

デジタル変革時代のICTグローバル戦略懇談会 技術戦略WG 論点整理

平成31年4月3日

技術戦略WG

「デジタル変革時代のICTグローバル戦略懇談会」における検討に資するため、最先端のICTの研究開発の推進方策や、その成果の社会展開を促進するための方策について、より専門的な観点から検討することを目的とする。

検討項目

- ① 世界最先端のICT研究開発
 - Society5.0の実現や国際競争力の強化に必要なICT基盤技術の確立
 - 国際競争力の強化に向けた重点施策の再編
- ② ICTの社会実装
 - 社会課題の解決に資する研究開発の推進や研究開発を促進するための環境整備
 - 研究開発段階からの国際標準化や国際連携の推進

これまでの開催 (計6回開催)

第1回：1月10日	検討の背景、検討の進め方 等	}	構成員からのプレゼン、意見交換
第2回：1月31日			
第3回：2月14日			
第4回：2月28日			
第5回：3月12日	論点整理 (案)		
第6回：3月22日	論点整理		

主査

主査代理

<構成員> (19名)	
相田 仁	東京大学大学院 工学系研究科 教授
秋山 美紀	慶応義塾大学 環境情報学部 教授
稲田 修一	一般社団法人 情報通信技術委員会 事務局長
岩浪 剛太	株式会社インフォシティ 代表取締役
内田 義昭	KDDI株式会社 代表取締役執行役員副社長 技術統括本部長
江村 克己	日本電気株式会社 取締役 執行役員常務 兼 CTO
門脇 直人	国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事
上地 克明	神奈川県横須賀市長
川添 雄彦	日本電信電話株式会社 取締役 研究企画部門長
島田 啓一郎	ソニー株式会社 執行役員
須永 順子	クアルコムジャパン合同会社 代表社長
戸川 望	早稲田大学 理工学術院 教授
中尾 彰宏	東京大学大学院 情報学環・学際情報学府 教授
中須賀 真一	東京大学大学院 工学系研究科 教授
根本 香絵	国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 教授・量子情報国際研究センター長
長谷川 博和	早稲田大学大学院ビジネススクール 教授
藤原 洋	株式会社ブロードバンドタワー 代表取締役会長 兼 社長CEO
牧園 啓市	ソフトバンク株式会社 常務執行役員 兼 CIO テクノロジー・エリート IT&ネットワーク統括 統括担当
真野 浩	エプシロンジャパン株式会社 代表取締役最高技術責任者
<オブザーバー> (1名)	
新田 隆夫	内閣府 政策統括官 (科学技術・イノベーション担当) 付 参事官 (課題実施担当)

目次

1. 背景

- (1) 我が国・世界の課題
- (2) デジタル変革による課題解決
- (3) 技術戦略WGにおける検討

2. デジタル変革時代におけるICTの社会実装と深化

- (1) 2030年代の将来イメージ
- (2) 将来イメージの実現に向けたSociety5.0のキーテクノロジー
- (3) Society5.0を支えるキーテクノロジーのロードマップ

3. ICTの社会実装と深化に関する基本的な考え方

4. キーテクノロジーの社会実装における課題と対応

(1) キーテクノロジーの社会実装に関する現状と課題

- ① イノベーション創出方法の変化・技術普及の加速
- ② ソフトウェア化の進展
- ③ ICT提供企業・利用企業等の課題
- ④ イノベーションにおけるベンチャー企業の役割
- ⑤ グローバル市場への対応
- ⑥ システム全体、社会全体の設計の必要性

(2) 取組みの方向性

- ① デザイン思考の活用
- ② アジャイルによる開発アプローチ
- ③ トップダウンによるイノベーション
- ④ ICTベンチャー企業への支援
- ⑤ グローバルビジネスのための国際標準化の推進
- ⑥ 社会受容性の向上
- ⑦ ICT人材の育成

(3) 国として検討すべき取組

- ① ユーザーニーズを吸い上げる技術開発プログラムの創設
- ② イノベーション創出に向けた支援
- ③ 戦略的な標準化の推進
- ④ 社会受容性の促進に向けた環境整備
- ⑤ ICT人材の育成

5. キーテクノロジーの深化（研究開発）における課題と対応

(1) キーテクノロジーの深化に関する現状と課題

- ① 基礎・基盤的な研究力の衰退
- ② 研究開発のオープン化の必要性
- ③ 研究開発のグローバル化の必要性
- ④ 研究開発環境の重要性
- ⑤ 研究開発人材の不足

(2) 取組みの方向性

- ① 中長期的研究開発の推進
- ② 研究開発のオープン化・連携の推進
- ③ 海外との連携の推進
- ④ 研究開発環境の整備
- ⑤ 研究開発人材の育成

(3) 国として検討すべき取組

- ① 中長期的研究開発の実施
- ② 研究開発のオープン化・連携の強化
- ③ 海外との連携強化
- ④ 研究開発環境の整備の推進
- ⑤ 研究開発人材の育成の促進

6. 具体的なプロジェクト

1. 背景

(1) 我が国・世界の課題

- 【我が国】 ●少子高齢化、人口減少、過疎化、東京への一極集中 ●労働力不足、担い手不足、後継者不足
●大規模災害の増化 ●経済成長、生産性向上 等
- 【世界】 ●気候変動 ●エネルギー資源、食料等の需要拡大 ●サイバー攻撃の増加、プライバシー問題等

(2) デジタル変革による課題解決

- IoT、AI、ビッグデータ等の革新的技術の実世界への適用が開始
- デジタル変革時代の到来（あらゆる産業分野においてデジタル変革が始まり、社会や生活が画期的にスマート化）
- サイバー空間とフィジカル空間の融合による「Society5.0」の実現が、新たな価値の創出・課題解決につながると期待
- 社会・経済の基盤であるICTは我が国・世界の課題解決に重要な役割を果たし、SDGsへも貢献

(3) 技術戦略WGでの検討

このような中、Society5.0の実現、我が国の国際競争力の強化に資する中長期的な観点からのICT研究開発、ICTの社会実装の加速化方策等について検討するため、以下を実施。

- 2030年代の将来イメージを共有し、その実現に向けたキーテクノロジーを整理
- 主なキーテクノロジーの2030年代に向けたロードマップを作成
- キーテクノロジーの社会実装の加速化方策、研究開発の推進方策について論点を整理

2. デジタル変革時代におけるICTの社会実装と深化（1）

（1）2030年代の将来イメージ

生活

（高齢者生活支援）

- 発話内容の意味や話者の関係を理解する**高度な対話技術**の活用により、人に優しい応答機能のほか、人との関わり合いを提供できる対話エージェントやロボットが実現する。
- 脳活動を計測し、**脳情報を読み解く技術**が深化するとともに、日常生活においても装着可能な小型の**BMI（ブレイン・マシン・インターフェース）**の実現により、思うだけで家電やドローン等を操作することが可能になる。

防災・減災

（自然災害対策）

- 災害発生時には、各種**センサー**等に基づく洪水や土砂崩れ被害に関するデータを、市民の持つウェアラブルセンサー等、**他の情報と合わせて分析**することで、迅速な救済活動や復旧活動が可能となる。
- 衛星**センサー**等により取得される高頻度の地球環境**データの解析技術**が進展することで、地球規模での環境変化の予測が可能となる。

教育・仕事

（創造社会の実現）

- **超高速通信ネットワーク、ロボット・プログラム**等の利用により、自分の分身が会議や授業に出席することが可能となり、生産性の向上につながる。また、新たな発想や企画等、創造的な仕事に注力できる。

医療・介護

（過疎地対策）

- 医者が不足している地域においても、超高速・低遅延通信の**革新的ネットワーク技術**により専門医による遠隔での診察や、超一流の外科手術の再現が可能となる。

都市・地域

（モビリティ対策）

- 超高速・低遅延通信の**ワイヤレス通信技術**を用いたスマートモビリティにより、高齢者も自由に移動でき、人的災害を気にする必要のない交通事故ゼロ社会を実現する。
- **超高速通信ネットワーク**を利用して、視覚情報のみならず、**温度や感触等の感覚をリアルタイムに伝える技術**の実現により、遠隔地にいる家族とふれ合ったり、家に居ながらもスタジアムにいるようにスポーツ観戦ができる。

産業

（担い手不足対策）

- **IoT、ロボット、ドローン**等の活用により、農業、酪農、養殖等の一次産業においても作業の自動化・省人化が進み、生産性が向上する。
- 店舗では**セキュリティ**の確保された生体情報を活用した個人認証技術により、個別の会計処理をせずとも買い物やサービスを受けることができる。

