊重に基づいて、活発なコミュニケーションと議論が行われ、その結果、社会的信頼と透明性が強化される。機会はすべての個人と企業に公平に与えられ、社会的葛藤は性別、階級、地域、イデオロギーなどに基づく差別を解決することによって軽減される。

最後に、私たちは韓国が人類全体の社会に貢献することを望んでいる。統一された韓国は、優れた科学技術の成果を生み出し、それを世界の他の国々と共有する。特に、気候変動、食糧不足、感染症など、人類が抱える共通の問題の解決に貢献したいと考えている。

「イノベート・コリア 2045」では、国民経済の成長だけでなく、個人の生活の質も国の主要な目標であるべきだと定義しています。すべての人々が質の高い生活を享受すべきであり、公平性、平等、信頼を含む社会的価値が、生活の質を高める点において重要であることが広く認識されるべきだと、私たちは考えている。また、国家の名声を高めるということについて、より視野を広げるべきであると考えます。私たちは、他国よりも優れているだけでなく、人類が直面している問題の解決策で世界に貢献することによって、国家の名声を高めることができるのである。

2-2. 科学技術の未来

私たちは、科学技術を社会の変化の中心とする世界に住んでいる。蒸気機関、電気、コンピューター、インターネットは人間の生活を完全に変え、人工知能、量子コンピューティング、水素エネルギー、精密医療などによって、近い将来、革命的な変化がもたらされることだろう。科学技術の可能性を十分に理解し、それらを有効に活用すれば、これまで想像もできなかったような巨大な力を手に入れることができる。

科学技術は繋がりがあい拡大しながら発展し続ける

科学技術の未来は、「つながり」と「拡張」というキーワードで理解できる。これからの社会では、ますます多くの人と人、人間と物体、物体と物体が、センサー、通信ネットワーク、および人工知能といったデバイスを含むデジタル技術と相互に接続されるようになるだろう。ターゲットに接続していれば、ターゲットに関するデータを収集し、ターゲットの過去、現在、未来をよりよく理解できる。ターゲットのデータを収集して分析することで、ターゲットの現在の状況を特定し（説明）、将来の状況を予測し（予測）、適切な対応を提案する（処方箋）ことができる。たとえば小規模な例を挙げると、冷蔵庫やエアコンをホームネットワークに接続して、最適な温度と湿度を維持することができる。大規模な例でいうと、都市のインフラ全体をセンサーネットワークに接続して、都市で発生する可能性のある事故や災害といった異常な状況を予測して対応することができる。

科学技術によって、私たちは未知の新しい分野を見つけることができ、人類の知的領域を拡大することができる。科学者やエンジニアは、人間と自然に対する理解を深め、人々の生活を向上させるために多くの課題に取り組んでいる。生命の秘密を解き明かし、平均余命を延ばし、人間の意識の原理を発見することができる。新しい装置や乗り物を発明し、食品や製品、エネルギー源の新材料を開発することができる。そして彼らは、宇宙や地球上の新天地を探索することができる。このように、科学技術は未来の人類の可能性を拡大する上で重要な役割を果たすのだ。

つながりと拡張という2つの概念は、相互に関連しており、一方が他方を促進する相互好循環を形成する。科学技術がつながりとデータ分析によって問題解決能力を強化すれば、新しい知識を創造したり、新しい材料、装置、空間を発見したりすることによって科学技術のさらなる発展（拡大）を促進する。人類の活動範囲が、新しい知識、材料、設備、そして空間において拡大されれば、私たちは新しいつながりを持ち、新しいデータを再び確保することができる。このつながりと拡大の好循環が続く中、科学技術は永遠の進歩を遂げるであろう。

科学技術は不可能を可能にする力

科学技術がつながりと拡大を通じて発展し続けるにつれて、能力はさらに増大し、適用範囲が広がり、現時点で不可能なさまざまなことが可能になり、私たちの生活は全く異なったものになる。未来の私たちの生活は、次のようになるだろうと想像することができる。

人類の身体的側面に関しては、1990年に始まり2003年に完了したヒトゲノムプロジェクトにより、人類の遺伝的特徴を理解することができた[20]。当時、ヒトゲノムの分析には約13年と27億ドルを要した。しかし、最近の分析技術の進歩のおかげで、1日か2日、100ドル未満のコストで同様のことが可能になった[21]。ゲノム解析で個人の遺伝的特徴を理解し、体にさまざまなセンサーを取り付けて現在の体調を知ることができれば、病気を正確に診断するだけでなく、事前に予防することもできる。さらに、合成生物学の進歩により、人工の組織や臓器を作り、それを人体に応用することが可能になり、人間の寿命を大幅に延ばすことができるのである。

人間の精神面に関しては、人間の脳の構造や機能をより深く理解することができ、認知症などの精神疾患を克服する道が開かれる。関連する活動には、欧州連合のヒューマンブレインプロジェクトや、2013年以降の米国の革新的ニューロテクノロジー（BRAIN）イニシアチブによる脳研究が含まれる。人工知能の助けを借りて、現在の知的能力の限界をはるかに超えることができる。未来の人類の知的能力は、人工知能とのコラボレーションや、人間と人工知能を組み合わせたコラボレーション・インテリジェンスの活用によって大きく異なるものになるだろう[22]。

人間の社会的側面に関しては、科学技術は人と人、そして人間と物の間の関係性を変えるであろう。データ送信速度が高速化し、現実とほぼ同じとみまがう仮想現実が発達するにつれて、人と人との関係はますますオンライン通信に依存するようになる。学校、企業、病院など、以前は対面することが前提だった組織がさらに仮想化され、現実世界とサイバー世界の境界線が曖昧になる。デジタル・ネットワークを介して相互につながった人類と物体は、お互いをよりよく理解し、やりとりするようになる。たとえば、人はスマートフォンやその他のウェアラブル・デバイスを使用して、家や家電製品の状態を外出先から知ることができ操作できる。それどころか、家やデバイスは所有者の好みを学習し、自律的に動作して快適な状態にし、いつ修理が必要かということまで分かるのだ。

空間的側面に目を向けると、輸送技術の開発はモビリティの利便性を高め、人類の活動範囲を大幅に拡大する。いまだ多くのハードルが残ってはいるものの、自動運転技術は20年から30年で劇的に進歩し、交通事故や人の運転の負担を軽減するだろう。最大時速1200kmの超音速で真空トンネルを走る「ハイパーloop」列車は、世界中の都市間をすばやく移動することを可能にし、アジアと世界の生活圏を拡大するだろう。さらに、人類の活動範囲は、地球上の限られた領域から深海、極地、そして宇宙へと拡大するだろう。

自然環境の面では、科学技術は、環境にやさしい経済システムを実現することで気候危機を克服するのに役立つ。現在、グリーンエネルギーはエネルギー源のごく一部を占めているにすぎないが、将

来的には太陽光発電と風力発電が大幅に増加するだろう。核融合発電が開発されると、人類はエネルギー枯渇の問題を完全に解決することができる。

科学技術によって、災害のリスクを最小限に抑えることもできる。スーパーコンピューターと数値モデリングの開発により、予測の精度が大幅に向上し、気候変動や異常気象による災害の予測と準備が可能になるだろう。人工降雨または降雪、霧の減少、雹の制御、台風を消し去り、弱めるなど、さまざまな気象制御技術を開発することができる。

もちろん、科学技術の進歩は人間にユートピアをもたらすだけではない。誤動作やハッキングによる社会システムの麻痺、人工知能やロボットによる人間の仕事の置き換えによる社会的葛藤、機械による人間の支配の可能性が懸念されている。そして、ある特定の階層の人々だけが、遺伝子編集や人工知能などの新しいテクノロジーのメリットを享受するならば、新しい技術を利用できる人々と利用できない人々の間の不平等がさらに拡大する。しかし、私たちは科学技術を恐れて、それを避けてはならないのだ。リスクを考慮しつつ、科学技術を最大限に有効活用することが私たちの役割である。

2-3. 科学技術の展望

科学技術力は、天然資源が不足している韓国にとって、将来に備えるための貴重な資産である。科学技術の可能性を探究し、有効活用して、私たちが理想とする未来を実現しなければならない。

1999年に設立された「ビジョン 2025」は、「21世紀の第1四半期に、科学技術の競争力を世界レベルに引き上げることで先進国の一員となる」ことを目標とした。2010年に発表された「ビジョン 2040」は、科学技術分野での目標を「生命の価値を高め、夢を実現できる社会の実現」と定めている。

「イノベート・コリア 2045」は、科学技術分野における長期ビジョンとして「生活の質を向上させ、経済成長の質を高め、人類社会に貢献するための科学技術」を定義している。それは、私たちが理想とする韓国の未来を実現することである：安全で健康な社会、豊かさと便利さの社会、公平と信頼の社会、そして韓国が人類社会全体に貢献することである。韓国の次の100年に備えるために、私たちは人々の生活の質の向上、経済成長の質の向上、そして過去の急速な成長の過程で比較的軽視されていた人類社会全体への貢献に重きを置くものである。これらの3つの目標は互いに密接に関連している。たとえば、韓国の人々の生活の質を向上させる技術は、世界の問題の解決に貢献し、私たちの経済を強化するための成長エンジンになりうるのである。

「イノベート・コリア 2045」の重要なメッセージは、私たちが理想とする韓国の未来を実現するために、挑戦と変革を推し進めなければならないということである。不可能を可能にするためには、つながりと拡大を通じて発展し続ける科学技術を有効に活用しなければならない。生活の質を向上させ、経済成長の質を高め、科学技術で人類社会に貢献するためには、未来の社会問題に挑戦し、科学技術政策を変える必要があるのだ。

3. 2045 年に向けての科学技術戦略

3-1. 私たちの未来とビジョンを実現するための科学技術課題

「生活の質を向上させ、経済成長の質を高め、人類社会に貢献する科学技術」というビジョンを実現し、私たちが理想とする未来に到達するためには、未来の社会課題に取り組む必要がある。今後、どのような課題に直面するだろうか？この問いに答えるには、人々の生活、国民経済、そして人類社会の未来を想像しなければならない。そのため、この章は未来社会についての質問から始めよう。有意義な質問をするために、人々が期待する未来、メガトレンドの文学や空想科学小説の映画やアニメーションが描く未来、そして他の国々が予測する未来を調査した。

まず、韓国の人々が想像する未来を探るため調査を行った。たとえば、2045 年に理想とする未来社会を実現するためにどのような問題を解決する必要があるかという質問に対して、人々は、まず、環境汚染、人口減少、失業、経済の減速、生活の質の低下に対処する必要がある、と答えた。

また社会的、技術的、経済的、環境的、政治的に注目すべき世界のメガトレンドを分析した結果、主要なメガトレンドには、人口の変化による多文化化と高齢化、新技術の出現と産業パラダイムの変革、世界経済の長期的な減速と新興国の台頭、激しい気候変動、環境汚染、資源の枯渇、感染症、そして政治的および社会的紛争が含まれていた。未来をより詳細に想像するために、SF 映画やアニメーションで描かれた画像も参照した[23]。

最後に、韓国以外の社会が想像する未来を見るため、他の国々の未来戦略を参照した。概して、多くの国々では、健康（ヘルスケア、高齢化、医療、福祉）、気候変動（緑化、エネルギー）、製造革新（スマート生産、製造復活）、およびより便利な輸送手段（モビリティ）を重要視している。一部の国では、食料、宇宙、人工知能にも関心を向けている。

専門家の意見を基にこれらを総合し、8 つの質問を選択した。それぞれの質問に対する答えを探す過程で、私たちは世界がやがて直面するのであろう科学技術課題を特定することができる。

次々とやって来る危機の中、人類は生き延びることができるのか？

異常気象や災害は、人類の生命を脅かす。さらに感染症は、人々の移動手段の向上や環境破壊といったさまざまな要因により、世界中で急速に出現し、拡大している。人類の存続と生活の質は、将来これらの要因にどのように対処するかにかかっている。

気候変動により海面が 1m 上昇した場合、世界や我が国に何が起こるのか？

新たなウイルスや変異したウイルスが出現し続けたら、人類は対処できるのか？

気候変動は世界中で異常気象を引き起こしている。世界の平均気温は、産業革命前よりもすでに約1°C高くなっている。この傾向が続くと、2045年には現在よりも0.5~1°C高くなると予想される[24]。世界の平均気温が現在よりも1°C上昇した場合、頻繁な干ばつ、氷冠の大幅な消失、約5000万人の水不足、陸生生物の約10%の絶滅など、深刻な被害が発生しうる。[25] 実際、地震、台風、洪水などの自然災害は世界中で頻繁に発生しており、大規模な死傷者を出している。2004年のスマトラ沖地震と津波、2010年のハイチ地震では、それぞれ約23万人と10万人が亡くなった。

さらに、新しいウイルスや変異したウイルスによって引き起こされる感染症が蔓延しており、人類の生存を脅かしている。たとえば、2020年のCOVID-19のパンデミックは世界をほぼ麻痺させ、3000万人以上の患者と100万人以上の死亡をもたらした（2020年9月末現在）[26]。問題は、これらの感染症の原因となるウイルスの正体はわかっているにもかかわらず、ワクチンや治療法の開発には時間がかかることである。常に感染症が蔓延する前に感染症を発見し、適切な対策を講じる必要があるのだ。

今後は、人工降雨や台風の進路制御など、気候変動に対応し、気象を制御できる技術の開発に積極的に取り組むべきである。また、さまざまな災害が発生する前に予測して対処し、ロボットなどを活用して迅速に被害を復旧できる体制を構築しなければならない。新たな変異感染症を早期に発見し、蔓延を防ぎ、治療するための診断機器、監視システム、ワクチン、治療法の開発を推進する必要があるのだ。

私たちは、環境汚染を減らし文明を持続させることができるのか？

文明の発達に伴い、家庭廃棄物や産業廃棄物が増加している。また、原子力発電は、現在の技術では完全に処理することが難しい放射性廃棄物を放出している。家庭廃棄物、産業廃棄物、放射性廃棄物の問題を解決できなければ、私たちが今日享受している生活水準、さらには人類の文明は将来的に持続可能ではなくなるのだ。

プラスチック製品が増え続け、分解しなければ、いつか私たちの生活空間全体を覆ってしまうのか？

2回目のチェルノブイリ事故または2回目の福島事故は、地球上の私たちの生活を破壊するのか？

かつて「20世紀の奇跡の素材」と呼ばれていたプラスチックは、その耐久性と耐劣化性により、深刻な環境汚染を引き起こしている。材料の成分にもよるが、日常生活でよく使う使い捨てのビニール袋は、自然の中で分解するのにおよそ10年から20年かかると言われている。特に、プラスチック廃棄物が分解してできるマイクロプラスチックは、私たちが食べたり飲んだりする食べ物や水、さらには空気中にも存在し、人々の健康を脅かしている。

原子力発電は、石油などの化石燃料の使用によって引き起こされる気候変動に対処する、主な代替手段の1つである。他の選択肢に比べて安価で豊富な電力を供給し、太陽光発電とは異なり、24時間

稼働できる。しかし、放射性廃棄物のリスクにうまく対処できなければ、経済的利益がどれほど大きくても、原子力を利用し続けることは合理的ではない。原子力発電で生み出される放射性廃棄物を安全に処分する技術が必要である。

今後は、環境汚染を低減するために、プラスチック廃棄物を可能な限り再利用・循環させる必要がある。また、プラスチックに取ってかわる環境にやさしい素材を積極的に開発しなければならない。放射性廃棄物を安全に保管・処分することにより、核技術を持続的に活用する方法を模索する必要がある。そして、新しい持続可能なエネルギー源を確保するための大きな目標として、核融合技術の開発に挑戦するべきである。

人類は何歳まで健康に生きられるのか？

病気にならずに長生きすることは、人類が太古の昔から持っている最も基本的な欲求である。科学技術の発達により、平均寿命は大幅に伸びた。一部の科学者は、人間は 100 年を超えて 150 年まで生きることができると主張している。しかし、平均余命を延ばすのと同じくらい、病気のない健康的な生活を送ることは価値があることである。私たちがまだ克服していない病気はいまだたくさんある。病気を予防でき、早期に発見して適切に治療できれば、一生病気に苦しむことなく生きることができるかもしれない。

長寿の時代に、がんや認知症を気にせずに暮らせるだろうか？

将来的には、病気になった後に治療するのではなく、病気になるのを予防して全く病気にならないことができるだろうか？

人々は、韓国で最も多い死因である癌を恐れている[27]。遺伝性疾患は患者にとって苦痛であり、社会的費用は高くつく。糖尿病、高血圧、心血管疾患などの慢性疾患も、不規則な食事、睡眠不足、飲酒などの現代のライフスタイルのために継続的に増加している。

健康的な生活を送るためには、認知症やうつ病など、脳に関連する病気を克服する必要がある。韓国は 2045 年までに世界で最も高齢者人口の割合が高いと予想されているため、認知症の患者数は 2050 年には 300 万人を超えると予想されている[28]。特に 20 代の精神障害患者は年々増えている。

将来的には、患者の細胞や遺伝子を使った個別の治療を通じて、がんや遺伝性疾患などの難病を克服するだろう。また、病気を早期に発見し、予防医療技術によって手遅れになる前に治療できるようになる。さらに、脳の構造と機能を調べ、さまざまな脳疾患の原因を分析して、効果的な治療法を見つけるだろう。

人間の身体的・知的能力はどこまで発達することができるのか？

多くの SF 映画は、現在の人類の限界を超える新しい種類の人間を登場させている。未来学者は、トランスヒューマニズムの時代は、人間の脳を模倣する物理的能力と、人工知能を回復・強化する技術の開発とともに到来すると予測している。トランスヒューマニズムとは、科学技術を使用して、身体障害を克服するだけでなく、人間の身体的および知的能力を向上させるという考えである。それはもはや遠い未来ではなく、今日でもさまざまな科学技術が世界中で開発されている。

SF 映画の超人は実現可能なのか？

未来の社会では、私たちは人工知能秘書の助けを借りつつ暮らすのか？

健康な体は幸せな生活に欠かせない要素である。体の一部が動かなかったり、正常に機能しなかったりすると、生活の質に大きなダメージを与える。オーグメンテッド・ヒューマン（AI と人体科学の融合による人機一体）の技術は、障害、事故、および老化によって低下した身体能力または損傷した体組織をほぼ正常なレベルに回復させることができる。さらに一般人にとっては、重いものを簡単に持ち上げるなど、通常の状態ではほとんど不可能な作業を簡単に行うことが可能になる。

今日、機械は人間の労働者に代わって製品を製造したり、人間に変わって難しい計算もしてくれている。将来的には、単純で反復的なタスクを引き受けて二次的な役割のみならず、創造的なタスクも実行し、主導的な役割を果たすだろう。一部の未来学者は、人工知能が人間の知能を超えて発達する特異点の時期が 2045 年に来ると予測し、技術の開発が加速しているためタイミングが早くなる可能性があると主張する人もいる。

我が国は他国に比べ高齢者人口の割合が高いため、高齢化によって低下した身体能力の回復と強化は、生活の質を向上させる上で重要な課題となるだろう。人工知能をどのように開発し、さまざまな分野で有効に活用するかは、将来、豊かで便利な生活を実現するための最優先事項である。

生きるために不可欠なものを確保し続けられるのか？

食物は人類が生きていく上で必要不可欠な要素の 1 つである。人口の増加と世界の経済成長により、食品やその他の農産物の需要は増加し続けている。国連食糧農業機関（FAO）によると、世界的な需要を満たすために、2050 年には、2012 年よりもほぼ 50% 多い食料、飼料、バイオ燃料などの農産物を生産する必要がある[29]。韓国では食料自給率が 50% 未満であるため、食料安全保障を真剣に検討する必要がある。突然の干ばつや寒波が世界的な食糧危機を引き起こしたり、感染症の蔓延が国際貿易の混乱を引き起こしたりすると、食糧輸入は重大な問題となるのだ。

2045年には世界で100億人が何を糧に生きるのだろうか？

将来、石油がなくなったら、次のエネルギー源は何だろうか？

地球上の資源の枯渇は、長年の課題の1つである。2019年の時点で、人類は地球が毎年生産できる量の1.7倍の資源を消費している[30]。人類が現在と同じ量の資源を消費し続けるならば、私たちは2045年までに地球と同じくらい多くの資源を持つ惑星を宇宙で発見し、開拓しなければならないかもしれない。

資源を商品に変えるものづくりも、人類の存続のための基本となる重要な活動である。同じ量の資源でどれだけの価値を生み出すことができるかによって、世界の資源効率と持続可能性が決まる。韓国経済は過去半世紀にわたって製造業を基盤として成長してきた。2018年の韓国のGDPの製造業部分は約27%であり、OECD加盟国の中で最も高い[31]。したがって、将来的には製造生産性の向上が重要な課題となる。

エネルギー資源は私たちの生活の原動力である。エネルギー源は、第一次産業革命の石炭と第二次産業革命の石油と電気から、太陽光や風力を含む再生可能エネルギーへと発展してきた。人類の新しいエネルギー源を確保することは文明の進歩をもたらしたが、限られた天然資源の使用は地球の持続可能性を損なう結果になった。石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料は、温室効果ガスの排出と大気汚染を引き起こし、近い将来に枯渇するであろう。したがって、長く使える新しいクリーンエネルギー源を見つけなければならないのである。

人類の存続と国民経済の繁栄のためには、モノのインターネット（IoT）、ビッグデータ、人工知能を組み合わせ、農業と製造業の生産性を高めるイノベーションを追求する必要がある。さらに、環境に優しく持続可能なエネルギー源を見つけ、エネルギーをより効率的に使用することが不可欠である。

未来の車はどんな形になるだろうか？

私たちの生活圏がどこまで拡大するかは、移動にどれだけ時間がかかるかということと深い関係がある。1970年に京釜高速道路が開通したことで、韓国内どこへでも1日で行けるようになった。2004年のKTXは、移動時間を半日に短縮した。将来、新しい高速車が開発されたら、アジア、そして世界でさえ、1日または数時間で行けるようになるかもしれない。一方、未来の車は、大気汚染が少なく自動運転などの安全で便利な機能を搭載し開発されている。さらに、さまざまなモビリティ共有サービスにより、都市の混雑が緩和され移動時間が短縮されるのである。

将来、地球上のどこへでも1日で行けるようになるだろうか？

すべての車が自律している世界では交通事故はなくなるのか？

未来の超音速または極超音速機は、時間的・空間的制限を克服するのに役立ち、大きな社会経済的波及効果をもたらす。たとえば、ソウルからニューヨークまで2〜3時間で移動できれば、仕事やレジャーなど、人々の生活に劇的な変化をもたらし、新たな経済活動が生まれる。そのような世界では、人や物は自由に動き、「経済の境界」はほとんどなくなるだろう。

気候変動に対応するため、ほとんどの国で環境規制が強化されるため、将来的にはガソリン車は電気自動車や水素自動車などの環境に優しい車に置き換えられる。自動運転車が開発されれば、ドライバーのミスによる交通事故を減らし、渋滞や運転の負担から解放されるだろう。空飛ぶ車でさえ出現するかもしれない。

韓国は対外貿易に対して開放経済であるため、世界の国々と近くなればなるほど経済成長の可能性は大きくなる。したがって、数時間以内に世界中の国々に行くことができるという目標を設定し、ハイパーループや極超音速機などの高速車両の開発に積極的に挑戦するべきである。また、交通事故、渋滞、大気汚染のない未来のために、自動運転車、空飛ぶ車、水素自動車や電気自動車などのグリーンでスマートなモビリティテクノロジーを推し進めていく必要があるのである。

未来の世界では人々はどこでどのようにコミュニケーションをとるのだろうか？

オンライン・コミュニケーションは私たちの生活に欠かせないものになっているが、オフライン・コミュニケーションに比べるとコミュニケーションの質はまだ不十分と言わざるを得ない。オンライン・コミュニケーションの現実感を高める技術は、生活の質を大幅に向上させる。さらに、人と人、人と物、物と物の間のコミュニケーションをより緊密にできれば、私たちの世界をよりよく理解することができる。もちろん、効果的かつ効率的な通信のための必須の前提条件は、安全なネットワークである。

現実世界と仮想世界の区別が難しくなったら、私たちの世界はどうなるだろうか？

未来の社会は、個人データの漏洩や音声フィッシングをどのように解決できるだろうか？

ソーシャルネットワーキングサービス（SNS）やインターネットメディアを介したオンライン・コミュニケーションが、対面コミュニケーションに徐々に取って代わっている。COVID-19の危機は、非対面・非接触社会への移行を加速させている。したがって、コミュニケーションの有効性を高め、サイバースペースでのエクスペリエンスを向上させるテクノロジーが必要である。将来的には、高度

な通信技術によりコンピューターや家電製品などの機械を私たちの心でコントロールし、動物と話すことさえ可能になるかもしれない。

オンライン・コミュニケーションにより、人と直接会わなくても、いつでもどこでも意見やデータを交換することができる。しかし、偽造、改ざん、詐欺、ハッキングなどのリスクがあるため、通信の信頼性とセキュリティは比較的弱いと言わざるを得ない。世界でのサイバー犯罪被害は、2015 年の 3 兆ドルから 2021 年には 6 兆ドル以上に増加すると予想されている[32]。今後、オンライン通信とトランザクションが増加し続け、サイバーセキュリティがさらに重要となる。特に、自動運転車のハッキング、仮想資産の偽造、発電システムのハッキングなどのマクロレベルの犯罪は、個人データのハッキングを含むミクロレベルの犯罪と同様に増加する可能性がある。

近い将来、非対面社会への移行に対応し、サイバースペースでの効果的・現実的なコミュニケーションを確保しなければならない。私たちは、現実とみまがうような仮想世界を作り出す仮想現実技術、6G、7G、次世代標準の高度な通信ネットワークやセキュリティ技術を開発する必要がある。脳波による通信の開発にも挑戦することができる。また、ブロックチェーンや量子暗号などを利用して、安全で信頼できる社会を構築することも不可欠である。

人類は地球上や宇宙をどこまで開拓できるのか？

世界の人口は 1960 年の 30 億人から 2050 年には 97 億人に増加すると予想されている[33]。100 年以内は 3 倍以上になるかもしれない。地球はどのくらいまでの人口に耐えることができるだろうか？世界の人口が現在のペースで増え続けると、地球の限界を超え、環境破壊はさらに深刻になるだろう。人類は、さらなる資源と生活空間を得るためには、未知の領域を開拓し続けなければならないのだ。

私たちは、宇宙を探索して火星のような第二の地球を見つけることができるだろうか？

深海や北極・南極探索のためにどのような貢献ができるだろうか？

米国の米国航空宇宙局（NASA）は、2022 年に小惑星「16 プンケ」を探査することを計画している[34]。小惑星には約 1 万ドル相当の金属資源が含まれていると推定されている。これは 2019 年における世界の GDP の 10 万倍以上に相当する[35]。探査が成功すれば、その経済的価値は想像を絶するものとなる。そのため、他の国々は積極的に宇宙資源を占有しようとしている。宇宙産業は防衛部門と密接に関連しているため、国家安全保障の観点から、独自の技術を確認することが重要である。

多くの国々が公海の資源に注目している一国際法の下では誰の所有物でもないものである。島々をめぐる国境を越えた領土問題や、各国の排他的経済水域を拡大しようとする試みが頻繁に行われている。深海（地球大陸の 32 倍の体積）には、銅、ニッケル、希土類などの鉱物資源が豊富に存在してい

る。多くの国々が、極地において独自の基地を確保しようと競争している。極地には、原油や天然ガスなどの豊富なエネルギー資源がある。また、氷河から古代の大気環境を分析したり、微生物の痕跡を見つけるなど、さまざまな研究を行うことができるため、研究の面でも非常に価値があるのだ。

宇宙産業は開発に膨大な費用がかかる上、失敗する可能性も高いが、成功すれば莫大な経済的・社会的価値を生み出す可能性がある。韓国は宇宙探査分野では遅れをとっているが、私たちは宇宙技術開発に挑戦し続け、来るべき宇宙時代に備えなければならない。長期的な目標を設定し、深海や極地など地球上の未開の地を探索すべきである。

将来および科学技術の課題に関する質問

韓国の未来	疑問点	科学技術の挑戦
安全衛生学会	人類は次々と襲い来る脅威に直面しても生き残ることができるのか？	人類の生存を脅かす要因に対処する
	文明を持続可能なものにするために環境汚染を減らすことができるのか？	持続可能な文明のために環境汚染に対処する
	人類は何歳まで健康に暮らせるのか？	次世代の生物医学技術で健康的な生活を実現する
豊かで便利な社会	人間の身体的・知的能力はどこまで発達するのか？	人間の身体的・知的能力の拡大
	生存のために不可欠なものを確保し続けられるか？	農業、製造、エネルギーを革新する
	未来の車はどのような姿をしているか？	高速スマートモビリティで生活圏を拡大
公平で信頼できる社会	人々は未来社会ではどんなふうにコミュニケーションをとるのか？	安全で多様な通信チャネルと信頼性の高いネットワーク
人類社会全体に貢献する韓国	人類は地球上や宇宙をどこまで開拓していけるか？	人類生存のため未知の世界を探索する

注：便宜上、各チャレンジは1つの未来にのみリンクされているが、実際には、各チャレンジは複数の未来にリンクされている可能性がある。
たとえば、8つの課題すべてを「人類社会全体に貢献する韓国」と関連付けることができる。

3-2. 科学技術課題に対処するための政策変更

第3章の前半で提示した科学技術課題に対処するには、イノベーション・エコシステムを活性化させる必要がある。我が国の個人や組織が科学技術課題に取り組むのを援助するために、どのような政策変更を行うべきだろうか？この疑問に答えるには、私たちのイノベーション・エコシステムが将来どうなるかを想像してみる必要がある。そのため、この章の後半では、イノベーション・エコシステムに関する質問から始めよう。有意義な質問を提起するために、前政権による戦略で提示された目標と政策を確認し、イノベーション・エコシステムの現状を分析した。また、メガトレンドに関する文献や諸外国の未来戦略政策にも言及する。

