

第 10 回科学技術予測調査
分野別科学技術予測の詳細分析
ーデルファイ法による意見収れんの検証ー

2016 年 3 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所

科学技術動向研究センター

横尾 淑子 小柴 等

本 DISCUSSION PAPER は、所内での討論に用いるとともに、関係の方々からの御意見を頂くことを目的に作成したものである。

また、本 DISCUSSION PAPER の内容は、執筆者の見解に基づいてまとめられたものであり、機関の公式の見解を示すものではないことに留意されたい。

DISCUSSION PAPER No.135

The 10th Science and Technology Foresight
Analysis of “Future Perspectives by Field”
– Convergence of Opinions by Delphi Method –

Yoshiko YOKOO and Hitoshi KOSHIBA

March 2016

Science and Technology Foresight Center
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
Japan

<http://doi.org/10.15108/dp135>

本報告書の引用を行う際には、出典を明記願います。

第 10 回 科学技術予測調査

「分野別科学技術予測」の詳細分析 ―デルファイ法による意見収れんの検証―

文部科学省科学技術・学術政策研究所

科学技術動向研究センター 横尾淑子、小柴等

要旨

我が国では、1971 年からデルファイ法*による科学技術予測が実施されてきた。「第 10 回科学技術予測調査」の一環で実施された「分野別科学技術予測」では、専門家の幅広い回答からイノベーションの可能性を探ることを目的として、繰り返しを行う前の結果を対象として分析を行った。本分析では、繰り返し後の意見収れんの状況を把握するとともに、今後の方向性について考察した。今回調査した質問項目のうち繰り返しによる顕著な変動が見られたのは、実現時期である。2 割程度のトピックにおいて代表値として用いている中央値が変動し、2～3 年の後倒しの傾向が見られた。また、5 割程度のトピックにおいて回答幅が縮小し、5 年程度に収まった。特に、社会実装や遅い時期の実現の場合に、変動が多く見られた。

萌芽的事象など不確定要素が多いトピックについては、繰り返しによる収れんが有用な手段の一つとなり得る。その実施に当たっては、質問項目の絞り込みや繰り返し方法など回答しやすさの工夫が求められる。

* 集計結果を提示した上で同じ質問を同じ回答者に繰り返して再考を促し、意見を収れんさせるアンケート手法

The 10th Science and Technology Foresight: Analysis of “Future Perspectives by Field,” - Convergence of Opinions by Delphi Method -

Yoshiko YOKOO, Hitoshi KOSHIBA

Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT

ABSTRACT

S&T Foresight by Delphi method* has been conducted since 1971 in Japan. The 10th Foresight analyzed a variety of opinions before convergence to explore potential innovation. This report verifies the convergence of opinions by repetition and discusses favorable survey designs in the future.

The results show that repetition leads to convergence of opinions especially regarding predicted timing of realization. Around 20% of topics have delay of realization by two or three years and around a half of them have narrowed distribution ranges of 5 years. More convergences occur in real-world implementation and realization in later timing.

This suggests Delphi could be still one of effective tools to deal with uncertainties such as emerging issues. Some improvement might be required such as targeting of question items and respondent-friendly repetition system.

* The Delphi method iterates two or more rounds of the same questionnaire to the same respondents, until the answers converge to some specific way of thinking.

目次

概要	i
----------	---

本編

1. 目的	1
2. 方法	1
2.1. 「分野別科学技術予測」の実施概要	1
2.2. 回答状況	3
2.3. 分析の視点	7
3. 結果	9
3.1. R1（1回目アンケート）結果とR2（2回目アンケート）結果の比較	9
3.2. R2回答者の回答変更状況	15
4. 考察	34

資料編(別冊付録)

第10回科学技術予測調査 分野別科学技術予測 ラウンド別集計結果	A-1
---	-----

概要

我が国では、多数の専門家の意見を収れんさせて平均的見解を得るデルファイ法*により、科学技術の予測調査が 1971 年より実施されてきた。しかし、科学技術イノベーション政策の検討に資する科学技術予測とするためには、多数の平均的意見ばかりでなく、先見性のある少数意見もできる限り吸い上げる仕組みが必要である。そこで今回調査では、専門家の幅広い回答からイノベーションの可能性の示唆を得るため、繰り返し前の 1 回目アンケート集計結果を対象として分析を行った。

本分析では、参考情報として繰り返し後の意見収れん状況を把握するとともに、今後に向けた方向性について考察を行った。具体的には、まず、1 回目アンケート(R1)全回答の集計結果と 2 回目アンケート(R2)全回答の集計結果の比較を行い、全体像を把握した。次いで、ここに含まれると考えられる二つの差異、すなわち、繰り返しによる変動と回答者群の違いに起因する差異について検討を行った。

*集計結果を提示した上で同じ質問を同じ回答者に繰り返して再考を促し、意見を収れんさせるアンケート手法

アンケート実施概要:

調査対象: 将来の実現が期待される科学技術トピック、8 分野計 932 件

実施期間: 2014 年 9 月(1 回目)、10 月 (2 回目)

方 法: ウェブアンケート

回 答 者: 各分野の専門家 4309 名(1 回目)、1933 名(2 回目)

調査項目: トピック毎に以下を評価

- ・ 研究開発特性 (重要度、国際競争力、不確実性、非連続性、倫理性)
- ・ 実現可能性と実現時期 (技術的实现、社会実装)
- ・ 実現のための重点施策 (人材戦略、資金配分、内外連携・協力、環境整備)

結果:

①1 回目アンケート(R1)全回答集計結果と 2 回目アンケート(R2)全回答集計結果の比較

- ・ 研究開発特性は、繰り返しによる変動は見られない。
- ・ 実現可能性は、繰り返しにより 2 割のトピックにおいて変動が見られる。その多くにおいて「わからない」の減少と「実現する」の増加が起きている。
- ・ 実現時期は、繰り返しにより 3 割のトピックにおいて変動が見られ、後倒しになる例が多い。回答幅は、5 割のトピックにおいて縮小し、5 年の区分にピークが生じる。
- ・ 重点施策は、繰り返しにより 1 割のトピックに変動が見られ、最多選択肢に集中する。

②2 回目アンケート(R2)回答者群を対象を絞った、1 回目アンケート(R1)と 2 回目アンケート(R2)の回答変更状況の追跡

- ・ 実現可能性については、「実現済み」「実現しない」「わからない」から「実現する」への変更が 1 割程度の回答者に見られる。

- ・ 実現時期について 2 割程度の回答者に変更が見られる。最頻値に近づく方向、具体的には、早期実現回答の後倒し変更、遅い実現予測の前倒し変更が見られる。
- ・ 研究開発特性や重点施策については 9 割以上の回答者が回答を変更していない。

③2 回目アンケート(R2)回答者群に対象を絞った、1 回目アンケート(R1)集計結果と 2 回目アンケート(R2)集計結果の比較

- ・ 研究開発特性、実現可能性、重点施策は、繰り返しによる変動がほとんど見られない。
- ・ 実現時期は、全体の 2～3 割のトピックに変動が見られる。回答幅は、4～5 割のトピックにおいて縮小が見られる。

④1 回目アンケート(R1)のみ回答した群と 2 回目アンケート(R2)にも回答した群の 1 回目アンケート(R1)集計結果の比較

- ・ 1 回目回答群内の違いは、全体的に上述の①の違いより大きい。

まとめ:

- ・ 研究開発特性、実現可能性、及び実現のための重点施策については、繰り返しにより結論が変更されるような変動は見られず、1 回目アンケート(R1)の結果と 2 回目アンケート(R2)の結果を同等と考えてよい。
- ・ 実現時期については、2 割程度のトピックについて繰り返しによる変動があり、2～3 年の後倒しが見られた。回答幅も 4 割程度のトピックにおいて縮小し、5 年区分への集中が起こった。特に、社会実装の実現時期、遅い実現見通しのトピックにおいて変動する件数が多い。
- ・ 繰り返しの効果を確実に得るためには、2 回目アンケートにおいて一定以上の応答率(回収率)を確保する必要がある。

考察:

今回調査においては、実現時期の一部の回答において繰り返しによる収れんが見られ、相応の専門性を有する回答者であっても、繰り返し時に判断を変更している状況が明らかになった。1 回目アンケート(R1)結果は、楽観的な見方、慎重な見方の双方を含む、不確実性を反映した幅広い見解を含む結果であり、若干楽観的なものと解釈される。ただし、実現時期の回答幅については、繰り返しにより変動する機会が多いことに留意が必要である。

萌芽的な事象や微少な変化の兆しの検討に当たっては、相応の専門性を有する回答者を一定数確保すること自体が難しいこと、また、そうした回答者であっても確信を持って回答できるとは限らないことから、繰り返しによる収れんが有用な手段の一つとなり得ると考えられる。ただし、質的・量的に十分な回答者の確保、高回収率のための回答方法の工夫、また、ワークショップなど新たな意見収集・集約方法の追加検討が求められる。

本 編

1. 目的

我が国では、デルファイ法による科学技術予測が1971年から5年毎に実施されてきた。デルファイ法とは、集計結果を提示した上で同じ質問を同じ回答者に繰り返して再考を促すことにより意見を収れんさせるアンケート手法であり、専門家の見解が唯一の根拠となる長期予測に有用とされる。第1回(1971年)から第5回(1982年)までの調査を見ると、調査で取り上げられた科学技術トピックの2/3程度が実現しており、手法の有用性が窺える。一方、この多数意見への収れんは、鋭い洞察力に基づく少数意見を埋没させてしまう弱点と裏腹の関係にある。例えば、1986年の高温超電導体の発見の数か月前に実施された調査の回答の中には早期実現の可能性を示唆する記述が見られたが、多数の意見を集約した結果には反映され得ないものであった。

科学技術イノベーション政策の検討に資する科学技術予測とするためには、多数の平均的意見ばかりでなく、先見性のある少数意見もできる限り吸い上げる仕組みが必要である。これまでのデルファイ法による科学技術予測では、繰り返しによる意見の収れんに重点が置かれ、繰り返し前の1回目アンケートの結果は次のアンケートのための参考データに過ぎなかった。しかし、今回調査では、専門家の幅広い回答をイノベーションの可能性の広がりと捉え、1回目アンケート結果を対象として分析を行うこととした。ただし、得られる回答の中には、専門的知識と経験に基づく独創的な発想や先見的な洞察が含まれることが期待される。そこで、関連学協会を通じて多数の専門家に回答協力を求めるとともに、従来のような分野単位ではなく、各分野の下に設けた細目単位で回答者を募ることにより、相応の専門性を有する回答者の意見を収集しやすい設計とした。

本分析では、相応の専門性を持つ回答者の参加を得られたと考えられる今回調査において、アンケート繰り返しにより実際にどのような変動が起こったのかを明らかにする。次いで、この変動状況を基に1回目アンケート結果の性格を明らかにし、併せて今後の調査の方向性について考察する。

2. 方法

2.1. 「分野別科学技術予測」の実施概要

「第10回科学技術予測調査」の一環で実施されたデルファイ法による「分野別科学技術予測」では、分野毎に委員会を設置し、2050年までの将来社会と科学技術の発展を見通して、計932件の科学技術トピック(以降、「トピック」)を設定した(図表1)。次いで、それらの研究開発特性(重要度、国際競争力、不確実性、非連続性、倫理性)、実現可能性、及び実現のための重点施策についてウェブアンケートを実施し、専門的見解を収集・分析した。トピックに対する設問を図表2に示す。

アンケートは、2回繰り返して実施された。2回目のアンケートに当たっては、1回目の回答者に再度の回答を依頼した。アンケートページは、各分野の下に10程度設けた細目単位で構成された。回答者は、事前に回答分野の登録を行ったが、登録分野に関係なく、すべての分野の細目の中から自由に選択し、当該細目内のトピックに回答することができた。ただし、2回目アンケートに

においては、回答者は1回目に回答した細目内のトピックにのみ回答することができた。100 を超える学協会の会員に回答協力を呼びかけ、広範に亘るトピックをカバーできる回答者の参加を得た。

回答者数は、1 回目アンケート(Round 1、以降 R1)では 4309 名(発送 5237 名、応答率(回収率)82%)、2 回目アンケート(Round 2、以降 R2)では 1933 名(発送 4309 名、応答率(回収率)45%)である。

図表 1: 各分野の細目及びトピック件数

分野(カッコ内は略称)	細目数及び細目名	トピック件数
ICT・アナリティクス [ICT]	12 細目 人工知能、ビジョン・言語処理、デジタルメディア・データベース、ハードウェア・アーキテクチャ、インタラクション、ネットワーク、ソフトウェア、HPC、理論、サイバーセキュリティ、ビッグデータ・CPS・IoT、ICT と社会	114
健康・医療・生命科学 [健康医療]	10 細目 医薬、医療機器・技術、再生医療、コモンディゼーズ・外傷・生殖補助医療、難病・希少疾患、神経・精神疾患、新興・再興感染症、健康・医療情報・疫学・ゲノム情報、生命科学基盤技術、その他	171
農林水産・食品・バイオテクノロジー [農林水産]	17 細目 農: 高度生産、作物開発、疾病防除、バイオマス利用、環境保全／食品: 高度生産、流通・加工、食品安全、食品機能性／水産: 資源保全、育種・生産、環境保全／林: 高度生産、バイオマス利用、環境保全／共通: 情報サービス、その他	132
宇宙・海洋・地球・科学基盤 [未踏]	10 細目 宇宙、海洋、地球、地球観測・予測、加速器・素粒子・原子核、ビーム応用(放射光)、ビーム応用(中性子・ミュオン・荷電粒子等)、計算科学・シミュレーション、数理科学・ビッグデータ、計測基盤	136
環境・資源・エネルギー [環境エネルギー]	11 細目 エネルギー生産、エネルギー消費、エネルギー流通・変換・貯蔵・輸送、資源、リユース・リサイクル、水、地球温暖化、環境保全、環境解析・予測、環境創成、リスクマネジメント	93
マテリアル・デバイス・プロセス [マテリアル]	7 細目 新しい物質・材料・機能の創成、アドバンスド・マニュファクチャリング、モデリング・シミュレーション、先端材料・デバイスの計測・解析手法、応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野、環境・エネルギー分野、インフラ分野)	92
社会基盤 [社会基盤]	7 細目 国土開発・保全、都市・建築・環境、インフラ保守・メンテナンス、交通・物流インフラ、車・鉄道・船舶・航空、防災・減災技術、防災・減災情報	93
サービス化社会 [サービス]	10 細目 経営・政策、知識マネジメント、製品サービスシステム(PSS)、社会設計・シミュレーション、サービスセンシング、サービスデザイン、サービスロボット、サービス理論、アナリティクス、人文系基礎研究	101
全分野計	84 細目	932 件