人的交流

（外国人との共生）

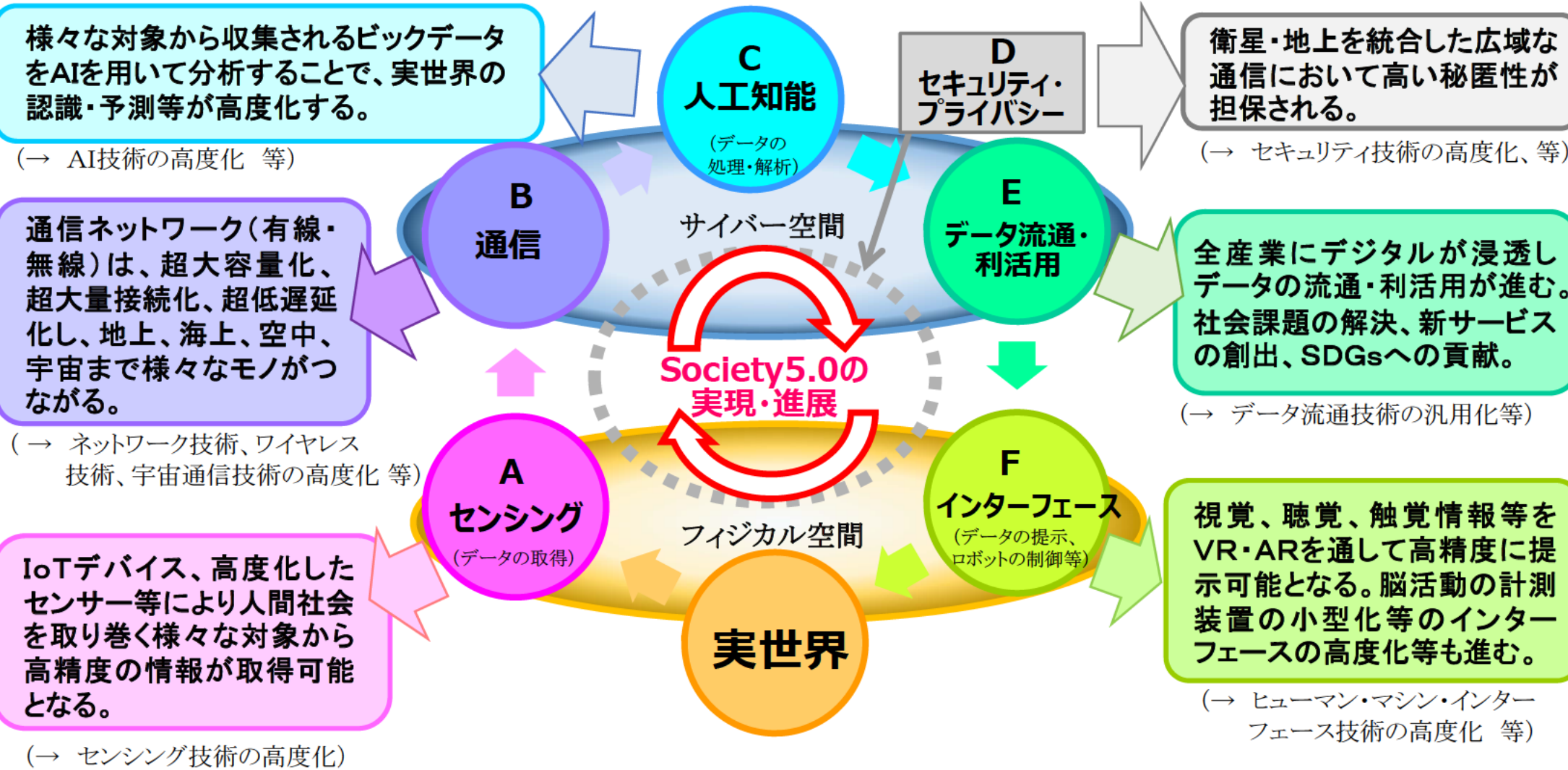
- 非ネイティブの発音や方言にも対応した**同時翻訳技術**が進展することで、外国人観光客や外国人労働者が、各種産業の場や日常生活の場で日本人と円滑にコミュニケーションが可能となる。

2030年の将来像の実現には、基盤となるキーテクノロジーの社会実装・研究開発を推進するための投資、制度やルールの見直し等が必要。

2. デジタル変革時代におけるICTの社会実装と深化（2）

（2）将来イメージの実現に向けたSociety5.0のキーテクノロジー

実世界の様々なデータをセンシング技術により取得し、それらを収集・蓄積（ビックデータ化）してAI等により処理・解析し、新たに生まれるデータや価値を実世界で活用するデータのサイクルが実現。**Society5.0では、このようなデジタル変革が進むことで社会課題の解決、新たな価値創造・産業の創出につながるほか、業務の効率化・省人化により生まれた余暇時間を活かし、新たなチャレンジ、サービス等が誕生する社会が期待。**このような**Society5.0の実現・進展には、キーテクノロジーの利活用・高度化が不可欠。**

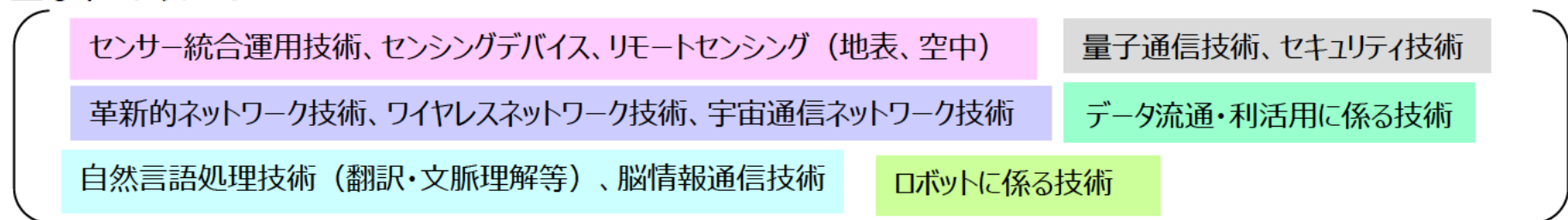


2. デジタル変革時代におけるICTの社会実装と深化（3）

（3） Society5.0 を支える主なキーテクノロジーのロードマップ

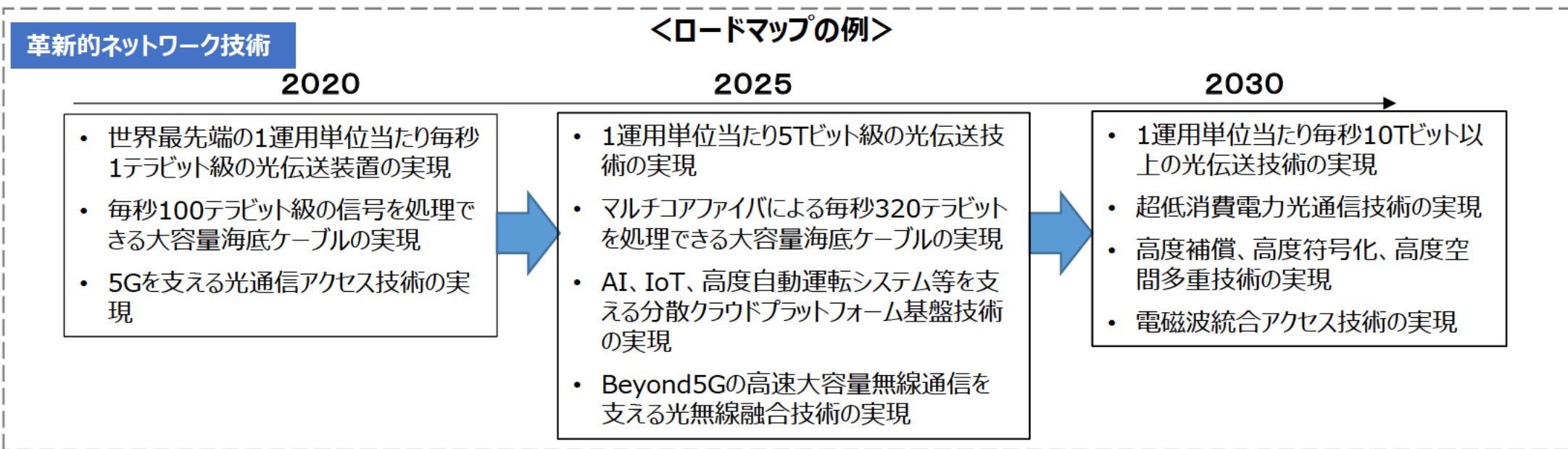
将来イメージの実現のため、Society5.0を支える以下のキーテクノロジーについて、諸外国の研究開発動向を踏まえつつ次の時間軸でロードマップを検討。（別紙）

① 主なキーテクノロジー



② 時間軸

- 2020年：社会実装の加速化の必要がある技術指標
- 2025年：大阪・関西万博等でのデモンストレーション目標
- 2030年以降：将来イメージの実現のための技術目標



- ① 近年、価値観の変化（消費者の求めるものが「モノ」から「コト」、「サービス」へ。）により、市場の主導権が提供側からユーザー側に移動し、これに伴い、イノベーション創出が、ICT提供側における技術シーズ中心のリニア思考から、利用側のニーズや社会課題の解決等を複合的に考える「デザイン思考」中心に変化するとともに技術革新のスピードが加速化している。これらの変化に的確に対応するためには、技術開発におけるオープンイノベーションが不可欠であり、とりわけ、ICT提供産業と利用産業・利用者の共創が重要になっている。
- ② また、IoT、ビッグデータ、AI等の革新的ICTの利活用が多様な分野で進む中、科学技術イノベーションの活用を通じた人間中心の創造的な社会であるSociety5.0を実現するとともに我が国の国際競争力を強化するためには、利用者側において、積極的に革新的ICTを導入することが鍵となっている。
- ③ これらの対応が進展するためには、我が国の企業、政府、自治体、大学、学会、研究者、個人が既存のルールや価値観の呪縛から解放され、マインド、事業手法、制度、教育といった根本的な部分において変化・変革を続けていくことが不可欠である。
- ④ 他方、我が国においては、国・民間等も中長期的な研究開発への投資が低迷する状態にある。国民生活の向上と成長の基盤である革新的ICT分野において我が国が持続的なイノベーション創出していくためには、その前提となる基礎的・基盤的な研究開発に対する十分な投資を行っていく必要がある。