はじめに、「ビジョン 2025」と「ビジョン 2040」で提示された目標が、現時点ですでに達成されているかどうかについて評価した。例えば、「民間主導の国家イノベーション・システム」、「研究開発投資の効率的な配分」、「長期的な市場創造のための技術開発」は、すでにある程度達成されている。しかし、「創造的かつ主導的な研究開発」、「グローバルな協力」、「科学技術志向の国家経営への移行」については今後も継続的目標とする必要がある。過去の戦略の定量的目標が達成されたかどうか分析した。科学技術研究開発に多額の投資を行い、優秀な研究者が豊富にいるが、世界をリードする研究成果を生み出すためには、研究環境とインフラをさらに改善しなければならない。

次に、イノベーション・エコシステムの現状に関しては、他の OECD 諸国と比較して、グローバル協力、民間部門に対する法的小よび制度的支援、および研究開発のパフォーマンスにおいて達成していなかった。科学技術の役割は、経済発展の支援だけでなく社会問題の解決へと拡大されるべきである。中小企業における研究開発効率を高めるために、さまざまな措置を講じる必要がある。また、地域のイノベーションを推進する際には、個々の省庁レベルでの個別アプローチではなく、汎政府レベルでの包括的なアプローチを追求するべきである。

社会的、技術的、経済的、環境的、政治的なメガトレンドにおいては、生活の質の重要性が高まり、将来的には科学技術分野の最も重要な目標になると私たちは信じている。エビデミックやパンデミック、世界的な金融危機、材料、部品、エネルギー資源の国際貿易を妨げるような国家間紛争や地域紛争といった予期せぬ危機によって、産業リスクは増大する。また、継続的な都市化、多くの州での人口減少、および輸送技術の開発により、大都市または超都市が出現することにも関心を寄せるべきである。今後の政策は、増大する不確実性とリスクを反映するものになるはずだ。

最後に、他の国々がどのように未来に備えているかを検討し、それらの未来戦略を参考にして政策の方向性を定めた。諸外国は、新しい技術と知識の開発、人材の育成と活用、および将来的に主な政策課題としてのデータ使用を容易にするインフラとシステムの確立のため、研究開発分野での革新を発表した。

専門家達の意見を参照し上記を総合することによって、8つの質問を選び出した。それぞれの質問に対する答えを見つける過程で、イノベーション・エコシステムの能力を高め、直面する科学技術課題に対処するための国家政策を設計する方法を学ぶ。

人口減少と人工知能の時代に、どうすれば人材を確保し、やる気を出させるのか？

韓国の人材政策は、近い将来、技術的・社会的に大きな変化があるだろう。人材プールの減少と人工知能の開発である。少子化により、小・中・高校生、大学・大学院生が減少し、科学技術分野への新たな人材の流入が減少している。私たちは人類が人工知能と競争し、協力する世界で暮らすようになるだろう。人間が行う仕事の性質は、現在とは大きく異なるだろう。人間は、問題の定義や新しいアイデアの作成に集中できるようになる。つまり、データ収集や複雑な計算を人工知能に任せることができる。このような変化の中で、有能な人材が科学技術分野に集まり、自分が選んだ分野に情熱を持って能力を発揮していきたいと考えているのである。

人口や人材が減るにつれて、わが国の競争力は弱まるのだろうか？

人工知能が発達したとき、研究者は何をするだろうか？

過去には、人材政策は人材の量を比較的重視しており、政府は分野ごとに人材の需給を管理してきた。たとえば、特定の分野の人材に対する需要が高まると予想される場合、政府は大学に関連部門を設立し、入学割当を拡大し、職業教育プログラムを提供することを推進した。しかし、これらの才能に対する政府主導でのアプローチは、急速な変化にあまり対応できないため、もはや効果的とはいえない。

未来の技術的・社会的変化の中で有能な人材を確保し育成することは、イノベーション・エコシステムを強化するための重要な課題の1つである。科学技術関連の仕事の魅力を高め、有能な人材がその仕事を選択する際の障害を取り除くことによって、私たちはさまざまな才能が現場に流入するよう促すことができる。一方で、我が国の知的能力は人類と人工知能の能力の総和であるという見方をとるならば、人類と人工知能の効率的な連携体制を構築する必要がある。さらに、人材がさまざまなチャネルを通じて未来社会に必要な能力を身につけられるように、柔軟でダイナミックな教育インフラを提供する必要がある。また、環境を整え、次の世代が自分の能力と情熱を適切な場所で十分に発揮できるように動機付けることも重要である。組織やセクター間の人材の流動性を高めるために、さまざまな措置を講じるべきである。

世界で認められるような優れた研究成果をどうやって生み出すことができるのか？

世界中の科学者やエンジニアは、今後も新しい知識を探究し、新しい産業を創造し、人間の生活を向上させていく。我が国はこれまで科学技術で目覚ましい成果を上げてきたが、世界的に認められる

ような優れた研究成果を出すまでにはまだ至っていない。私たちは今後、科学技術分野において創造的かつ価値のある研究成果を生み出し、人類社会全体に貢献することを望んでいる。

韓国の研究者は将来、K-POP スターのように世界的に有名になることができるだろうか？

今後、世界で生き残り発展していくために、公的研究機関や大学は何をすべきだろうか？

挑戦としての研究と創造的な研究には異なる目的がある。前者は決まった目標がある。後者は、特定の目標を念頭に置いておらず好奇心に基づいている。私たちのイノベーション政策は挑戦的かつ創造的な研究の重要性を強調してきたが、それらをさらに体系的に管理すべきか、創造性を高めるために自律性を高めるべきかについては、さまざまな見方がある。たとえば、研究の評価システムの改善に関しては多くの議論があるが、2つのタイプの研究には、論文と特許を含め、ほぼ同じ評価基準を適用している。

将来、挑戦的かつ創造的な研究主体が中心になるためには、前者のパフォーマンス指向的な管理をより強め、後者の管理を最小限に抑えるシステムと同じように、挑戦的かつ創造的な研究の管理システムからの移行をはかるべきである。やりがいのある研究には、明確な目標を設定し、研究のプロセスを体系的に管理すべきなのだ。また、失敗を許容し挑戦を奨励することが肝要だ。我が国における課題の中で優先度の高い課題に取り組む場合、公的研究機関等の関連組織に明確な使命と任務を割り当てる必要がある。創造的な研究のためには、研究者が専門知識を蓄積するために長い間一つの分野に集中できるようなサポートシステムをよく検討を重ねた上で設計するべきである。研究者がさまざまな分野で他の人々と協力するのを支援しなければならない。また、大学が学内研究センターにおいて特定の研究分野に特化し、斬新で実験的な教育の試みを奨励することが重要である。

どうすれば経済成長エンジンを強化できるのか？

多くの要因により、我が国の未来の経済見通しは楽観視できないのが現状である。なぜなら、まずこれまで経済成長を牽引してきた主要産業において、他国との競争が激化しているからだ。過去 20 年間、半導体、自動車、電子機器、化学製品、鋼板といった韓国の主要な輸出品目はそれほど変化していないが、いくつかの産業においては発展途上国の急速な発展によってその地位を脅かされている。また、人口減少により国民経済がどんどん縮小していく可能性がある。これまでは我が国の人口増加と共に、国民一人当たりの GDP も増え続けてきた。近い将来、我が国の人口が減少していくことを考えると、国民一人当たりの GDP や生産性が大幅に向上しない限り、経済の成長は期待できない。さらに、世界経済の減速が長引き、脱グローバル化や反グローバル化の傾向が強まっている。商品やサービスのグローバルなバリューチェーンが継続するという仮定は、もはや有効ではない。

2045 年、韓国の主な産業は何になるのだろうか？

未来のリスクを克服できるほど、大きな経済力をどのようにして構築できるのか？

韓国はこれまで、量的にも対外的にも急速な経済成長を遂げてきた。しかし、国内に目を向けると、質の低い経済成長でしかなかった[36]。主要産業においては、中心的なコア技術が不足しており、主要な材料、部品、機器、エンジニアリングを海外から調達しているところもあるほどだ。一部の業界では、検索やクラウドコンピューティングなど、デジタルプラットフォームに関してはグローバル企業に依存しているのが現状である。産業ポートフォリオに関しては、ライフサイエンス、製薬、金融などの高付加価値産業は他の国々と比べて弱いものとなっている。

我が国の新しい経済成長エンジンを作り上げるために、私たちは政策の主導的役割を、政府だけが担っている状態から、企業と政府がチームを組むという状態へ変えていかなければならない。政府は、新しい経済成長エンジン技術をどれにするか、どの業界にするか、を具体的に選択するのではなく、未来社会における重要な課題を提案すべきである。これは企業にとって新しいビジネスチャンスになる可能性がある。商業化と研究開発の全プロセスを支援すべきだ。経済成長エンジンを強化するには、大小の企業、新興企業、大学、研究機関など、すべての参加者が競争し、協力する健全な産業エコシステムを構築することが必須である。政府は、将来のリスクに対して共に積極的に対応する必要があるのだ。

科学技術は私たちの生活に本当に役立つのだろうか？

科学技術は、気候変動、社会紛争、高齢化など、私たちが直面している多くの社会問題を解決することができる。しかし、科学技術自体が多くの社会問題を引き起こす可能性もある。たとえば、バーチャルリアリティ、自動運転、遺伝子編集などの新しいテクノロジーは、犯罪、事故、生命倫理の侵害につながる可能性があるのだ。科学技術で私たちの理想の未来を実現するためには、科学技術のプラスとマイナスの両方の影響を考慮する必要がある。

社会問題を解決するための科学技術と従来の科学技術の違いは何か？

科学技術が引き起こす悪影響を最小限に抑えるにはどうすればよいだろうか。

これまで、研究開発投資は主に経済発展に重点を置いてきた。しかし、国民は国の経済だけでなく個人の生活の質も重要視しているのだから、急速な成長の過程で無視していた社会問題の解決と生活

の質の向上にも重点を置く必要がある。科学技術政策の目標は、経済的発展と社会的発展の両方を含むような幅広いものになるべきである。

科学技術によって未来社会の課題に取り組むためには、我が国の研究開発システムを技術開発から問題解決へと転換する必要がある。明確な目標や使命を設定し、「起業家」を指名すべきである。政府は、問題解決に責任を持ち、プロセス全体を主導するために、彼らに権限を与え、包括的に支援する必要がある。さまざまな立場にいる人々の視点から緊急の社会的問題を見つけ出し、その解決のための多種多様なアイデアを集めるため、私たちは研究と政策決定のすべてのプロセスへより多くの人々が参加できるようにすべきである。また、科学技術の恩恵を享受するだけでなく、その悪影響に積極的に備えることも必要であろう。

我が国の各州は将来どのように発展するのか？

我が国の各州は近い将来、人口の移動と技術開発において大きな変化を経験するだろう。世界の他の国々と同様に、韓国でも都市化が進んでいる。都市部在住世帯の割合は、1970年の50.1%から1990年には81.9%、2019年には91.8%に増加した[37]。一方、未来のモビリティ技術（エアタクシー、ハイパーループ、極超音速航空機など）は、隣接する都市同士をつなぎ、大都市を超えたメガロポリスの出現を促すだろう。京釜高速道路と KTX が私たちの生活圏を韓国全土に拡大したように、未来のモビリティ技術は私たちの生活圏および経済圏をアジア、さらには全世界にまで拡大するだろう。つまり、それぞれの州の競争相手は、もはや韓国内の他の州ではなくアジアや世界ということになるのだ。

今後、首都圏の集中を解消できるだろうか？

人口減少と世界的な競争の中で生き残るため、韓国各州はどんな戦略を立てるべきか？

政府は地方のイノベーションを重要な課題と認識しており、法律の制定、特別な研究開発地域の開発、地元産業の育成など、さまざまな取り組みを行ってきた。しかし、中央政府からの長期的な支援にもかかわらず、地方のイノベーション・エコシステムは依然として中央政府に依存しており、自給自足にはほど遠い。地方の成長率は大都市圏よりも低くなるため、大都市圏と地方との間のイノベーション能力ギャップは拡大している。この傾向が続くと、最悪の場合、イノベーション・エコシステムが崩壊する地域も出てくるかもしれない。

各州におけるイノベーション力の格差を鑑みると、各州の生き残り戦略は、現在の都市と州の境を越え、広域クラスターを形成するようになるだろう。我が国のイノベーション目標に沿った地域イノベーション目標を設定することによって、各州はまとまったクラスターという形態へと進化すべきである。そして、クラスターが自発的に成長し団結できるように、クラスター間の競争と協力を促す

ことが肝要である。地域イノベーションの主導的役割を中央政府から地方政府、さらには民間に移すべきである。政府は、革新的な組織、つまり地元の企業、大学、研究機関を包括的に支援しなければならない。それらの協力を促進するために、政府は科学技術の需要と供給を見きわめ、知識クラスターやテストベッドを含むイノベーションに適したスペースを用意する必要があるのだ。

我が国の科学技術力の、世界への影響力と地位をどうすれば高めることができるか？

将来解決しなければならない問題の複雑さと国内資源の限界を考えると、国際協力は必要不可欠であり、選択の余地は無い。さらに、国を超えた才能、商品、データの移動がより一層活発になるにつれて、海外の有能な人材を取り入れていくことが我が国の科学技術の発展を左右するようになる。例えば、韓国に住む韓国人だけでなく、海外の韓国人、韓国の外国人、海外の外国人も有望な人材と見なすべきだ。韓国の物理的な領土は限られているが、「経済的領土」（例えば、我が国と自由貿易協定を締結した経済規模の合計）、「脳内のバーチャルの領土」（例えば、才能と人工知能など国内と世界の知的能力の合計）、そして「デジタル領域」（例えば、デジタル・インフラの利用拡大）は無限といえるだろう。将来的には、我が国の研究者が外国の研究者と協力して優れた結果を生み出し、国際的にリードするのが理想である。

2045 年の世界の科学技術力は、どのぐらいのレベルまで発展しているだろうか？

我が国の科学技術力は、かつての韓流のように世界的な成功をおさめることができるだろうか？

前政権の戦略である「ビジョン 2025」と「ビジョン 2040」は、グローバルな協力を強調していた。しかし、現時点でも我が国のグローバリゼーションと国としての魅力はまだ不十分である。韓国は科学技術をベースに急速な成長を遂げ、K-POP をはじめとする韓流が世界中に広がっている。これらの資産を踏まえ、今後も科学技術のグローバル化を推進していく。

我が国の科学技術力の、世界における影響力と地位を高めるためには、国際協力に関連する投資を拡大し、人材と資本の流入と流出を支援する必要がある。また、イノベーション・エコシステムを全世界に開放し、拡大するための制度的基盤を確立しなければならない。私たちは、研究者や研究機関が世界のカウンターパートと協力していくことを願っている。最終的には、「国境を越えた科学技術」を追求していきたいのだ。私たちは、既存のグローバル・アジェンダに対応するだけでなく、新しいグローバル・アジェンダを提案するリーダーシップを強化していかなければならない。グローバル戦略を地域戦略と統合し、体系的に追求していくべきである。

科学技術に重きを置く国になるにはどうしたらいいのか？

近い将来、科学技術は現在よりも人間社会により大きな影響を与えるようになるだろう。人と人、人と物、物と物をつなぎ、時間と空間を広げ、人間の生活のあらゆる分野で不可能を可能にする。また、環境汚染、社会的紛争、高齢化などの社会問題を解決する効果的な方法を導き出すだろう。個人や組織の生産性も向上させるだろう。一方で、科学技術の影響力の高まりは、プライバシー侵害や生命倫理違反により、人間の幸福を脅かす可能性も否定できない。したがって、我が国の未来は科学技術をいかに有効に活用するかにかかっているのだ。

科学技術は人類にとって祝福なのか、それとも呪いなのか？

科学技術を活用する韓国の能力レベルはどの程度なのか？

前政権の「ビジョン 2025」および「ビジョン 2040」は、科学技術指向の国家管理システムへの転換を強く推し進めた。しかし、科学技術の重要性についてはまだコンセンサスが充分とは言えず、社会における一般的な認識はというと、科学技術を単にひとつの分野としてしか扱っていないのが現状だ。社会全体が、科学技術志向または科学技術を歓迎する態度に変わっていかない限り、科学技術への積極的な投資と研究開発成果が世間一般に普及することは難しいであろう。そのような状態では、科学技術を十分に活用することはできない。

国策のあらゆる分野で科学技術を重視する科学技術志向の国になるためには、科学技術への投資を継続的に増やし、強化する必要がある。また、データインフラストラクチャ、製造・実験スペース、テストベッドなどの物理インフラや、科学博物館や科学技術に対する一般市民の積極的な姿勢など文化インフラストラクチャも拡張するべきである。さらに、科学技術を国家政策の中心に置き、効果的な意思決定を行うことが肝要である。政府は、すべての情報を集約して意思決定を一元的に行う管制塔型のガバナンスから、エコシステム全体を運用し、参加するものの媒体として機能するプラットフォーム型のガバナンスに移行するべきである。合理的な意思決定手順を採用し、一般市民と科学技術の専門家が意思決定プロセスに広く参加できるようにする必要がある。

どうすれば未来のために体系的な備えを持つ国になることができるのか？

未来社会には多くのリスクとチャンスがある。未来のリスクは非常に不確実であり、社会に計り知れない影響を与える。地震や台風などの自然災害や、インフラの閉鎖、大規模な火災、放射線漏れといった社会的災害が増加している。人と人とのつながりがさらに深まり、距離が近づくにつれ、被害の範囲も拡大している。たとえば、COVID-19 のようなパンデミックは、どこで発生したとしても、世

界中に広がる可能性が高い。このような非常に不確実な未来に備えるためには、国家レベルの戦略が必要なのだ。

将来、どのようなチャンスと危機が私たちを待っているだろうか？

未来世界に対する韓国の能力はどのくらいだろうか？

先見的な研究である国内エコシステムは、大学や政府省庁を超えて、公的研究機関、企業、一般市民にまで拡大しているが、我が国全体としての未来社会への対応能力は依然として低いままである。政府は依然として短期的な課題に焦点を合わせており、他の組織も長期的な視点を欠いている。さらに、科学技術の観点から未来社会の課題に対応することに専念している政府関連組織はほとんどないのが現状だ。諸外国は、未来社会の課題へ備える体制を定期的に見直すことで強化している。

先制的かつ効果的に未来へと備える、未来志向の国家になるためには、データに基づく先見性を強化する必要がある。政府は、近い将来に起こるであろう変化を調査するため、データ分析を含む科学的方法論を使用すべきである。我が国がどのような課題に取り組むべきかについて社会的コンセンサスを構築し、長期的に投資を行う必要がある。さらに、我が国の政策全体で先見性を活用するためのガバナンスを確立しなければならない。恒久的な組織を設立することで、我が国の未来社会への対応ガバナンスを強化することができる。他の事業体と協力し、共に長期的な戦略に備えるべきである。先見性とデータ分析から得られた洞察を活用し、公共サービスの質を向上させなければならない。

未来のイノベーション・エコシステムと政策変更に関する疑問

分類	疑問点	政策変更
プレーヤー (実行者)	人口減少と人工知能の時代に、どうすれば人材を確保し、やる気を起こさせることができるのか？	未来社会の変化の中で知的能力を最大化するための人材政策
	世界的に認められるような優れた研究成果を生み出すにはどうすれば良いか？	挑戦的で創造的な人材を生み出すための国家的研究開発システム
	どうすれば経済の成長エンジンを強化できるのか？	成長エンジンを作り上げ強化する産業研究開発
	科学技術は私たちの生活に本当に役立つのか？	社会問題を解決し、生活の質を向上させるための公的研究開発
地方・地域	我が国の州は将来どのように発展するのか？	協力と競争を促進するための、地方・地域イノベーションシステム
	我が国の科学技術力における世界的な影響力と地位をどのように高めることができるのか？	国境を越えたグローバル・イノベーションシステム
政策 環境	科学技術を重視する国になるにはどうすればよいのか？	科学技術志向の国家政策
	どうすれば体系的に未来に備える国になることができるのか？	未来志向の国家政策

4. 科学技術の課題

この章のキーワードは「チャレンジ」である。私たちが理想とする韓国の未来を実現するためには、多くの課題に取り組まなければならない。科学技術が人間、宇宙、自然環境の課題にどのように役立つか、どのように役立つべきかについて検討する。

第一に、科学技術は人類に生き生きとした生活を与えることができる。次世代の医学技術は、私たちがより長く健康的な生活を送ることを可能にする。病気や老化によって低下した身体能力を回復することもできる。人工知能の開発によって判断力を強化することができる。つまり、人類に近い、もしくは人類を超えたレベルまでその知的能力を高めることができるのだ。社会的な面では、仮想現実と拡張現実、脳波通信、暗号化技術などを使用して、社会的コミュニケーションをより便利で、透明で、信頼性の高いものにすることができる。

第二に、科学技術によって人類は宇宙の限界を克服できるようになる。高速車両は、移動時間を短縮し、人間の活動範囲を拡大する。自律型車両などのスマートビークルは、モビリティの利便性を高める。宇宙、深海、極地など未開の地を探索することで、新しい生活空間や資源を獲得することができるだろう。

第三に、科学技術は自然環境の調和的利用に役立つべきである。自然環境は、人類の生存に必要なすべてのものを提供してくれるが一步間違えると、大きな災害につながる可能性もある。私たちは、気候変動や災害について正確な予測と積極的な対応を行い、頻繁に発生する感染症に効果的に対処する必要がある。文明が持続していくために、私たちは環境汚染の問題を解決しなければならない。資源の枯渇問題に対しては、エネルギー、食料、製造技術の革新も必要だ。

これらの科学技術課題に取り組むためには、基礎科学のしっかりとした基盤が必要である。「人間の病気と老化の謎」、「記憶と夢に関する脳の働き」、「宇宙の創造と進化の原理」、「新素材の開発」、「ミレニアム問題」などといった基礎科学の大きな問題を探求していかなければならない。

以下に、8つの科学技術課題を提示し、各課題に関連する技術の開発を提案する。具体的には、未来社会における需要を解説し、関連技術の現状を検討し、将来必要となるさまざまな技術を提示する。基礎科学については、世界中の研究者が取り組んでいる大きな課題例をいくつか解説し、関連する研究トピックを紹介する。ここでひとつ注意しなければならないことがある。これから解説するテクノロジーや研究トピックは単なる例である。研究者はそれらを参照し、研究の関心と専門知識に基づいて取り組む独自の技術や研究トピックを選択できる。

科学技術の課題と関連技術の開発のための提案

科学技術の課題	関連技術開発のための提案
① 人類の生存を脅かす要因への対処	1-1. 気候変動への対処
	1-2. 災害への対処
	1-3. 感染症への対応
② 持続可能な文明のための環境汚染に対する対策	2-1. 廃棄物の管理と代替材料の開発
	2-2. 原子力と核融合技術の改善
③ 次世代の生物医学技術による健康的な生活の実現	3-1. 不治の病の克服
	3-2. 脳疾患の克服と記憶の回復
④ 人間の身体的・知的能力の拡大	4-1. 障害や老化を克服するための身体能力強化
	4-2. AIアルゴリズムとハードウェアによる知的能力の向上
⑤ 農業、製造、エネルギーの革新	5-1. 農業と製造をよりスマートにする
	5-2. グリーンエネルギー源の確保とエネルギー効率の向上
⑥ 高速スマートモビリティによる生活圏の拡大	6-1. 全世界を超高速車でつなぐ
	6-2. モビリティをグリーンでインテリジェントなものにする
⑦ 安全で多様な通信チャネルと信頼性の高いネットワーク	7-1. 次世代通信技術の開発
	7-2. 信頼性が高く安全な通信ネットワークの構築
⑧ Explore unknown spaces for the survival of mankind	8-1. 人類生存のために未知の空間を探索する

4-1. 人類の生存を脅かす要因への対処

4-1-1. 気候変動への対応

予想される未来社会の需要

産業革命以降、温室効果ガス（二酸化炭素、メタンなど）の排出量が増加しているため、気候変動は深刻な問題になってきている。過去 100 年間で、世界の平均気温は 1°C、海面 0.2m 近く上昇している[38]。このまま 2045 年になれば、平均気温は現在より 0.5～1°C 高くなると予想される[39]。気候変動は、世界各地でさまざまな問題を引き起こしている。熱波と寒波、大雨、干ばつの発生が増加している。氷河を溶かし、海面を上昇させ、沿岸地域を氾濫させ、生態系を破壊したあげく、食料資源を減らしているのである。

気候変動に対抗するため、2015 年に世界各国がパリ協定を採択した。この協定は、温室効果ガス排出量を削減することにより世界の平均気温の上昇を産業革命以前の気温より 2°C 未満にとどめ、できれば 1.5°C 程度の上昇に抑えることを目標としている。協定に参加する国々は温室効果ガスの排出を厳しく規制しており、韓国もその目標を達成し、規制基準を満たすために技術開発を推進する必要がある。一方で、気象条件を人為的に制御・正確に予測する技術を開発できれば、災害による被害を大幅に軽減し、予測の精度も高くなると思われる。

関連技術開発のための提案

気候変動に対応する技術は、温室効果ガスの削減、気候変動への適応、気象制御と予測で構成されている。

温室効果ガス削減技術には、温室効果ガス排出量を削減する技術と、すでに放出されているガスを吸収する技術が含まれる。温室効果ガス排出量を削減する技術とは、たとえば石油・石炭などの化石燃料に取って代わるグリーンエネルギー技術（太陽光発電や風力発電を含む）のことである。すでに放出されているガスを吸収する技術とは、たとえば二酸化炭素を集めて地下に貯蔵したり、他の化学物質に変換したりする炭素回収貯留（CCS）のことである。将来的には、高価な材料や発電設備の部品を交換することで製造コストを削減し、発電効率を上げることが期待される。そうすることでグリーンエネルギーの経済的実現可能性を高めることになるのだ。建物と一体化した太陽光発電、浮遊式洋上風力発電所など、次世代のグリーンエネルギー技術開発が重要である。また、回収した二酸化炭素からバイオディーゼルやメタノールなどの有用な材料を生み出す炭素利用技術の開発も推し進められている。



気候変動への適応に関して言えば、各地域の脆弱性マッピングといった気候変動のリスクと影響を特定する技術や、生物多様性の保全により被害を最小限に抑え、農業や産業の競争力を強化する技術がある。また今後は、野生動物の生息地移動によって引き起こされるウイルス感染に対応し、遺伝子編集技術を用いて干ばつ、洪水、高温に耐性のある新種を開発する必要があるだろう。

気象制御技術によって、雨や雪を降らせ、霧や雹の発生をコントロールし、台風を消したり弱めたりすることができる。たとえば、人工降雨技術は、ヨウ化銀（AgI）を噴霧して雲の中に水蒸気を凝縮させることにより、雨滴を作る。近い将来、台風自体に雲を作り、台風の初期段階で雨を降らせて、台風の力を弱めたり、進路を変えたりすることができるかもしれない。雷の気圧、温度、湿度を学習する人工知能を使用すれば、特定の半径内の雷を予測することができる。稲妻にレーザーを発射することで、雷が地面ではなく雲に落ちる様にすることも可能である。

天気予報には通常、地球システムモデルが必要である。地球システム科学に基づいて、大気、海洋、大陸、極地の間の相互作用と循環を理解することにより、天気、気候、環境の変化を予測するのである。大韓民国気象庁などが現在開発を進めている。ゆくゆくは、超高解像度の地球システムモデルを開発し、対象範囲を拡大して、気象、気候、環境の変化を包括的に予測しなければならない。そのためには、超高解像度（～1km）の観測機器を開発し、ドローンや衛星を使って海や陸をリアルタイムで観測する必要がある。

4-1-2. 未来社会における災害への対応

未来社会に必要なことは何か

韓国では、熱波や地震などの自然災害の頻度と激しさが増している。過去10年間で、韓国の平均気温は1981年から2010年の期間と比較して0.5° C上昇した。33° Cを超える日数は2000年代の10.0から2010年代の15.5に増加した[40]。マグニチュード2.0以上の地震は2018年に115回発生し、1999年から2017年までの年間平均地震回数67.6回のほぼ2倍であった[41]。浮遊粒子状物質による危機感も高まっている。韓国は人口の55.1%が世界保健機関の推奨濃度（10 μ g/m³）の2倍以上の粒子状物質にさらされており、OECD加盟国の中で最も高い[42]。

火災、倒壊、爆発、交通事故などの社会的災害は今後も発生し続け、大規模な死傷者や物的損害を引き起こす。1970年代から1980年代にかけて建設されたインフラは数十年経った今、老朽化しており、陥没穴、水道管の損傷、水道水の汚染も増加している。さらに、人類の活動が宇宙に拡大するにつれて、衛星、スペースデブリ、小惑星など宇宙の物体によって引き起こされる災害が深刻になりつつある。

自然災害や社会災害は人々の安全や国民経済に大きな影響を与えるため、被害を最小限に抑え、迅速に対応するために、事前に予測することが重要である。災害に対応する最小限の時間を確保するために、予測の目標（たとえば、「1日前」または「10時間前」）を設定し、それを達成するように努力しなければならない。台風は数日または数週間前に予測できるようになったが、地震は未だ予測できていない。何時間も前に予測して警告を発することができれば、世界中で何百万人もの命を救うことができる。[43]

関連技術開発のための提案

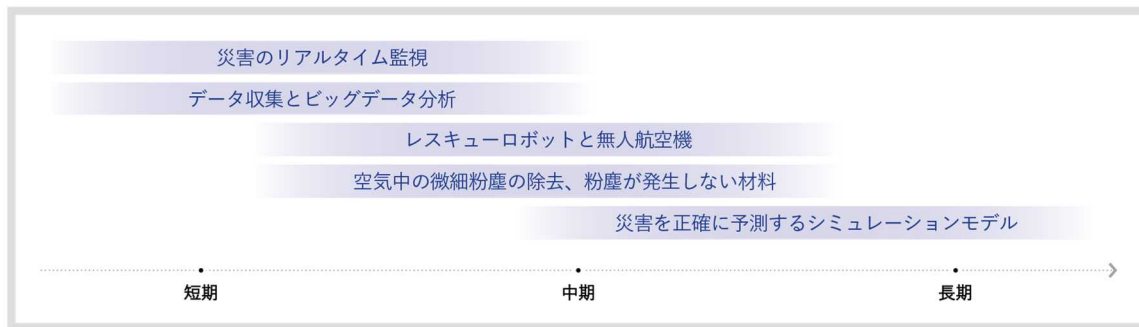
災害に対応する技術は、災害から復旧する技術と事前に予測する技術に分けられる。

復旧技術には、災害監視、レスキュー・ロボットなどがある。災害監視では、さまざまなセンサーまたはデバイスを使用して、災害およびその影響を監視する。将来的には、災害のリアルタイム監視を実現しなければならない。衛星や無人航空機などを使ってさまざまなデータを収集・統合することによって、災害への対応力を大幅に高めることができる。