図表 2: 設問及び選択肢

[研究開発特性]

項目	定義	選択肢
重要度	科学技術と社会の両面からみた総合的な重要度	
不確実性	研究開発において確率的要素が多く、失敗の許容・複数手法の検討が必要であること	非常に高い／高い／低い／非常に低い、から一つ選択
非連続性	研究開発の成果が現在の延長ではなく、市場破壊的・革新的であること	* 回答を数値化し、スコアを算出(非常に高い:4点、高い:3点、低い:2点、非常に低い:1点)
倫理性	研究開発において倫理性の考慮、社会受容の考慮が必要であること	
国際競争力	日本が外国に比べて国際競争力を有すること	

[実現可能性]

項目	定義	選択肢
技術的实现	技術的な実現予測時期(日本を含む世界のどこかでの実現) ・所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期(例えば、研究室段階で技術開発の見通しがつく時期) ・原理や現象が科学的に明らかにされる時期	実現済み／実現する／実現しない／分からない、から一つ選択
社会実装	日本社会での適用、あるいは日本が主体となって行う国際社会での適用時期 ・実現された技術が製品やサービスなどとして、利用可能な状況となる時期、または、普及の時期 ・技術以外の内容であれば、制度が確立する、倫理規範が確立する、価値観が形成される、社会的合意が形成されるなどの時期	「実現する」を選択した場合、実現年(2015～2050年)を回答

[重点施策]

項目	選択肢
技術的实现のため最も重点を置くべき施策	人材戦略／資源配分／内外の連携・協力／環境整備
社会実装のため最も重点を置くべき施策	その他、から一つ選択

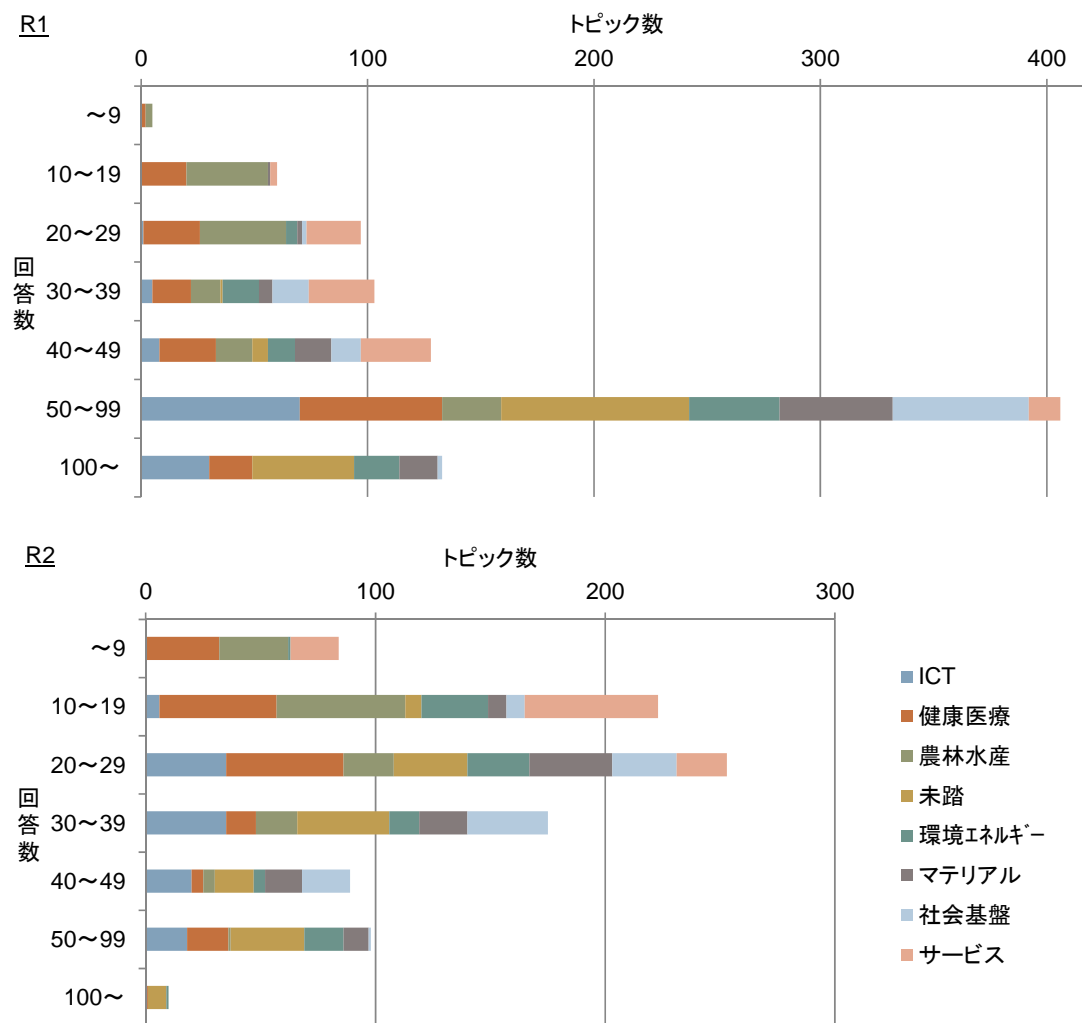
2.2. 回答状況

「分野別科学技術予測」のアンケートサイトでは、回答者が分野及び細目を選択すると、当該細目に含まれるトピックが1件ずつ表示される仕組みになっている。最初にトピックに対する回答者の専門度を尋ねる画面が表示され、回答者は「高、中、低、全くなし」から一つ選択する。高・中・低のいずれかを選択すると、トピックに対する設問が表示される画面に移る。一方、「全くなし」を選択した場合は設問が表示されず、次のトピック画面に移る。

回答数(「専門度全くなし」の選択者を除く)別のトピック分布を図表3に示す。R1(1回目アンケート)においては、50名以上の回答を得たトピックが全体の5割を占める。ただし、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野及びサービス化社会分野において50名以上の回答を得たトピックは、2割程度に留まる。回答数30～99名の区分では全8分野のトピックが揃う。R2(2回目アンケート)においては、回答数10～39名の区分のトピックが多数を占め、50名以上の回答を得たトピックは全体の1割程度に留まる。回答数10名未満の区分にトピックが属する主な分野は、健康・医療・

生命科学分野、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野、サービス化社会分野の3分野、回答数20名未満の区分では上述分野に環境・資源・エネルギー分野を加えた4分野が主体となっている。回答数20～29名の区分ではすべての分野のトピックが揃う。

図表 3: トピックの回答数分布



R2における応答率(=回収率:R2 回答数/R2 依頼数(R1 回答数))を見ると、図表4に示すように、いずれの分野においても1トピック当たりの回答数が半減しており、全トピックの平均応答率は44%である。トピック毎にみると20%から82%と大きな開きがあるが、40%超~50%をピークとして、30%超~60%の間に全トピックの9割が収まる。

R1回答者の回答分野数を見ると、1分野内の細目への回答者が全体の3/4(3249名)を占める。複数分野に回答した残りの回答者のうち、2分野への回答者がその6割を占める。一方、回答細目数を見ると、1細目への回答者が5割(2199名)を占め、次いで、2細目回答者が2割、3細目回答者が1割と、3細目までの回答者で全体の8割を占める(図表5)。一人が回答したトピック数