（1）キーテクノロジーの社会実装に関する現状と主な課題

①イノベーション創出手法の変化

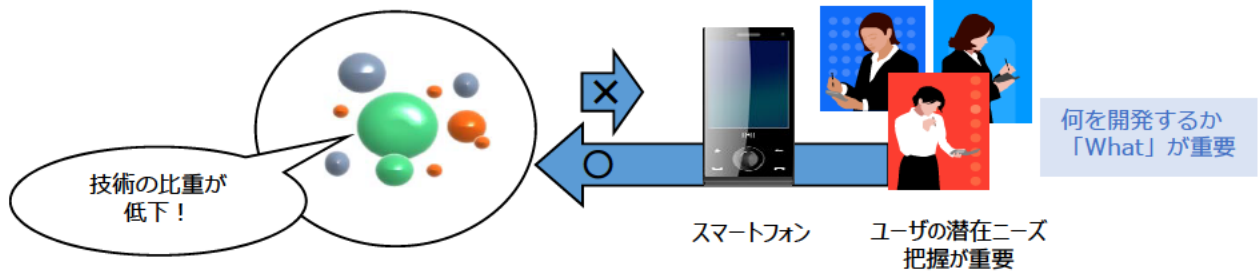
- 市場の主導権は提供側からユーザー側に移動し、イノベーションの創出は、ICTの提供側からの技術シーズに加えて利用側のニーズや社会課題の解決等を複合的に考える「デザイン思考」に変化
- このようなイノベーション創出手法の変化に対応した事業や経営の変革が進まない企業が依然として存在

イノベーションパターンの変化

従来：「供給サイド」が主体で「優れた技術」を起点としたリニア思考によるイノベーションが中心。



現在：「需要サイド」が主体で、「優れた技術」に加えて、「技術の組合せ」、「デザイン」、「ユーザ体験」「使い勝手」「アクセシビリティ」などさまざまな要件を考える「デザイン思考」によるイノベーションが中心。



出典：稲田構成員発表資料を基に総務省が作成

4. キーテクノロジーの社会実装における課題と対応（1）

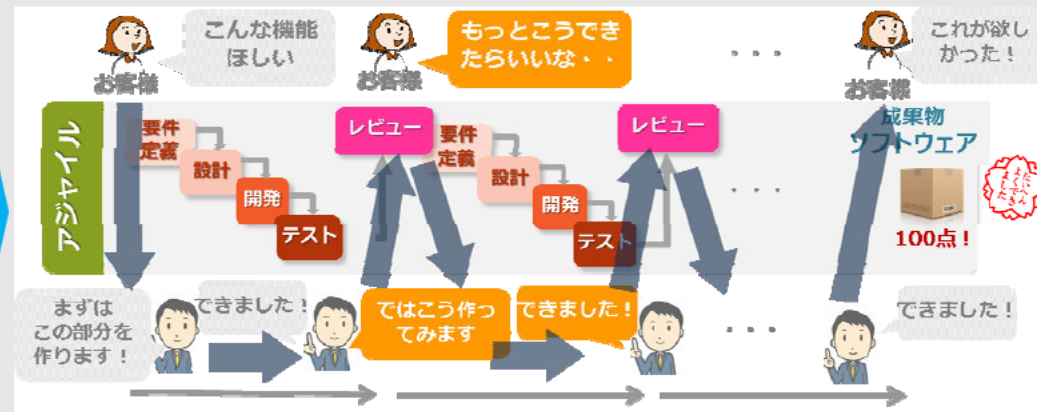
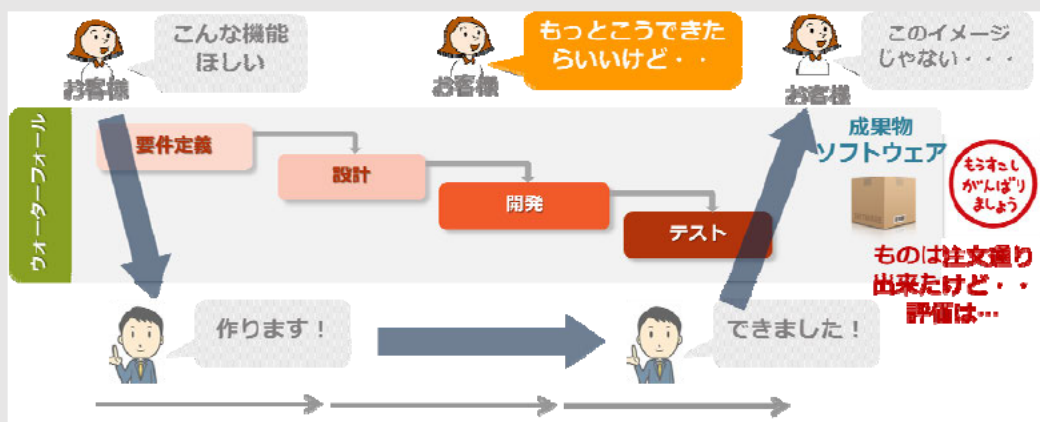
（1）キーテクノロジーの社会実装に関する現状と主な課題（つづき）

②スピード重視、ソフトウェア化の進展

- ハードウェアの機能をソフトウェアで実現するソフトウェア化が進展。技術の進展・普及のスピードが加速化する中、プロダクトサイクルの短期間化、開発時間の短縮化が必要
- オープンソース・ソフトウェアの利用が考えられるが、ソフトウェア人材等が不足

技術開発手法の転換事例

- 近年、市場変化スピードの急激な上昇、ソフトウェアが強い企業の優勢等から日本企業の危機感が高まり、ソフトウェア力強化、アジャイル開発の導入が進んでいる。



出典: 総務省 技術戦略委員会(第22回)資料

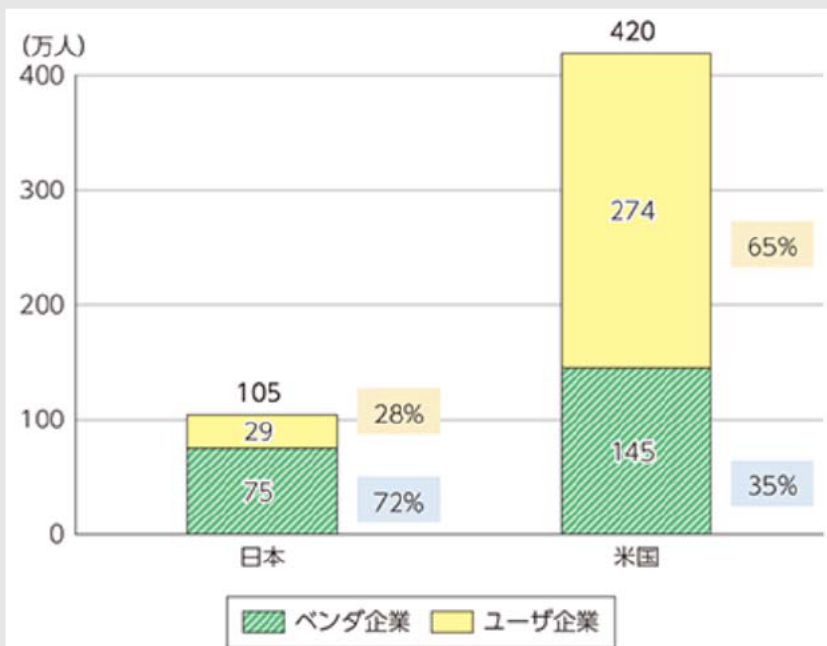
（1）キーテクノロジーの社会実装に関する現状と主な課題（つづき）

③ICT提供企業・利用企業等の課題

- ICTの提供側の多くは、利用側が持つ「現場の課題」の理解が不足。また、利用側においてはICT人材が不足しており、提供側に現場のニーズを十分に説明できていない
- 企業や自治体のトップによるICTに係る理解が不十分。とりわけ、地域・地方においては先進事例の情報が不足
- 日本の組織は意思決定の遅さ、自前主義への拘泥、現状維持、リスクを伴う挑戦不足等の克服により、他企業等との共創の実現までに時間を要する