レスキュー・ロボットは、人間の労働者に代わって命を救うためにますます重要になってきている。大規模な火災、建物の倒壊、放射線漏れ、海難事故などの災害現場は、人間の労働者が対処するには危険すぎる環境である。それらの現場では二次災害が起きてさらに死傷者が発生する可能性がある。未来のために、完成度の高いレスキュー・ロボットを開発する必要がある。ロボット関連の技術は急速に発展しており、韓国の技術力は高いため、挑戦する価値が充分ある。例えば、KAISTチームが開発した「DRCHubo II」は、2015年の第2回DARPAロボティクスチャレンジで優勝した。微細な粒子状物質を、電界やプラズマデバイスを利用して空気中から高い効率で回収・除去する技術を開発できるだろう。また、粒子状物質を発生させない材料を使用して、道路や都市インフラを構築することもできるはずだ。

予測技術は、天気、構造条件、海、川を定期的にチェックし、火山、地震、洪水、地滑り、森林火災、津波、小惑星の地球衝突などの自然災害の場所、規模、拡散経路を予測するものである。火災、建物の倒壊、爆発などの社会的災害がいつ起こるのかを推定する。今後は、災害を正確に予測するための高度なシミュレーションモデルを開発する必要がある。

そのためには、衛星とレーダーから取得したリアルタイムデータのリンクや、人工知能を利用した災害シミュレーションシステムの開発によって、さまざまな自然災害や社会災害を特定できる超精密センサーを開発しなければならない。



4-1-3. 未来社会での感染症への対応

未来社会で必要なことは何か

感染症は今や、人類の未来を脅かす重大な要因の1つになってきている。過去20年間で、多くの新しい感染症があった—2003年のSARS、2009年の豚インフルエンザ、2015年のMERS、2019年のCOVID-19などである。特に、動物性疾患（動物と人間の間で感染する）—SARS、MERSおよびCOVID-19—は、おそらく都市化の過程で人間と野生動物の接触が増加したために、頻繁に発生しているといわれている。世界保健機関（WHO）は、2018年の感染症リストに「Disease X」という項目を追加し、現在ではまだ知られていない多くの病原体やウイルスが今後も出現し続けることを警告している[44]。

感染症は人類の生命を脅かしている。1918年から1920年までのスペイン風邪は5000万人以上の死者を出した。また、最近のCOVID-19により、2020年9月末現在、世界中で3000万人以上の患者が発生し、100万人以上が死亡している[45]。近い将来、感染率や死亡率の高い感染症が発生する可能性もある。人々は患者との接触で感染することを恐れて外での活動を減らし、互いに距離を置くため、疎外感や鬱病に苦しんでいる。国全体で見ても消費や投資などの経済活動が縮小し、景気後退につながる可能性があるのである。

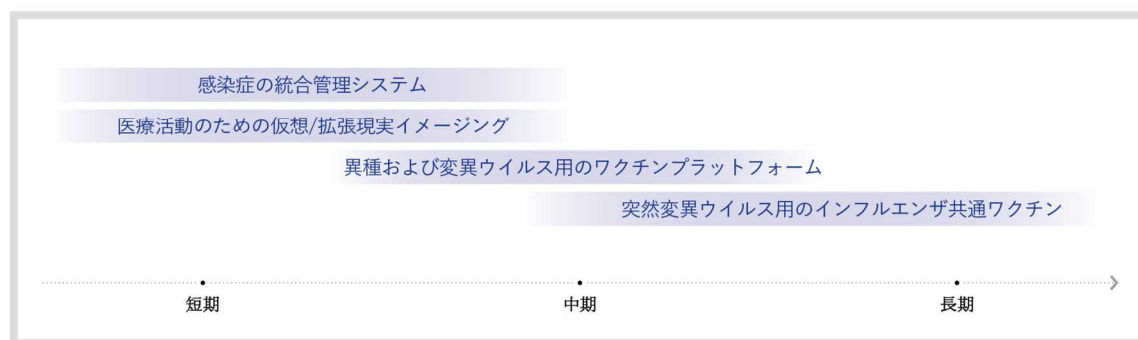
科学技術を駆使し、いつでも、どこでも、将来発生する可能性のある感染症の脅威に積極的に対応することが重要である。これは、韓国国民だけでなく、すべての人類の健康と生活のためである。国家間の社会的交流が進むにつれ、ほとんどの感染症はもはや1つの地域や国に限定されず、世界中に広がっていくからである。

関連技術開発のための提案

感染症に対抗する技術は、感染性病原体の検出、感染の有無の診断、ワクチンや治療法の開発に分けられる。

感染性病原体の検出は、化学的または生物学的反応を利用し、センサーで特定のウイルスの存在を確認することである。ウイルスが特定の空間に侵入すると、センサー内の微生物細胞がウイルス内の特定の化合物と反応する。遺伝子シーケンシング技術は、感染性病原体（ウイルスや細菌）の遺伝子の性質を分析するためにも使用されている。

関連技術の開発のための提案：感染症への対応



ビッグデータ分析と人工知能は、人口、地理的な場所、ウイルスの感染と潜伏期間など、さまざまな種類のデータを分析することで、特定の地域に感染症が出現を予測できる。将来的には、単一の検疫システム内で人、動物、環境を管理する「ワン・ヘルス」アプローチを使用して、感染症を検出、監視、予測する統合管理システムを構築する必要がある。

感染症の診断とは、人体の遺伝子、タンパク質、または抗体を検出することである。血液や唾液などのさまざまなサンプルが、感染源の種類や感染領域に応じて使用される。遺伝子増幅技術は、分析のために遺伝子の一部のみを定量的に増加させる。今後、感染症の蔓延により多くの患者が発生した場合、医療格差が生じる可能性がある。したがって、オンラインなどの非接触で医療活動を行うための仮想現実技術を開発するべきである。

ワクチンは人体の免疫系を刺激して感染症と戦うものである。弱体化した抗原（感染源）を人体に注入すると、抗体が形成され、獲得免疫を作り出すことによって感染症に打ち勝つ。一方、治療法では、症状を緩和し患者がより早く回復するのを助けるために使用される。将来的には、ワクチンの開発をスピードアップし、既存のウイルスの異種および変異ウイルスに広範囲に対応できるワクチン・プラットフォームを開発する必要がある。ワクチン・プラットフォームでは、従来の「1つの病気に1つの薬剤」というスタイルのアプローチではなく、単一のシステムから複数のワクチンを迅速に製造することができる[46]。さらに、突然出現するウイルスに対応できるユニバーサル・ワクチンの開発も

挑戦しなければならないだろう。たとえば、人体の抗ウイルス免疫を強化する方法で、予防機能と治療機能の両方を備えた薬を開発することが可能である。

4-2. 持続可能な文明のための環境汚染対策

4-2-1. 廃棄物のコントロールと代替材料の開発

未来社会に必要なことは何か

廃棄物の量は年々増加している。2018年には全国で約1億6000万トンもの廃棄物があった[47]。しかし、環境汚染や土地不足により、焼却や埋め立てはますます困難になっている。発展途上国への廃棄物の移動はもはや許可されていない。バーゼル条約は、ある国から別の国への有害廃棄物の移動を禁止するため世界中で採択された。

今後、廃棄物の削減や資源のリサイクルに失敗すると、私たちの生活や経済は深刻な危機に瀕するだろう。2018年現在、廃棄物の87.1%がリサイクルされていると公式に推定されている[48]。しかし、不純物などの原因でリサイクルが難しい廃棄物もあるため、実際のリサイクル率は高くない。貿易紛争や感染症などにより世界の資源の需給が不安定化する中、資源の大部分を輸入に依存している韓国の資源をリサイクルすることがますます重要になってきている。

廃棄物の中で、プラスチックは私たちの生活や産業に欠かせない素材である。しかし、分解に時間がかかり、リサイクル時の品質劣化によりリサイクル率が低くなってしまう。不要になったプラスチックは地中に埋められているが、そのかなりの量が川や海に流れ込み、砕けてマイクロプラスチックという小さな破片になっている。それらは、魚介類、飲料水、さらには呼吸を通して人体に流れ込む。最近の研究によると、ある人が毎週約5gのマイクロプラスチック（およそクレジットカードの重さと同等）を取り込んでいることがわかった[49]。

多くの国がプラスチックの使用を減らすための政策を実施しており、韓国も2030年までに「プラスチック廃棄物を50%削減し、70%リサイクルする」という挑戦を続けている[50]。また、2045年までに「ゼロプラスチック社会の実現」を目標に掲げているが、現在、プラスチックに完全に取って代わる素材はまだ見つかっていない。私たちがそれを開発すれば、環境を保護するだけでなく、我が国の将来の産業を成長させることもできるのである。

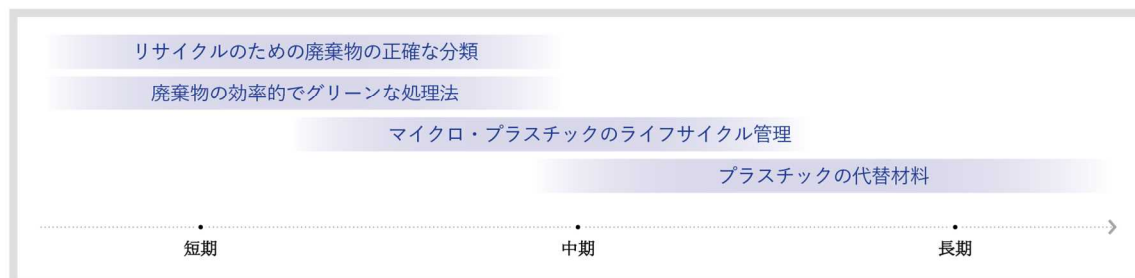
関連技術開発のための提案

廃棄物問題を解決するための技術には、廃棄物のライフサイクル管理、廃棄物の利用、代替材料の開発がある。

廃棄物の削減やリサイクルには、廃棄物の現状を明確に把握する必要があるため、廃棄物のライフサイクル・マネジメントは基本的かつ重要である。多くの国々では、さまざまな廃棄物がどこに堆積し、どのように管理されているかを分析するために、地域別および種類別の廃棄物のマテリアル・フロー分析を導入した。この分析は、廃電子製品、二次電池、廃プラスチック、建設廃棄物など、個々

の品目について 10 年以上にわたって韓国で実施されてきた。総合的な評価を行うためには、できるだけ多くの廃棄物にその適用を拡大する必要がある。

関連技術の開発のための提案：廃棄物の管理と代替材料の開発



今後は、マイクロプラスチックのライフサイクルも管理するべきであろう。マイクロプラスチックの測定から危険性の評価、環境にやさしい処理まで、すべての段階に注意を払わなければならない。

廃棄物の再利用は、リサイクルとエネルギーへの変換（廃棄物からエネルギーへ）に分けることができる。リサイクルするためには、リサイクル可能な廃棄物を選別・分類することが重要だが、それでも精度と効率には限界がある。エネルギーへの変換は、廃棄物の焼却または化学処理によって、石油と同様の熱と化学燃料を生成するものである。現在、廃プラスチックのほとんどを焼却しており、化学処理はあまり行われていない。将来的には、リサイクルのための廃棄物分類の精度と効率を高めるための技術を開発する必要がある。不純物を含まずエネルギーとして使用されるガスのみを抽出する技術や、廃棄物処理の過程で排出される有害物質と温室効果ガスを最小限に抑える技術などである。

代替材料の一例には、微生物または酵素の作用によって水と二酸化炭素に分解する生分解性プラスチック、いわゆる「腐敗性プラスチック」がある。多くの国内外の企業が、数年以内に分解する生分解性プラスチックと、既存のペットボトルを分解する酵素を開発している。将来的には、土壌や海などさまざまな状況下で、短時間で分解される代替材料を開発することで、プラスチックのない社会を実現していく必要がある。

4-2-2. 原子力と核融合技術の改善

未来社会に必要なことは何か

エネルギー資源の不足を考慮し、主要なエネルギー源として原子力発電を開発してきた。しかし、2011 年の福島原発事故により、放射線漏れや核廃棄物処理の際の原子力の安全性に対する国民の懸念が高まった。さらに、韓国の核廃棄物を保管しているほとんどの施設は、10 年で飽和状態になると予想されている。原子力を利用し続けるためには、放射線漏れを完全に遮断し、核廃棄物を安全に保管・再処理する技術を確保することが重要である。

現在稼働中の原子力発電所は設計上の寿命が終わりに近づいているため、廃炉される原子力発電所の数は増加している。原子力発電所の廃炉関連の世界市場は、2110 年までに約 440 兆ウォン（約 4000 億ドル）に達すると予想されている[51]。したがって、原子力発電所の廃炉に伴って、原子力施設を撤去し、放射能汚染を安全に排除する技術は、有望な分野として浮上している。

一方、核融合技術の研究も進んできている。原子核が分裂するときに出てくるエネルギーを利用する原子力発電とは異なり、核融合発電は核融合過程から電気を生み出すものである。核融合発電は、放射性物質や爆発のリスクが少なく、枯渇の恐れがほとんどなく無限に近いため、人類にとって理想的なエネルギー源と考えられている。開発は非常に難しく、成功するまでには長い時間がかかるだろう。しかし、諸外国との国際協力も行われ、韓国も競争力を高めているため、核融合技術の開発に挑戦すべきである。

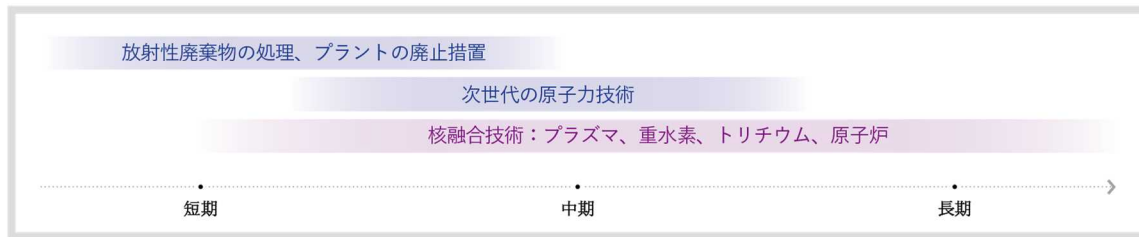
関連技術開発のための提案

原子力を安全に利用する技術には、放射性廃棄物の処分、原子力発電所の廃炉措置、次世代の原子力技術などがある。核廃棄物の処理に関しては、放射性物質が自然に半分になる期間である半減期を短縮し、核廃棄物を焼却炉で安全に処理し、放射性廃棄物に含まれる放射線の量を減らす技術が開発されている。原子力発電所の廃炉は、廃炉の準備、放射性物質の除去、施設や構造物の破壊、廃棄物処理から環境回復までのステップで構成されている。一方、海外では次世代の原子力技術が開発されている。例えば、事故に強い燃料、より安全な核燃料が開発されつつある。従来の核燃料よりも温度が高くならず、事故で原子力発電所の冷却機能が失われても爆発することはほとんどない。

将来的には、核廃棄物の放射性強度を低減する技術、半減期を大幅に短縮する技術、老朽化した原子力施設を安全に廃炉にする技術を開発しなければならない。また、原子力事故の際の被害を最小限に抑えるために、事故に強い燃料を開発する必要がある。

核融合発電には、超高温のプラズマ、核融合を促進する重水素とトリチウム、プラズマを保持する核融合装置の 3 つの要素が必要である。固体、液体、気体とは異なり、「第 4 の物質の状態」と呼ばれるプラズマの状態を維持するには、摂氏 1 億度を超える温度が必要となるため、技術の開発は非常に困難である。今後、超高温でプラズマを発生・維持する技術や、核融合炉内でのリチウムと中性子の大量反応により重水素を海水から分離し、トリチウムを確保する技術を開発する必要がある。また、大型の高温核融合炉を設計・建設しなければならない。私たちは、2050 年代に核融合エネルギーを実現することを目的とした国際プロジェクトである国際熱核融合実験炉（ITER）に積極的に参加すべきである。

関連技術開発のための提案：原子力と核融合技術の改善



4-3. 次世代の生物医学技術による健康な生活の実現

4-3-1. 不治の病の克服

未来社会で必要なことは何か

人類の平均余命が伸び、我が国の高齢化が進むにつれ、全人口の大部分を占める高齢者が健康的な生活を送ることが社会的に重要になっている。2018 年現在、韓国人の平均余命は 82.7 歳と比較的高いが、健康寿命は 64.4 歳であり、約 18 年間も病気の状態で生活していることを示している[52]。

医療技術は劇的に発展したが、癌、心臓血管疾患、糖尿病、認知症など、多くの不治の病が残っている。2 つ以上の慢性疾患を持つ 65 歳以上の高齢者の割合は 2017 年に 73%に達した[53]。未来社会において、病気を克服できなければ、長寿は祝福ではなく呪いになるかもしれない。このような病気は、患者に痛みを与えるだけでなく、家族の生活の質を低下させる。さらに、健康保険の財政的負担は国民経済を圧迫するだろう。

特に、癌は韓国人の最大の死因である。2017 年現在、韓国人が平均余命まで生きた場合、癌になる可能性は 35.5%であり、過去 5 年間（2013 年から 2017 年）に診断された癌患者の 5 年生存率は 70.4%である[54]。要するに、我が国の 10 人に 3 人が一生のうちに癌にかかり、そのうちの 1 人が発生から 5 年以内に死亡しているのだ。

私たちは、癌になる可能性を減らし、癌の治療法を開発するという国家目標を設定する必要がある。そのためには、個人の遺伝的特徴を調べ、健康状態を継続的に監視しなければならないのだ。

「すべての種類の癌について、発生確率が 10%未満、5 年生存率が 90%を超える」といった目標設定ができるだろう。事前に病気を予防し、万が一の場合に効果的に治療できれば、100 歳を超えて健康的な生活を送ることが可能である。

関連技術開発のための提案

不治の病を治療する次世代の生物医学技術には、細胞治療と遺伝子治療がある。

細胞治療（損傷した細胞や病気の細胞や組織を治療するために自分自身または他の人の生細胞を使用する）は、幹細胞治療と免疫細胞治療で構成されている。幹細胞治療は、損傷した組織や臓器を再生するために幹細胞（あらゆる組織に発達する可能性のある初期段階の細胞）を利用する。免疫細胞療法は、体内の免疫細胞を操作することによって病気を治療するものである。特に、癌の免疫療法が注目されている。原理は、人工免疫タンパク質を体内に注入し、癌細胞を攻撃するように誘導するという仕組みである。

将来的には、脱分化した幹細胞を使った治療法を開発することが重要であろう。これは、成人から得られた体細胞に遺伝子組み換えを施し、初期胚性幹細胞に戻すというものである。成体幹細胞はさまざまな組織に発達するのが難しく、治療法の開発が制限される。胚性幹細胞は人体のすべての組織に発達することができるが、受精卵を破壊することによって得られるという生命倫理上の問題がある。私たちは韓国人の上位5つの癌である胃癌、肝臓癌、結腸癌、乳癌、子宮頸癌の免疫療法の開発に挑戦しなければならない。個人の遺伝的特徴を反映する癌の個別免疫療法の開発と、癌細胞を殺さずに正常細胞に戻す研究は有望である。

遺伝子治療は、遺伝子や遺伝物質を含む細胞を人体に注入したり、遺伝子編集技術を用いて細胞の遺伝子を直接編集および修正することにより、疾患を治療する治療法である。前者については、遺伝子が失われたり不足したりしたときに外部から補う治療や、病気に関連する特定の遺伝子の機能を阻害する治療法がある。後者は一般に遺伝子欠と呼ばれ、病気の原因となる DNA の変異を見つけて切り取り、正常な DNA を付着させることで修正する治療法である。CRISPR（第3世代の遺伝子欠）は、前の世代のものよりも簡単に遺伝子配列を変化させることができる。今後は、オフターゲットを含む第3世代 CRISPR テクノロジーの問題を解決する必要がある。最近開発された第4世代の遺伝子欠（プライムエディティングと呼ばれる）も商品化すべきである。

不治の病を克服するためには、予防医療が肝要である。病気になった後に治療するのではなく、病気を予防するための日常生活の健康管理である。健康状態をチェックするため生体情報測定をしたり、ゲノム分析による遺伝的特徴の特定をするなど、さまざまな方法を利用できる。重要なのは、個人に関するさまざまなタイプのデータをタイムリーに蓄積することである。今後は、時間や場所を問わず、生体情報を収集して個人の健康状態を監視していくべきであろう。個人の健康状態を正確に分析・診断し、病気の可能性を予測する、カスタマイズされた医療サービスを提供することは重要である。医療機関の蓄積情報や個人の生体情報・遺伝情報を活用し、人工知能や診断技術を活用することが可能である。長期的には、予防医療が普及するにつれて、個人が医療において主導的な役割を果たすようになるだろう。



4-3-2. 脳疾患を克服し、記憶を回復する

未来社会に必要なことは何か

韓国は、このままだと世界初の超高齢化社会になると言われている。高齢化に伴い、認知症、アルツハイマー病、パーキンソン病などの脳疾患の患者が急増している。韓国の 65 歳以上の認知症患者数は、2019 年の約 79 万人から 2050 年には 300 万人に増加すると見込まれている。つまり、全人口の 16 人に 1 人、65 歳以上の 6 人に 1 人が 2050 年には認知症に苦しむことになる[55]。世界での認知症患者数は、2018 年の約 5000 万人から 2050 年には 1 億 3000 万人以上に増加すると予想されている[56]。

脳疾患は、患者とその家族に苦痛と負担をもたらす。また国は、医療費を含む莫大な経済的および社会的費用を支払わなければならない。韓国は、認知症の社会的重要性を考慮して、2017 年に「認知症ケアのための国家責任政策」を導入した。

しかし、認知症は明確に定義されていない疾患であり、基本的な治療法を開発することは依然として困難である[57]。今日、認知症の治療は、認知機能の低下を遅らせるだけのレベルにとどまっている。認知症は、10 人に 9 人が正常なレベルに回復できないという点で不可逆的な病気である。したがって、認知症を予防し、発見し、早期に治療を開始することが最も重要である。

脳疾患の根本的な治療法を見つけるためには、人間の脳の機能を特定する基礎研究が必要である。人間の脳は、860 億個のニューロンと 100 兆個のシナプスで構成されており、ニューロンを接続して信号を送信する。人間の脳のマッピングには、1 テラバイトの容量の 1 億台のハードドライブに対応する膨大な量のデータが必要である。人工知能やビッグデータ分析の最近の発展に伴い、研究者は大量

の脳データを積極的に分析している。私たちは、人間の脳の機能を特定し、認知症、うつ病、自閉症、統合失調症などのさまざまな脳疾患の治療法の開発に挑戦しなければならない。

関連技術開発のための提案

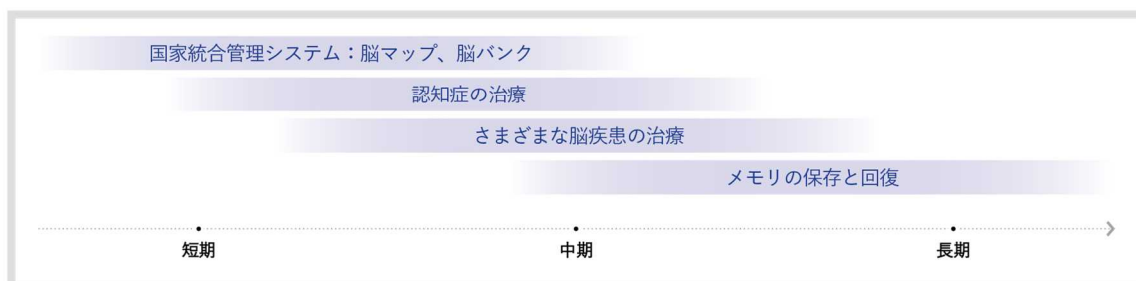
脳疾患を克服し、記憶を回復するための技術には、脳内の機能の特定、脳疾患の治療、記憶の保存・転送がある。

脳内の機能の特定には、脳機能マッピング、脳シミュレーションなどがある。脳機能マップ（コネクトームとも呼ばれる）は、ニューロンの接続を視覚化するための脳の青写真である。2016年に「脳科学開発戦略」を策定し、脳の機能を解明する研究を積極的に進めている。脳全体の情報が得られ、脳をシミュレートできるようになると、さまざまな脳疾患の原因を特定し、治療法を開発することが可能である。将来的には、さまざまな脳疾患治療の基礎となる脳地図と脳バンクを提供する全国的な統合管理システムを確立する必要がある。

治療法や診断装置の開発など、脳疾患治療のさまざまな取り組みが進行中である。多くの多国籍製薬会社は認知症の治療法を開発してきたが、いまだ良い結果を生み出してはいない。脳のMRI画像を分析し、認知症患者の脳と一般の人々の脳を比較する装置も開発されている。将来的には、原因を特定することで認知症の効果的な治療法を開発することができる。それに基づいて、他の脳疾患の治療をも試みるべきであろう。人工知能を使って治療の候補物質を探すことで、治療法の開発にかかる時間とコストを大幅に削減できる。

メモリの保存と転送については、さまざまな技術が試みられている。たとえば、脳に埋め込まれたチップに記憶を保存し、それを外部メディアに送信して、必要に応じて脳に保存するという方法などである。将来的には、認知症や加齢、事故などで記憶が損なわれたときに、定期的に記憶を取り戻す技術に挑戦する必要があるだろう。

関連技術の開発のための提案：脳疾患を克服し、
記憶を回復する



4-4. 人間の身体的・知的能力の拡張

4-4-1. 障害や老化を克服するための身体能力強化

未来社会に必要なことは何か

2017 年現在、韓国には 270 万人の障害者がいると推定されている。その内、身体障害者が 130 万人、脳疾患障害が 31 万人、聴覚障害が 29 万人、視覚障害が 27 万人、知的障害が 22 万人である[58]。世界保健機関によると、世界中で 10 億人以上が 1 つ以上の重度または軽度の障害を持っている[59]。生物学的な技術、デジタル技術、ロボット技術を組み合わせることで、障害者の不便を軽減し、人間の身体能力を高めることができる。

また、身体能力拡張テクノロジーを使えば、低出生率や老化の問題に対処することができる。韓国では、2067 年に高齢者人口の割合（46.5%）が労働年齢人口の割合（45.4%）を超えると予想されている[60]。したがって、高齢者は将来あらゆる形の生産活動に参加する必要がある、身体能力拡張の技術によって弱った筋力を補うことができる。

身体能力拡張テクノロジーは、障害や加齢による身体的な問題を抱えている人だけでなく、兵士や労働者など特殊なタスクを実行する人々にも使用できるだろう。筋力を強化し、重いものを素早く目的地まで運ぶことができる。身体能力拡張テクノロジーは、特定の人々だけではなく誰もが使用可能な普遍的な技術である。

国家レベルでは、障害や高齢化を克服して専門的な課題を解決するために、身体能力拡張テクノロジーを開発し、それを多くの人々が使うことができるようにするという目標を立てる必要があるだろう。例えば、「2045 年までに 5 つの主な障害を克服するための身体能力拡張テクノロジーの開発と、50%の浸透率」、「筋力を 10 倍に高める軍用ウェアラブルロボットの開発と展開」などがある。

関連技術開発の提案

人間の身体能力を強化する身体能力拡張テクノロジーは、人が装着・着用するデバイス、体内や体外に埋め込まれるデバイス、および組織や臓器を置き換えるデバイスに分けることができる。使用するケースにもよるが、通常、技術が進歩するにつれて、取り付け・装着、移植、および組織や臓器の交換の順序でデバイスは進化していく[61]。

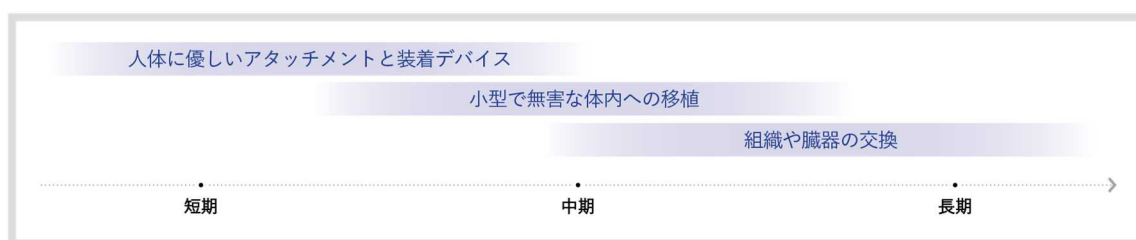
身体障害者、視覚障害者、兵士、そして労働者のために、アタッチメントやウェアリング・デバイスが開発されている。身体障害者向けデバイスの例としては、足に麻痺のある人が起き上がって歩くことができる脚型ウェアラブルロボットや、人間の皮膚、筋肉、骨、関節を模倣して、人間が脳で思ったとおりに動いたり感じたりできるウェアラブルな人工腕がある。目が不自由な人のためのデバイスは、それを身に着けている人を目的地に導くことができる。兵士や労働者が重いものを持ち上げた

り、問題なく歩いたり、不快な姿勢を長時間維持したりするのに役立つさまざまな機器がある。将来的には、人体とウェアラブル・デバイスをつなげて自然に動かす技術、身につけている人の意図を理解する機械やアルゴリズム、人間の脚の筋肉と腱の動きを模倣することでウォーキング、ランニング、ジャンプなどの動作に必要なエネルギーが小さくて済むようにする技術などが考えられるだろう。

移植の典型的な例は「電子眼」である。その仕組みは、プラチナチップを網膜に移植するという方法である。眼鏡に取り付けられた小さなカメラが正面の画像を腰に取り付けられたコンピューターに送信し、そこで画像がデータに変換され、チップを介して視覚センターに配信される。また、視覚情報認識の他の技術では、カメラで撮影した画像を電気信号に変換し、頭蓋骨と脳の間にも埋め込まれた電極を介して脳の神経系に送信することができる。将来的には、小さくて無害なデバイスを埋め込むことで、失われた視覚や聴覚、触覚の機能を回復する技術を開発する必要がある。