(図表 4)を見ると、分野やアンケート回による大きな違いは見られない。平均的に一つの細目に含まれるトピック数と同程度である。

図表 6 は、同一回答者が選択した細目は近い関係にあると見なし、R1 において回答者がどの細目のトピックに回答したかの情報を基に細目間の関係を示したものである。複数分野の細目への回答者は少ないものの、ICT・アナリティクス分野とサービス化社会分野、及び、環境・資源・エネルギー分野、社会基盤分野、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野では、含まれるトピックの内容の近接性が窺える。

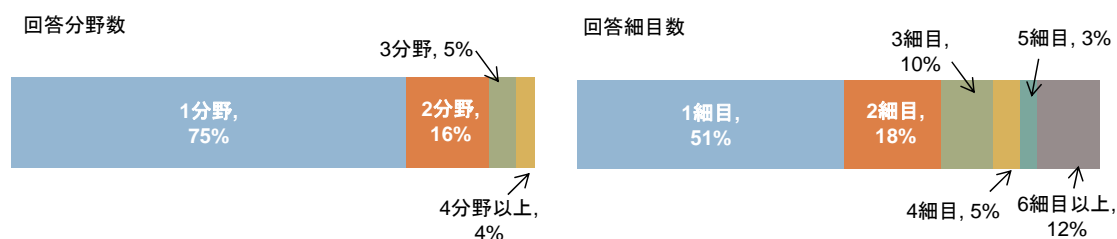
回答者の専門度分布を見ると、サービス化社会分野回答者の専門度が比較的高く、社会基盤分野の専門度が比較的低い(図表 7)。平均的には、専門度高が 1~2 割程度、中が 3 割程度、低が 6 割程度である。前回調査(2010 年)と比較すると、今回調査では、「高」の回答者が増加し、「低」の回答者が減少しているが、その差は 5%程度に過ぎず、数値から見る限り専門度分布に大きな変化は見られない。しかし、前回調査では分野毎に回答者群を設定しており、一人の回答者が当該分野の 4~7 割のトピックに回答していた。今回調査においては、半数が 1 細目内のトピックにのみ回答していることを考慮すると、今回調査の回答は従来調査よりも専門性の高い者による回答であると推測される。

R1 及び R2 の回答者属性を図表 8 に示す。年代別では、いくつかの分野において 40 代の回答割合が若干減少すること、所属別では企業その他の回答割合が若干減少することが傾向として見えるが、両回答者群を属性の異なる集団とみなすほどの違いとは言えない。

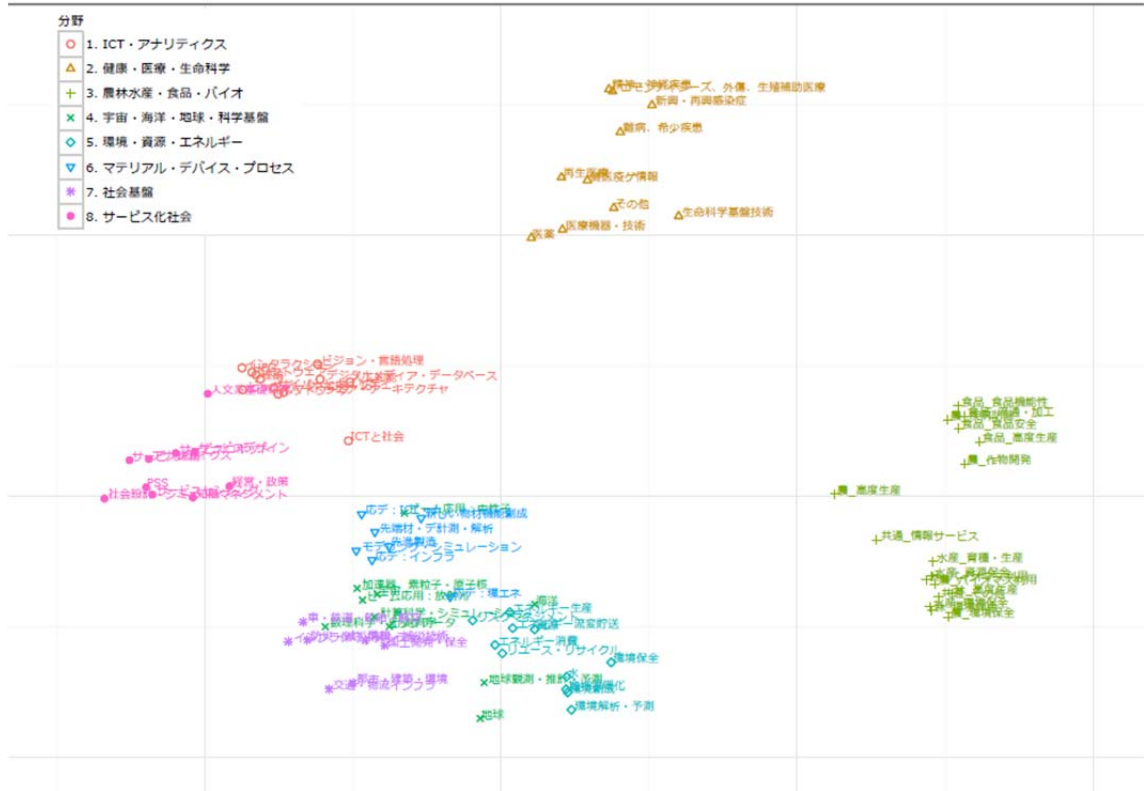
図表 4: 回答数

分野	1トピック当たり 平均回答数		回答者の 平均回答トピック数		参考)1 細目当 たりトピック数
	R1	R2	R1	R2	
ICT・アナリティクス	84	36	10.6	10.9	9.5
健康・医療・生命科学	57	24	11.9	11.8	17.1
農林水産・食品・ バイオテクノロジー	32	18	9.2	9.5	7.8
宇宙・海洋・地球・科学基盤	96	45	9.6	9.9	13.6
環境・資源・エネルギー	73	32	8.7	9.0	8.5
マテリアル・デバイス・プロセス	70	35	10.2	10.9	13.1
社会基盤	61	32	12.2	14.3	13.3
サービス化社会	38	14	12.8	13.5	10.1
全分野	64	29	14.1	14.4	11.1