日米のICT人材の比較

我が国は米国と比較して、ICT人材の数が少なく、さらに人材がユーザ企業側に少なくベンダ側に偏在している傾向。



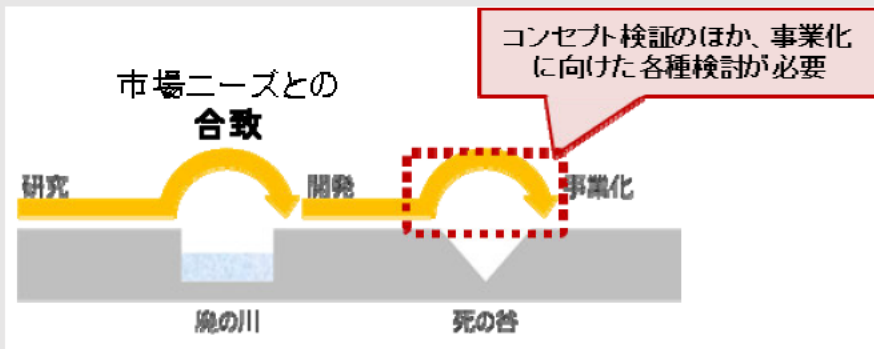
4. キーテクノロジーの社会実装における課題と対応（1）

（1）キーテクノロジーの社会実装に関する現状と主な課題（つづき）

④イノベーションにおけるベンチャー企業の役割

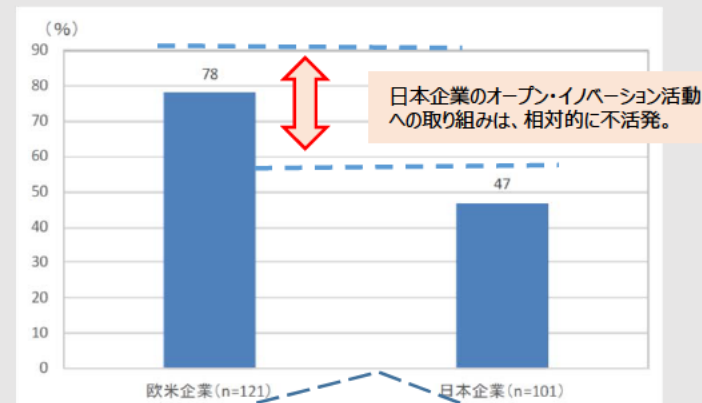
- ベンチャー企業には、新たなビジネスモデルの開発、新たな市場（ブルーオーシャン）の開拓等が期待されるものの、ベンチャー企業の有する新たな技術についてシーズ段階から目利きできるベンチャーキャピタルが稀少。
- 革新的な技術のコンセプト検証（PoC）が実施できず社会実装につながらない
- 特に、ハードウェアの開発が伴う検証、開発やデータ取得等に時間を有する検証に対する民間資金が不足

研究開発から社会実装までの流れ

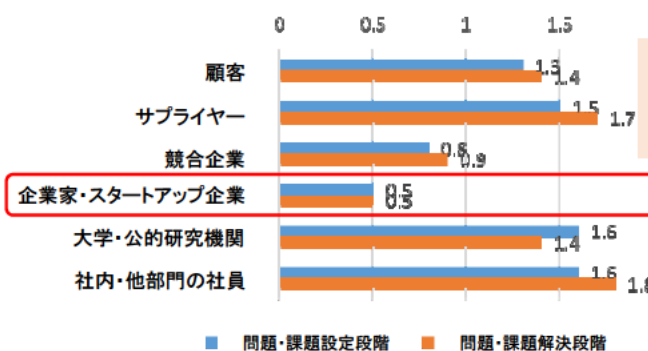


出典：内田構成員発表資料を基に総務省にて作成

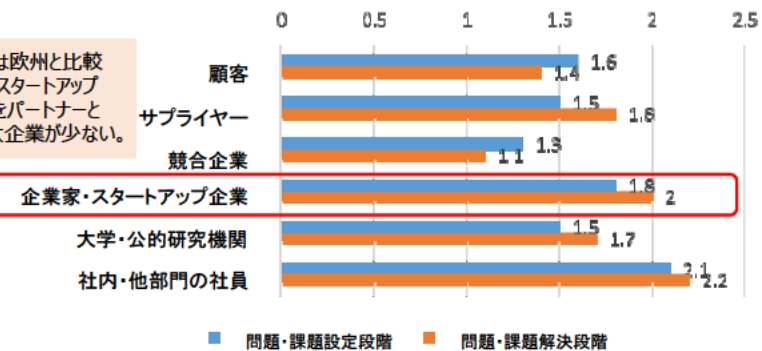
オープン・イノベーション活動の実施率（日欧の比較）



オープン・イノベーションにおけるパートナー（日本）



オープン・イノベーションにおけるパートナー（欧州）



日本は欧州と比較して、スタートアップ企業をパートナーとする大企業が少ない。

注：横軸は、イノベーションのプロジェクト（メンバー）以外の外部人材・組織との知識・ノウハウのやり取りに費やしたすべての時間に占めるそれぞれの時間割合のカテゴリ値（0=0%、1=0超～25%未満、2=25～50%未満、3=50～75%未満、4=75%以上）の平均。

出典：米山、渡部、山内、真鍋、岩田「日米欧企業におけるオープン・イノベーション活動の比較研究」学習院大学経済論集第54巻第1号を基に総務省にて作成

4. キーテクノロジーの社会実装における課題と対応（1）

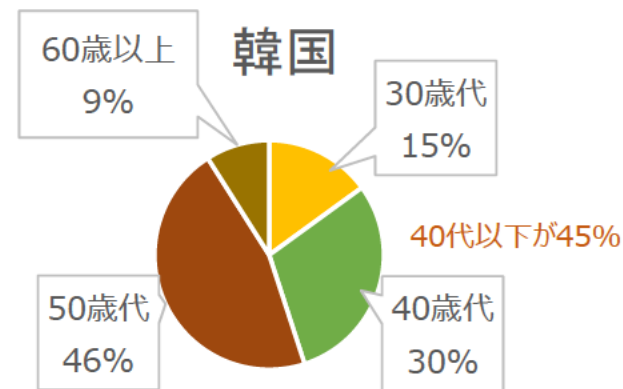
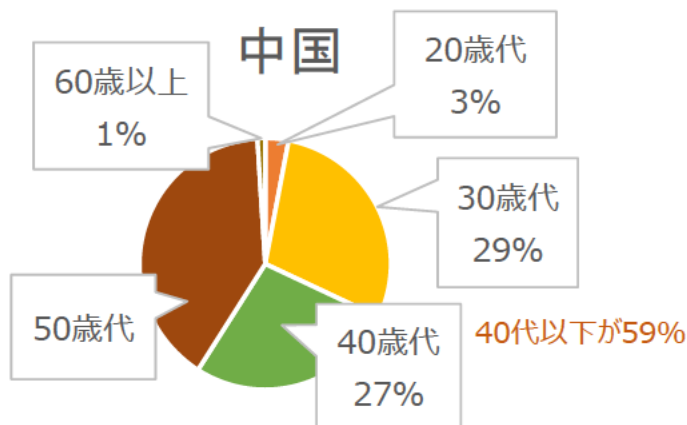
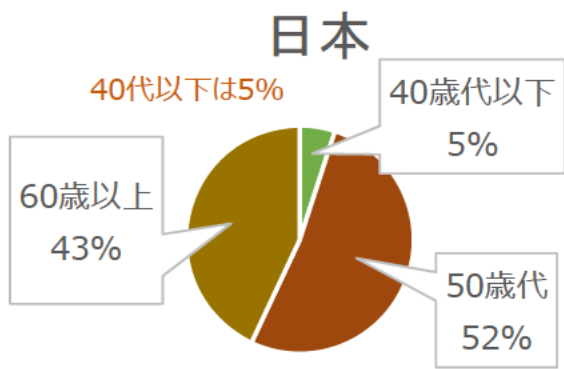
（1）キーテクノロジーの社会実装に関する現状と主な課題（つづき）

⑤ グローバル市場への対応

- 人間を相手とするビジネスでは言語の障壁が大きかったが、IoTやAIを活用するビジネスではセンサ等のデータが主導するため、日本語のハンディキャップを乗り越えるチャンス
- 日本的な文化（「空気を読む」、「あうんの呼吸」）がグローバル市場への障壁になることも。市場に合わせるマインドセットが不十分
- 競争環境において、プライバシー保護の規制やAI倫理のガイドラインなど、技術の標準化を超えたルール形成の影響が拡大
- 標準化の意義や役割が変化する中、国際標準化をマーケティングとして活用する国が増加
- フォーラム（3GPP/IEEE/IETF/W3C等）での標準化が市場形成をリードしているが、我が国は十分に対応できていない
- 標準化活動へ参加する人材の固定化・高齢化

デジュール標準化会合（ISO及びIEC）への出席者の年齢分布

標準化人材について、日本では高齢化が進む一方で、中国・韓国では若手（40代以下）の活躍が顕著。



(1) キーテクノロジーの社会実装に関する現状と主な課題 (つづき)

⑥ システム全体、 社会全体の設計 の必要性

- 我が国は優れた技術はあるがシステム全体の設計が苦手
- ユーザー側、地方の課題や価値観を理解し解決策を描ける人材の不足
- 技術の普及には、制度等の見直し、標準化、個人情報保護等のルール形成、倫理、社会受容性等が重要