組織や臓器の置き換えに関しては、人工臓器、皮膚、骨、血液などがある。たとえば、人工の組織や臓器の場合、研究者はさまざまな組織や臓器に成長できる幹細胞を開発している。人間の細胞を立体的に構築して人工臓器を作る 3D バイオ・プリンティング技術も開発されている。赤血球は動物を利用して開発されている。将来的には、人工臓器、皮膚、骨、血液をより本物に近い高いレベルに発展させていかなければならない。酸素を運ぶ赤血球、免疫作用のある白血球、止血作用のある血小板など、人間の血液をほぼ完全に置き換える人工血液を開発することができるのである。

関連技術の開発のための提案：障害と老化を克服するための
身体能力の強化



4-4-2. AI アルゴリズムとハードウェアで人間の知的能力を向上させる

未来社会に必要なことは何か

人類の生活を根本的に変える汎用技術として、人工知能が注目されている。1997年のチェスの試合、2011年のクイズ大会、そしてついに2016年の囲碁で人間のチャンピオンを次々と打ち負かした。日常生活の中では、インターネットで必要な情報を検索し、メールボックスからスパムメールをフィルタリングし、ある言語を別の言語に翻訳し、ユーザーの好みの音楽や映画を勧める。産業界では、投資する金融商品を決定し、融資希望者の過去の取引とインターネット記録を分析して、彼らに

お金を貸すかどうかを決める。医療用画像を調べて病気を検出し、膨大な量の医療記録を分析して新薬の候補材料を見つけ出す。人の代わりに車を運転し、施設の部品をいつ交換するかを教えてくれる。さらに、レンブラントのように絵を描き、バッハのように音楽を作曲し、エリオットのように詩を書くことまでできる。人工知能は、近い将来、私たちの生活のすべての分野に大きな影響を与えるだろう。

一方で、一部の専門家は人工知能の欠点も指摘している。学習には大量のデータが必要である。人工知能は、ある分野で学習した知識を別の分野に簡単に活用することはできない。リクエストのコンテキストを理解するなど、複雑な状況に対応することはまだほとんどできない。また、結果を導き出すためのプロセスやロジックを提供することもできない。それらの問題を解決するためにさまざまな工夫がされているが、まだ十分な成果は得られていない。人工知能への期待が大き過ぎるのではないかと警告する声もある[62]。

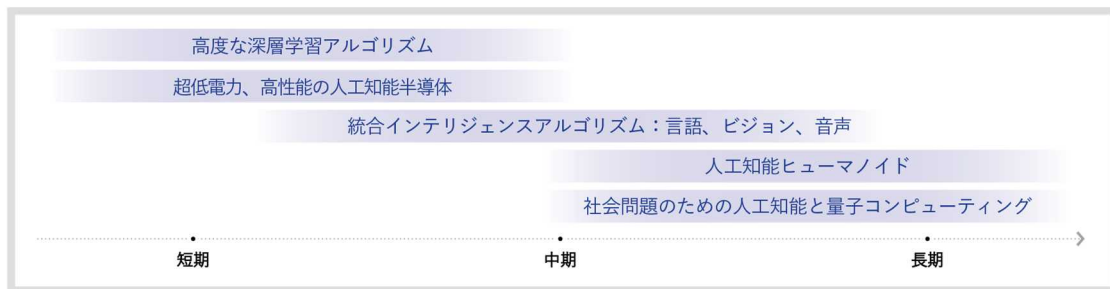
これまで、人工知能への期待と失望が繰り返されてきたが、人工知能の可能性への確固たる信念に基づき実践的なアプローチをするが来たのだ。ある特定技術の可能性と限界は決まっているわけではなく、それをどのように使用するにかかっているのだ。人工知能が膨大な量のデータからパターンを検出する優れた能力を持っているという事実は、すでに検証されている。人工知能を応用して社会や産業の効率を高め、その限界を克服するという国家目標を設定するべきである。

関連技術開発のための提案

人工知能の重要な要素は、アルゴリズム、コンピューティング・ハードウェア、およびデータである。したがって、人工知能テクノロジーはこれら3つの分野に分けることができる。

人工知能アルゴリズムは演繹的であり帰納的である。演繹アルゴリズムは、人間が指定する知識またはルールに基づいて入力されたものを変換し出力する。一方、帰納的アルゴリズム（機械学習とも呼ばれる）を使用すると、コンピューターは収集されたデータからルールを見つけることができる。問題の複雑さと不確実性が増すと、たいてい帰納的アルゴリズム(機械学習)は演繹的アルゴリズムよりも優れたパフォーマンスを発揮する。特に、人間の脳の認知過程をモデルにしたディープラーニングが近年脚光を浴びている。将来的には、結果のロジックを提供する「説明可能な人工知能(XAI)」を開発することにより、深層学習アルゴリズムを改善すべきだろう。また、単一の機能だけを処理するのではなく、言語やビジョンなどの複数の機能を同時に実行できる統合インテリジェンス・アルゴリズムも開発されるだろう。

関連技術開発に関する提案：AIアルゴリズムと
ハードウェアで知的能力を向上させる



コンピューティング・ハードウェアの例のひとつは、グラフィックス・プロセッシングユニット（GPU）である。GPUは、以前は主にグラフィックスの処理に使用されていたが、最近では高性能人工知能分野で注目を集めている。神経処理装置（NPU）やニューロモルフィックチップなど、人間の脳を模倣した半導体も開発されている。さらに、スーパーコンピュータの数億倍の速さである量子コンピューティングの研究も進行中である。将来的には、超低電力で高性能な人工知能半導体を開発する必要があるだろう。人工知能や量子コンピューティングとともに、天気予報や感染症の伝染の分析など、複雑な問題を解決することが可能となる。

データ・テクノロジーは、大量かつ多様で、高速なビッグデータを収集、保存、管理する。たとえば、複数のコンピューターをリンクして大量のデータを処理するHadoopや、大量のデータを並行して管理するMapReduceなどがある。人工知能を開発するには、高品質なデータを大量に確保することが不可欠である。近い将来、ロボットと人工知能を組み合わせ、人工知能ヒューマノイドを開発して、人間のような現実世界と直接通信することでデータを収集および学習できるようになるだろう。

4-5. 農業、製造業、エネルギーにおける資源の枯渇に備えた革新

4-5-1. 農業と製造業をよりスマートにする

未来社会に必要なことは何か

世界の人口が増え続ける中、食料の生産性を高め、新しい食料を開発することは避けられないことである。「飢餓ゼロ」は、2030年までの国連の17の持続可能な開発目標（SDGs）の1つである。2015年現在、世界の人口の約9%、つまり7億人が飢餓に苦しんでおり、そのうち1億3500万人が深刻な状態である[63]。食糧の確保は韓国にとって特に重要な問題である。我が国の食料自給率が50%未満であることを考えると、食料安全保障の観点から食料生産を増やすための技術革新に焦点を当てるべきである。

未来の食糧は、食糧不足を解決するだけでなく、健康を促進するためにも重要である。2016年の時点で、19億人（18歳以上の世界人口の39%）が太りすぎであり、13%（6億5000万人）が肥満である[64]。さらに、糖尿病患者の数は1980年の1億1000万人から2014年には4億2000万人に急増した[65]。健康食品や機能性食品の開発は、肥満や糖尿病などの社会問題を解決し、将来有望な産業を創り出すのである。

製造の効率を上げることは、資源不足問題の解決に有効である。今日、人間は地球が生産できるよりも多くの資源を消費している。資源の枯渇という問題に対処するためには、資源の消費を減らしたり、製造をより効率的にしたりする必要がある。韓国は他の国々に比べて製造業の割合が高く、経済成長において製造業が主導的な役割を果たしているため、製造業における革新は不可欠である。製造業の効率化により、労働年齢人口の減少によって引き起こされる労働力不足を緩和することもできる。15歳から64歳までの米国の労働年齢人口は、2045年に2660万人に達すると予想されており、2017年と比較して約71%に過ぎないのである[66]。

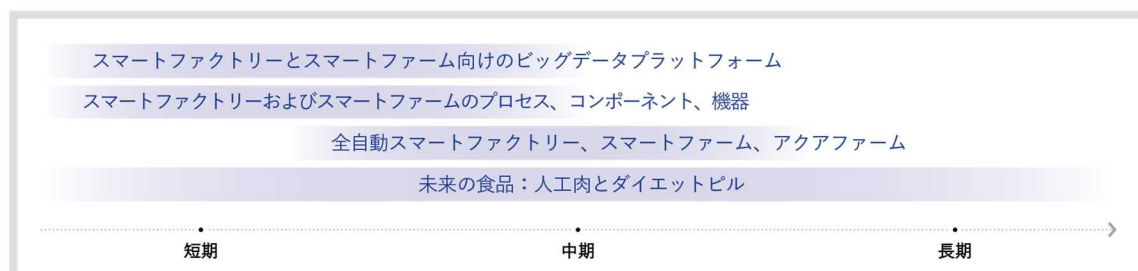
関連技術開発のための提案

農水産業効率化のための技術には、デジタル技術を使ったスマート・ファームやアクア・ファーム運営がある。これまで栽培は主に過去の経験を基にしていたが、データに基づく最適なアルゴリズムの導入により、適切な手法とコントロールを通じて出来高を増やすことができる。これにより、効率が向上するだけでなく、高齢化による人手不足の解消にもひと役買う。近年、垂直農法(平たい畑や温室などで農作物を栽培する代わりに、都会の超高層ビルや、輸送用コンテナなどで、高さを利用して垂直的に農作物を生産する農法)でも一年中作物を育てようと試みられている。

食品技術とは、デジタル、生物学、ナノ技術を用いて、既存の食品に付加価値を付けたり、新しい食品を作ったりすることである。既存の食品のカロリーを下げて特定の栄養素の含有量を増やす技術、ワインの熟成期間を短縮する技術、砂糖や肉など健康と環境に有害な食品の代替品を開発する技術などがある。特に、食糧不足、慢性疾患、環境汚染といった問題を解決する代替手段として人工肉が注目されており、近年多くの新興企業が誕生している。今後は、植物性タンパク質を利用した植物性肉や動物細胞組織を培養した培養肉など、人工肉を大量生産する方法を開発していく必要があるだろう。また、必須栄養素と共に満腹感をも提供するダイエットピルの開発も考えられるだろう。

製造過程の効率性に関しては、デジタル・マニュファクチャリングシステムやスマート・ファクトリーなどがあり、センサー、Internet of Things (IoT)、そしてビッグデータ分析を組み合わせることにより、工場の設計から製造・品質管理までのプロセス全体を管理する。データに基づいて生産プロセスを最適化でき、コンポーネントの交換や障害が発生するタイミングを事前に予測することにより、ダウンタイムを最小限に抑えることができる。サイバーフィジカルシステムやデジタルツインも製造プロセスに適用されている。

関連技術開発のための提案：農業と製造を
よりスマートにする



工場のデータに基づいて現実と同じ仮想製品やプロセスを実装することにより、起こりうる状況をシミュレートすることができるのだ。製品やプロセス設計が変更されたときに発生する可能性のある試行錯誤や欠陥を減らすことができるのである。

将来的には、関連するコンポーネントを組み合わせ、すべてのファーム向けのデジタル・システムとビッグデータ・プラットフォームを構築する必要があるだろう。既存の産業用ロボットを補う製造用協働ロボットを開発することもできる。さらに、完全に自動化されたスマート・ファームと工場を構築することもできるだろう。これらは、人間が何もしなくても 24 時間 365 日自動的に稼働することができる。

4-5-2. グリーンエネルギー源を確保し、エネルギー効率を向上させる

未来社会で必要なことは何か

エネルギーは私たちの生活や産業に欠かせないものである。人口が増加し、産業が発展するにつれて、人間社会は将来、より多くのエネルギーを消費するだろう。国際エネルギー機関（IEA）によると、世界は 2040 年までに現在よりも 25% 多くのエネルギーを使用すると予想されている[67]。特に韓国は、エネルギーの生産と消費の構造を変える必要がある。我が国の一人当たりのエネルギー消費量は、急速な経済成長のため過去 30 年間で毎年約 5% ずつ増加しており、世界平均と比較してたいへん高いものとなっている[68]。さらに、エネルギーの輸入への依存度が 2018 年の時点で 93.7% に達したことを考えると[69]、エネルギー安全保障も重要である。

エネルギー供給という点では、石炭や石油などの化石燃料にはさまざまな欠点がある。埋蔵量が限られており、永久に使用することはできない。価格は国際政治に応じて変動する。また、温室効果ガスや粒子状物質などの大気汚染物質を生じさせる。したがって、私たちは豊富でクリーンなエネルギー源をなんとかして見つけ出さなければならない。政府は、2030 年までに再生可能エネルギー発電の割合を 20% に増やすという「再生可能エネルギー 2020」政策を推進している[70]。長期的には、目標を「2045 年までに再生可能エネルギーの 30%」に引き上げ、実現に向けた取り組みを行っていく。

エネルギー需要の点では、エネルギーを効率的に利用するとともに、エネルギーを節約する必要がある。エネルギーを節約するということは、すなわち入るものも出るものも少なくなることを意味し、エネルギーを効率的に使用すれば、少ない資源でこれまでと同じもしくはより大きなエネルギー出力を生み出すことができる。エネルギーを効率的に使用するには、損失を最小限に抑えるためエネルギーの需要と供給を効率的に一致させる必要があるのだ。

関連技術開発のための提案

エネルギー技術は、供給側と需要側に分けることができる。供給側の技術は、太陽光発電、風力発電、水素エネルギーなどである。需要側の技術（デマンドサイド・テクノロジー）には、効率の向上とデマンド・レスポンスなどがある。

太陽光発電は、光電効果により太陽電池で発電する。通常、発電所は地上に設置されるが、湖や海にも設置されており、将来的には宇宙にも設置される予定である。風力発電は、タービンを風で回転させて電気を生成する。ある程度の風速が必要なため、通常は海岸や山に発電施設を設置する。最近、浮体式洋上風力発電所も試みられている。将来的には、ペロブスカイトなどの新素材を使った高効率太陽電池の開発が不可欠である。窓や外壁、道路など、さまざまな場所に透明なソーラーパネルを設置することで、発電することができる。ゆくゆくは、宇宙太陽光発電によって大量のエネルギーが供給されるようになるだろう。水素エネルギーは水素の形でエネルギーを貯蔵し、燃料電池で酸素

と結合し電気を生み出す。発電の副産物は水だけであるという点で環境に優しいと言えるだろう。しかし、鍵となるのは水素の製造方法である。

現在、水素は主に水の電気分解または化石燃料の分解によって得られている。水素は、クリーンエネルギーを使用して水を電気分解して生成される場合はクリーンだが、それ以外の方法で生成された場合はクリーンではない。将来的には、クリーンな方法で水素を大量生産する方法を考え出す必要がある。長期的には、すべての輸送を水素エネルギーに変換することを検討するべきだろう。

効率を向上させるには、LED 照明や断熱装置などの高効率装置や、デジタル技術でエネルギー使用量を測定し無駄な要素を特定して除去する、エネルギー管理システム（EMS）が利用できる。将来的には、断熱性を最大化し、グリーンエネルギー源を利用してエネルギーを生成するゼロエネルギービルを増やす必要がある。

デマンド・レスポンスはエネルギーの需給に応じて価格を調整するもので、消費者は価格の変動に応じて消費を控えたりすることができる。それを実現するためには、スマートメーターとエネルギー貯蔵システム（ESS）で構成されるスマートグリッドを構築する必要がある。将来的には、データ分析と人工知能をスマートグリッドに採用し、建物、地域、都市などのエネルギーの需給を最適化すべきであろう。固体電解質などの次世代のエネルギー貯蔵も開発しなければならない。充電せずに半永久的に使用できるバッテリーの開発も試みる価値があるだろう。

関連技術開発に関する提案：グリーンエネルギー源の確保、
エネルギー効率の改善



4-6. 宇宙生活圏および安全かつ便利なスマート・モビリティを実現する

4-6-1. 全世界を超高速列車でつなぐ

予想される未来社会の需要

物や場所をつなぐことは通信や交換を可能にし、その接続速度によって通信や交換の速さも決まる。これは、デジタルの世界だけでなく、現実の世界にも当てはまる。1970 年の京釜高速道路開通、2004 年の KTX 開通がその顕著な例である。高速輸送の発達により、時空を超えたコミュニケーションと交流が可能になり、生活の質が向上するのだ。

我が国は他の国々からどのくらい離れているだろうか？アジアでは、北京は 954 km、東京はソウルから 1,153km の距離にある。ヨーロッパのパリは 8,967km、北アメリカのニューヨークは 11,056km、アフリカのケープタウンは 13,719km、南アメリカのブエノスアイレスは地球の反対側にあり、ソウルから 19,439km 離れている。飛行経路を考慮しないとして、時速 1,000km の場合は 20 時間、時速 6,000km の場合は 4 時間以内にすべての都市に到達できる。言い換えれば、輸送技術の発展により、将来、全世界どこへでも一日で行けるようになるだろう。

高速輸送によって世界中の移動時間が数時間に短縮されると、たくさんの変化が起こる。ソウルから米国またはヨーロッパまで 2~3 時間で移動できるとすると、人々のライフスタイル（仕事とレジャー）は今日とはまったく異なり、これまで不可能だった新しい経済活動が生まれる。数時間で世界各国に行けるようにするという具体的な目標を設定し、超高速輸送の開発に積極的に挑戦する必要がある。

関連技術開発のための提案

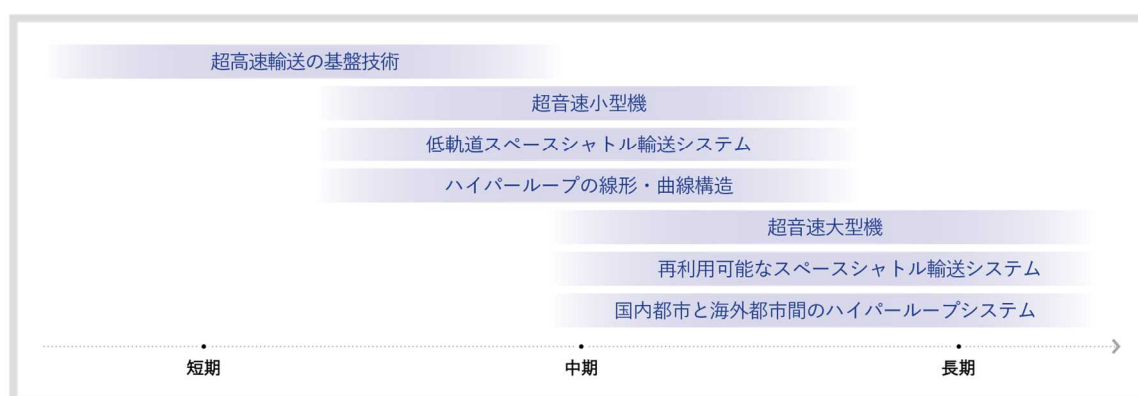
超高速輸送には、極超音速航空機やスペースシャトル・システム、地上ではハイパーループなどがある。

極超音速機は、時速 6,000km 以上の速度で飛行する。音速の 5 倍（マッハ 5）、つまり通常の航空機の 7 倍の速度である。ジェットエンジンの最大飛行速度は制限されている。これは、燃焼速度に合わせてエンジンに入る空気の下げる必要があるからである。したがって、極超音速機のコア技術は、流入する空気の下を極超音速に保ち、空気を燃料と混合して燃焼を可能にするものである。将来的には、炭素繊維による軽量化、空気抵抗を低減するための飛行機の胴体の開発、ソニックブームの除去・低減などの基本技術を開発する必要がある。これらのことを基盤にして、マッハ 5 を超える速さのエンジンを開発し、極超音速機を商品化することができるのである。

スペースシャトル・システムによって、人々は宇宙（低軌道）へ行って、また地球に戻って来ることができる。空港からジェットエンジン・システムで離陸し、宇宙空間に入り、発射体エンジン・システムで飛行し、空港に着陸するときは再びジェットエンジン・システムを使用する。コアとなるテクノロジーは、サブマッハや超音速など、さまざまな飛行条件で効率的に動作するように設計された可変サイクルエンジンである。将来的には、超高速推進システムや大気圏への再突入などの基盤となる技術を備えたスペースシャトル・システムを開発する必要がある。再利用可能なものが開発されることを期待したい。

ハイパーループは、音速に近い時速 1,200km で都市同士をつなげる。カプセル型の車両（列車に似ているが、車輪は無い）は、磁気浮上方式でほぼ真空中で密閉された円形のチューブ内を走行する。ハイパーループは、円形の構造物と線路上との間に磁場を生成するコイルを設置する必要があるため、初期コストは高いが、運用コストは比較的低くてすむ。これまで、試運転は短距離でのみ行われていた。将来的には、電磁モーターや磁気浮上システムなどの基礎技術を開発し、水中や地上のさまざまな地形を考慮して、直線や曲線の形で構造物を設計・構築する必要がある。このような技術で、国内外の都市間を結ぶハイパーループ・システムを確立するべきであろう。

関連技術開発の提案：全世界を超高速車で結ぶ



4-6-2. モビリティをグリーンでインテリジェントなものにする

未来社会に必要なことは何か

気候変動と環境汚染に対処するための地球環境規制は、化石燃料を使用する内燃機関車、つまりガソリンエンジン車の使用を狭めている。2020年6月現在、17カ国がガソリンエンジン車の運転を制限または禁止し、販売を禁止し、100%ゼロエミッション車に置き換えることを宣言した。2019年12月にフランスで法律が制定されてから、多くの国でこのような法律が施行されている[71]。そのため今後否応なく、電気と水素を動力源とする環境にやさしい自動車への転換が必要となるのである。

輸送のパラダイムシフトは、安全性の観点からも重要である。交通事故は世界で8番目に大きな死因であり、2016年には140万人が交通事故で亡くなった[72]。交通事故の約90%は、飲酒、運転不良、倦怠感、過失などの人間の運転者の過失が原因であることが知られている。したがって、自動運転車の利用を拡大することで、交通事故による死傷者や人的損失を減らすことができる。自動運転のトラックやロボットは、人よりも事故の可能性が低く、1日24時間、1年365日移動できるため、安全性と経済的実現可能性を高めるためのロジスティクスに使用できる。

一般的な乗用車の使用率は10%未満で、90%以上の時間駐車場に置きっぱなしにされている。多くのユーザーが共有する自動運転車は、利用率が高くなってきている。人々が現在と同じ時間、車を使用すると仮定すると、自動運転車は必要な車の数を減らし、交通渋滞と駐車スペースを減らすことができる。

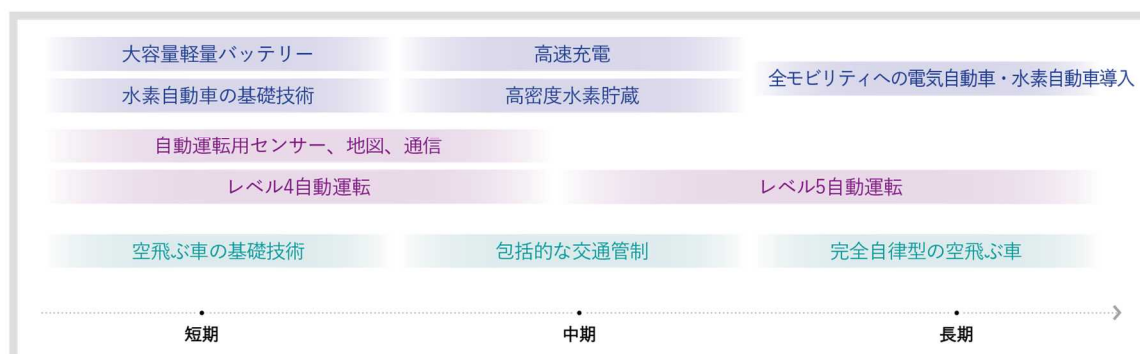
環境に配慮した高度道路交通システムは、気候変動や交通事故といった諸問題の解決に寄与するだけでなく、世界市場をリードする新しい成長エンジンにもなりえる。「2045年までにフル自動運転車を開発する」などといった具体的な目標を設定し、開発・流通に努める必要がある。

関連技術開発のための提案

グリーン・ビークルには電気自動車や水素自動車などがあり、インテリジェントカーには自動運転車や空飛ぶ車などがある。

電気自動車のコアとなるものは、モーター、バッテリー、充電器である。現在、主にインライン・モーターシステムが使用されているが、インホイール・モーターシステムも開発されている。インライン・モーターシステムは、モーターを車軸に接続し、2つの車輪を同時に回転させるものである。インホイール・システムは、各ホイールにモーターを取り付け、それらを独立して駆動するものである。バッテリーについては、充電時間を短縮し走行距離を伸ばすために、大容量バッテリーの開発が進んでいる。将来的には、大容量でしかも軽量のバッテリーと、高速充電システムを開発する必要がある。

関連技術開発に関する提案：モビリティをグリーンで
インテリジェントなものにする



水素自動車は、バッテリーに蓄えられた電気を使用する電気自動車とは異なり、燃料電池内の水素と酸素の電気化学反応によって生成された電気でモーターを駆動する。現在、燃料電池の機能を向上させる技術、大量生産を可能にするための製造コストを下げる技術、水素を安定して確保・供給する技術が開発されている。将来的には、熱問題を解決する技術や水素を高密度に貯蔵する技術を開発する必要がある。

自動運転車は、レーダー（電波で物体を検出して距離を測定する）、LIDAR（レーザーで物体を識別する）、そしてカメラなどのセンサーと部分と、車両と周りの物体との間での通信部分で構成されている。現在の技術レベルは「条件付き自動運転」（レベル3）と評価されている。ドライバーを補助することで事故のリスクを下げることはできるが、ドライバーの判断に取って代わるものではない。将来的には、センサー、デジタルマップ、通信などの基本技術を開発し、レベル4（高自動運転）およびレベル5（完全自動運転）システムの開発を試みなければならない。

空飛ぶ車は、垂直に離着陸するため、道路での運転と空中飛行の両方が可能である。空飛ぶ車の商業化には、車体の設計、飛行ソフトウェアの保護、乗客の安全技術の開発、および離着陸時に使用するインフラの構築が不可欠である。将来的には、分散型電気推進システムなどの基盤技術を確保し、自動車・空飛ぶ車・航空機をつなぐ総合的な交通管制システムを確立していく必要がある。これらの技術に基づいて、完全自律型の空飛ぶ車を開発することができる。

4-7. 安全で多様な通信チャネルと信頼性の高いネットワーク

4-7-1. 次世代通信技術の開発

未来社会に必要なことは何か

2045年に私たちが理想とする「公平で信頼できる社会」を実現するためには、何よりも社会における効果的なコミュニケーションが不可欠である。社会的コミュニケーションを効果的にするためには、政治的・社会的努力がたいへん重要だが、科学技術にもできることはある。社会的に重要な決定を行う際に関連データを透過的に開いたり、人々が意思決定プロセスを監督したり参加したりできるようにしたり、社会的コンセンサスを形成するための議論を促したりすることである。住んでいる地域や持っている障害に関係なく、すべての人々が公共サービス、特に教育を受けられ、同じくチャンスをもたらえる社会を作るのが、科学技術の役割である。

私たちの社会がCOVID-19の流行により非対面・非接触の社会へと急速に進化するにつれて、オンライン・コミュニケーションの重要性が高まっている。効果的なオンライン・コミュニケーションのためには、コミュニケーションのリアリズムを高める必要がある。現在、私たちは主に文字・音声・映像で情報を交換している。バーチャルリアリティとホログラムを使って現実には似た仮想環境を実現できれば、コミュニケーションのリアリズムは大幅に向上するだろう。

コミュニケーションをより効果的にするために、これまで存在しなかった新しいコミュニケーション技術を開発することもできるだろう。障害者、高齢者、言語能力の未熟な乳幼児とコミュニケーションをとることで、彼らのニーズをよりよく理解することができる。機械や動物など、身の回りの物とコミュニケーションがとれれば、自分の世界をよりよく理解することができるだろう。

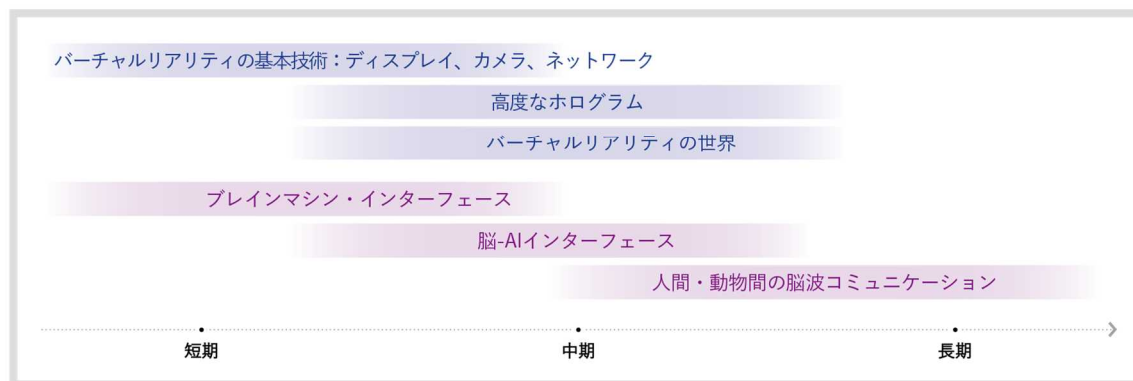
関連技術開発のための提案

効果的なコミュニケーションを実現する技術には、仮想現実やホログラムなどコミュニケーションのリアリズムを強化するテクノロジーと、脳波コミュニケーションなどの新しい形のコミュニケーションチャネルを作り出すテクノロジーがある。

バーチャルリアリティは、仮想データを現実世界に付け加え、新しい仮想空間を作り出すものである。ユーザーに仮想世界を現実のように感じさせることが重要である。ヘッドマウント・ディスプレイ（HMD）は、ユーザーの目の前に画像を表示するデバイスである。ホログラムは、複数のレーザーによって引き起こされる光の干渉を使用して、3次元空間の画像を視覚化するものである。将来的には、人間の目と同じ視界と解像度のディスプレイ、360度の3次元画像をキャプチャするカメラ、残像のない3次元画像を実現する超高速・超低遅延のネットワークを開発することが不可欠である。人