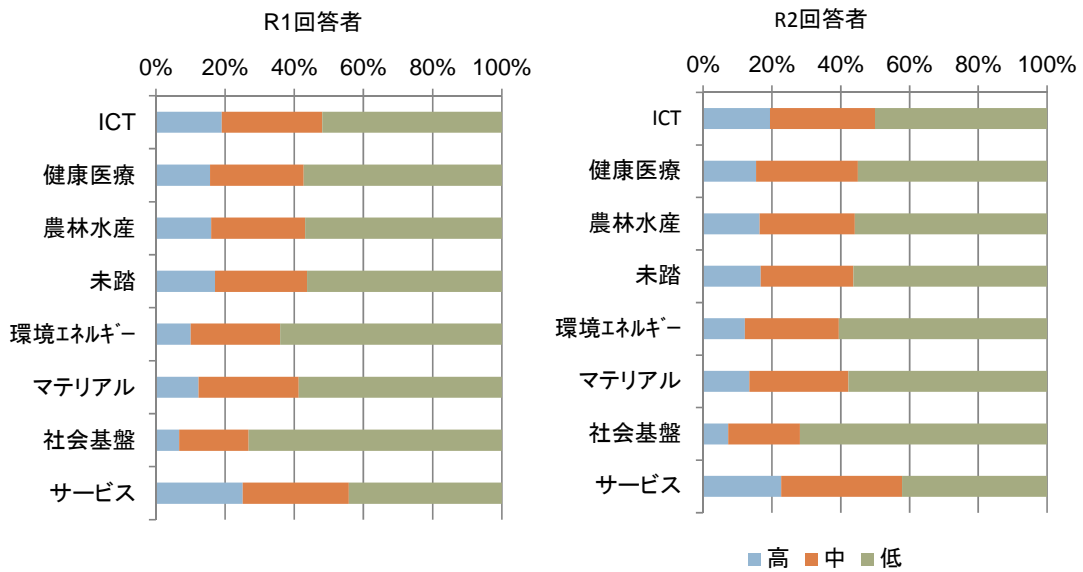
図表 5: R1 における回答分野数及び細目数の分布



図表 6: 細目間の近接性図



図表 7: 回答者の専門度構成



2.3. 分析の視点

前回の第9回調査までは、R2において80%を超える回収率を確保してほぼ同一の回答者群を形成し、繰り返しによる収れんを図ってきた。今回調査におけるR2の応答率(回収率)は44%である。先に見たように各回答者群の属性に大きな違いは見られないが、R1回答者群とR2回答者群は同一とは言えず、R1結果とR2結果の差異は繰り返しによる変動のみを表しているとは断言できない。ある傾向を持った者がR2への回答協力に対しより積極的であったとすれば、そうした回答者群間の違い(バイアス)が含まれている可能性がある。

そこで本分析では、まず、R1全回答者の集計結果とR2全回答者の集計結果の比較を行い、全体像を把握する。次いで、ここに含まれると考えられる二つの差異、すなわち、繰り返しによる変動に起因する差異、及び回答者群の違いに起因する差異についてそれぞれ検討を行う。具体的には、前者については、分析対象をR2回答者に絞った上で、R1からの回答変更状況の把握及びR1結果とR2結果の比較を行う。後者については、R1のみに回答した者とR1とR2の両方に回答した者のR1集計結果の比較を行う。

質問項目(図表2参照)毎の比較分析に当たっては、以下の基準で差異の有無を評価する。

①研究開発特性

アンケートでは、「非常に高い(4点)、高い(3点)、低い(2点)、非常に低い(1点)」の4段階の評価を回答者に求めた。ここでは、10%以上(1~4点の3点間隔のため0.3点以上)の違いがあった場合に差があると見なす。

②実現可能性(技術的实现、社会実装)

アンケートでは、「実現済み」「実現する」「実現しない」「わからない」の中から一つを選択するよう回答者に求めた。ここでは、各選択肢を選んだ回答者数の割合に10%以上の違いがあった場合に差があると見なす。また、「実現済み」または「実現する」を選択した回答者数の合計を「実現可能性」回答と定義し、同様にその割合に10%以上の違いがあった場合に差があると見なす。

③実現時期(技術的实现、社会実装)

アンケートでは、上述②の実現可能性の設問において「実現する」を選択した回答者に対して、2015年から2050年までの任意の年を一つ選択することを求めた。回答分布の中央値(Q2)を実現年とし、四分位範囲(第3四分位数(Q3)と第1四分位数(Q1)の差)を実現時期の回答幅とした。

また、社会実装の実現年から技術的实现の実現年を引いた年数を「実現時期ギャップ」(技術的实现から社会実装までの期間)とした。ここでは、当該年を含めた前後1年(計3年間)までを同値とし、±1年を超える違いがあった場合に差があると見なす。

④実現のための重点施策

アンケートでは、「人材戦略」「資源配分」「内外の連携・協力」「環境整備」の中から最も重要と考える施策を一つ選択するよう回答者に求めた。ここでは、各選択肢を選んだ回答者数の割合に10%以上の違いがあった場合に差があると見なす。

図表 8: 回答者の属性

分野	回答数*	年代							所属			職種			
		20代	30代	40代	50代	60代	70代以上	無回答	企業他	学術機関	公的機関	研究開発	管理運営	その他	
ICT・アナリティクス	R1	936	4%	24%	26%	23%	7%	1%	15%	40%	52%	7%	82%	11%	6%
	R2	385	4%	23%	24%	24%	8%	1%	16%	34%	58%	8%	85%	9%	6%
健康・医療・生命科学	R1	877	2%	28%	26%	23%	7%	1%	13%	42%	51%	8%	71%	16%	13%
	R2	372	2%	29%	24%	22%	8%	2%	13%	36%	54%	10%	76%	15%	9%
農林水産・食品・バイオテクノロジー	R1	496	2%	25%	27%	23%	9%	2%	12%	25%	44%	31%	79%	16%	6%
	R2	263	2%	29%	22%	24%	11%	2%	11%	21%	44%	35%	78%	16%	6%
宇宙・海洋・地球・科学基盤	R1	1,431	3%	25%	26%	22%	10%	1%	12%	34%	49%	17%	84%	11%	5%
	R2	647	3%	24%	26%	23%	10%	2%	12%	34%	48%	18%	83%	11%	6%
環境・資源・エネルギー	R1	833	2%	25%	24%	22%	14%	3%	11%	38%	47%	16%	73%	19%	9%
	R2	343	2%	27%	20%	21%	17%	3%	10%	36%	48%	16%	72%	17%	11%
マテリアル・デバイス・プロセス	R1	672	2%	36%	25%	17%	10%	1%	8%	29%	58%	13%	86%	10%	4%
	R2	304	3%	38%	23%	17%	11%	1%	7%	32%	58%	11%	86%	9%	5%
社会基盤	R1	509	1%	25%	26%	23%	15%	2%	8%	43%	42%	15%	70%	20%	10%
	R2	222	1%	26%	25%	24%	17%	2%	5%	45%	39%	16%	72%	19%	9%
サービス化社会	R1	324	2%	22%	27%	25%	10%	2%	10%	42%	43%	15%	75%	16%	9%
	R2	116	4%	22%	22%	27%	11%	3%	9%	47%	41%	13%	72%	20%	9%
全トピック	R1	6,078	3%	27%	26%	22%	10%	2%	11%	36%	49%	14%	78%	14%	7%
	R2	2,652	3%	27%	24%	22%	11%	2%	11%	34%	50%	16%	79%	14%	7%

*ここでの回答数は分野毎の回答者数集計である。複数分野への回答者がいることから、全トピック回答数は、実際の回答者総数と一致しない。

3. 結果

本章では、まず 3.1 節において R1(1 回目アンケート)と R2(2 回目アンケート)の全回答者の集計結果を比較し、全体像を把握する。次いで、3.2 節及び 3.3 節において、R2 回答者(=R1 と R2 の両方に回答)に対象を絞って R1 と R2 の回答状況を比較し、繰り返しによる変動を把握する。最後に、3.4 節において、R1 のみ回答者と R2 回答者について R1 集計結果の比較を行い、回答者群の違いによる差異を把握する。

3.1. R1 (1 回目アンケート) 結果と R2 (2 回目アンケート) 結果の比較

3.1.1. 全体傾向

R1 結果と R2 結果の比較を図表 9 に示す。研究開発特性については、倫理性において若干変動が大きいものの、変動が見られたトピックはいずれの特性においても全トピックの 1 割未満であり、全体としては繰り返しによる変動は見られないと言ってよい。