（2）我が国全体として実施すべき取組の方向性

①デザイン思考の活用

- イノベーション創出・社会課題の解決に向け、ICT提供産業と利用産業の共創の機会を拡大
- イノベーション創出手法の変化に対応できるよう、「デザイン思考」の理解を進めるとともに、技術者よりも課題を認識し解決方を提案できるデザイナー等が開発をリードする機会を拡大。必要に応じて自治体や市民の参画も。

②アジャイルによる開発アプローチ

- 研究開発者とユーザーが協働して事業化に向けた課題の理解、サービス提供に必要な技術的要件や仕様を明確化し、技術実証、改善を進めることで、効率的な開発に資する「アジャイル型開発アプローチ」の採用を広める
- オープンソースソフトウェアを含むソフトウェアの開発・活用を行う人材を確保・育成

③トップダウンによるイノベーション

- ICTの利用側である企業の経営トップや自治体の首長によるICTへの理解の促進
- 利用側、提供側双方において、経営トップ等によるオープンイノベーションの必要性の認識を向上、トップの意思決定に基づき他企業との迅速な連携を推進
- 首長のリーダーシップが発揮できる地方に先進事例の情報を提供し、新たなICTの積極的な導入を促進

④ICTベンチャー企業への支援

- イノベーション創出におけるコンセプト検証（PoC）の重要性を認識し、支援
- 独創的なアイデアの創発や、アイデアを競う環境の整備
- 国や大企業、自治体がアンカーテナンシーとしてベンチャー企業の技術を先導的・積極的に採用

⑤グローバルビジネスのためのルール形成・標準化の推進

- デジタル標準策定活動に偏ることなく、フォーラム標準策定活動への定常的、長期的な参画を推進
- マーケティング部門と技術部門が一体となった標準化活動を推進
- 標準化作業における実装例や実証試験結果の活用を推進
- 技術の萌芽段階から国際標準化を念頭においた技術開発を実施

⑥社会受容性の向上

- 特区活用の推進 ● 技術の利用促進に必要な指針の作成・更新 ● セキュリティの向上
- 市民、自治体等の技術理解を促進するためのアウトリーチ活動の推進

⑦ICT人材の育成

- デザイン思考、アジャイル開発（オープンソース）、ユーザー企業、異業種との協業等の能力の育成
- 外交交渉力を持つ標準化人材の育成 ● 各プロジェクトを通じた人材育成

（3）国として検討すべき取組

①ユーザーニーズを吸い上げる技術開発プログラムの創設

- 自治体や利用者のニーズを吸い上げ、フィールドトライアルを繰り返しながら、技術を高度化・汎用化する仕組みを構築
- 国による技術開発プログラムの評価指標として、「自治体や利用者の参画」、「事業の継続性」を重視

②イノベーション創出に向けた支援

- 新技術の実用化検討段階及びコンセプト検証（PoC）段階のベンチャー企業や大学等に対する経済的支援。当該受託者に対する、事業化、広報、知財等の専門家の支援
- 国・自治体による調達におけるベンチャー企業の積極的な採用につながるような取組方策の検討
- コンテスト形式等による多様なアイデアの実現支援 ● 地域発の破壊的イノベーションの種を発掘・育成
- 実証環境、試験フィールドの整備 ● 大企業とベンチャー企業の情報交換の場の支援

③戦略的なルール形成・標準化の推進

- 標準化活動に関わる人材の拡大支援（若手・役職者の参加支援、会合の日本招致、重要分野の活動支援、経営層への理解促進等）
- 標準化策定に求められるPoCやユースケースの検討を促進するための支援を強化
- 研究開発段階から戦略的なパートナー作りを重視した国際共同研究の取組を強化
- 標準化動向を定期的、継続的に把握し、社会実装への期待が大きいIoT分野等における標準化の取組を強化

④社会受容性の促進に向けた環境整備

- AI等の革新的な技術の社会受容性や利用促進にむけた、規制・制度の見直し、指針の作成・更新等
- ユーザーや自治体等への先進・優良事例の紹介

⑤ICT人材の育成

- ICTユーザー企業等を対象とした講習会・体験型のセミナー開催、尖った人材の発掘イベント、セキュリティ人材育成等

5. キーテクノロジーの深化（研究開発）における課題と対応（1）

（1）キーテクノロジーの深化における現状と主な課題

① 基礎的・基盤的な研究力の衰退

- 民間企業では短期的成果が期待できる応用研究が中心となり、中長期的視点の研究開発が進まない
- 国による研究開発プロジェクトも社会実装を重視し、応用研究に重点化する傾向
- 持続的なイノベーション創出に欠かせない基礎的・基盤的な研究力が衰退

国・地域別論文数、TOP10%補正論文数

- 国際的に見て引用度の高い論文について量・質とも国際的地位が低下。

論文数	PY(出版年)2004-2006				PY(出版年)2014-2016			
	全分野	2004 - 2006年 (PY) (平均)			全分野	2014 - 2016年 (PY) (平均)		
		論文数				論文数		
国・地域名	論文数	シェア	順位	国・地域名	論文数	シェア	順位	
米国	228,849	25.7	1	米国	273,858	19.3	1	
日本	67,696	7.6	2	中国	246,099	17.4	2	
中国	63,298	7.1	3	ドイツ	65,115	4.6	3	
ドイツ	53,648	6.0	4	日本	63,330	4.5	4	
英国	51,976	5.8	5	英国	59,686	4.2	5	
フランス	38,337	4.3	6	インド	52,875	3.7	6	
イタリア	31,573	3.5	7	韓国	46,522	3.3	7	
カナダ	29,678	3.3	8	フランス	45,337	3.2	8	
スペイン	23,056	2.6	9	イタリア	44,450	3.1	9	
韓国	22,584	2.5	10	カナダ	39,674	2.8	10	

Top10%補正論文数	2004 - 2006年 (PY) (平均)				2014 - 2016年 (PY) (平均)			
	全分野	Top10%補正論文数			全分野	Top10%補正論文数		
		分数カウント				分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	国・地域名	論文数	シェア	順位	
米国	34,127	36.4	1	米国	38,736	27.4	1	
英国	6,503	7.3	2	中国	24,136	17.0	2	
ドイツ	5,642	6.4	3	英国	8,613	6.1	3	
日本	4,559	5.1	4	ドイツ	7,755	5.5	4	
中国	4,453	5.0	5	イタリア	4,912	3.5	5	
フランス	3,833	4.3	6	フランス	4,862	3.4	6	
カナダ	3,382	3.8	7	オーストラリア	4,453	3.1	7	
イタリア	2,731	3.1	8	カナダ	4,452	3.1	8	
オランダ	2,146	2.4	9	日本	4,081	2.9	9	
スペイン	2,083	2.4	10	スペイン	3,609	2.5	10	

出典: 文部科学省 科学技術・学術政策研究所(NISTEP) 「科学技術指標2018」(調査資料-274,2018年8月)を基に、文部科学省が加工・作成

（1）キーテクノロジーの深化における現状と主な課題

②研究開発のオープン化の必要性

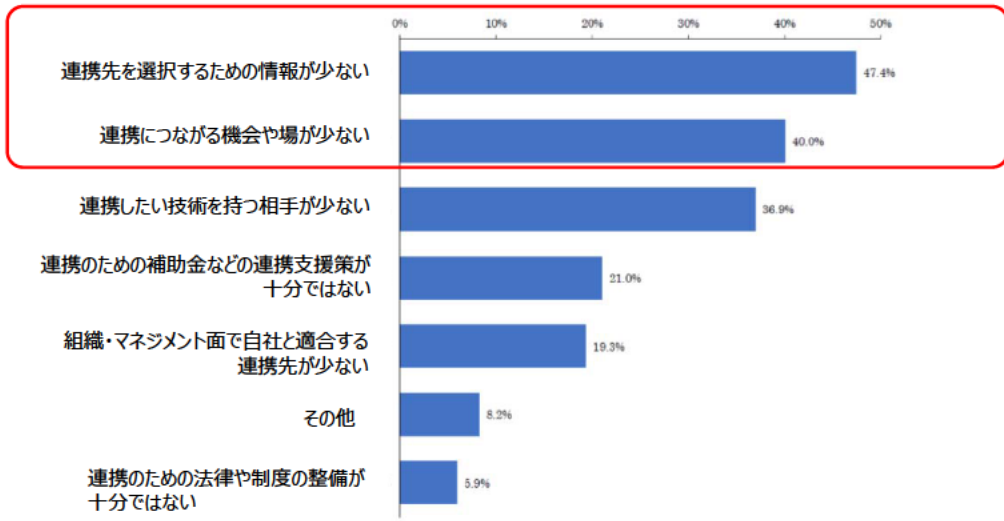
- 研究者の国際ネットワーク力の低迷
- 研究開発において自前主義が強く、国内はもとより海外の研究機関・企業等との連携も限られている