間の網膜に直接3次元画像を投影する仮想網膜ディスプレイの開発も挑戦する価値があるだろう。360度全方位を見ることができる立体画像再現の技術も期待されている。また、世界中の人々が集まり、コミュニケーションをとる仮想の現実世界も考えられるだろう。

関連技術開発の提案：次世代通信技術の開発



脳波通信は、人の言葉、考え、感情を電磁波で他の人に伝えるものである。脳波は、脳が睡眠、思考、記憶など特定の活動を行うときに現れる電磁信号である。脳波は人間の脳に関する有用な情報源である。脳の各領域はそれぞれ特定の機能を担っており、一部の領域は私たちが話すときに文を構成する働きをする。したがって、人が文章を話すときに機能する脳の領域を特定できれば、その文章を電磁的に構築することができるのだ。将来的には、人間の脳と人工知能が相互作用するブレイン・マシン・インターフェースとブレイン・AIインターフェースを開発することができるだろう。長期的には、これらの技術を翻訳に応用することで、異なる言語を使った外国人同士の自由なコミュニケーションが可能になるかもしれない。また、人間と動物のコミュニケーションを可能にする脳波コミュニケーションも考えられるだろう。

4-7-2. 信頼性が高く安全な通信ネットワークの構築

未来社会に必要なことは何か

私たちの社会は信頼に基づいて維持されている。社会において、中央政府と地方政府が納税者のお金を間違った目的に使用したり、募金活動者が本来の目的以外の目的で寄付を使用したりした場合はどうなるだろうか？オンライン投票での私の意志が、他の誰かによって改変されたらどうなるだろうか？このような社会では、人々の間の対立が激しくなり、信頼を築くことができなくなる。

私たちの社会を信頼できるものにするもう一つの重要な基準は、安全である。金融機関に預けた資産が一夜にしてなくなったらどうなるだろうか？誰かが私のコンピューターに保存されているデータ

を盗んだり、家族との会話を盗聴したらどうなるだろうか？そのような社会では、通常の経済活動や社会生活を維持することは難しいであろう。

より高いレベルの信頼と安全は、私たちの社会をより良くすることができるのだ。たとえば、オンライン投票の信頼性が高まると、選挙や調査を通じて人々がより頻繁に公の意思決定に参加できるようになる。農産物の産地と品質を信頼できれば、それに応じて価格も上がり、高品質の農産物を供給する生産者の数も増えるだろう。さらに、オンライン取引や契約の信頼性と安全性が保証されれば、不動産、エネルギー、知識など、経済の効率を高めるさまざまな取引を促進することができる。

私たちの社会が非対面・非接触になり、自動車、家庭用機器、電力インフラなどのデジタル・ネットワークへの接続が進めば進むほど、オンライン通信やトランザクションの信頼性と安全性がより重要になる。そして、それを強化するための技術力が不可欠である。

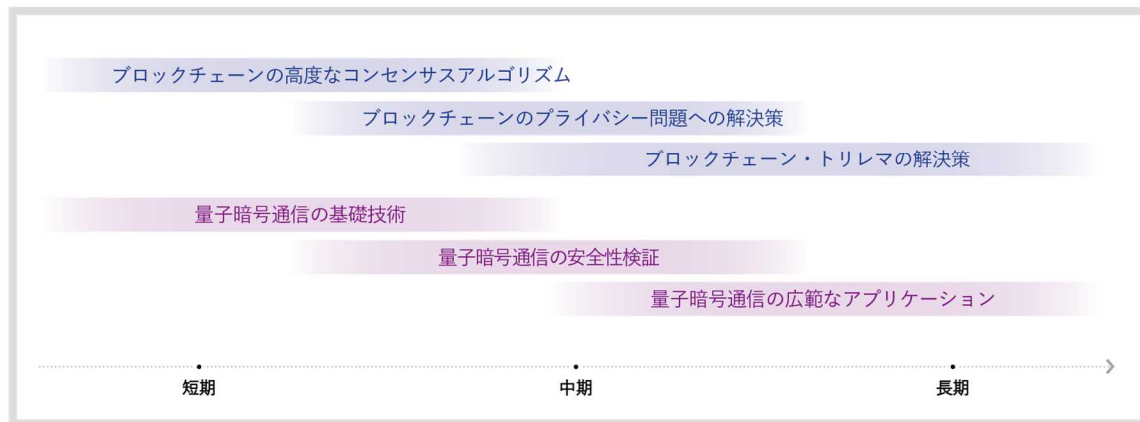
関連技術開発のための提案

通信とトランザクションの信頼性と安全性を強化する技術には、ブロックチェーンや量子暗号通信がある。

ブロックチェーン（分散型台帳テクノロジーとも呼ばれる）は、データを含むブロックをチェーンの形式で相互に接続し、それらのコピーを各ユーザーに送信する。データは数百から数千の場所に保存されるため、データの操作は事実上不可能である。現在、ブロックチェーンは主にビットコインを含む仮想通貨の取引に使用されているが、将来的にはスマート・コントラクトの形でさまざまなアプリケーションで使用される予定である。スマート・コントラクトは、特定の条件が満たされたときに実行されるよう契約を自動化したものである。たとえば、スマート・コントラクトを不動産取引に適用すると、情報をリアルタイムに共有し、契約の偽造や改ざんを防ぎ、取引プロセスを短縮することで効率を高めることができる。

将来的には、ブロックチェーンのコンセンサス・アルゴリズムを改善し、トランザクション処理速度を高速化すると同時に、中央管理なしでトランザクションを処理できるよう分散化を進める必要がある。ブロックチェーンは、誰もがアクセスできるようすべてのメンバーに情報開示することにより、情報の透明性と信頼性を確保するものである。したがって、準同型暗号化やゼロ知識証明などの技術を使って個人情報を保護しなければならない。また、ブロックチェーンのトリレンマの解決方法を見つける必要がある。つまり、中央管理者なしで多くのユーザーとデータを共有するための分散化、より多くのデータを処理するためのスケーラビリティ、偽造と改ざんを防止するためのセキュリティという3つのプロパティすべてを満たすことはかなり難しいと言わざるを得ない。

関連技術開発のための提案：信頼できる安全
な通信ネットワークの構築



量子暗号通信は、次世代の通信セキュリティ技術として注目されている。量子を使用してデータを交換します。量子とは、分割できない物理量の最小単位である。従来の暗号化技術は複雑な数式を使用するが、コンピューターが十分に高速であれば、それらを難なく処理することができる。一方、量子暗号通信は、第三者がエンコードされたデータにアクセスすると量子状態が変化するという事実を利用して、ハッキングが試みられたこと察知し、再度暗号化することで重複やハッキングを防ぐものである。将来的には、暗号キーの配布、マルチツーマルチ通信、および量子暗号通信衛星が必要である。量子暗号通信の信頼性と安全性をアプリケーションが検証された後で、我が国のすべてのインフラおよび業界に導入しなければならないだろう。

4-8. 人類の生存のため未知の世界を探索する

4-8-1. 宇宙、深海、極地の探索

未来社会に必要なことは何か

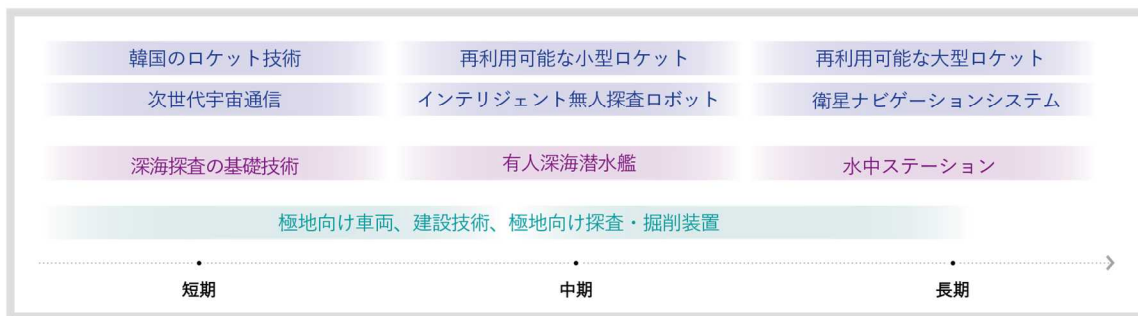
宇宙、深海、極地は、探検の対象から、経済的目的のための空間、つまり資源および住居空間へと変化してきている。現在、人間の活動範囲は地表の一部に限定されているが、将来的には深海、極地、宇宙にまで拡大し、資源の確保と生活空間の構築が図られるだろう。北極海と南極海、および深海は、大量の鉱物、生物、新素材を含む資源の宝庫である。人口増加、資源の枯渇、環境破壊など、地球の現在の状況を考えると、未知の場所を探索することはもはや必然である。

宇宙、深海、極地は、これまで長い間、一部の国でしか探索されてこなかった。しかし、技術革新にアクセスしやすくなったため、近年他の多くの国々が挑戦している。原則として、宇宙、深海、極地などのスペースを独占できる国はないが、実際には、投資や研究を行う国々は将来、競争で優位に立つことができる。さらにいえば、彼らが実際に占有や主権を主張する可能性を排除することもできない。たとえば、南極は1961年に南極条約が発効して以来、領土ではなく科学研究の場となっている。しかし、南極条約が満了する2048年以降、各国が領土の主張を再び始めるのではないかという懸念もある。

宇宙、深海、極地への探検はそれ自体が意味のあるものだが、我々にもたらす利益も多い。革新的技術開発を通じて、航空、防衛、造船、資源、エネルギーなどの関連産業を成長させ、他のすべての産業と基礎科学の基盤を築くことができる[73]。それによって我が国の地位が高められ、国民もより誇りに思うようになるだろう。世界的な競争に遅れをとらないよう、宇宙探査への投資を拡大する必要がある。

関連技術開発のための提案

宇宙開発技術には、実際のミッションを実行するための衛星と宇宙探査機、それらを宇宙に送るための発射物、通信・制御のための地上ステーション、人間が宇宙に滞在できる宇宙ステーションや衛星ナビゲーション・システムなどがある。



衛星は地球の周りを回る。韓国は 1992 年の科学研究衛星「OurStar1」を皮切りに、静止軌道衛星「チョンリアン」と多目的実用衛星「アリラン」を開発し地球周回軌道へと打ち上げた。宇宙探査機は、地球やその他の天体を探査するために宇宙に打ち上げられる。宇宙は温度変化、真空、放射性崩壊など、人類が探索するには非常に過酷な環境であるため、ロボットによる遠隔無人探査が試みられている。

発射体は、ペイロードを地球表面から宇宙に運ぶために使用される 3 段ロケットである。この技術を持っている国々はごくわずかであり、商業ローンチ市場をリードしている。韓国は、2013 年にロシアと協力してナロを打ち上げて以来、韓国式ロケット「ヌリ」を開発している。

地上局と宇宙探査機の間でやりとりされる宇宙通信には、現在、マイクロ波を利用した NASA のディープスペース・ネットワークが利用されている。しかし、その伝送速度は長距離で低下し、太陽系内でしか使用できない。これらの問題を解決するために、自由空間光通信を含む代替技術が開発されている。

グローバル・ナビゲーション衛星システム（GNSS）は、衛星からの電波を使用して地球上の位置を測定する。韓国は、外国の衛星航法システムを補完して精度を向上させる、衛星航法強化システムを開発しており、独自の衛星航法システムの確立に挑んでいる。

将来的には、我が国の発射体技術を完成させなければならない。再利用可能な大小発射体を開発する必要がある。また、次世代の宇宙通信技術やインテリジェント無人探査ロボットの開発も必要であろう。宇宙ステーション建設の国際プロジェクトに参加しつつ、長期的には我が国単体で挑戦することもできるだろう。また、衛星航法システムの産業上の重要性を鑑み、韓国測位システム（KPS）を確立すべきであろう。

深海探査の技術には、探査機、無人・有人の深海潜水艦、水中ステーションなどがある。韓国にはすでに探査機と無人深海潜水艦があり、有人深海潜水艦の開発が試みられている。これは深海技術の集大成といえる。7,000mまで潜水可能な有人潜水艦は、世界の海の 99%を探索することができる。有人深海潜水艦を建造するには、高い水圧に耐えられる材料、電子機器、構造設計が必要である。水中ステーションは、酸素、水、食料を供給し、巨大な水圧に耐えなければならない。将来的には、有人

深海潜水艦の開発のために、潜水艇材料、電子機器、深海陸通信技術の研究を行う必要がある。それらの技術を基に、7,000mまで潜水可能な有人潜水艦を開発することができる。宇宙空間での宇宙ステーションと同じように、海底に駅や都市を作ることができるだろう。

極地テクノロジーには、研究基地や砕氷船などがある。韓国は1985年に南極観測基地探査を開始し、現在、キングセジョン基地（南極、1988年）、ダサン基地（北極、2002年）、チャンボゴ基地（南極、2014年）といった3つの研究基地がある。砕氷船は、北極海や南極海を移動するための重要な輸送手段である。韓国は7,500トンの砕氷船アラオンを運航している。将来的には、極地の低い気温でも運用できるヘリコプターや航空機などの輸送手段を開発する必要がある。また、潜水艦を建造して北極海の海底の生態と資源を探索したり、資源開発ために氷河を掘削したりすることもできる。

4-9. 創造的知識の俯瞰：基礎科学における大きな疑問

基礎科学は、自然現象の原理を研究することによって、人類の知識を広げる学問である。一般に、基礎科学は結果の適用可能性を考慮したり、その価値を予測したりしない。しかし、基礎科学は多くの科学的進歩の源であり、その結果としての経済的利益を人類が現在享受しているのだ。今後、壮大な目標を設定し知的探求を続けることが基礎科学の役割である。基礎科学の有望な研究テーマは無限大である。以下にいくつかの例をあげてみよう。

人類の病気と老化の謎

健康で長生きすることは、全人類の共通の願いである。人間の平均余命は、過去 2 世紀の間に 2 倍以上になった。では、平均余命はどの程度伸ばすことができるのだろうか。

平均余命の延長に関する見解は、楽観主義者と悲観主義者に分けられる[74]。楽観主義者は、2150 年までに 150 歳まで生きることができると主張している。彼らは、薬と遺伝子治療は、老化の主な原因であるフリーラジカルによって引き起こされる細胞損傷を防ぐことができると言っている。悲観論者は、人間のゲノムには本質的に生命の限界が刻まれており、技術がどれほど進歩しても、人間の生命を 130 歳以上に延長することはできないと主張している。

病気に関連する最新の調査結果は、非常に興味深い。2019 年にノーベル生理学・医学賞を受賞した研究によると、細胞が低酸素環境に適応するという原理を利用して病気を治療することができるというのである。酸素の供給不足は細胞に損傷を与えるため、多くの病気が細胞内の酸素の供給に関連している。貧血は赤血球の不足による酸素の供給不足によって引き起こされる。心臓発作や脳卒中は、心臓や脳への酸素供給が停止したときの組織への損傷によって発生する。しかし、癌細胞は低酸素環境でも生き残る。これらのサバイバル・シークレットを逆に利用することで、低酸素による細胞の損傷を防ぎ、病気を治療することができるのだ。

一部の研究者は、病気というのはそもそも自然環境に蔓延しているさまざまな毒素に適応するための体の反応メカニズムである、と考えている。外部環境のさまざまな危険から身を守るための一種の警報または防御システムだというのだ。この観点からすると、逆説的に言えば病気は人間にとって不可欠な要素かもしれないのである。

記憶と夢に関する脳機能

科学の最前線である脳科学は、さまざまな分野を網羅する包括的な研究である。科学者の知的好奇心を絶えず刺激している未知の領域がまだいくつか残っている。2013 年 6 月、Nature 誌は脳科学を特集し、過去の数多くの研究にもかかわらず、脳とは何か、脳がどのように機能するかについてはま

だほとんど分っていないことばかりだと書いた。これは科学者の率直な告白であり、脳研究の現状である。意識、記憶、夢を理解するための手がかりは、脳のどこかにあるはずなのだ。

脳の構造と機能の研究は現在2つの方向に進んでいる。1つ目は、脳内のすべてのニューロンの位置と接続を地図、いわゆるマップにすることである。マップ（コネクトーム）の作成と分析は、コネクトミクスと呼ばれる。2つ目は、脳を分子レベルに逆設計して、人工またはデジタルの脳を作成することである。たとえば、欧州連合によって推進されているヒューマンブレイン・プロジェクト（HBP）は、人間の脳内の860億個のニューロンとそれらの間の100兆個のつながりをコンピューターでシミュレーションすることに取り組んでいる[75]。脳のコンピューター・シミュレーションが完成すれば、神経科学や医療技術などに革命的な変化が起こるだろう。

記憶は人間の行動に大きな影響を与えるためたいへん重要だが、記憶それ自体についてはあまり解明されていない。人間の記憶に関する研究は最近増加しているが、記憶の形成や回想など、記憶に関連する多くのメカニズムはまだよく分かっていない。脳の研究がまだ進んでいない上、生きている状態の人間を研究することには限界があるため、記憶に関する研究は何かと制約がある。しかし、注目すべき成果の1つは、2014年にノーベル生理学・医学賞を受賞した研究である。この研究では、場所に関連する記憶を保存する「場所細胞」と、脳内の空間と距離を検出する「グリッド細胞」が存在することを発見した。言い換えれば、人間が自分の居場所を認識する「体内のGPS」があるというのである。

夢を見ること-睡眠中の精神的活動-も私たちが興味をひかれるトピックである。機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を使用して、睡眠中に活性化される脳の領域を特定することはできるが、それでも夢の内容を完全に記録することは不可能である。私たちは、人が夢を見ているときに何を見ているか、部分的にしか知ることはいできない。近い将来、眠っている間に夢を保存し、後で映画のように見ることができのかもしれない。

宇宙の創造と進化の原理

人類と宇宙のすべてのものがどこから来ているのか、宇宙の起源は何か、ということは人類にとって根本的な疑問である。宇宙の探索は、ビッグバン（宇宙の誕生）から現在までのすべての創造と進化を調査するのは困難な作業である。しかし、宇宙が生まれ、進化してきた過程を明らかにすることができれば、私たちが住んでいる世界についてもっと多くのことが分かるだろう。

研究者たちは、宇宙の起源と進化についての重要な手がかり、つまり暗黒物質を発見した。これは、宇宙の大部分を占めると予想され、物質の密度と分布に大きな影響を与えると予想される架空の物質である。宇宙を構成するさまざまな元素のうち、実際に観測できるのは5%のみで、残りの25%は暗黒物質、70%は暗黒エネルギーである。したがって、暗黒物質は、ビッグバンの間に物質がどのように広がったか、エネルギーがどのように機能したか、そして天体と銀河がどのように作られたかという情報をもたらしてくれる。20世紀後半になると、暗黒物質の証拠が次々と報告され始めた。今

や私たちは、暗黒物質の存在を単に証明するだけでなく、その分布を見つけることへと移行している。近年、多くの科学者が「アクシオン」を検出しようとしており、それが暗黒物質ではないかと言われてきている。しかし、暗黒物質についてはまだ多くのことがわかっていない。

重力波も宇宙の進化を理解する手がかりとして注目を集めている。重力波とは、星の爆発やブラックホールの誕生など、大きなエネルギーを伴う出来事が発生したときの時間と空間の変動である。アインシュタインは重力波の存在を予測したが、ほとんどの人は、重力波は測定するには小さすぎる変化であると考えた。しかし実際には、重力波は1世紀で検出された。ブラックホールや中性子星などの超大質量物質の変化が起こると、地球上で検出するのに十分な重力波が生成されるため、宇宙で起こる巨大な変化を検出できるのである。重力波に関するさらなる研究によって、ビッグバンの兆候である宇宙に広まっている重力波を感知することができるかもしれない。

新素材の開発

世界は何でできているだろうか？科学者は、目に見える物体だけでなく、それを構成する原子や小さな粒子にも興味を持っている。なぜならその特性は、原子などの小さな粒子がどのように配置されているかによって決まるからである。たとえば、炭素原子の結合の仕方によって、鉛筆、ダイヤモンドまたはグラファイトになるのである。研究者たちは、粒子の組成や配置を観察・変化させることで、新しい性質を持った新しい材料を開発している。

粒子の最小単位を観察することは、新素材研究の基礎である。原子は、原子核内にある陽子と中性子、および原子核を取り巻く軌道にある電子で構成されている。これらの粒子が小さな断片に分割されると、レプトンやクォークなど基となる粒子に分解される。これは、現在までに見つかった中で最小の粒子である。科学者は電子顕微鏡で原子の構造と配置を観察する。電子顕微鏡でも観察が難しい素粒子の内部構造を観察するために、粒子加速器を使用している。理論的にしか知られていなかったヒッグス粒子と呼ばれる基本粒子は、2012年に粒子加速器を使って発見された。

新しい物質としての反物質の概念は、新材料研究において魅力的なトピックである。反物質とは、通常物質と同じ質量とエネルギーを持ちながら、電気的性質が反対の物質を指す。たとえば、負の電荷を持つ電子の反物質は同じ質量とエネルギーを持ち、正の電荷を帯びている。これは「反電子」または「陽電子」と呼ばれる。科学者は実際に反物質の存在を観察・確認したが、反物質を自然な状態で製造・維持することは非常に困難である。しかし、物質と反物質を組み合わせると、非常に奇妙な現象を観察することができる。質量が消え、巨大なエネルギーしか残らないのだ。将来的にはエネルギー源として利用できるかもしれない。

超伝導体は、臨界温度である特定の温度以下では抵抗なしに電気を伝導する。特定の温度を下回ると抵抗がなくなり、電子が材料内を自由に移動するのである。無駄なロス無く電流を流すことができ、蓄えることができるため、ストレージ・デバイスの夢の素材と見なされている。現在は、臨界温

度が -240°C の低温超電導体しか実用化されていないため、産業での利用は困難である。研究者たちは、臨界温度が -24°C 以上の高温超伝導体と、臨界温度が 0°C を超える室温超伝導体を開発している。

地球上のほとんどの物質は、宇宙の形成の初期に超高温と超高压の極限環境で形成された。したがって、材料が形成される基本的なメカニズムを理解するには、超高温高压下で新材料開発の研究と実験を行う必要がある。原子レベルで材料の凝集力を調整することにより、自然界には存在しない新しい特性を備えた新材料を開発するための研究が進行中である。

数学のミレニアム問題

数学（代数、幾何学、数論、分析など）は、量、構造、空間と変化の研究である。さまざまな現象を分析し、そのパターンを発見する。

数学的モデリングと分析は、現実社会の問題のより良い解決策を見つけるため、世界で広く使用されている。たとえば、天気予報の精度を向上させたり、携帯電話の通話を暗号化するというようなことに使われている。また、COVID-19を含むウイルスの拡散パターン予測にも使用されている。未来の不確実性が大きければ大きいほど、数学の重要性は大きくなる。

数学は、人工知能を効果的に活用するために不可欠である。これは、未来のための重要なテクノロジーである。たとえば、人工知能の学習プロセスでは、ほとんどのデータがベクトルと行列で表現されるため、微分積分学の概念は重要である。したがって、人工知能の原理を理解し、新しいアルゴリズムを開発するには、数学が不可欠である。

研究者達は多くの難しい数学的問題に挑戦している。クレイ数学研究所は2000年にミレニアム問題[76]に取り組んだ：（1）P対NP問題、（2）リーマン予想、（3）ヤン-ミルズと質量ギャップ、（4）ナビエ-ストークス方程式、（5）ホッジ予想、（6）バーチ・スウィンナートン・ダイアー予想、（7）ポアンカレ予想[77]などがある。

これらの問題を解決することは、数学自体の進化に貢献するだけでなく、現実社会での多くのアプリケーションで利用することができる。たとえば、ナビエ・ストークス方程式は、水や空気などの流体に作用する力と運動量の変化を表す偏微分方程式である。課題は、この方程式の解が3次元空間に存在することを証明することだ。数値解析による方程式の近似解でさえ、空気抵抗を減らすための車両の設計、天気や災害の予測などに役立つ。方程式の正確な解を見つければ、設計の品質と予測の精度を大幅に向上させることができる。

5. 科学技術政策の方向性

この章のキーワードは「変化」である。第4章で提示した課題に対処するには、イノベーション政策を効果的かつ効率的なものに変更する必要がある。実行者（主体）、空間（スペース）、そして政策（ポリシー）を取り巻く環境の観点から、政策をシフトしていくために何をすべきかについて簡単に説明しよう。

まず、イノベーション・エコシステムの中心的な実行者である、人材、研究者、企業、そして一般の人々の方針を大きく変える必要があるだろう。人材育成方針は、人材をひとまとめに確保するのではなく、ひとりひとりが最善を尽くせるよう手助けするものであるべきである。研究者の方針について言えば、創造的かつ挑戦的な研究をし続けられるよう、現状維持から挑戦へとシフトしていくべきである。政府は、特定の技術や産業を選び出して支援する代わりに、企業が新しい成長エンジンを作ったり、既存の成長エンジンを強化したりしていけるよう、企業と協力していく必要があるだろう。公的研究開発は、専門家主導の技術志向から、社会問題の解決と生活の質の向上に皆で取り組む、解決志向の研究開発に移行しなければならない。

次に、地域および世界の政策も同様に変わっていく必要があるだろう。地域政策は、政府主導ですべての地域での平等な成長をめざす形から、地域の産学連携が主導し、それぞれの地域が自主的に広域クラスターへと成長していく形へと移行すべきである。それら各クラスターは、グローバルな競争力を備えた科学技術ハブへと成長するべく、サポートされなければならない。グローバル政策は、単独で宣言されるようなものではなく、実用的かつ他の政策と相互に関連しているべきであろう。さらに、イノベーション・エコシステムがグローバルへ開かれたものであるようにしなければならない。

さらに、科学技術と先見性に重きを置くよう政策環境を変えるべきである。科学技術を単なるひとつの分野としてではなく、国家行政の重要ポイントのひとつとみなすことにより、科学技術と国家政策とのつながりを強化すべきである。特に、政府は科学的合理性とデータに基づいた意思決定をすべての国政に適用する必要がある。また、未来予測と国策の連携も強化すべきである。危機が起こってから対処するのではなく、事前にさまざまな対処方針を検討しておく必要がある。政府は、未来に予想される危機を定期的に検討し、それらに対処するための措置を先んじて講じるシステムを確立しなければならない。

以下は、科学技術政策の8つの方向性と、それぞれの詳細なタスクである。すべての政策変更および詳細なタスクは、共通の哲学に基づいている。科学技術政策は、政府だけでなく、すべての個人と組織の参加を得て設計し実行するべきである。責任の所在を明確にするため、特定の役割を定義して個人や組織に明確に割り当てる必要がある。また、管理および評価の観点から、パフォーマンスはミクロレベルではなくマクロレベルで管理するべきである。そうすれば、すべての主体がそれぞれの能力と情熱を自律的に発揮できるようになるのだ。

科学技術課題と詳細タスクに対処するための背に柵変更

政策変更	詳細タスク
① 未来社会の変化の中で知的能力を最大化する人材政策	1-1. さまざまな才能とAIで我が国の知的能力を増強
	1-2. 未来の人材がいつでもどこでも能力と情熱を発揮できるような支援
② 挑戦的・創造的な人材を生み出す国家研究開発システム	2-1. ミッション指向の研究開発システムの構築
	2-2. 創造性のための基礎研究に対する一貫した支援
③ 成長エンジンを構築・強化する産業研究開発	3-1. 成長エンジン開発のプロセス全体への支援
	3-2. テクノロジーを取り入れリスク耐性のあるエコシステムの作成
④ 社会問題を解決し、生活の質を向上させるための公的研究開発	4-1. 社会問題解決のための研究開発システム最適化
	4-2. すべての人々によるすべての人々のための科学技術を目指す
⑤ 協力と競争を促進する地域イノベーションシステム	5-1. 地域イノベーションシステムと国家イノベーションシステムの連携
	5-2. 地域イノベーションシステムにおけるコラボレーション促進
⑥ 国境を越えたグローバルイノベーションシステム	6-1. イノベーション・エコシステムの世界への開放
	6-2. 科学・技術・イノベーションの世界的アジェンダをリードする
⑦ 科学技術志向の国家政策	7-1. 科学技術への投資とインフラストラクチャの強化
	7-2. 科学技術による政策の質の向上
⑧ 未来志向の国家政策	8-1. 国家の先見性システムの強化
	8-2. 先を見通す目を持ち政策の質を向上させる

5-1. 未来社会の変化の中で知的能力を最大化するための人材政策

5-1-1. さまざまな才能と AI による我が国の知的能力の強化

才能を科学技術分野へ流入させ、AI とコラボレーションしよう

未来社会では、性別、年齢、専攻、国籍を問わず、才能ある人材が科学技術の分野に参入し続けることを保証する必要がある。彼らが優れた研究やビジネスの成果を生み出せば、富を獲得でき（金銭的報酬）、やりがいがあり充実していると感じ（心理的報酬）、多くの人々から尊敬され賞賛される（社会的報酬）。先に成功した者達に触発されて、他の人材が次々とその分野に流れ込んで来るという好循環が形成されるだろう。有能な人材が流入することで我が国の知的能力を確固たるものにするために、私たちがすべきことは次のとおりである。

まず、科学技術の魅力を高める必要がある。研究環境と、研究者の金銭的、心理的、社会的報酬のレベルを改善することは不可欠である。そのためには、研究者だけでなく一般市民の意見も含めた研究現場の声に定期的に耳を傾け、政策に反映させる必要がある。科学者や技術者が将来人気のある職業になれば[78]、科学技術の魅力が益々高まるだろう。

第二に、有望な人材が科学技術を職業として選択する際に障害となる事柄を取り除いて海外の人材を確保することにより、さまざまな人材の流入を促さなければならない。近年、女性の社会活動が活発化しているように、科学技術分野における女性の役割もさらに強化していく必要があるだろう。政府は引き続き、教育と経験の機会を万人に提供するため、家族にも優しい研究環境を作り出産や育児によって引き起こされるキャリア・ブレイクを最小限に抑えるための措置を講じるべきである。また、海外からの人材を我が国の知的能力強化の大きな原動力と考えるべきである。さまざまな国籍の人材に我が国で働いてもらい、研究者の舞台を世界中に広げていくためには、国内外の韓国人と外国人との研究者ネットワークを拡大していかなければならない。政府は、移民やビザのシステムを改訂し、二重国籍を認め、居住条件を改善し、さまざまな研究支援プログラムを提供するなどといった、グローバル人材にとって魅力的なインセンティブを提供する必要があるだろう。