実現可能性については、技術的实现、社会実装とも、「実現済み」及び「実現しない」の変動はほとんど見られず、「わからない」の減少と「実現する」の増加が起きている。その結果、実現可能性(実現済み+実現する)が約 2 割のトピックにおいて増加している。技術的实现時期については、実現年(中央値、Q2)、早い方から 1/4 番目(Q1)、3/4 番目(Q3)のいずれも約 3 割のトピックに変動が見られる。実現年(Q2)に変動があった 3 割のトピックのうち 2 割のトピックは実現年が後倒しとなっている。1/4 番目(Q1)はほとんどが後倒し、3/4 番目(Q3)は前倒しと後倒しが拮抗している。結果として、半数のトピックにおいて回答幅の変動が見られ、そのほとんどにおいて回答幅が縮小している。社会実装時期については、実現年(中央値、Q2)では 3 割、1/4 番目(Q1)では 5 割、3/4 番目(Q3)では 4 割のトピックに変動が見られる。1/4 番目(Q1)及び実現年(中央値、Q2)は後倒しとなり、3/4 番目(Q3)は前倒しが優勢であるが後倒しも一定数存在する。回答幅は 7 割のトピックにおいて変動し、そのほとんどにおいて縮小している。社会実装時期の回答は、技術的实现時期と比べ、収れんの効果大きい。

重点施策について見ると、技術的实现、社会実装とも、約 1~2 割のトピックにおいて変動が見られる。技術的实现については「資源配分」が最重点施策とされたトピックが 6 割を占め、社会実装については「資源配分」が最重点施策とされたトピックと「環境整備」が最重点施策とされたトピックがそれぞれ 4 割程度を占めるが、この 2 項目について変動するトピックが多い傾向にある。

図表 9: R1 結果と R2 結果の比較(該当トピックの占める割合)

[研究開発特性]

R1 からの変動	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性
減少トピック	1%	1%	1%	2%	2%
変動なしトピック	98%	98%	97%	96%	93%
増加トピック	1%	1%	2%	2%	5%

[技術的実現]

実現可能性					
R1 からの変動	実現済み	実現する	実現済+する	実現しない	わからない
減少トピック	3%	4%	3%	2%	12%
変動なしトピック	95%	77%	82%	96%	86%
増加トピック	2%	20%	15%	2%	2%

実現時期					
R1 からの変動	1/4 番目 (Q1)	中央値 (Q2)	3/4 番目 (Q3)	幅 (Q3-Q1)	
前倒しトピック	2%	6%	21%	41%	
変動なしトピック	69%	72%	66%	50%	
後倒しトピック	29%	22%	14%	9%	

[社会実装]

実現可能性					
R1 からの変動	実現済み	実現する	実現済+する	実現しない	わからない
減少トピック	1%	4%	3%	3%	13%
変動なしトピック	98%	75%	79%	94%	84%
増加トピック	1%	21%	18%	2%	3%

実現時期					
R1 からの変動	1/4 番目 (Q1)	中央値 (Q2)	3/4 番目 (Q3)	幅 (Q3-Q1)	
前倒しトピック	3%	6%	27%	57%	
変動なしトピック	49%	69%	58%	33%	
後倒しトピック	47%	25%	15%	9%	

[技術的実現の重点施策]

R1 からの変動	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備
減少トピック	9%	9%	8%	5%
変動なしトピック	80%	76%	85%	90%
増加トピック	11%	15%	7%	5%

[社会実装の重点施策]

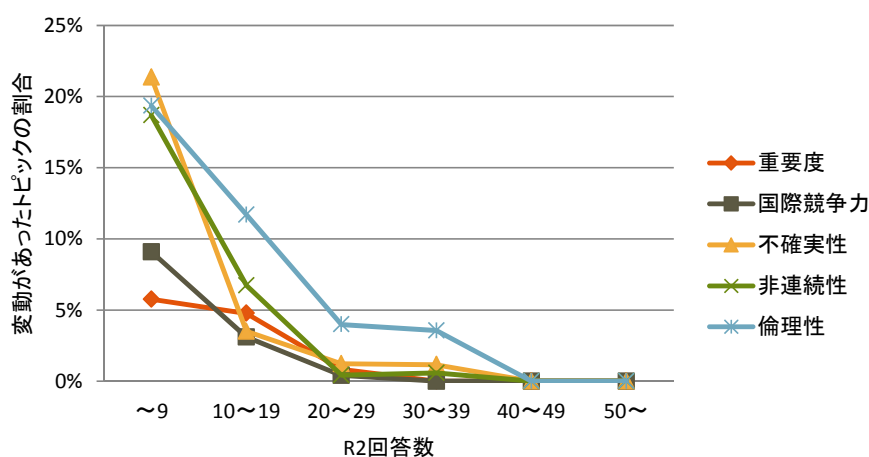
R1 からの変動	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備
減少トピック	6%	10%	8%	10%
変動なしトピック	87%	79%	85%	75%
増加トピック	7%	11%	8%	16%

3.1.2. 詳細分析

(1) 研究開発特性

研究開発特性については、図表 9 にあるように、全体的に繰り返しによる顕著な変動は見られませんが、特性の中では「倫理性」の変動が若干多い傾向にある。回答数別の変動(図表 10)を見ると、回答数の少ないトピックにおいて倫理性の変動が多く見られる。社会的条件や人の意識・価値観と大きく関わる倫理性については、他の特性と比べて専門家の間でも認識に幅があると考えられる。