③研究開発のグローバル化の必要性

- 基礎的・基盤的な研究開発が、研究側の視点に偏って実施されている
- 研究が特定の研究分野のコミュニティに閉じて実施される傾向。異領域・異分野との交流不足

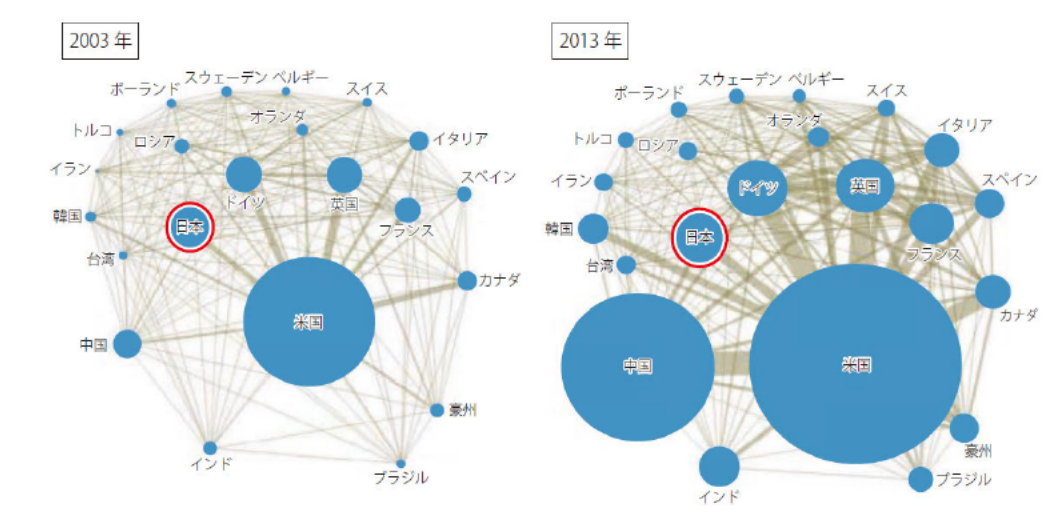
他組織との連携における課題

連携に必要な情報や、連携機会や場が不足。



世界の研究者の国際ネットワーク（共著関係）

中国、インド、ブラジル等新興国や欧米を中心に研究者の国際ネットワークが急激に拡大する一方で、日本の伸びは低い。



※各国の円の大きさは当該国の科学論文（学術誌掲載論文や国際会議の発表録に含まれる論文等）の数を示す。
 ※当該国を含む国際共著論文数を示しており、線の太さは国際共著論文数の多さにより太くなる。
 資料：エルゼビア社「スコパス」に基づき科学技術・学術政策研究所作成。
 中央教育審議会審議まとめ「未来を牽引する大学院教育改革」参考資料より抜粋。

（1）キーテクノロジーの深化における現状と主な課題

④ 研究開発環境の重要性

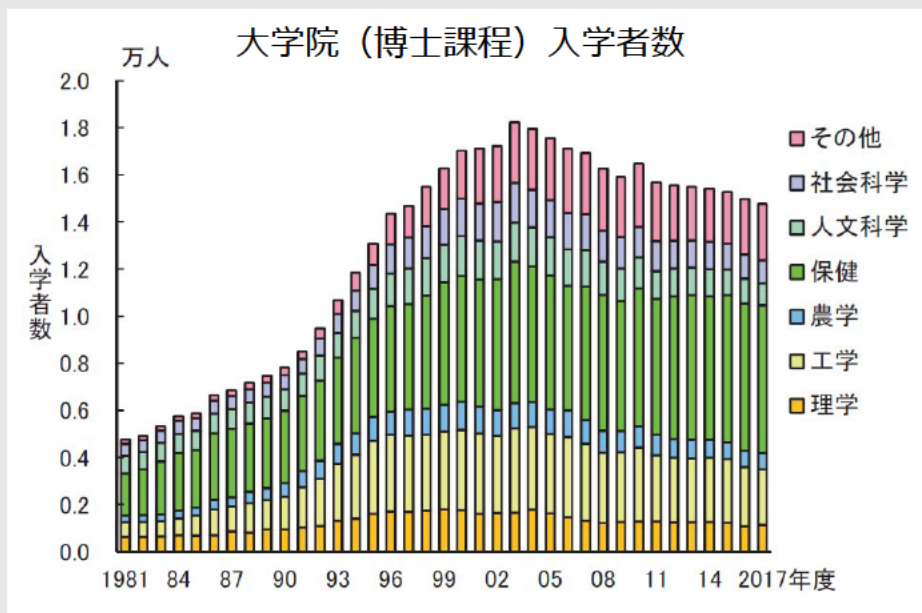
- （分野によるが）国内外の優秀な研究者を引きつける総合的な研究開発環境が整っていない

⑤ 研究開発人材の不足

- 優秀な研究者に対しても特別に魅力的な条件を提示できず、研究者の海外流出が進んでいる。海外からも人が集まらない
- 博士課程進学を含め、次世代を担う研究開発人材が育成できていない
- ハードウェアの競争力が低下傾向にあり、これをベースとした新技術を開発・実装できるエンジニアが不足
- 地方に眠っている優れた人材、シーズを発掘できていない可能性

修士課程修了者の進学率の推移（分野別）

- 大学院（博士課程）の入学者数は、2003年度をピークに減少
- 2003年度からの増減を分野別に見ると保健以外は減少



2003年度からの増減	
理学	- 5 2 1
工学	- 1 2 0 9
農学	- 3 8 9
保健※1	+ 2 5 9
人文科学	- 7 0 5
社会科学	- 7 2 7
その他※2	- 1 7 4

※1 保健： 医・歯・薬学、看護学部等

※2 その他： 商船、家政、教育、芸術、その他

（2）我が国全体として実施すべき取組の方向性

① 中長期的な研究開発の推進

- 民間企業においても、持続的イノベーションの創出の観点から中長期的な研究開発を実施、大学等との連携を強化
- 国は、短期と中長期のバランスを考えた研究開発及び支援を実施していくことが必要
- アウトカムを重視した研究開発の評価、研究目標・研究体制の柔軟化

② 研究開発のオープン化・連携の推進

- 基礎的・基盤的な研究開発の成果を効果的・効率的に社会実装へとつなげるため、早い段階から利用者サイドを参画させる（利用側の企業、公的機関、市民等を巻き込んだ研究開発の推進等）
- イノベーション創出に向け、異領域・異分野との交流を増やすとともに、組織内外への情報発信を強化（専門分野以外とのコラボレーションによる新領域の開拓、バーチャルな研究組織の活用による柔軟なチーム作り、革新的なアイデアや要素技術を有する者の挑戦の後押し等）

③ 海外との連携の推進

- 技術の進展が早いため、最先端の研究は自主研究だけでは不可能。海外の研究機関との継続的な連携の一層の強化、一流研究者の招へい、海外への研究拠点の活用、設置等を推進。
- 研究の萌芽期から国際標準化を戦略的に推進

④ 研究開発環境の整備

- 世界最先端の計測機器や実証環境（テストベッド）の整備により研究コミュニティを構築
- 様々な研究データの共有を推進し、限られたデータを有効活用して最先端研究を促進

⑤ 研究開発人材の育成

- 国際的な競争が激しい研究分野によっては、研究者の処遇を見直し、国内外の優秀な人材を確保
- 大学と民間企業との共同研究を通じて研究開発人材を育成

（3）国として検討すべき取組

① 中長期的研究開発の実施

- 中長期的視点に基づき、国の研究開発関連予算配分を重点化（① 新たなICT市場、ビジネスの創出につながる領域、② 国民の安心・安全確保や社会の課題解決に資する領域、③ 民間だけでは投資回収が困難な領域、④ 通信環境の健全性確保のための領域等）
- 国のプロジェクトにおける研究目標・研究体制の多様化
- 国のプロジェクトへの参画を通じて民間企業における中長期的な研究開発を支援

② 研究開発のオープン化・連携の強化

- 基礎的・基盤的な研究開発の早い段階から、利用側を巻き込む方策を検討し、実施
- 地方において産学官の研究コミュニティの育成を支援

③ 海外との連携の強化

- 日米、日欧、日アジアに加え、分野・テーマに応じた戦略的なパートナー形成（例えば、製造分野における日独連携等）
- 国のプロジェクトにおける適切な標準化目標の設定

④ 研究開発環境の整備の推進

- 最先端研究開発テストベッドの整備（Beyond5G時代に想定される無線ネットワーク環境や多種多様なセンシングデータを扱うための有線ネットワーク環境及び無線エミュレーションの構築）
- 国等の研究データや知財の活用等、研究資源の積極的な活用の推進
- 国のプロジェクトにおける、異分野・異業種が参加する実証実験の促進

⑤ 研究開発人材の育成の促進

- 研究開発プロジェクトを通じた産学での人材交流の促進や、国際的なチーム経験を積むことができる機会を提供
- 地域発の破壊的イノベーションの種を発掘・育成するとともに、技術革新の芽となる多様で基礎的な研究開発を中長期的に支援

6 (1) 社会課題解決プロジェクト (案)

防災・減災

ツイッター等のSNS上の災害関連情報をリアルタイムに分析・要約し、災害発生時の迅速な状況把握・判断を支援する技術に関し、特に自然言語処理技術を実用レベルへの高度化を実現。



防災・減災

過去の災害（地震・噴火・豪雨）の前後における衛星観測データから、地表面変位や土壌水分量などを導出しつつ、災害被害のリアルタイムでの解析・予測を実現。



農業・食料

農作地における温湿度、二酸化炭素濃度等の大規模で多様なデータを取得可能なIoTセンサに関し、複雑なネットワーク構成や運用管理が容易化する。



医療・介護

大容量映像データを低遅延で無線伝送する技術を確立し、遠隔手術等を実現する。



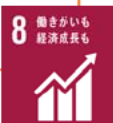
都市・地域

5G超高速・低遅延通信のワイヤレス通信技術を用いたスマートモビリティにより、高齢者も自由に移動でき、人的災害を気にする必要のない交通事故ゼロ社会を実現する。



人的交流

外国人観光客や外国人労働者が、各種産業の場や日常生活の場で日本人と円滑にコミュニケーションが可能となるよう、12言語において実用レベルの翻訳精度を実現。



教育・仕事

超高速通信ネットワークの利用により、自分の分身が会議や授業に出席することが可能となり、生産性の向上につながる。また、新たな発想や企画等、創造的な仕事に注力できる。

...