第三に、才能ある人々が人工知能と協力し合える環境を作るべきである。我が国の知的能力は、人的能力と人工知能の能力を合計したものである。機械を利用して新しいアイデアを生み出したり、人間の認知能力や記憶能力を機械に組み込んで人間の思考をサポートするマシンを開発するなど、知的コラボレーションを促進するためのさまざまな措置を講じる必要がある。

有能な人材が選択した分野で能力を発揮するための支援

未来の世代は、生涯を通じて現在よりも多様な仕事をし、引退後もキャリアを継続するだろう。未来社会での平均余命が長くなることや、産業構造の劇的な変化が要因であるかもしれない。さらに、人材の多くは問題解決だけでなく、問題を定義することも含め、創造的な仕事をする。さらに、彼らは多様な専門知識を持つ人材同士の協力が不可欠な、より複雑なタスクに遭遇するであろう。したがって、将来の人材が柔軟にキャリアを積み、職種や分野を超えて幅広く活用できる能力を身につけるための措置を講じなければならない。

まず、有能な人材がキャリアを積み、生涯を通じて能力を伸ばすのを支援する必要がある。特に、団塊世代の引退は今後数年で増加することが見込まれ、我が国の人材が大幅に減るため、経験豊富な科学者や技術者を対象とした支援が必要である。彼らがキャリアを通じて蓄積してきたスキルや経験を長く利用できるようにする方法を見つけなければならない。さらに政府は、科学者や技術者が仕事内容の変化に適応し、実践的な能力を身につけられるよう、教育システムを強化するべきである。

第二に、人材の流動性を高める必要がある。産学間の人材交流を奨励し、研究者が他の機関で働くことができる二重提携システムを活性化すべきであろう。また、官民の多様な人材が連携できる環境を整えることも重要である。たとえば、組織やセクター全体で「ドリームチーム」を編成し、国家優先のプロジェクトを推進することができるだろう。

第三に、個人と組織が相互に繋がることのできるようなデータプラットフォームを構築する必要がある。将来的には、就職活動や採用のプロセスは、現在とは大きく異なるだろう。個人や組織のデータおよびその他のビッグデータを合成することで、適切な人材、組織、分野を推薦するサービスを増やしていくことができる。政府は、人材の流動性を高めるさまざまなビジネスモデルを開発できるように、公開データを蓄積して提供するべきである。政府はまた、全国的な人材マップを作成し、仕事の経験、性別、場所などに関するデータを定期的に収集することにより、人材の流れの傾向を分析する必要がある。

5-1-2. 未来の人材がいつでもどこでも能力と情熱を発揮できるような支援

教育システムを柔軟にして、多様な能力を育成する

未来の人材は、生涯を通じてひとつの仕事ではなく、複数の仕事をする可能性が高い。また、アプリケーションやソーシャルネットワーキングサービスを使用して顧客とのマッチングを行うプラットフォーム・ワーカーも増加するだろう。未来の人材は、そのようなサービスを利用して同時に複数の仕事をする可能性が高い。彼らには、より多くの選択肢が提供され、個人のポテンシャルの発揮を最

大化できる、生涯にわたる個別教育システムが必要である。それを実現するには、次のことを考慮する必要がある。

まず、時間を柔軟かつ有効に使えるようにする必要がある。教育の選択肢も多様化すべきである。個人の能力や状況に応じて、期間を短縮したり延長したりできるようにし、マイクロディグリーを含むオルタナティブ教育の割合を増やす必要がある[79]。さらに、最初に学習して後で作業するという従来型のシリアルモデルではなく、並列モデル（学習と作業を同時に行う）を促進すべきである。

第二に、空間の柔軟性を高める必要がある。大規模なオープン・オンラインコース（MOOC）を含むオンライン教育サービスは、人々がいつでもどこでも学ぶことができるようになる。固定コンテンツの一方配信という従来の形ではなく、技術・産業・社会の急激な変化を反映したコンテンツを常時更新するリアルタイム教育や、意見を共有する双方向教育が増えていくだろう。近い将来、仮想現実や拡張現実、ホログラムなどの新しいテクノロジーを利用した教育が一般的になるかもしれない。

第三に、コンテンツの柔軟性を高める必要がある。すべての生徒に同じ内容を教えて相対的に評価するのではなく、生徒が自分の好みやレベルに合った内容を学び、必要な専門的スキルを身に付ける個別教育を提供するべきである。教育は、学習者が創造性、問題解決能力、コラボレーション力、コミュニケーションスキルを強化できるようにする必要がある。これらの能力は未来の世代にとって不可欠である。教育のビッグデータを蓄積し、人工知能を活用することで、学習者の好みやレベルに合わせたコンテンツを開発することができるだろう。

個性と自己主張が強い未来の世代のやる気を引き出す

2045 年頃は、未来世代（Z 世代[80]以降）が私たちの社会で主導的な役割を果たす時期である。未来世代は幼い頃からインターネットやソーシャルメディアに精通しており、既存の社会的慣習や階層的秩序よりも水平的な関係を好み、組織よりも個人を重視し、強い個性と自己主張を持っている傾向がある。我が国の国民は高いレベルの教育を受けており、世界でも高い知性を持っていることで知られている。また自分達の目標を達成するための高いモチベーションも持っている。未来の政策は、このような強みをいかして、未来世代のモチベーションを最大限に引き出すべきである。

まず、仕事の自律性を高める必要がある。すべての研究者が、希望する研究を行うのに十分な時間を持てるようにしなければならない。状況の変化に応じてプロジェクトを進め、目標を変更し、マイルストーンを調べる権限を彼ら自身が持っているべきである。また、研究に専念できるよう、行政の自律性を高める必要がある。例えば、プロジェクト開始前に一定の限度内で研究資金を確保し、複数年のプロジェクトに柔軟に年ごとに配分できるようにするべきである。

第二に、高いパフォーマンスが高い金銭的および非金銭的報酬に結びつくことを、未来世代が認識できるよう、明確な報酬スキームを設計する必要があるだろう。金銭的見返りに関しては、民間部門だけでなく公的部門においても業績連動型の報酬制度の適用を拡大すべきである。非金銭的報酬に関

しては、研究者に優れた研究環境を提供し、研究を通して国に貢献することを誇りに思うようにすることが重要である。

5-2. 挑戦的かつ創造的な人材を生み出すための国家研究開発システム

5-2-1. ミッション指向の研究開発システム構築

課題推進体制の強化

挑戦的な研究は、既存の技術的限界を克服し、新しい知識を探索するものである。たとえば、素粒子物理学、脳科学、合成生物学、天文学など、物質、人間、地球、宇宙を根本的に探求する巨大科学である。概して大規模な投資が必要であり、失敗する可能性も高い。しかし成功すれば、莫大な経済的・社会的利益をもたらすことになる。ハイリスクとハイリターンの性質上、政府の役割は不可欠である。失敗の危険を冒して大胆に挑戦できるように、研究者を支援する必要がある。

第一に、挑戦することを奨励するために、失敗を許すべきである。研究者が誠実さを持って実行したものであれば失敗の責任を負わせないという、研究者が失敗を恐れない環境を作るべきである。また、失敗を資産として活用できるよう、失敗した際の知識や経験を蓄積・共有する「失敗プラットフォーム」を確立する必要があるだろう。「競争 R&D」アプローチを採用することもできる-これは同じ目標で複数の研究を実行するものである。たとえ一部が失敗したとしても、研究者間の激しい競争と相互学習を通じて目標を達成する可能性を高めるのだ。

第二に、課題を体系的に研究するプロセスを管理する必要がある。やりがいのある研究には大規模なリソースの投入が必要だが、我が国のリソースは限られているため、取り組むべき課題の優先順位を決めなければならない。イノベーション・エコシステムのすべてのメンバー（企業、大学、研究機関、一般市民）の意見を反映し、国家戦略、経済的・社会的利益、能力などさまざまな要素を考慮する必要がある。プロジェクト・マネージャー（PM）に権限を与えたり、採点ではなくコンサルティングを提供してプロジェクトを評価する、目標の再調整や早期終了を許可するなど、多様な方法を採用して、研究者が挑戦的な研究に集中できるようにすべきである。

公的研究機関に明確な任務を割り当てる

公的研究機関の役割は、挑戦的な研究において特に重要である。公的研究機関はこれまで、成長エンジンの開発など我が国の科学技術の発展に貢献してきた。しかし、民間部門の研究開発力が高まり、社会的課題が次々とあらわれ続ける中、彼らは新たな役割を必要としている。公的研究機関の役割を再定義し、それらを支援する方法を設計するためには、以下のポイントを考慮に入れる必要があるだろう。

第一に、公的研究機関の役割という観点から、彼らはミッション指向のものにシフトすべきである。国家的に重要な使命を明確に定義し、関連する公的研究機関に割り当てる必要がある。ミッションを二国間における機関で共有することができる。政府はトップダウンアプローチで国の優先事項を

提示する。そして各研究所は、その専門知識と能力を反映する使命を提案する。さらに、国家の使命がますます複雑になるにつれて、単一の機関がそれら进行处理することはほぼ不可能である。現在の共同研究以外の国家的使命を解決するような、効果的なシステムを考案する必要がある。たとえば、多くの産業機関や学術機関が参加する共同研究グループのようなプロジェクト組織を作ることが考えられる。

第二に、公的研究機関を支援する方法を設計する際は、各研究所がその使命の達成に最善を尽くせるように設計すべきである。各研究所の使命と政府の貢献との間のつながりを強化する必要がある。たとえば、ウイルスのワクチンの開発、6G など次世代通信システムの開発、独自の技術を使用した衛星発射体の開発など、特定のミッションへの貢献度合いを関連付けることができる。公的研究機関が失敗を恐れずに大胆に挑戦できるよう、罰則よりモチベーションとインセンティブの観点から任務の達成を評価する必要がある。使命を遂行する過程で、その自律性を拡大することも肝要である。

5-2-2. 創造性のための基礎研究に対する一貫した支援

基礎科学の創造性を最大化する環境を作る

世界的に有名な優れた研究の中核となるものは創造性、つまり自律性、交換、蓄積の産物であることは周知の事実である。研究者が自律性を持ち、さまざまな分野の他の研究者と交流し、長い間専門知識を蓄積することで、創造性は自然に高まっていく。したがって、将来の基礎研究政策は、創造性を高めるための環境構築に焦点を当てるべきである。

第一に、研究者の自主性を高めるため、国が将来どの程度、どの分野に投資すべきかなどといった基礎研究に関する重要な決定を、研究者に主導させるべきである。さらに、プロジェクトマネージャーには、研究計画立案プロセスにおけるすべての権限を与え、プロジェクトを自律的に主導できるようにチームを編成する必要がある。研究プロジェクトの選択と予算編成が政治的利益などの外部要因の影響を受けないよう、機関の自律性を確保することも重要である。

第二に、研究者間の活発な交流を促すため、研究者コミュニティの規模と範囲を拡大する必要がある。「基礎研究は大学、応用研究は公的研究機関、開発研究は企業」という直線的な区分をなくし、研究開発のテーマや段階を超えて交流を活性化すべきである。基礎研究予算を配分する際に、優位性と公平性は重要な問題である。研究コミュニティの範囲を拡大するという観点から、できるだけ多くの研究者に配布することが望ましい。国内だけでなく、世界中で交流の幅を広げる必要がある。

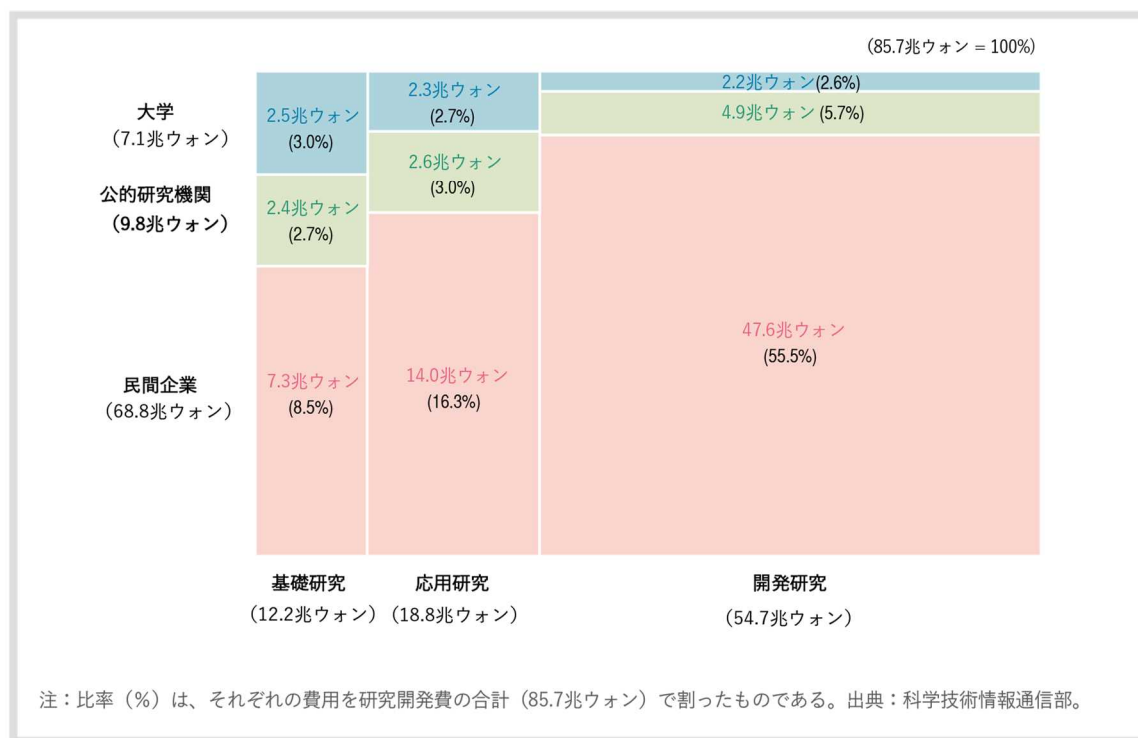
第三に、研究者が1つの分野に長く集中して専門知識を蓄積できる環境を整える必要がある。世界的に有名な優れた研究は、誰もそれが重要であるとは思わないときから着々とその分野を研究してきた研究者によって成し遂げられるものである。政府が、プロジェクトの短期的パフォーマンスが不十

分な場合でもプロジェクトへの支援を維持する理由は、その点にある[81]。研究資金の形態は、成果の有用性を重視した契約という形から、研究者に裁量を与える助成金にシフトする必要がある。

大学が自主的に研究と教育を革新することを奨励

大学は将来、いくつかの相反する事からを経験し、大学のリストラを加速するだろう。少子化によって学齢人口が減少するので、大学の需要も低くなると思われるが、一方では、高齢化や経済活動期間の延長により、さまざまな年齢層の教育に対する需要が高まり、大学の需要が増える可能性もある。人口の減少と地域格差の拡大による地域経済の減速は、一部の地方大学にとっては致命的であるが、通信や輸送技術の開発により、距離の制約が軽減されるので、地方大学にとってチャンスでもある。メリットとデメリットが共存する未来の社会に、大学が生き残るためには、時代のトレンドを読み、柔軟に対応していく必要がある。

プレーヤー別・段階別の研究開発費



まず、大学の研究機能に関しては、より優れた大学研究機関を設立する必要がある。大学の研究機関は現在の研究室よりも、特定の分野の学問を、より長期的に研究することのできる適切な場所である。大学の専門研究者を教育に参加させることで、大学の研究機関の中核分野で人材を育成し続けることができる。

次に、政府は、大学がさまざまな実験的形態の研究と教育を試みることができるよう、規制を徐々に緩和する必要がある。既存の「3S」（同じ人、同じ時間、同じ場所）教育を、時間と場所を問わず誰でもが学べる「3A」（誰でも、いつでも、どこでも）教育に変えるべきである。学科の設置、入学定員、授業料、遠隔授業に関する規制を緩和するべきであろう。大学は、状況に応じて、研究指向の大学、産学連携のハブ、生涯教育の地域センターなど、差別化された成長モデルを設計・開発しなければならない。大学の評価は、論文数などの指標に基づく定量的なものから、専門性のパフォーマンスに基づく定性的なものにシフトする必要がある。

5-3. 成長エンジンを構築・強化するための産業研究開発

5-3-1. 成長エンジンを開発するプロセス全体への支援

企業と政府がチームを組み成長エンジンを開発

質の高い雇用を生み出し、人々の収入を増やし、国民経済を活性化するために、成長エンジンを継続的に開発する必要がある。未来の成長エンジンはどこにあるだろうか？特定の技術や製品を予測することは不可能だが、未来社会のニーズ（生存と健康、食料と住居、人間関係とコミュニケーション、モビリティ、学習と娯楽など）に関連していることは明らかである。消費者の需要傾向を検知し、数多くの試行錯誤を通じて市場を創り出すことにより、成長エンジン開発の主導的役割を果たしているのは企業である。したがって、未来の成長エンジンの開発方法は過去のものとは異なるはずである。

第一に、政府と民間企業の役割を設計し直す必要がある。これまで政府は、情報の量と質、および意思決定効率において民間企業よりも優れていたため、有望な技術や産業の選択を主導してきた。

しかし、民間企業の目覚ましい成長に伴い、政府が主導的な役割を果たすやり方はもはや有効ではなくなった。代わりに政府は、気候変動のような未来社会の壮大な課題を提示するなどといった全体像を描くべきである。企業はそれらを参照し、それぞれの専門知識に基づいて有望な技術や製品を探ることができる。政府と民間企業がチームとして一丸となることが不可欠である。

第二に、政府は成長エンジンを開発すべきであり、民間企業が行うには難しい活動を実行すべきである。たとえば、リスクが高くかつ収益性の高いプロジェクトに長期的な投資を行わなければならない。それらは成功すれば有望な成長エンジンにつながる可能性があるが、民間企業は、そんな失敗する可能性が高いものへの投資はできない。政府は、人工知能、量子コンピューティング、ブロックチェーンなど、多くの業界で使用できる汎用技術の開発に投資すべきである。政府はまた、国を対象とした企業のマーケティングを支援する必要がある。

さまざまな業界の企業が協力し、対象国の開発に必要なソリューションとして関連製品を提供している。政府は外交活動を行う企業のマーケティングを支援できるだろう。

成長エンジン政策の範囲を研究開発からイノベーションのプロセス全体に拡大する

近い将来、多くの革新的な技術が出現し、産業パラダイムは変化するだろう。歴史を振り返ると、産業パラダイムのパターンを見つけることができる。以前のものとは完全に異なる斬新な技術が出現し、その技術がさらに改良される時期があり、また別の革新的な技術が現れる[82]。これからの数十年は、段階的な改良・改善の時期ではなく、人工知能、生物医学技術、製造などのさまざまな分野で発

見・発明が出現し、これまでにない斬新な変化の時期になるだろう。したがって、それに応じて成長エンジンの方針を策定する必要があるのだ。

まず、技術の取得方法を従来の研究開発から繋がり開発（C&D）、獲得と開発（A&D）などに多様化する必要がある[83]。技術のライフサイクルが短くなるため、時間のかかる研究開発だけに頼ってイノベーションのペースに追いつくことは困難である。ひとつの革新的な製品を開発するためには、さまざまな専門知識を持つさまざまな技術が必要であるから、企業がすべての技術を自社で開発することはほとんど不可能である。そのため、研究開発だけでなく、外部の技術をも確保する必要があるのだ。政府は、技術仲介や共同研究を通じて、企業の技術獲得方法の多様化を支援できるだろう。

第二に、政府は、コラボレーションの促進、利益の調整、プロトタイピング、認証とデモンストレーション、公共調達、法とシステムの改善など、研究開発以外の要素を包括的にサポートするべきである。産業パラダイムが変化するとき、技術開発の成功は必ずしも製品の成功にはつながらないかもしれない。そのため、研究開発から商品化までのすべての段階でビジネスをサポートする必要がある。企業が新技術を商品化できないようなことがないように、事前にシステムを見直し、規制を改正するべきだろう。世界で最も革新的な環境を構築するには、規制無しの領域および規制の砂場（革新的な新事業の創出を目的として、対象事業の実証実験に対する現行法規制の適用を、対象者を限定して一時的に停止する規制緩和策）を拡張する必要がある。

5-3-2. 技術競争力およびリスク耐性のあるエコシステムの構築

革新的な企業を育成するエコシステムの構築

私たちが理想とする未来は、大企業だけでなく中小企業も実力があり、また、競争力のあるスタートアップもたくさん加わる、業界全体が成長し続けている社会である。だからといって、国民経済の中心的主体が既存の大企業から中小企業や新興企業に変わるという意味ではない。大企業、中小企業、新興企業がそれぞれ成長を果たし、国民経済の成長に貢献していることを想定している。国の主要な産業とビジネスは変化するのではなく、拡大するべきである。したがって政策は、規模ごとにターゲットとなる企業を直接支援するのではなく、あらゆる規模の競争力ある企業が出現して成長できる環境を整える必要がある。

まず、テクノロジーに精通したスタートアップを継続して生み出せるような、スタートアップ用エコシステムを作るべきであろう。世界中にたくさん存在する、競争力のあるスタートアップ・エコシステムの中から[84]、テクノロジーに精通したスタートアップを誕生させるには、スタートアップの成長サイクルに応じた資金、知的財産、基準、規制の観点から慎重にサポートする必要がある。たとえば、人工知能のような新しいテクノロジーは日々進化しており、さまざまな産業と組み合わせられて新しいビジネスを生み出している。それらの新テクノロジーが、産業内の既存の規制に抵触する可能性

があるかどうかを確認する必要がある。とりわけ、起業家精神を育むために教育と訓練の強化も必要である。起業家がロールモデルとなる社会が望ましい。

第二に、バランスの取れた競争と協力を重視するべきである。大企業も中小企業も、規模を理由に差別されるべきではない。政府は、技術に精通した企業にビジネスチャンスを提供するため、公共調達を積極的に活用する必要がある。政府はまた、技術、人材、資本などの交流を活性化するために、大企業、中小企業、新興企業間の協力を促進しなければならない。特定の産業への参入に技術的な障壁がある場合は、関連する団体・企業との共同研究プロジェクトを立ち上げるべきである。

リスクに先回りした対応とコアリソースの保護

我が国の経済は、高い成長率を目指すだけでなく、堅実で力強い成長を目指すべきである。未来社会での我が国の経済にはさまざまなリスクがある。感染症や異常気象により、重要な資源の需要・供給バランスが麻痺する可能性がある。一部の国では、自国の支配的な分野を、経済ナショナリズムの戦略兵器として使用するかもしれない。したがって、成長エンジン政策には、新産業の発見だけでなく、国家レベルでのリスクへの対応も含まれるべきである。

まず政府は、特定の国や海外の企業に依存してしまい突然の供給停止などのリスクにさらされている分野がないかどうかを、チェックしなければならない。近年、政治的紛争や COVID-19 危機による貿易紛争により、世界各地での分業体制の脆弱性が明らかになった。したがって、コア材料、部品、機器、ソフトウェア、プラットフォームを安定して確保するために、自己啓発や海外サプライヤーの多様化など、さまざまな代替案を用意することが肝要である。韓国企業に対するパテント・トロール攻撃の増加に一致団結して対応することも重要である。

次に、有形・無形のコアリソースを確保するため、対策を講じる必要がある。私たちが目指している多くの新産業は、リチウム、コバルト、希土類、マンガンなどの鉱物資源を使用するが、我が国におけるそれらの鉱物資源埋蔵量は非常に少ない。また、動物、植物、微生物といった生物資源も確保する必要がある。産業の競争力に不可欠だからである。将来のエネルギー危機に備えて、輸入元を多様化し、再生可能エネルギーの割合を拡大することで、国家のエネルギー安全保障を強化しなければならない。

5-4. 社会問題を解決し、生活の質を向上させるための公的研究開発

5-4-1. 社会問題解決のための R&D システム最適化

目標と評価基準の明確化

人々は、科学技術が未来社会の多くの課題に取り組み解決することを期待している。しかし、研究開発の目標と評価基準が適切に設定されていないのが現状である。既存の公的研究開発システムは、現実世界の問題を解決するどころか、個々の技術開発に焦点を合わせている。したがって、公的研究開発システムは次のように再設計する必要があるだろう。

まず、計画段階で、問題を定義し、社会的課題ごとに明確に目標を設定すべきである。あいまいな目標やひとりよがりな目標は避け、対処すべき問題点を特定し、期待される結果の価値を定量化する必要がある。理想的な目標は、たとえば「高齢者の物を持ち上げる力を2倍にするウェアラブル・デバイスを開発すること」といったものである。しかし注意しなければならない点がある。目標が指定されている場合であっても、研究者は目標達成のための方法を選択する裁量を与えられていなければならない。

第二に、実行とその評価の段階では、個々のコンポーネント技術の開発ではなく、システム全体の完成を重視すべきである。そのためには、特許の数や技術の成熟度を推定する「技術成熟度レベル」などの定量的指標といった従来の評価基準はほとんど役に立たない。代わりに、パフォーマンスを評価するための「システム成熟度レベル」の概念（システム開発の進捗状況の評価）の導入を検討すべきだろう[85]。

公的起業家を指名し、権限を与える

未来社会のスピードと複雑さを考えると、問題解決のプロセス全体をミクロ的に管理するよりも、有能で情熱的な主体が問題を解決できるようにする方が効果的である。民間部門の起業家がこの主体に相当するが、公共部門で誰がその役割を果たしているのかが不明なことがよくある。したがって、公共部門のイノベーションを推進するには「公的起業家」[86]を次のように特定し支援するべきである。

まず、主体となる者を選び出し、その主体に明確なミッションを割り当てるのである。気候変動、高齢化、社会紛争などの社会的課題を解決するには、さまざまな分野の専門知識を活用し、多様な利益を調整する必要がある。したがって、それぞれの専門知識を結びつけ、研究開発から商業化までのすべてのプロセスで主導権を握る、公共部門における起業家の役割は重要である。公的起業家は、問題解決の過程で生じる予期できない問題にも対処しなければならない。つまり、その起業家に完全な

権限を与えることが不可欠である。問題解決に最適な起業家を見つけることは、プロジェクトの成功にとって非常に重要である。

次に、公的起業家が最善を尽くせる環境を整えなければならない。政府が、中小企業や新興企業が困ったとき（人材、技術アドバイス、経営コンサルティング等）に「ワンストップ・サポート」を提供するのと同じように、公的起業家にも同様の支援をすべきである。公的起業家が重大な問題に集中できるよう、研究開発から法的解決までの包括的なサポートを提供し、起業家を政府省庁の管理から保護する必要がある。

5-4-2. すべての人々による、すべての人々のための科学技術に向けて

研究開発と政策プロセスへの人々の参加を拡げる

未来社会では、研究成果や政策を利用する者・生み出す者としての国民の役割がより高まるだろう。科学技術が、日常生活における不便等の問題を解決するため、国民は研究開発投資の決定や政策決定のプロセスにもっと参加すべきである。「集团的知性」という用語が意味するように、一般の人々が提供するアイデアやデータはその分野の専門家ではないが、研究開発や政策に大いに役立つ可能性がある。

第一に、人々が研究開発や政策決定プロセスに参加できるチャンネルを多様化し、その役割を拡大する必要がある。政府は「リビングラボ（研究開発の場を人々の生活空間の近くに置き、生活者視点に立った新しいサービスや商品を生み出す場所）」や「ポリシーラボ（業界全体と一般市民の意見をカバーした政策設計のために、様々な利害関係者から意見を募る場所）」を利用できる。リビングラボは、実際の空間を実験室として使用して、交通渋滞、空気の質の低下、家庭の廃棄物など、さまざまな社会問題の科学的解決策を見つけることができる。ポリシーラボは、政策を実施する前に、利害関係者を対象としたパイロット実験を通じて、政策が社会に与える影響を評価することができる。利害関係者および一般の人々が、問題の発見、代替案の検討、解決案の実験、結果の評価など、問題を解決するプロセス全体に参加できるようにすることが肝要である。利害関係者および一般の人々が自分の考えや意見を発表する機会がもっと設けられるべきである。

次に、多くの人に負担をかけずにアイデアやデータを収集する方法を開発し、活用するべきである。センサー、スマートフォン・アプリケーション、カメラなどのツールを使用し、広く日常生活を送る人々からデータを収集することができる。たとえば、特定の地域の住民が、研究者から配布されたセンサーで空気の質を測定したり、スマートフォン・アプリで地震の規模を検出したり、スマートフォンのカメラで周囲の動植物の写真を共有したりすることが可能である[87]。また、SNS ソーシャルネットワークワーキングサービスに投稿された大量のデータを分析して、何が政策として必要とされているかを見出したり、テキスト・マイニングを利用してある政策に対する一般市民の反応を調べたりす

ることもできる。コホート分析（特定の期間に共通の特性または経験を持つユーザーグループを追跡・調査する）は、医学研究や福祉政策で使用されている。アプリケーション領域とユーザーグループ規模の拡大を検討する必要がある。

科学技術の悪影響にいかに対処するか

生活の質を向上させるためには、科学技術課題を解決するだけでなく、科学技術自体がもたらす悪影響にも対応しなければならない。新しいテクノロジーは、法的小よび倫理的な問題を引き起こす可能性がある。たとえば、人間の赤ちゃんに遺伝子編集技術を使用するかどうかの問題は、世界中で物議を醸している。人工知能は、偏ったデータや非倫理的なデータに基づいて、偏った判断や非倫理的な判断を下すかもしれない。新技術が社会に与える影響を予測し、対策を講じる必要がある。

まず、科学技術に関連する倫理的および道徳的問題を事前に検討しなければならない。人工知能、人工臓器、ロボットなど、社会に多大な影響を与える新興技術は、倫理と道徳の面でさまざまな問題を引き起こす。科学技術の倫理的・道徳的側面にかかわる研究を強化し、計画段階で開発者にガイドンスを提供し、必要に応じて法律やシステムを改訂する必要がある。