図表 10: R2 回答数別、研究開発特性の変動状況

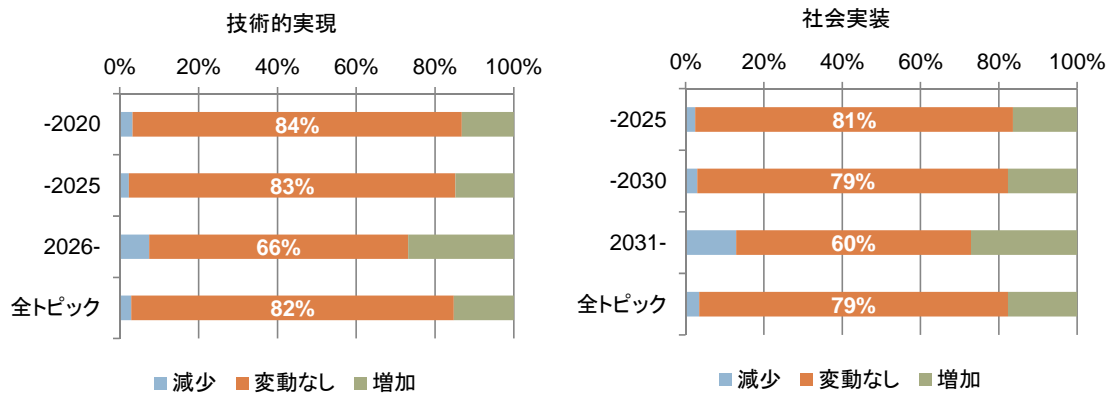


(2) 実現可能性

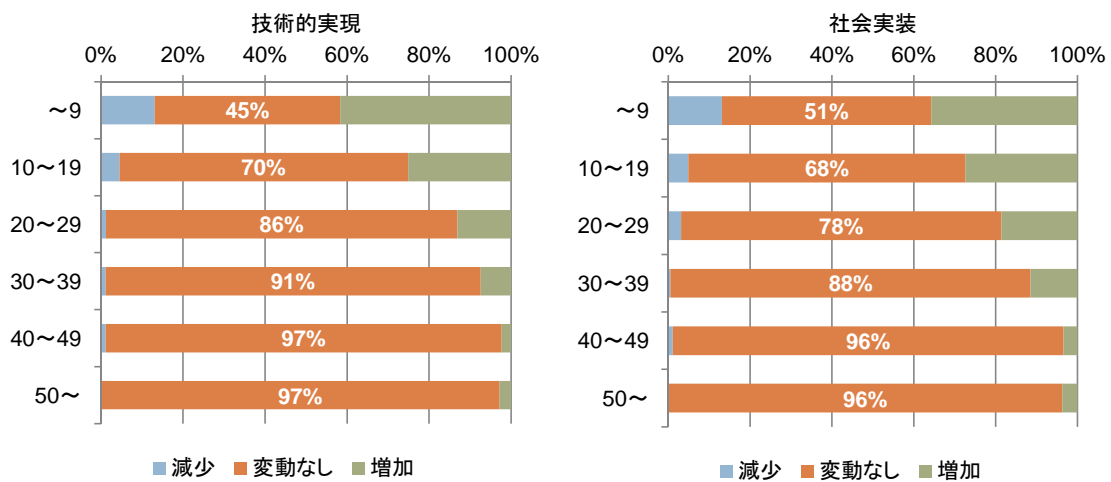
実現可能性については、図表 9 にあるように、約 2 割のトピックに変動が見られ、そのほとんどにおいて実現可能性(「実現済み」回答+「実現する」回答)が増加している。R1 実現年との関連(図表 11)を見ると、技術的実現の実現年が集中している 2025 年まで、及び社会実装の実現年が集中している 2030 年までについては、約 2 割のトピックに変動が見られる。10 年後以降(2026 年～)の技術的実現及び 15 年後以降(2031 年～)の社会実装が予測されたトピックはそれぞれ 70 件程度と少数であるが、その 4 割のトピックに変動が見られるようになり、そのほとんどにおいて実現可能性が増加している。

R2 回答数別に変動を見ると(図表 12)、回答数が増すにつれて変動したトピック数が徐々に減少し、回答数 40 名以上ではほとんど変動が見られなくなる。

図表 11: R1 実現年別、実現可能性の変動状況(該当トピックの占める割合)



図表 12: R2 回答数別、実現可能性の変動状況(該当トピックの占める割合)



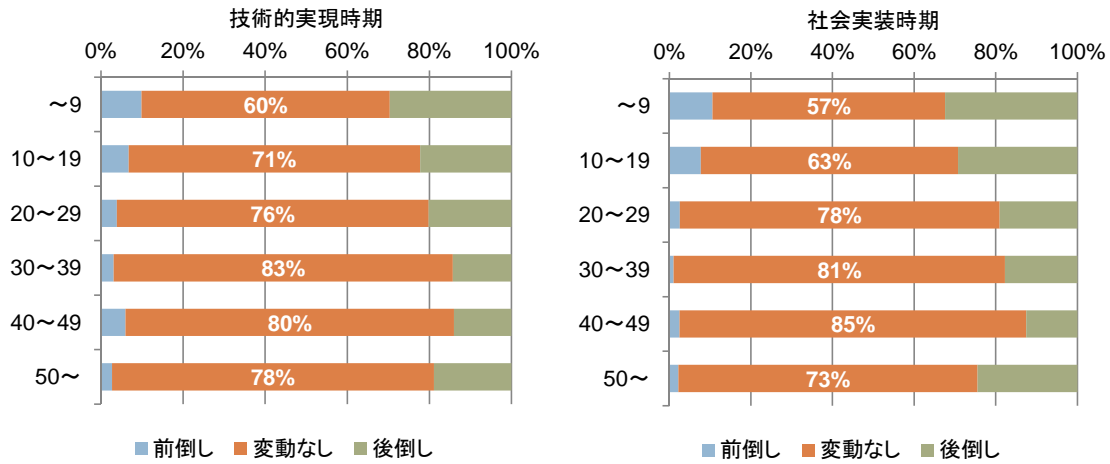
(3) 実現時期

技術的実現及び社会実装の実現年(Q2)は、図表 9 にあるように、それぞれ約 3 割のトピックに変動が見られ、そのうち 2 割が後倒しになっている。R2 において実現年が後倒しになる傾向は、過去の調査でも見られている。また回答幅(Q3-Q1)を見ると、技術的実現では 5 割、社会実装では 7 割のトピックに変動があり、そのほとんどの回答幅が縮小している。

R2 回答数別にこの変動状況を見ると(図表 13)、技術的実現、社会実装とも、回答数の増加に伴い変動のあるトピックが減少し、20 名を超えると約 8 割のトピックに変動が見られなくなる。

R1 の実現時期回答と R2 での変動状況を図表 14 に示す。技術的実現 2020~2024 年のトピックを見ると、2~3 年の後倒しとなったトピックが多く、5 年後倒しとなったトピックも一部存在する。一方社会実装については、5 年後ろにスライドさせる形で技術的実現と同様の状況が起きている。いずれも、繰り返しにより将来見通しが慎重になっている。

図表 13: R2 回答数別、実現年の変動状況(該当トピックの占める割合)



図表 14: R1 実現年別、実現時期回答の変動(該当トピック数)

技術的实现

R1 実現年	(R2 実現年-R1 実現年)											計
	-4年超	～-4年	～-3年	～-2年	～-1年	0年	～1年	～2年	～3年	～4年	4年超	
～2019					1	1	1	1		1		5
2020				1	8	130	22	32	25	9	18	245
2021				1	7	3	14	11	4	9		49
2022			1	5	5	26	15	17	15			84
2023			1	5	5	10	7	30			1	59
2024		2	2	3	14	8	32					61
2025	1	4	8	13	25	265	11	9	12	3	11	362
2026～	2	1	7	3	1	29	6	4	9	3	1	66
計	3	7	19	31	66	472	108	104	65	25	31	931

社会実装

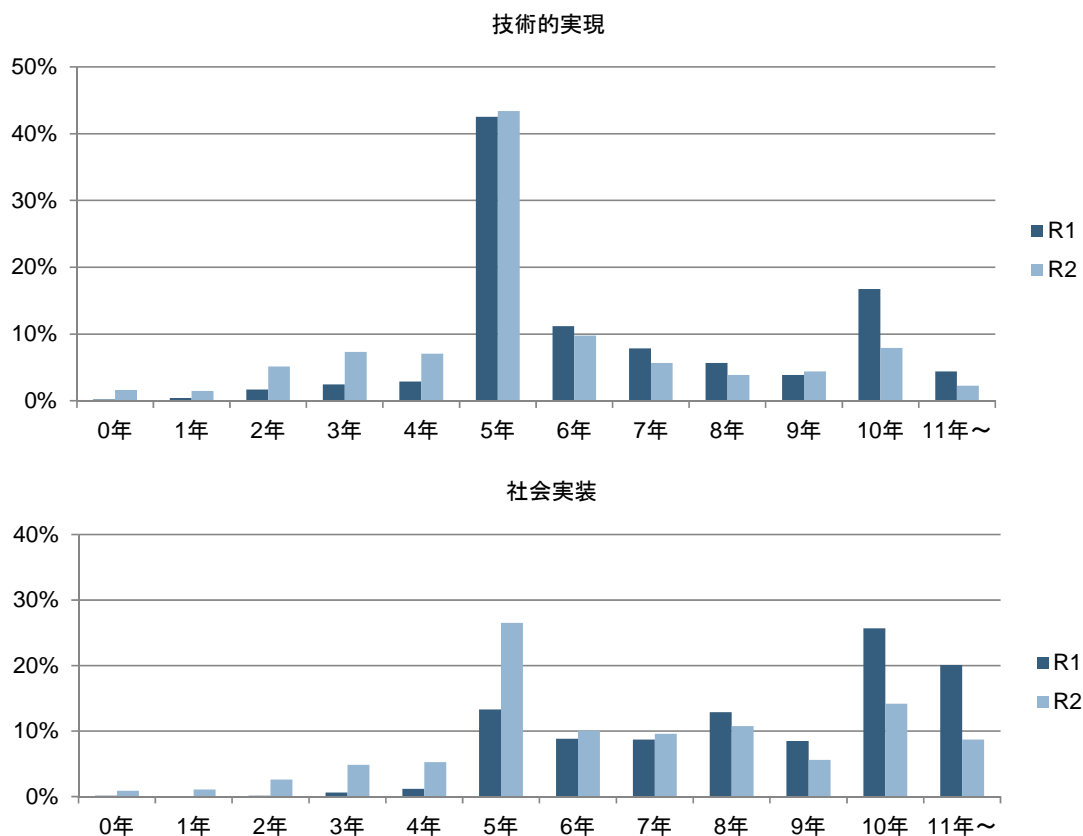
R1 実現年	(R2 実現年-R1 実現年)											計
	-4年超	～-4年	～-3年	～-2年	～-1年	0年	～1年	～2年	～3年	～4年	4年超	
～2024			2	3	7	18	35	14	10	2	3	94
2025	2	1	3	5	8	255	26	35	29	11	26	401
2026				2	8	3	3	8	5	11		40
2027				2	4	5	5	6	11			33
2028			4	1	5	9	6	20			1	46
2029	1	3		1	2	4	23				2	36
～2034	7	1	10	6	9	148	6	11	18	7	14	237
2035～	1		1	3	1	25		1	3	4	5	44
計	11	5	20	23	44	467	104	95	76	35	51	931