●次世代AI
 特定の決まった作業を実施するためのAI（自動運転技術、画像認識等）から、人間と同様に多様な課題に柔軟に対応できるAIが実現。生産性向上、生活支援の高度化等により人間の自由時間が拡大し、豊かな生活を実現。

●脳情報通信・未来コミュニケーション
 ・話している人の表情や感情を読み取り、その場の雰囲気も察知して意図やニュアンスも理解することで、人と区別のつかない対話が可能なエージェント、ロボットを実現。超高齢化社会において人間に代わり人間をサポート。
 ・脳情報が伝達可能となり、念じただけで、家電やドローンの操作が可能に。身体拡張も実現。

●データ流通・利活用
 個人のプライバシーやトレーサビリティ等に配慮した安心・安全なデータ主導社会を実現し、あらゆる産業で実世界における多種多様なデータ流通・利活用が可能となる。

●センシング・IoT
 地表面の状況をcm単位で高精度に観測できるレーダーが約100分の1程度に小型化することで、ドローン等にも搭載可能となり、災害発生時に自治体が迅速に被災状況を確認することが可能となる。

●超臨場感伝達
 超高精細の映像データのほか、聴覚、触覚、嗅覚等の人間の様々な感覚情報を伝送し、VRやARによりリアルタイムに再現することにより、空間を越えた超臨場感のコミュニケーションを実現。

●セキュリティ
 サイバー空間の脆弱性をAI等によりリアルタイムに検知し、サービスに影響を生じさせないセキュリティ技術が実現。

●量子通信
 ・盗聴できないことが数学的に保証された、秘匿性の高い通信が地球規模で実現。通信の安全性が大幅に向上。
 ・光ネットワークを越える大容量・低消費電力の通信を実現。革新的ネットワークの次の世代のネットワークに向けた普及が始まる。

●革新的ネットワーク
 ・伝送路のAI制御が実現し、ニーズに応じて、必要な時に必要な通信路が確保される効率的なポスト・インターネットを実現。
 ・毎秒10テラビット級の光伝送技術により、現在の約400倍の通信速度を実現。事実上、遅延がなくなる。

●次世代ワイヤレス
 ・Beyond5Gが実現（双方向での超大容量×超大量接続×超低遅延）
 ・高速な移動体の遠隔操作、医療分野等、クリティカルな場面でも無線利用が実現。

●宇宙通信
 ・様々な軌道の衛星及び地球上のネットワークが、シームレスに連携した基盤が実現。
 ・高解像・高頻度取得される衛星データや地上のセンサーデータ等の解析により、社会課題の解決や様々なビジネスの創出が実現。

6 (3) 社会実装・研究開発の環境整備

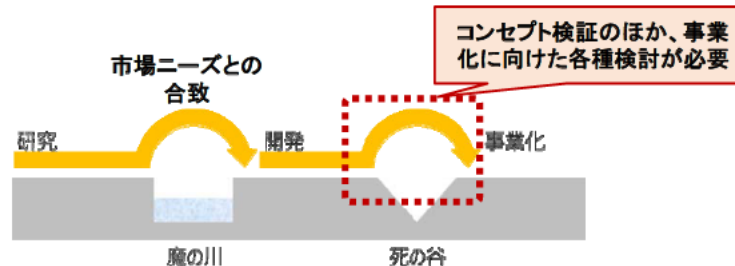
社会課題解決型の研究開発

- 最新技術の高度化・汎用化等に係る研究開発を実施
- 研究開発の実施にあたっては、ICT利用事業者や、自治体、市民による参画を促進



SDGsの達成に向けたイノベーション創出支援

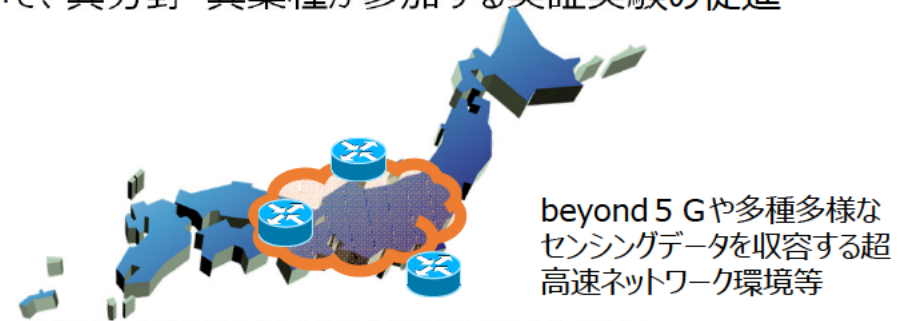
- 研究開発成果のビジネス化支援（SDGsの達成に貢献するような研究開発に重点的に資金を配分）
- コンテスト形式等による多様なアイデアの実現支援
- 地域発の破壊的イノベーションの種を発掘・育成



出典：KDDI資料を元に総務省作成

オープンイノベーションを促進する環境整備

- beyond5Gを見据えた最先端の研究開発テストベッドの整備
- テストベッド等を利用した国等の研究データの積極的活用の推進、人材交流
- 国プロにおいて、異分野・異業種が参加する実証実験の促進



ビジネス視点の国際標準化

- 標準化活動の基盤となる人材の支援と経営層の理解の促進
- 標準化策定に必要なPoCを支援
- 社会実装への期待が大きい標準化の取組強化

諸外国との戦略的パートナーシップ構築

- 価値観を含むWin-Winの連携が可能な地域・国との継続的な連携
- 研究開発段階からの戦略的パートナーづくり
- 技術の進展スピードが加速化する中、グローバルな視点に立った対応の推進

トップ級の研究開発人材確保のための環境整備と育成

- 国内外の優秀な人材を確保する研究開発環境の整備
- プロジェクト形成を通じた次世代を担う研究開発人材の育成

別紙

A. センシング関係

2020

2025

2030

センサー統合運用技術

A 1

- 地上から宇宙までの人間が活動する環境をリアルタイムでセンシングするセンサ群の開発

- センサ群から有益な情報を抽出し、効率的・効果的な意思決定ができるデータ駆動型社会のプロトタイプを実現

- データ駆動型社会の実現に向けたセンサ群の実用化を実現

センシングデバイス

A 2

- テラヘルツ波を多方向に射出可能なテラヘルツアンテナ、テラヘルツデバイス作成技術、超高速電子デバイス技術の各要素技術の実現

- 各要素技術の融合によるテラヘルツアレイサブシステムのプロトタイプやテラヘルツビームフォーミングの実現による、テラヘルツアンテナを用いたリモートセンシング技術の実現

- テラヘルツによる人や物体の動きを把握するイメージング技術の実現、移動物体用、非接触・非侵襲テラヘルツセンシングやセキュリティー検査への応用技術の実現

地表からのセンシング

A 3

- 偏波化されたフェーズドアレイ気象レーダー(MP-PAWR)と地デジ水蒸気量計測システムを連携させた20~30分先の高精度降雨予測技術の実現
- デジタルビームフォーミングや高感度化技術による多機能ミリ波帯レーダーの実現

- MP-PAWRネットワーク化技術、地デジ水蒸気量計測システムを中核としたセンサ群(W帯雲レーダー、ウインドプロファイラー等)連携による高精度降雨予測技術の実現、京阪神における実証実験
- ミリ波帯環境センシング応用技術(障害物探知・危険物検出等)の開発

- ハード・ソフト両面において柔軟なシステム構成による多目的レーダー(物体探知等)構成技術の実現

空中からのセンシング

A 4

- 世界最高性能・機能を有する航空機搭載合成開口レーダーを開発、15cm分解能での地表面観測を実現
- 地球温暖化・地球規模の水循環の予測モデルの高精度化に寄与する衛星搭載降雨レーダーを運用し、衛星搭載雲レーダー構成技術の実現
- 超小型軽量テラヘルツ分光計の開発

- 災害発生時に効率的・効果的な意思決定に寄与する合成開口レーダーの解析手法の開発(合成開口レーダー画像を活用した被災マップの作成等)
- 地球温暖化対策の一環として地球規模の水循環の予測モデル高信頼性化を実現
- 地球近傍宇宙(月・火星)における水資源探査の実現
- 大気汚染物質などのセンシング技術の実現