次に、研究活動の目的、プロセス、結果に対する社会的責任を重視するという、責任ある研究およびイノベーション（RRI）の概念を、研究開発や政策立案に用いるべきである。現在、技術評価は、新興技術の社会的・倫理的影響を評価するために実施されている。研究開発プロジェクトの計画、選択、推進、評価の全過程において、社会的要求と国民の意見を考慮する必要がある。技術開発の際、他の補完的な技術も一緒に開発することで、その悪影響を軽減することができるだろう。

第三のポイントは、誰もが差別なく科学技術の恩恵を享受できるようにしなければならないということである。私たちは「デジタル・デバイド」を目にすることがある。それは、収入や年齢によって、コンピューターやインターネットの利用能力や享受できる利益にギャップが生じることである。人工知能の時代には、人工知能の利用能力とメリットにギャップを生み出す「インテリジェンス・デバイド」が出現し、社会的不平等が深まるかもしれない。したがって、私たちの社会のすべての人々がデジタル技術や人工知能にちゃんとアクセスでき利用できるよう、インフラと教育への投資を強化する必要があるのだ。社会的不平等を減らすためには、高齢者や障害者など社会的弱者のための技術開発を促進していかなければならない。

5-5. 産学研主導でイノベーションの中心地になる地域

5-5-1. 地方の地域イノベーション・システムと国家のイノベーション・システムの連携

地方のイノベーション目標を国家の目標と一致させる

私たちが理想とする我が国の地方の未来は、各地方が地域問題を解決するための研究開発や革新的な活動をし、すべての地方での活動を総合したものが国家の問題解決に貢献するというものである。国家のイノベーション目標は地方で実施され、地方のイノベーション目標は国家のイノベーション目標設定に反映される。言い換えれば、地域イノベーション・システム（RIS）は、国家イノベーション・システム（NIS）と密接に結びついているべきなのだ。国家のイノベーション・システムと整合性のある地方のイノベーション・システムを作り上げるために、次のことを考慮する必要があるだろう。

まず、国家のイノベーション目標を反映して、地方のイノベーション目標を明確に設定する必要がある。国家のイノベーション目標は、第4章で提示された課題と、第5章の最初の4つのセクションで提示された政策の方向性に関連している。各地域は、それらを参照し、地域の人材の支援、主要産業の育成、質の高い雇用の創出、各地域の諸問題の解決など、地域の優先事項を検討することで目標を設定できるだろう。しかしここでひとつ注意すべき点がある。最初に優先度の高い目標をターゲットにする必要があるのだ。一度に多くの目標を設定してしまうと、結局はどの目標も達成できない可能性がある。優先度の高い目標を達成できた後、徐々に他の目標に拡大することが大切である。

次に、地方のイノベーション目標に従って、地域イノベーション・プロジェクトの目標を統合するべきである。省庁やプロジェクトによって細分化されているような従来型のプロジェクトの場合、同様の目標を持つプロジェクト間の連携を強化する必要がある。新しいプロジェクトを計画するときは、それらが地方のイノベーション目標に合致しているかどうかを確認しなければならない。地域イノベーション・プロジェクトの目標を統合するために、各政府省庁が地方自治体と個別にプロジェクトを計画するのではなく、すべての関連する政府省庁が地方自治体と共同でプロジェクトを計画する必要がある。

各地域が広域クラスターに進化することの奨励

未来社会でも、地理的な近接性は科学、技術、イノベーションにおいて依然として重要だが、「近接性」の概念は現在とは大きく異なるだろう。京釜高速道路と KTX が国全体を日常生活圏にしたように、超音速機やハイパーループなどの未来のモビリティ技術は、我が国とアジア、さらには世界全体をも日常生活圏にするだろう。したがって、未来における地方のイノベーション政策は、国内の地域

間のギャップを狭めるのではなく、各地域の絶対的な能力を高めて自立し、世界的な競争力を持たせることに焦点を当てるべきである。

まず、各領域を隣接する領域と組み合わせ、広域クラスターに進化させるべきである。すべての地域においてバランスの取れた開発を促進する必要があるが、才能、知識、資本など、リソースの「規模の経済」を強化し、将来のグローバル競争に備えるために、広域クラスターを育成することがより効果的である。各地域は、行政区画を超えて同じ目標を持つ他の地域と自主的に協力するべきである。中央政府は、研究開発予算をすべての地方に均等に配分するのではなく、技術レベルとビジネス育成の成果の観点から優れた地域を選び出して支援することにより、広域クラスターの形成を促すことができるだろう。

次に、政府は各地方が地域イノベーション・システムで好循環を生み出せるよう支援する必要がある。現在、質の高い雇用を創出し、地域経済を後押しするための企業、大学、研究機関が不足しているため、地元の人材が流出し、これらの組織を地方へと惹きつけることが難しくなっている。各地域が自立した競争力を備えた産業、教育、研究のエコシステムを構築するために、中央政府と地方政府はさまざまな措置を講じなければならない。地元の才能ある人材を確保するために居住環境や労働環境を改善する必要があるだろう。有能な企業、大学、研究機関を地方に惹きつけつつ、現在あるものを維持していくべきである。そうすれば、地方のイノベーション目標に沿った新しい大学や研究所の設立を促していくことができるだろう。

5-5-2. 地域イノベーション・システムのコラボレーション促進

地域の起業家として地域コンソーシアムを育成する

地域イノベーション・システムを強化するために、要となる主体を選ぶ必要がある。地域イノベーション・システムのガバナンスがはっきりしなければ、良い結果を出すのは構造的に難しいだろう。現在、中央政府省庁、地方自治体、省庁専門機関、諮問機関など、多くの機関が地方のイノベーション活動に参画している。積極的な地域イノベーション・システムを構築するためには、その地域の企業、大学、研究機関の役割を強化する必要がある。

まず、地方のイノベーション目標を実現するために、地元の産学研究所コンソーシアムの取り組みを奨励する必要があるだろう。コンソーシアムは、その構成の目的と地域の状況に応じて、任意の組織がリードしていくべきだろう。地方自治体は、主要産業の育成、質の高い雇用の創出、地元人材の教育など、地方のイノベーション目標を実現できるコンソーシアムを選ぶべきである。

次に、地方自治体と地方コンソーシアムの役割を効率的に定義する必要がある。地方自治体は、コンソーシアムが計画から実現まで、地方のイノベーション目標を実現する上で主導権を握ることを許可すべきである。地方自治体の役割は、コンソーシアムのパフォーマンスを評価・管理することであ

る。地方のイノベーション・タスクを「競争力を持った R&D」方式で複数のコンソーシアムに割り当て、最高のパフォーマンスを達成したコンソーシアムに政府の支援を集中させることができる。

地方のイノベーションがしやすい空間を作る

中央政府と地方政府の主な役割のひとつは、マクロレベルの戦略と目標の立案、主体間の協力の促進、社会的・法的障害の排除、インフラストラクチャの強化など、民間セクターの主体にはできないタスクを実行することである。地域の起業家は、アイデアから技術開発、大量生産（デスバレー）、そして市場での競争に打ち勝った後の大量生産から成長（ダーウィン海）まで、厳しい段階を経ている。地方自治体は、次のことを行い彼らの成功を支援するべきである。

第一に、技術開発と商業化の間のギャップを減らすために、地方自治体は、従来の技術ライセンス管理（TLO）を超え、商業化支援に専念する組織運営を促進するべきである。テクノロジーの需要と供給を橋渡しするために、組織はテクノロジーのインキュベーションや繋がり合い、ビジネス開発（C&BD）ネットワークを運用する必要がある。

次に、政府はデータや知識のインフラストラクチャに投資するべきである。地域の生態系が成長し続けるためには、研究開発の成果、経験、ノウハウを蓄積し、知識の共有を促進する必要がある。そのためには、研究データや成果、取引技術を共有する機能を備えた有形無形のプラットフォームが不可欠である。民間がプラットフォームを運用することが望ましく、地方自治体は早い段階でそれを支援することができるだろう。

第三に、地方自治体は、地域のイノベーターが自分たちのイノベーションを実施できるか確認できるようなテストベッドを用意すべきである。我が国には、世界クラスの情報通信インフラストラクチャや、技術に精通している消費者などの貴重な資産がある。これらの資産を活用してテストベッドを構築し、開放することで、各地域はグローバル・イノベーションのハブへと成長することができる。地方の主要産業と連携し、「規制無しの領域」と「規制の砂場」の拡大を検討する必要があるだろう。テストベッド内で新技術を実験し、その結果を反映して規制を改正することが可能である。

5-6. 国境を越えたグローバル・イノベーションシステム

5-6-1. イノベーション・エコシステムの世界への開放

研究者のグローバルな交流を促進する

今後、科学技術における業績をどれだけ成し遂げられるは、国内外の資源をどれだけうまく活用できるか、そして諸外国のイノベーション・エコシステムとの競争や協力を通じて、私たちの能力をどれだけ高めることができるかにかかっている。私たちは、人材、資本、技術、データを交換し合うことで、科学技術活動をグローバル化するべきである。以下は、イノベーション・エコシステムをグローバル化するための要件である。

第一に、研究者としても個人としても、国内外の研究者との共同研究を推進するべきである。「グローバル・リサーチラボ」プロジェクトを含め、世界クラスの研究者と共同研究を行う機会を研究者に提供することが重要である。政府はまた、海外から著名な研究者を招聘するプロジェクトを支援すべきである。EU のホライズン 2020 やホライズンヨーロッパといった海外の研究プログラムや、世界中の多くの国々が関与する大規模な共同プロジェクトに研究者が参加できるようにしなければならない[88]。別の見方をすれば、国内の研究開発活動を国内の研究開発プロジェクトのように諸外国の研究者達にも開放することも必要である。

次に、グローバルな人材交流を促進する環境を整える必要がある。政府は、ビザ、永住権制度、税制支援など、あらゆる手段を使って、有能な人材の流入を促すべきである。イノベーションハブとしての我が国の魅力が高まる中、中央政府、地方自治体、関連企業が協力して、海外の研究機関やグローバル企業の研究開発センターを誘致する必要がある。また、国内の研究機関に海外拠点の設置を促すべきである。

国際協力のための制度的基盤の確立

今後は、場所を問わず海外の人材や機関と積極的に交流する「国境を越えた科学・技術・イノベーション」を実現していきたいと考えている。国際協力を推進するための制度的基盤を確立する必要がある。

第一に、国や機関レベルでの正式な協力を進める際には、関係者による協議機関を作ることで包括的な支援体制を確立する必要がある。国際的プロジェクトの立案や世界的企業・研究機関を我が国へ誘致するなどの重要な局面では、関連する政府省庁は汎政府諮問機関を通じて協力する必要がある。さまざまな分野をカバーするようなグローバルな問題に対処するため、公的研究機関の諮問機関を設立すべきであろう。関連機関の諮問機関の役割は、関係省庁を指定し、国際協力の成功経験を共有することである。科学技術の専門知識と外交のノウハウの両方を備えた専門家が必要なのである。

次に、政府は国際基準を満たすよう、グローバルな協力に関するシステムと制度を改善すべきである。それらは、国際協力のハードルを取り除くため、産業界、大学、研究機関などの要求を反映するものであるべきだ。例えば、研究チームの選定、研究プロジェクトの評価、研究成果の所有権、研究資金の決済など、国際共同研究のルールを改定する必要がある。

5-6-2. 科学、技術、イノベーションの世界的アジェンダをリードする

未来社会の課題を反映するためにグローバル・アジェンダを開発する

私たちが理想とする韓国の未来は、科学、技術、革新の世界的課題をリードすることで人類社会全体に貢献することである。未来社会のさまざまな課題は、ひとつの国の能力と努力だけでは解決できないものであり、科学技術のグローバル化が不可欠である。グローバリゼーションは独立した分野ではなく、他のすべての分野を網羅する横断的な視点である。研究開発のグローバル化、成長エンジンのグローバル化、社会的問題解決のグローバル化のように、各分野と空間的視点は密接に関連しているべきである。我が国が科学、技術、革新の世界的課題をリードするためには、次のことを考慮する必要があるだろう。

まず、科学技術の課題に取り組み、先に示した政策変更を実施するために、グローバルなアジェンダを開発する必要がある。科学技術の8つの課題に取り組むには、それらをグローバルな議題に入れることが効果的である。我が国だけでなく他の多くの国々にとっても重要な課題や、どの国においても対処が困難で国際協力が必要な課題を選ぶことが望ましいだろう。たとえば、COVID-19 危機の場合と同様、感染症に関する世界的なアジェンダを引き続きリードするべきである。挑戦的かつ創造的な知識を生み出し、成長エンジンを強化し、社会問題を解決するために、私たちはそれらをグローバルなアジェンダに発展させなければならない。

次に、開発したグローバル・アジェンダを実行していくために、詳細な手順を追う必要がある。国連の持続可能な開発目標（SDGs）を反映し、焦点を当てるタスクを選び、国際社会に提起しなければならない。私たちは取り組むべき議題について世界的なコンセンサスを得ることで、他の国々の参加を促すべきである。たとえば、地理的に近いアジア諸国と同じような状況下でグローバルな協力プログラムを開発することができるだろう。

地域戦略をグローバル戦略に結び付ける

他の国々や地域の協力戦略を立案するには、たとえば画像がジグソーパズルのたくさんのピースで構成されているように、国際協力の全体像を考えなければならない。我が国が注力するグローバル・アジェンダや海外・地域の需要を踏まえ、適切なテーマや協力内容を模索する必要がある。他の国々や地域との国際協力を強化するためには、次のようなさまざまな措置を講じなければならない。

まず、アジア諸国との協力テーマおよび内容を見つけ出さなければならない。相互に関心のある分野で、東アジア諸国との共同研究プログラムを推進することができるだろう。北アジア諸国との豊富な資源の共同開発も可能である。南アジア諸国との生産・物流ネットワークを構築することもできるだろう。また、科学技術のグローバル化においては、北朝鮮をパートナーとして重視する必要がある。私たちは、経済的な観点からだけでなく、政治的・社会的観点からも統一を達成しなければならない。比較的協力しやすい基礎科学研究から始めて、北朝鮮の研究者との交流と協力を徐々に拡大していくべきである。

次に、協力テーマおよび内容を見つけ出すために、科学技術に対する国際社会での需要を理解する必要がある。国際機関の協力活動へより多くの研究者が参加できるようにすべきである。たとえば、若い才能ある人材が国際機関で働くことを奨励するべきであろう。地域ごとの専門家ネットワークをより強固なものにしなければならない。

第三に、共同研究、人材交流、政府開発援助（ODA）、国際機関の活動、韓流の普及など、グローバル化に関連するすべての活動を、国際協力テーマや内容に結び付ける必要がある。これらの活動における連携をより強くするためには、各活動に関するデータを収集し共有しなければならない。これに基づいて、関連する各主体の役割を定義し、特定の国または地域の協力活動を最適なものにすることができる。

5-7. 科学技術と国家政策間の連携を強化する科学志向国家

5-7-1. 科学技術への投資とインフラストラクチャ強化

社会的コンセンサスに基づいて科学技術への投資を継続する

未来社会では、多くの課題に取り組み国民経済を活性化する科学技術の役割が、より重要となる。しかし、将来的に人口が減少すれば税収が減少し、財政収支が悪化するため、科学技術への投資を減らすべきだという意見もある。したがって、環境の劇的な変化に応じて、科学技術投資に関する我が国の方針と政策を決める必要がある。

まず、今後も科学技術への投資を継続していくべきであることは言うまでもない。GDP に占める研究開発投資の割合が世界で最も高く、政府の研究開発投資総額が OECD 諸外国の中で 2018 年に 4 番目に多かったという事実から、我が国の研究開発投資はもう十分であるという意見もある[89]。投資を増やしても必ずしもパフォーマンスが向上するわけではないが、我が国における科学技術の重要性を考えると、科学技術投資を減らすことは望ましくない。したがって、たとえば「GDP の 5%」などといった GDP の一定の割合を科学技術投資に充てるという原則を打ち立てるべきであろう [90]。

次に、科学技術投資への十分な資金を確保することに加え、投資に対する社会的コンセンサスのために投資の際の透明性を高めなければならない。研究開発投資の概念と範囲を明確にし、国会や一般市民が研究開発投資の内容と流れを知ることができるようにする必要がある。

第三に、複数の政権にまたがる長期投資と各政権の任期中の短期投資をうまく調和させる必要がある。環境の変化にゆるやかに対応する長期投資と、迅速に対応する戦略的投資の両方が重要である。政府は、各政権がその政策課題に使うことができる戦略的予算を個別に割り当て、未来への長期予算を確保していかなければならない。

科学技術の物理的・文化的インフラストラクチャの拡張

未来社会における「京釜高速道路」や「高速インターネット」とは何だろうか？ 1960 年代後半に建設された京釜高速道路では、物資が自由に移動する。デジタル情報は、1990 年代後半に構築された高速インターネットを自由に流れる。私たちが今日築き上げるインフラストラクチャは、生活を豊かにし、未来経済を後押しする。高速道路は工業化時代の物理的な商品流通を飛躍的に向上させ、通信ネットワークは情報化時代のデジタル情報流通に不可欠であった。同様に、科学技術の物理的・文化的インフラストラクチャは、未来社会の人々が知識やアイデアを生み出し共有するために重要となるだろう。次のようにインフラを強化する必要があると思われる。

まず、データインフラストラクチャ、製造・実験スペース、テストベッドなど、科学技術の物理的インフラストラクチャに引き続き投資する必要がある。データインフラストラクチャは、データを収

集するためのセンサーとデバイス、データを送信・共有するためのデジタル・ネットワーク、データを保存するためのクラウド、データを利用するためのソフトウェアとデバイスで構成される。血液が健康を維持するために体全体を十分に循環する必要があるのと同様に、データの収集、送信、保存、利用のプロセス全体が効率的でなければならない。工作機械、レーザーカッター、3D プリンターなどの機器を使って、アイデアを実際の製品に変えることができる「メーカースペース」のような製造スペースを拡大するべきである。また、高性能顕微鏡、細胞培養装置、質量分析計などの装置を使用して生物学実験を行うことができる「生物学実験室」のような実験スペースも増やす必要があるだろう。また、新技術の研究成果を実際に試すテストベッドも必要となる。さらに政府は、すべての企業とすべての人々が科学技術インフラにアクセスでき、その恩恵を受けられるよう努力しなければならない。

次に、人々が科学技術をよりよく理解して利用し、社会全体が科学技術にポジティブなイメージを持つよう、科学技術に対する文化的インフラを強化する必要がある。文化的インフラには、科学博物館などの有形インフラと、科学技術に対する一般市民の理解という無形インフラがある。科学技術の文化的インフラを強化するには、科学技術がどのように発展し、人類の生活にどのように貢献しているかについてのコンテンツ開発が必須である。コンテンツを人々に配信するため、物理チャンネル（科学博物館など）、オンラインチャンネル（YouTube、ポッドキャスト、ソーシャルネットワーキングサービス、ウェブトゥーンなど）、オフライン・アクティビティ（パフォーマンスやバスケットボールなど）が利用可能である。科学技術について人々がどれだけ知っているか、どんなアイデアを持っているか、どんな技術を求めているかを知るために、アイデアコンテストなどさまざまな活動を活発に行う必要がある。

5-7-2. 科学技術で政策の質を向上させる

イノベーション政策ガバナンスを管制塔からプラットフォームにシフトする

未来社会では、私たちの生活のあらゆる分野での問題解決のために、誰もが科学技術を理解して利用する必要があり、科学技術の新しいガバナンスが不可欠である。個人や組織がすべての分野を完全に理解し、時間通りに意思決定を行うことは困難なため、科学技術に関連する意思決定はますます分散化されるだろう。したがって、次のような新しい形の政策ガバナンスを作り上げるべきである。

第一に、すべての政府省庁は、科学技術力の向上のために担当組織や専任の人員を強化する必要がある。社会と科学技術のつながりは今後ますます緊密になるため、すべての政府省庁は科学技術への理解と専門知識を持っているべきである。効果的な政策を立案し実行するために、各大臣および関連部門に科学顧問を任命することも考えられるだろう。

次に、政府は科学技術の政策ガバナンスを管制塔からプラットフォームにシフトするべきである。以前は、情報と意思決定を一元化するため管制塔の役割が必要だった。しかし将来的には、各エンティティが独自の決定を行う必要があるため、プラットフォームタイプの政府（またはプラットフォームとしての政府）が、関連するエンティティを仲介および調整するべきである[91]。プラットフォーム型の政府の役割は、オーケストラの指揮者の役割に似ているだろう。科学技術を使って問題を解決する際、政府は関連する主体を集め、それらを調整し、研究開発の全プロセスを商業化へと押し進める。COVID-19 危機時の公衆マスク配布と同様に、政府は、企業、シンクタンク、市民社会などと協力して社会問題を解決しなければならない。

Solve social problems through scientific policy decision-making

科学政策の意思決定を通じて社会問題を解決する

私たちが未来社会で理想とする政府は「科学的な政府」である。科学的に政策決定を行い、問題を解決するために科学技術を効果的に利用する政府だ。政策を立案する際に経験や直感だけに頼るのではなく、データを分析して明確な証拠を提示する。そしてそれは、科学技術の有用性と継続的な投資の必要性について社会的コンセンサスを引き出す。科学的政府を実現するためには、次のことを考慮する必要がある。

まず、品質、効率、透明性を高めるため、公共サービスに新しいテクノロジーを積極的に取り入れる必要がある。たとえば、膨大な量のデータを分析し、特定のコンテンツやパターンを発見する人工知能を利用して、行政の効率を高めることができるだろう。すべての参加者がデータ共有できるようにすることでデータの偽造や改ざんを防ぎ、誰もデータを任意に変更できないようにするブロックチェーンを利用して、税金や寄付が適切に使用されているかどうかを見ることができる。公共サービスへの新技術の導入結果を評価することで、技術を向上させ、より有用なものにすることができる。

次に、政策問題に取り組む際には、科学的な意思決定プロセスを確立する必要があるだろう。専門家や一般市民が参加し、学際的な視点から複数の代替政策を導き出すことが肝要である。各政策代替案の客観的データを確保し、データ分析を採用し、代替案の長所と短所、およびそれらの実現可能性を比較することにより、最良の選択肢を提示しなければならない。政策実施段階では、潜在的なリスクや利害関係者からの反対意見に対処する対策を講じる必要がある。

5-8. 未来展望および国家政策間の連携を強化する未来志向国家

5-8-1. 国家の先見システムの強化

未来への長期的な投資

COVID-19 危機の場合のように、未来のために備えている国とそうでない国の将来はまったく異なったものになる。さまざまな理由から、先見の明の重要性はいうまでもないことだ。我が国は世界で最初の超高齢社会になると予想されている。近隣諸国からの放射性物質や細かい粒子状物質など、環境リスクにさらされている。その上、我が国は地政学的な立場から、世界的・政治的变化の影響を大きく受けている。したがって、長期的には以下のように投資する必要があるだろう。

まず、将来どのようなチャンスあるいは脅威の発生が予想され、どのような問題を優先して解決すべきかについて、人々と話し合うべきである。そのため、「イノベート・コリア 2045」は、有望な技術をただ期待するのではなく、未来社会の課題を提示した。「イノベート・コリア 2045」を策定するために、タスクフォースのメンバーは文学からメディアの内容まで幅広く参照し、一般市民や専門家を対象に調査を行い、専門家と数え切れないほどの議論を行い、わが国の将来像、未来社会の課題、政策アイデアを見つけ出した。このように人々と未来について話し合いを続けることで、社会的コンセンサスを築くことができる。

次に、先見性に関する研究への投資を増強するべきであろう。先見の明の証とも言える我が国のエコシステムは、量的にも質的に成長し、いまや大学や政府省庁だけでなく公的研究機関、企業、一般市民にまで拡大している。科学技術分野では、政府は科学技術の基本計画や技術評価など、将来に備えるための活動を積極的に推進している。政府は、未来社会を予測し、未来社会に必要な科学技術が何であるかを探り、未来戦略を立案するというような先見の明がある研究を奨励すべきである。

未来のシグナルを体系的に調査する

将来に備えるためには、さまざまな未来のシグナル（チャンスや危機）を前もって調査しておくべきだろう。データ分析や人工知能などの科学的手法を利用して、未来のシグナルを体系的にキャッチし分析することができる。未来のシグナルを効果的に探すには、主体とコンテンツの観点から先見システムを強化する必要がある。

主体に関しては、我が国の主体全員が参加できるような、国家としての先見システムを確立しなければならない。政府、企業、大学、公的研究機関、社会組織などの個々のエンティティは、それぞれの分野からデータを収集し、他の人々と共有するべきである。政府は、個々のエンティティによって収集されたさまざまなデータを統合し、意味のある洞察を引き出すことにより、「未来探査システ

ム」を構築しなければならない。さまざまな分野の未来を一定の時間内に探求するのが個々の主体の役割であるとすれば、それら全部を結びつけて未来の全体像を描くのは政府の役割である。

コンテンツに関しては、メガトレンドと小さな未来シグナルの両方を監視する必要がある。これらは現時点では些細なことのように見えるが、将来的には中心的なトレンドに発展する可能性がある。特に、「X イベント」に注意を払うべきだろう。元々、「X イベント」は、可能性が低くて影響が大きいイベントを指す用語であった。しかし、近年は頻繁に定期的に発生する傾向があるため、注視すべきである。

5-8-2. 先見の明を持ち政策の質を向上させる

未来のための相互協力

未来社会のチャンスや脅威に効果的に対処するため、私たちは社会全体の能力を統合すべきである。ほとんどのリスクは相互に関連しあっているため、さまざまな分野における専門家間の学際的コラボレーションが不可欠である。したがって、政府はそれらを念頭に未来社会に備えるシステムを設計しなければならない。

まず、イノベーション・エコシステムのすべてのエンティティの先見性を強化しなければならない。たとえば、国立科学技術評議会の 25 の公的研究機関と国立経済・人文社会科学研究評議会の 26 の公的研究機関は、未来の技術を予測し、各研究所の専門知識に基づいて社会や環境の主な傾向を監視する先見性機能を強化すべきであろう。政府は、国家の長期戦略を策定する役割を、恒久的組織に担わせることを検討すべきである。組織の役割は、公的部門や民間部門の中の先見性のある組織同士を結び付け、未来に関するデータと専門知識を蓄積し、未来戦略のための原則とガイドラインを準備し、戦略立案のプロセスを管理するタスクフォースを立ち上げることである。

次に、私たちは未来への対応システムを、危機発生後の対応から危機に先んじた準備に変えていかなければならない。現在は、大規模な災害などが発生した後に、司令塔となる組織を作って問題を解決している。危機に先んじた準備をするために、政府は各リスクに対応するハブ機関を指定すべきであろう。ハブ期間は、予備的な監視と調査を行い、平常時にマニュアルを作成する。緊急の場合、ハブ機関は関連組織を集め、緊急戦略を立案し、解決策を考え出すのである。

政策に先見性を適用し、先見性を強化する

私たちが理想とする未来の政府は、短期的に未解決問題だけに焦点を合わせるのではなく、将来に備え、長期的なビジョンを人々に提示する政府である。政府は、個々の問題について細分化された処方箋を作るのではなく、経済、社会、安全、環境などのさまざまな観点からデータを分析することに

より、包括的な解決法を提示すべきである。そうすることで、先見性と問題解決能力が強化され、データが蓄積される。そのような政府を実現するためには、次のことを考慮に入れる必要がある。

第一に、現在と未来を密接に結びつけて政策を策定し、公共サービスを提供しなければならない。「現在と未来の間の終わりのない対話」である。「バック・キャストिंग」を使って、現在を未来から見るができる[92]。まず望ましい未来を定義することから始まり、その後、現在と未来をつなぐパスを特定するために逆方向に辿っていく。また「政策評価」を使って、現在から未来を見据えることもできる。さまざまな可能性を考慮し、経済、社会、文化などに対する政策のプラスとマイナスの影響を評価するものである。

次に、事前の予測と事後の問題への対応を密接に結び付け、先見性を強化しなければならない。経験を蓄積して分析しない限り、歴史の教訓を学ぶことはできず、的外れな予測と場当たりの対応を繰り返すことになる。予測と対応を体系的に蓄積する1つの方法は、イノベーション・エコシステムの中心的主体によって調査された未来シグナルとそれらに対する実際の対処を文書化することである。「全国未来展望報告書」（仮称）を定期的に（半年ごとまたは毎年）発行すべきである。そしてそれらを次の「韓国の革新」戦略の立案に反映させるべきであろう。

6. 実現に向けた結論と提案

6-1. 結論

私たちが理想とする未来の韓国への道

「イノベート・コリア 2045」は、要約すると、我が国の過去 100 年間を振り返り、科学技術で次の 100 年間に備えることを提案しているものである。安全で健康的な社会、豊かで便利な社会、公平で信頼できる社会、そして人類社会全体に貢献する韓国という私たちが理想とする未来を迎えるために、私たちは「生活の質、経済成長の質の向上、そして人間社会への貢献のための科学技術」というビジョンを追い求めていかなければならない。私たちは未来社会の問題に挑戦しビジョンを実現するために、イノベーション政策を変えていかなければならない。

私たちが理想とする未来の韓国の姿は、単なる夢や願いではない。このイノベート・コリア 2045 戦略を利用して科学技術課題に取り組めば、未来の世代は現実となったその姿を見ることができるともかもしれない。

- ・「安全で健康な社会」は、「人類の生存を脅かす要素への対応」、「持続可能な文明のための環境汚染への対応」、「次世代の生物医学技術による健康的な生活の実現」を通じて実現できる。

- ・「豊かで便利な社会」は、「人間の身体的・知的能力の拡大」、「農業、製造業、エネルギーの革新」、「高速スマート・モビリティによる便利な生活」で実現できる。

- ・「公平かつ信頼できる社会」は、「安全で多様な通信チャンネルと信頼できるネットワーク」によって実現できる。

- ・「人類存続のための未知空間の探査」など、このイノベート・コリア 2045 戦略で示された 8 つの課題のどれかを解決し、その成果を世界の他の国々と共有すれば、「人類社会に貢献する韓国」を実現できる。

それらの課題に取り組むためには、我が国のイノベーション・エコシステムを活用するような政策を実施しなければならない。

- ・「未来社会への変化の中で知的能力を最大化する人材政策」と「挑戦的かつ創造的な人材を生み出すための国家研究開発システム」を通じて、有能な人材を寄せつけ、知識やノウハウを蓄積する必要がある。

- ・「成長エンジンを構築・強化するための産業研究開発」と「社会問題を解決し、生活の質を向上させるための公的研究開発」を通じて、民間部門と公共部門が相互に効果的に競争しあい、協力しあえるようにしなければならない。

- ・「協力と競争を促進する地方のイノベーション・システム」と「国境を越えたグローバル・イノベーションシステム」を通じて、地域、国、世界を統合するような政策を追求すべきである。

・「科学技術」と「未来」を国家政策の中心に据え、「科学技術指向の国家政策」と「未来指向の国家政策」を重視すべきである。

共に未来に目を向け、共に未来を創造する

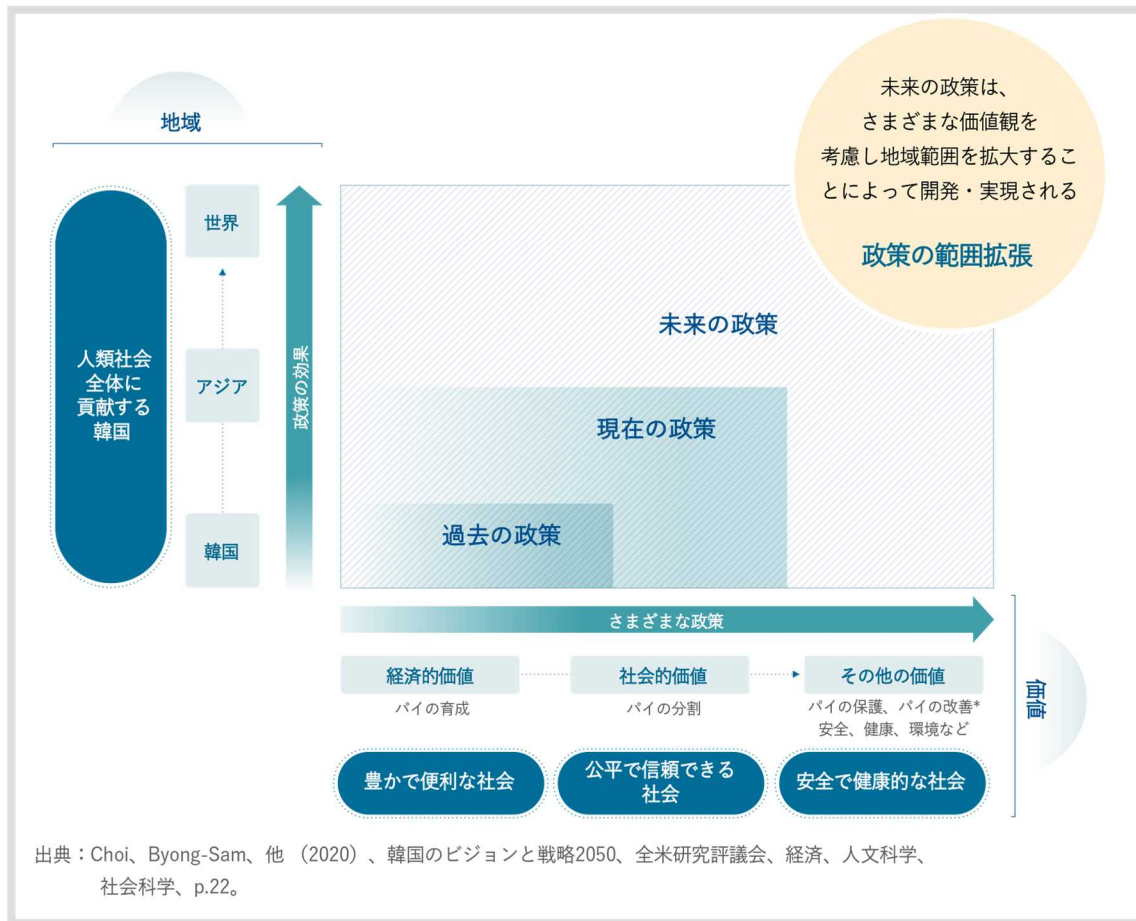
未来戦略は、現在と未来の間にある問題をどのように解決するかというものである。未来戦略を策定する上で最も重要なステップの1つは、皆で一緒に我が国の未来を想像し、設計することである。私たちは、日常生活、科学技術の発展、そして未来社会のイノベーション・エコシステムを思い描くのに役立つたくさんの問いかけをしてきた。私たちは、次の100年間の新しい未来のイメージを描きと目標を設定するため、社会の変化を観察してきた。

私たちの未来を設計するには、我が国の政策範囲を拡大する必要がある[93]。価値観の面では、人々の多様な価値観を調和させ追求すべきである。生活の質を向上させ、経済成長の質を高めるためには、経済的、社会的、そしてその他の価値を含むすべての価値を重視しなければならない。地方・地域に関しては、活動範囲を世界へと広げていかなければならない。人類社会全体に貢献するためには、グローバルな視点で戦略を立てることが不可欠である。

私たちが理想とする未来を実現するためには、科学技術の課題に取り組み、政策を変更していかなければならない。ここで最も重要なことの1つは、個人のすべての活動をリンクさせることである。科学技術課題に取り組むため、問題がどれほど重大かつ緊急であるか、そして我が国がその分野での人材を確保できるかどうかについて、社会的共感を引き出す必要がある。専門家と一般の人々は問題を定義し、共に解決策を探らなければならない。

大学、公立研究機関、企業は、課題に対処するテクノロジー、製品、サービスを開発しなければならない。つまり、新しい成長エンジンを生み出す必要があるのだ。産学連携はイノベーションを加速させるのに役立つだろう。

過去、現在、未来の政策範囲



政府は、これらすべての活動を調整し促進する上で、オーケストラの指揮者の役割を果たす必要がある。さらに、政府はイノベーション・エコシステムのすべての主体がその能力を最大限に活用できるよう、物理的、文化的、制度的なインフラを確立しなければならない。政府は、国家の課題をグローバルな議題として提案し、国際協力によって解決すべきである。我が国のイノベーション・エコシステムを有効に活用し、才能のある人々を科学技術の分野に貢献させれば、さらなる発展が見込めるだろう。

私たちが理想とする未来を迎えるために、私たちは共に未来に目を向け、共に未来を作っていかなければならない。共に未来に目を向けるということは、個人のさまざまな価値観を尊重し認めながら、お互いもっとコミュニケーションを増やし、共通の未来をデザインすることである。一緒に未来を創造するということは、それぞれの主体の活動、セクター固有の戦略、地域的戦略、グローバル戦略を密接に結び付け、効果を最大化することである。

6-2. 実現のための提案

戦略をいかに利用していくか

「イノベート・コリア 2045」は、研究者、大学、公的研究機関、企業、政府、一般市民など、イノベーション・エコシステムのすべての人々と組織を対象としている。それぞれが以下のようにしてこの戦略を利用することができる。

研究者（科学者、エンジニア、政策研究者）は、イノベート・コリア 2045 戦略を参照することで研究テーマやトピックを調べることができる。科学技術の現状と未来、そして未来社会の重要課題を理解することができるだろう。科学技術が社会にどのような影響をもたらし、またどのような悪影響をもたらす可能性があるのかを検証することで、研究の方向性を決めることができる。同様に、組織（大学や公的研究機関）は、この戦略を利用して、ミッションや対象分野を決められるだろう。

企業は、今後の方針を決める際に、このイノベート・コリア 2045 戦略を参照することでビジネス環境を分析することができるだろう。未来社会へのメガトレンドやデータを知ることができるのである。また、新しい製品やサービスへの手がかりを見つけることもできるかもしれない。未来社会の課題解決のための製品やサービスを開発すれば、世界に大きな市場を生み出すことができる。

一般の人々にとっては、未来の社会を想像し未来をデザインすることができる。特に学生は、科学技術の知識を習得し、科学者やエンジニアの重要な役割を理解し、自分のキャリアを選択することができる。そのために、第 4 章と第 5 章を除くほとんどの部分で専門用語の使用を最小限に抑え、一般の人々が簡単に読んで理解できるようにした。

このイノベート・コリア 2045 戦略は、外国政府の科学技術政策担当者を含む海外の読者にも当てはまる。韓国の科学技術の現状と今後の方向性を理解し、協力を促進し、共に未来へ進んでいくための戦略的パートナーとして韓国を選んでもらいたい。

他の戦略との関係

「イノベート・コリア 2045」は、前政権と現政権において確立された包括的国家戦略との関連を考慮して作られた。一見矛盾する価値観、つまり「成長と福祉」と「革新と包括性」を調和させることを重視した。同様に、私たちは多様な目標、つまり生活の質、経済成長の質、人類社会全体への貢献を重視している。今後の科学技術戦略も過去のメッセージを反映し、包括的な国家戦略を提示する必要がある。

科学技術の長期戦略としての「イノベート・コリア 2045」は、科学技術の基本計画、政府の研究開発投資戦略、地方・地域のイノベーション戦略など、短期および中期戦略のガイドラインを提供することを目的としている。長期、中期、短期の戦略は、相互にリンクしていなければならない。それら

は我が国の目標と中心となる方向性を共有しているという点でよく似ている。たとえば、科学技術課題とここに示されている政策変更は、将来の短期および中期戦略に取り入れられるべきである。長期戦略は柔軟な想像力と巨視的洞察に重きを置き、短期・中期戦略は詳細な行動計画とミクロ分析に重きを置くという点で両者は異なっている。長期、中期、短期戦略は二国間関係でもあり、長期戦略は短期・中期戦略に影響を及ぼし、次の長期戦略の基礎となるのである。

「イノベート・コリア 2045」は、環境、エネルギー、ヘルスケア、福祉、陸海、運輸など、他の分野の長期戦略に沿ったものでなければならない。各分野戦略には、科学技術を使用しそれぞれの問題を解決する手法を考案すべきである。科学技術戦略は、各分野の社会的変化を捉え、科学技術に対する未来社会での需要を引き出す必要がある。したがって、戦略策定の全過程を通じて、関係省庁の緊密な協力が不可欠である。

次なる戦略策定ための提案

「イノベート・コリア 2045」は、前政権の長期戦略を受け継ぐことで、我が国の戦略の方向性を維持している。これらの戦略を包括的に見直し、これまでの成果を評価し、未来への研究開発と政策アジェンダに取り入れてきた。同様に、次の政権とまたその後の政権が科学技術分野の長期戦略を策定する際、「イノベート・コリア 2045」など過去の戦略を取り入れるべきである。

これまで、科学技術分野の長期戦略は 10 年ごとに策定されてきた。今後の社会変化のスピードを考えると、サイクルを 5 年に短縮することを検討すべきであろう。その場合、発行のタイミングと、5 年ごとに策定される科学技術基本計画のタイミングを連動させることが望ましい。科学技術分野の長期戦略を 5 年ごとに確立し、中間期に科学技術の基本計画を 5 年ごとに確立すれば、長期戦略と中期戦略を相互に補完することができる。

長期戦略を効率的に策定し、その一貫性を維持するためには、臨時に組織されたタスクフォースではなく、長期戦略策定を支える恒久的な組織が必要である。組織のメンバーは、長期的な社会環境の変化を継続的に監視しなければならない。また、現在の科学技術力とパフォーマンスをみて、何が達成され、何がもはや役に立たないかを特定することによって、科学技術の未来への戦略を評価すべきである。組織メンバーは、短期・中期戦略が実行される際、長期的戦略の方向性に沿っているかどうかを確認しなければならない。また、さまざまな分野における先見の明のある専門家同士をつなぐネットワークハブとしてや、さまざまな未来戦略から知識を蓄積し共有するデータプラットフォームとしても活用する必要がある。

略語

A&D	Acquisition & Development（取得と開発）
AI	人工知能
C&D	Connect & Development（繋がり合いと開発）
CCS	Carbon Capture and Storage（炭素回収・貯留）
CDMA	Code-Division Multiple Access（符号分割多元接続）
COVID-19	2019 年のコロナウイルス感染症
CRISPR	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats（クラスター化された規則的に間隔を空けた短いパリンδροームリピート）
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency（国防高等研究計画局）
DNA	デオキシリボ核酸
GDP	国内総生産
ICT	Information and Communications Technology（情報通信技術）
IoT	モノのインターネット
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change （気候変動に関する IPCC 政府間パネル）
KTX	韓国高速鉄道
LED	発光ダイオード
MERS	中東呼吸器症候群
ODA	政府開発援助
OECD	経済協力開発機構
NASA	National Aeronautics and Space Administration（アメリカ航空宇宙局）
R&D	Research and Development（調査・開発）
SARS	重症急性呼吸器症候群
SDGs	持続可能な開発目標
SNS	ソーシャルネットワーキングサービス
VR/AR	バーチャルリアリティ、拡張現実
5G	セルラーネットワーク向け第 5 世代技術標準

- [1] 1998 年、「ライフ」誌は過去 1000 年間で最も重要な 100 のイベントを選び出した。その中の上位 20 のイベントのうち 12 が科学技術関連であった。それらは次のものである。「ジェームズ・ワットが蒸気エンジンの特許を取得、イギリス、1769 年」、「ガリレオが太陽中心の太陽系を確立、イタリア、1610 年」、「ロバート・コッホが細菌病の細菌理論を開発、ドイツ、1882 年」、「ガンパウダーが最初に武器に使用された」、中国、1100 年、「ナビゲートに使用されるコンパス、中国、1117 年」、「トーマス・エジソンが「発明」ラボを開設、米国、1876 年」、「小型痘ワクチン開発、英国、1796 年」、「最初のテレビ放送、米国、1928 年」、「『ダーウィンは「種の起源」、イギリス、1859 年を出版」、「広島、日本、米国への核攻撃、1945 年」、「フォードは最初のモデル T、米国、1908 年を生産」、「最初の電話、アメリカ合衆国、1876 年」（ロバート・フリードマン（1998 年）、ライフの 1000 年：過去 1000 年間で最も重要な 100 のイベントと人物、バフリンチ・プレス）。
- [2] 統計庁（2019）、韓国の人口予測（2017～2067）。
- [3] OECD ベターライフインデックス（<http://www.oecdbetterlifeindex.org/topics/life-satisfaction/>）。
- [4] 世界銀行の国民経済計算データ（<https://data.worldbank.org>）。
- [5] 環境省（2019）、廃棄物の発生と処分の現状 2018。
- [6] 世界銀行の国民経済計算データ（<https://data.worldbank.org>）。
- [7] IMD（2020）、IMD 世界競争力年鑑 2020。
- [8] 国連（2019）、世界人口の見通し 2019; ワールドメーター（<https://www.worldometers.info/world-population>）
- [9] 統計庁（2019）、韓国の人口予測（2017～2067）。
- [10] 厚生省（2017）、2017 年韓国人高齢者調査。
- [11] レイ・カーツワイル（2005）、特異点は近い：人間が生物学を超越するとき、バイキング。
- [12] 半導体などのデジタル技術の性能が 2 年ごとに 2 倍になるというムーアの法則が、今後も続くとすれば、デジタル技術は 2 の 12 乗、つまり現在の約 4,000 倍になるといえる。4000 倍速いコンピューター、4000 倍高解像度なテレビ、4000 倍速いインターネット（たとえば、5G の速度は 4G または LTE の約 3 倍の速度）、そして 1/4000 サイズのセンサーが出現すれば、現在とはまったく異なる世界になる。実際に私たちは今経験しているのである。
- [13] OECD（2018）、長期的展望：2060 年までの世界経済のシナリオ。
- [14] 世界銀行（2020）、世界経済の見通し。
- [15] IPCC（2018）、1.5°C の地球温暖化; IPCC（2019）、気候変動と海洋・雪氷圏。
- [16] BP（2019）、世界エネルギーの BP 統計レビュー。

- [17] スチュアート A. トンプソン (2020)、ワクチン開発にかかる時間はどのくらいなのか?、ニューヨークタイムズ。
- [18] 韓国行政研究所 (2018)、韓国社会統合調査 2018。
- [19] 原理の名前は、レオ・トルストイの 1877 年の小説「アンナ・カレーニナ」に由来している。小説の冒頭は、「すべての幸せな家族は似通っている。不幸な家族は、それぞれ別々の理由で不幸である。」で始まる。この冒頭部分は、ジェアード M.ダイヤモンドによる 1997 年の著書「銃、病原菌、鋼鉄」に引用され有名になった。(ジェアード M.ダイヤモンド (1997)、銃、病原菌、鋼鉄：人類社会の運命、WW ノートン&カンパニー、ウィキペディア「アンナ・カレーニナ原理」)。
- [20] 国立ヒトゲノム研究所 (<https://www.genome.gov/human-genome-project>)。
- [21] 米国国立ヒトゲノム研究所 (<https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/DNA-Sequencing-Costs-Data>)。
- [22] H.ジェームズ・ウィルソンとポール R.ドハティ (2018)、協調的知性：人類と人工知能はつながり合う力、ハーバードビジネスレビュー、7 月～8 月、114～123。
- [23] 2010 年代に公開された SF 映画やアニメーションの中から、映画関連サイトで評価の高い作品を 20 点選んだ。3 人の研究者が協力して映画やアニメーションを視聴し、そこで説明されている未来の映像について議論した。彼らは、人間、社会、物体、空間、自然環境の観点から共通の未来象を導き出した。
- [24] IPCC (2018)、1.5 度の地球温暖化。
- [25] 環境省 (2019)、地球の気温が 1 度上昇した場合はどうなるか、気候変動シナリオ、韓国の政策ブリーフィング。
- [26] 厚生省 (2020)、コロナウイルス感染症-19。
- [27] 統計庁 (2019)、死因統計;健康保険審査評価院 (2016)、人々が懸念する病気、癌>関節炎>高血圧>認知症。
- [28] 厚生省 (2019)、認知症政策の世界的傾向 2019。
- [29] FAO (2017)。食糧と農業の未来-トレンドと課題。
- [30] <https://www.footprintnetwork.org>; <https://www.overshootday.org/newsroom/past-earth-overshoot-days>
- [31] 世界銀行の国民経済計算データ (<https://data.worldbank.org>)。
- [32] サイバーセキュリティー・ベンチャー (2019)、2019 年の公式サイバー犯罪レポート。
- [33] 国連 (2019)、世界人口の見通し 2019。
- [34] NASA (<https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/16-psyche/in-depth/>)。
- [35] ジェイミー・カーター (2020)、NASA は「プシュケ」をからかう：世界経済よりも価値ある小惑星を探索するロボット、フォーブス。
- [36] モンフォート・ムラキア (2015)、成長の質を測定する方法、世界経済フォーラム。

- [37] 国土交通省（2020）、都市計画統計 2019。
- [38] IPCC（2014）、AR5 統合報告書：気候変動 2014。
- [39] IPCC（2018）、1.5 度の地球温暖化。
- [40] 政府省庁（2020 年）、2019 年異常気象レポート。
- [41] 行政安全部（2019）、2018 年の年次災害報告。
- [42] OECD（2020）、人生うまくいっている？ 2020：幸福の測定。
- [43] マサチューセッツ工科大学テクノロジー・レビュー（2019）、テクノロジーが解決できる 10 のグローバル重要課題。
- [44] 世界保健機関（2018）、2018 研究開発の青写真の下で優先される疾患の年次レビュー。
- [45] 厚生省（2020）、コロナウイルス感染症-19。
- [46] アダリア他（2019）、ワクチン・プラットフォーム：フィールドの状態と迫り来る課題、ジョンズホプキンスブルームバーグ公衆衛生学校。
- [47] 環境省（2019）、廃棄物の発生と処分の現状 2018。
- [48] 環境省（2019）、廃棄物の発生と処分の現状 2018。
- [49] WWF（2019）、自然界からプラスチックをなくせ：自然から人へのプラスチック摂取の評価。
- [50] 政府省庁（2018）、廃棄物リサイクルを管理するための包括的な措置。
- [51] 韓国原子力研究所（2018）、原子力発電所の廃炉産業の発展。
- [52] 統計庁（2019）、韓国の生命表 2018。
- [53] 厚生省（2017）、2017 年韓国人高齢者調査。
- [54] 厚生省（2019）、100 万人以上が 5 年以上の癌診断を生き延びた。
- [55] 厚生省（2019）、認知症政策の世界的傾向 2019。
- [56] 厚生省（2019）、認知症政策の世界的傾向 2019。
- [57] アルツハイマー病は、死後にしか確定診断ができないという点で十分に理解されていないが、それでも医師はアルツハイマー病と他の認知症の違いについて議論している（マサチューセッツ工科大学テクノロジー・レビュー（2019.2.27）、テクノロジーが解決できる 10 のグローバル重要課題。
- [58] 厚生省（2017）、2017 年韓国人障害者全国調査。
- [59] <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>
- [60] 統計庁（2019）、韓国の人口予測（2017～2067）。
- [61] ジョーズ L. ポンズ（2019）、ウェアラブルの移行を目撃する、サイエンス 365、636-637。
- [62] エコノミスト（2020）、人工知能とその限界：AI の限界に対する理解は浸透し始めている、テクノロジー・クォーターリー
- [63] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>
- [64] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- [65] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- [66] 統計庁（2019）、韓国の人口予測（2017～2067）。

- [67] IEA (2018)、ワールド・エネルギー・アウトルック 2018。
- [68] 世界銀行の国民経済計算データ (<https://data.worldbank.org>)。
- [69] 産業通商資源部 (2019)、2018 年エネルギー統計年鑑。
- [70] 産業通商資源部 (2017)、再生可能エネルギー 3020 実施計画。
- [71] 国際エネルギー機関 (<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>)。
- [72] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- [73] 事例は数多くある。例えば GPS などのアメリカの衛星ナビゲーション・システムは現在のスマート革命を可能にした。NASA のハッブル望遠鏡の技術が医療分野での内視鏡の開発につながった。宇宙服の断熱材として使用されたエアロゲルは、建物や設備の断熱材として注目を集めている。
- [74] ジョン・オニール (2001)、長寿：高齢化する未来への友好的な賭け、ニューヨークタイムズ；ドン、シャオ、他 (2016)、人類の寿命に制限がある証拠、ネイチャー 538、257-275。
- [75] ヘンリー・マークラム (2012)、人間の脳のデジタルシミュレーション、ニューロン最後のひとつへのカウントダウン、サイエンティフィック・アメリカン。
- [76] <https://www.claymath.org/millennium-problems>
- [77] 7つの問題のうち、ポアンカレ予想のみが証明されている。
- [78] 韓国では、小学生の夢の仕事トップ 5 は、(1) アスリート、(2) 教師、(3) コンテンツ作成者、(4) 医師、(5) シェフである。中学生は、(1) 教師、(2) 医師、(3) 警察官、(4) 運動選手、(5) 美容デザイナーです。高校生は、(1) 教師、(2) 警察官、(3) 看護師、(4) コンピューターエンジニア、(5) 兵士である (文部省 (2019)、2019 年初等中等教育調査)。
- [79] 接頭辞「マイクロ」が示すように、マイクロ学位は非常に狭い範囲のスキルセットを対象としており、幅広い知識を長い間追求している従来の大学の学位と比較して、比較的短い時間で取れる。たとえば、アプリケーション開発のマイクロ学位は、コンピュータサイエンスの学位よりもはるかに焦点が絞られており、それを取得するために必要な時間は、数年ではなく数か月で済む場合がある。
- [80] Z 世代は、出生年が 1990 年代後半から 2010 年代初頭までの人口統計コホートである。世代に関する公式な定義ではない。
- [81] 政府省庁 (2019)、基礎研究推進のための第 4 次国家計画 (2018-2022)。
- [82] フィリップ・アンダーソン、マイケル L. ツーシュマン (1990)、技術的不連続性と支配的デザイン：技術的変化のサイクリックモデル、アドミニストラティブ・サイエンス・クォーターリー 35、604-633。
- [83] 従来の研究開発 (R&D) に加え、つながりと開発 (C&D)、獲得と開発 (A&D)、立ち上げと開発 (L&D) など、さまざまなチャネルを通じてテクノロジーを保護することを X&D と呼ぶことができる。
- [84] スタートアップゲノム & グローバル起業家精神ネットワーク (2020)、グローバル・スタートアップ・エコシステムレポート。

- [85] マイケル・ナッグス、他。（2015）、高度な化石エネルギーアプリケーションにおけるシステム準備レベルの方法の適用、*プロセディア・コンピュータ・サイエンス* 44、497-506。
- [86] 「起業家精神」の概念は、公共部門と民間部門で議論することができる」（クラウディーネ・カーニー、他（2009）、公共部門と民間部門の起業家精神：似ている？違う？その両方？*中小企業・企業開発ジャーナル* 16（1）、26-46; クリストファーS・ヘイター、他（2018）、公共セクター起業家、*経済政策オクスフォード・レビュー* 34（4）、676-694）。
- [87] アイスリング・アルウィン（2018）、市民科学は成熟した、*ネイチャー* 562、480-482。
- [88] たとえば、核融合分野の国際熱核実験炉（ITER）、素粒子物理学分野の欧州核研究機構（CERN）、宇宙テクノロジー分野の国際宇宙ステーション（ISS）である。
- [89] OECD（2020）、主要な科学技術指標。
- [90] 1999年に発表された「ビジョン2025」は、2025年までにGDPの4.0%を目標として提示し、2010年に設立された「ビジョン2040」は2040年までの目標としてGDPの5.0%を提示した。
- [91] ティム・オレイリー（2011）、プラットフォームとしての政府、*イノベーション* 6（1）、13-40。
- [92] ツオモ・クオサ（2012）、戦略的予見の進化、*ゴウワー・パブリッシング*。
- [93] チョイ・ビョンサム、他（2020）、韓国のビジョンと戦略2050、*経済、人文科学、社会科学のための全国研究評議会*、p.22。

参加メンバー

イノベイト・コリア 2045 委員会

会長 チュン・チルヒー
サムスン電子

メンバー クァク・スージン
シェイク・クリエイティブ

キム・ソヨン
韓国先端科学技術研究所

パク・サンギョル
韓国標準科学研究所

ソン・ピョンホ
韓国科学技術研究所評価計画

ウム・ナクウォン
電子通信研究院

オー・セヒョン
SKテレコム

リー・ソンウン
ソルペイ

リー・ジュンイ
釜山国立大学

チュン・ヨンガン
弘益大学

チェ・ジョンウン
LG サイエンスパーク

ケム・ジョンヘ
韓国高等研究所

ミュン・ジェミン
延世大学

プー・ハリョン
韓国生命工学研究院

ソン・ジェボク
高麗大学校

オー・デイル
アジア太平洋衛星

リー・ジョナサン
HelloDD.com

リー・インキュ
慶北大学校

リー・ジュンホ
ソウル国立大学

ジョー・ウィリアム
梨花女子大学

科学技術小委員会

会長 ウム・ナクウォン
電子通信研究院

メンバー

キム・ダクジン
ソウル国立大学

キム・ヨンロク
ハンクク外国語大学

パク・ドーサン
韓国生命工学研究院

ペー・イルハン
韓国先端科学技術研究所

スー・ユンドク
韓国化学技術研究所

アン・ジェムン
韓国先端科学技術研究所

ユン・ジェホー
韓国エネルギー研究所

リー・サンヒュッブ
韓国国立研究財団

リー・ジョンイク
電子通信研究院

イム・ジョンピン
韓国航空宇宙研究院

チュン・ジブン
蔚山科学技術院

ジョー・ウィリアム
梨花女子大学

チャ・ピリユン
国民大学校

チェ・ジュンホ
ジュンガン・デイリー

キム・ドグン
韓国材料科学研究所

ナ・ジュンホ
LG経済研究所

パク・ジュヒョン
韓国機械材料研究所

プー・ハリョン
韓国生命工学研究院

ソン・イルコン
サムスン・ディスプレイ

アン・ヒョンジュン
科学技術政策研究所

ユン・ジウォン
慶熙大学

リー・スンミン
電子通信研究院

リー・ファンヒ
全南大学校

ジョン・スンジン
韓国脳研究所

ジョー・ムンホ
浦項工科大学

ジン・エミリア・キュン
韓国極地研究所

チュン・ソンヒュン
世宗大学

イノベーション・エコシステム小委員会

会長 **リー・ジュンホ**
ソウル国立大学

メンバー **クァク・スージン**
シェイク・クリエイティブ

キム・スンウ
キム・アンド・チェン

パク・ヒーダク
セマ・トランスリンク証券

シム・ウーヒュン
韓国行政研究所

ヤン・ヒュンモ
ウィズ・ウィザーズ

ウォン・ユーヒュン
韓国科学技術研究所

リー・ユンキュン
全北大学校

リー・ジュンイ
釜山国立大学

チュン・ジブン
蔚山科学技術院

チョー・デヨン
韓国インフラ技術進歩庁

ハン・ククヒュン
サムヨン・マシナリー

ハー・ヒュンホイ
韓国研究開発サービス産業協会

キム・メゴン
韓国保健社会研究所

パク・サンボク
ソウル国立大学

ソン・ジヘ
ソウル大学

アン・ドーヒュン
科学技術政策研究所

オー・セヒョン
SKテレコム

ユー・ベンジャミン・インサン
LG CNS

リー・ジュンジェ
韓国科学技術評価計画研究所

リム・ジュンウク
スタートアップ・人工知能ライセンス

ジュン・ヒェドン・ハドソン
韓国電子技術研究所

チェ・ヨング
科学の進歩と創造性のための韓国財団

ハン・スンスー
電子通信研究院

イノベイト・コリア 2045 タスクフォース

科学技術情報通信部

コー・ソゴン	キム・ドンジュン
キム・スンスー	キム・テユン
リュウ・クワンジュン	パク・キルジェ
リー・ソンボン	リー・ユンキュン
リム・ヨーアップ	ジュン・スンジ
ファン・ヨンジュン	ファン・ハンジン

科学技術政策研究所

プロジェクト・マネージャー チェ・ピョンサム
プロジェクト・スポンサー チョー・ファンヒー

キム・ダンビ	ベク・ソイン
ヤン・ヒーテ	ウー・チュンウォン
リー・イエウォン	ジン・ソルア
ホン・スンジュ	

韓国先端科学技術研究所

プロジェクト・マネージャー ソー・ヨンソク
プロジェクト・スポンサー ジョン・ジェソン

カン・ヒェリ	カン・ホンギョル
アン・ヒェリム	リー・ピョンギ
リー・ソヒュン	イム・デクン
ヒョ・キュンム	