- 民間・地方自治体での運用が可能となるように、ドローン等の小型飛行体に搭載可能な小型合成開口レーダー構成技術の実現
- 観測の時間分解能を向上させるために静止軌道上で運用する衛星搭載降雨レーダー構成技術の実現
- 水エネルギー資源の確保により地球近傍宇宙における産業を牽引
- 地域におけるキレイな空気百選など地域ブランド化の促進

A. センシング関係

2020

2025

2030

非破壊センシング

A 5

- 広帯域の電磁波を用いたインフラ・建造物等の内部構造の可視化の原理実証

- 様々なセンシングデータを統合した劣化診断技術, 構造マッピング自動化技術の実現

- 建設会社等によるインフラメンテナンス, 再開発における非破壊センシングデータの展開

センシング・認識技術

A 6

- 環境学習型ビジョンセンサの実現
- 低シグナルノイズ比下の音声処理・認識技術の実現
- 嗅覚センサの実現
- 分布型触覚センサシステムの実現

系統の異なるセンサからの情報を処理することにより単一のセンサからは得られない高度な認識機能を有するセンサーフュージョンシステムの実現

B. 通信ネットワーク関係

2020

2025

2030

革新的ネットワーク技術

B 1

- 世界最先端の1運用単位当たり毎秒1テラビット級の光伝送装置の実現
- 毎秒100テラビット級の信号を処理できる大容量海底ケーブルの実現
- 5Gを支える光通信アクセス技術の実現
- AIを活用した通信ネットワーク運用自動化（特定業務の一部自動化（人の介在あり））技術の実現
- コンテンツ名や識別子を用いてコンテンツの配信を効率的に行う技術の実現



- 1運用単位当たり5Tビット級の光伝送技術の実現
- マルチコアファイバによる毎秒320テラビットを処理できる大容量海底ケーブルの実現
- AI、IoT、高度自動運転システム等を支える分散クラウドプラットフォーム基盤技術の実現
- Beyond5Gの高速大容量無線通信を支える光無線融合技術の実現
- AIを活用した通信ネットワーク運用自動化（特定業務の完全自動化（人の介在なし））技術の実現
- 高精細映像の効率的な配信技術の実現



- 1運用単位当たり毎秒10Tビット以上の光伝送技術の実現
- 超低消費電力光通信技術の実現
- 高度補償、高度符号化、高度空間多重技術の実現
- 電磁波統合アクセス技術の実現
- AIを活用した通信ネットワーク運用自動化（全ての業務の完全自動化（人の介在なし））技術の実現
- 超高精細映像の効率的な同時配信技術の実現

B. 通信ネットワーク関係

ワイヤレスネットワーク技術 (beyond 5G)

B 2

- 毎秒20Gビット級の無線伝送技術の実現
- 無線通信を中心としたネットワークでの遅延1msec程度を実現



- 毎秒50Gビット級無線伝送技術の実現
- 有無線含めた遅延1msecを実現



- 毎秒100Gビット超の無線伝送技術の実現
- 遅延をほとんど感じない（遅延1msec未満）ネットワークの実現

ワイヤレスネットワーク技術 (テラヘルツ)

B 3

- 毎秒50Gビット級の短距離対向無線伝送技術の実現



- 毎秒100Gビット級無線伝送技術の実現
- 8K映像の非圧縮伝送技術の実現
- データセンタのラック間高速無線伝送技術の実現



- 毎秒300Gビット超のマルチチャンネル無線伝送技術の実現
- 100Gビット超の無線LANの実現

ワイヤレスIoT技術

B 4

- 100万台/km²の接続数を実現



- 500万台/km²の接続数を実現



- 1000万台/km²の接続数を実現

B. 通信ネットワーク関係

宇宙通信ネットワーク技術

- 通信需要等の変化に動的に対応可能とする衛星技術の実現
- 太陽フレア等の太陽活動の電離層等への影響に関する現況把握・予測（宇宙天気予報）の中断なき提供の実現



- AIの活用により、多数のビームや衛星を最適に制御する技術の実現
- 5GやIoT等の地上システムと通信衛星との連携を実証
- 低軌道衛星や測位衛星等にも配慮した宇宙天気関連技術の実現
- 衛星等の電波諸元・軌道等のリアルタイム観測・把握のための基盤技術の実現



- 静止衛星、低中軌道衛星、地上上のネットワークをシームレスに統合する技術の実現
- 宇宙空間における電波利用等の実態把握の実現

C. AI 関係

2020

2025

2030

自然言語処理技術（翻訳・文脈理解等）

C 1

- 12言語において実用レベルの翻訳精度を実現
- 分野特有の表現や用語を収集し、音声翻訳に対応する分野の拡大を実現
- 文脈理解技術により、曖昧な会話や主語が省略された発言の適切な翻訳を実現（初期レベルのもの）
- あらゆる文章で直訳レベルの機械翻訳を実現
- 不定型な文書(テキストチャット、ネットスラング等)の翻訳技術の実現

- ビジネス通訳の実現
- 新語・新トピックへの即時対応技術確立し、時事ネタやニュースに対応する音声翻訳技術を実現
- 文脈理解技術により、文章の意味、ニュアンス等を踏まえた機械翻訳の実現
- 雑音のある公共空間下でも言語の異なる複数人が発声した音声の同時通訳を実現
- ボタン等を押したりせず簡単に使える翻訳技術の実現
- 高度な専門知識に対する推論機能を実装した対話エージェントの実現

- 創作性の高い文書(文学、芸術作品等)を除く、あらゆる文章の翻訳の実現
- 周囲状況や表情・感情の推定や動画または静止画を認識しキャプションを相応しく翻訳するマルチモーダル翻訳の実現
- 生の会話の翻訳技術(言い淀みを除く翻訳技術等)を開発し、同時通訳を実現
- 多様な音声(非ネイティブの発音・方言など)への対応を実現
- 文章の意味、ニュアンス等を理解し、人と区別のつかないレスポンスが可能な対話エージェント、ロボット等の活躍する社会を実現
- チューリング・テストへの挑戦

C. AI 関係

2020

2025

2030

脳情報通信技術

C 2

• 視聴覚等の知覚・認知課題や運動課題に係る脳内表現を解析し、身体状態や心的状態の推定を実現



- 脳活動を計測し、脳情報を読み解く技術を深化させ、以下のような技術を実現
 - 各種産業における製品評価
 - 運動・感覚機能の補助・サポート
 - BMIによるコミュニケーションや機器操作技術への活用
- 日常生活において装着可能な携帯型BMI（EEG、NIRS等）による家電操作の実現
- 脳型情報処理技術による、2 課題以上に対応するAIの実現



- 人間の複数の脳機能を有する脳モデルを開発し、ヒトと親和性のある判断機能を実現し、AI、IoT機器、ロボット等に活用。
- 携帯型BMIによる基本的なドローン操縦（上昇、旋回等）の実現
- 様々な課題に対応するAIの実現（2050年に人並みのAIの実現を目指す。）

D. セキュリティ・プライバシー関係

2020

2025

2030

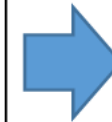
量子通信技術

D 1

- 一定の条件下での量子暗号通信システムの実用化
- 将来にわたり盗聴・解読の危険性がないデータ通信・保管・交換の基礎技術の実現
- 量子暗号に対応した衛星通信の基礎技術の実現



- 衛星、地上網を統合した可用性の高い秘匿通信網の構築技術の実現（日本全土のスケールでの動画の秘匿伝送サービス）
- 長距離伝送に必要な量子中継技術、量子通信デバイス技術の実現



- 光・量子通信による大陸間でのグローバル高秘匿・大容量通信サービス、量子インターネットの実現
- 古典通信理論の限界を打破する低電力・大容量ノード処理技術の実現

サイバーセキュリティ対策技術

D 2

- 新たなマルウェア活動の発生を自動的に早期検知する技術を構築
- チップの回路情報による不正機能の検知技術の実現
- データを暗号化したまま様々なデータ解析を可能とする新たな機能を備えた暗号技術の実現



- 新たなマルウェア活動の発生を自動的に特定し、関連する脅威情報を自動提示する技術の実現
- ハードウェアの動作特性の把握による不正機能の検出技術の実現
- 次世代暗号技術の確立



- マルウェア分析等の複数の手法を組み合わせ、サービスに影響を生じさせないセキュリティ技術の実現
- 高度な暗号技術の確立

※電子政府推奨暗号リストの機動的見直し

E. データ流通・利活用関係

2020

2025

2030

分野・事業間データ連携技術

E 1

• データの流通・利活用に伴う課題解決に資する基礎技術の実証（プライバシー保護、ブロックチェーン技術等によるトレーサビリティの確保等）

• 安心、安全なデータ流通を実現するため秘密分散、秘密処理技術の実現

• 多数のデータ流通によるセッションレスな仕組み等、高速・大量なデータを実時間でハンドリングするプロトコル、ソフトウェア技術の実現

F. インターフェース関係

F 1

ロボットに係る技術

• 通信ケーブルの代替となる無線制御技術の実現

• 機器間、短距離、小電力のワイヤレス給電が実現

• 屋内におけるワイヤレス給電が実現

• 屋外におけるワイヤレス給電が実現

• 画期的な設計を行うことができるようになり、より高度で信頼性の高いロボットの実現に貢献