注: 社会実装の実現時期回答を得られなかった1トピックを除外している。

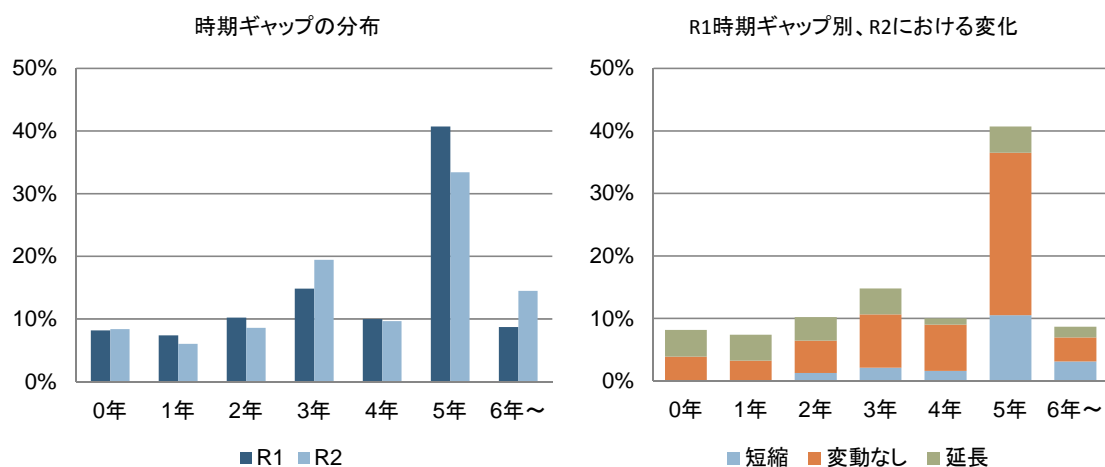
実現時期の回答幅(Q3-Q1)の分布(図表 15)を見ると、技術的实现、社会実装とも10年以上の幅を持っていたトピックが減少し、全体として回答幅が縮小している。特に、社会実装については、10年あるいはそれを超える区分に山を持っていた分布が、5年区分に集中する分布へと変化

している。技術的実現から社会実装までの期間(時期ギャップ)の分布(図表 16)を見ると、最頻値であった5年区分のトピックが減少し、3年あるいは6年以上の区分に増加が見られる。

図表 15: 実現時期の回答幅(Q3-Q1)の分布(該当トピックの占める割合)



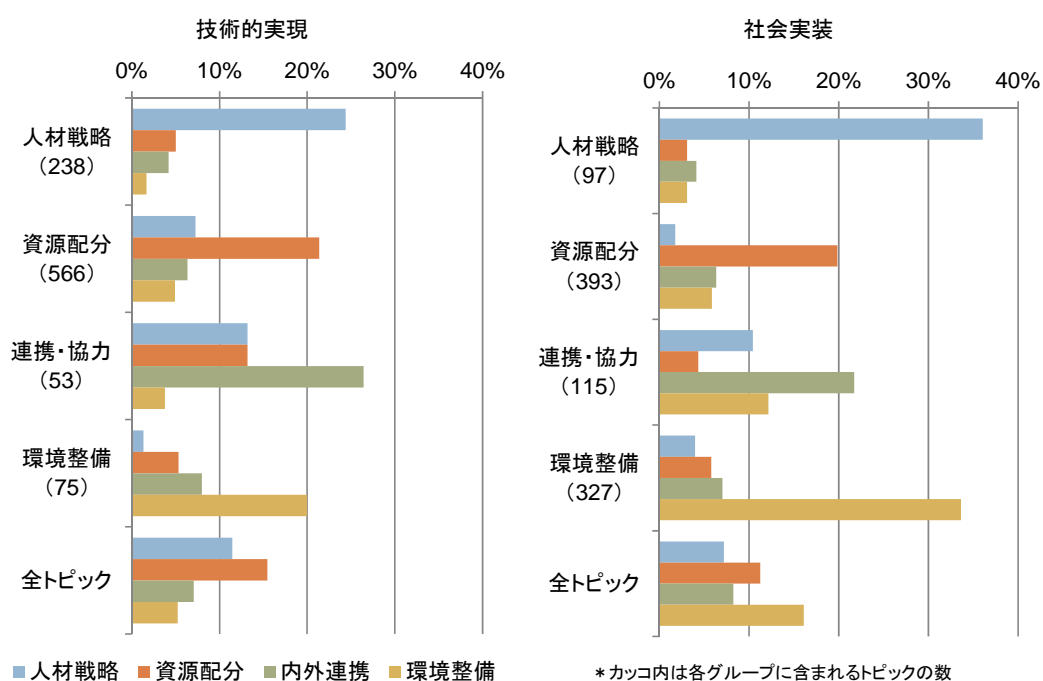
図表 16: 技術的実現から社会実装までの期間(時期ギャップ)の分布(該当トピックの占める割合)



(4) 重点施策

重点施策の変動を見ると、図表 9 にあるように、いずれの施策についても 9 割のトピックにおいて変動が見られない。図表 17 は、最重点施策 (R1 で最も多く選択された重点施策) によってトピックをグループに分類し、グループ毎に R2 において変動が見られたトピックの割合を示したものである。例えば左図の最上段は、R1 において「人材戦略」が最重点施策とされたグループのトピック 238 件のうち約 1/4 に当たる 58 トピックにおいて「人材戦略」の選択割合に変動が見られたことを表している。技術的実現、社会実装いずれにおいても、R2 において最重点施策の選択割合が増加する傾向が見られる。

図表 17: R1 最重点施策別、施策選択の変動 (変動したトピックの占める割合)



3.2. R2 回答者の回答変更状況

3.2.1. 全体傾向

図表 18 は、R2 においてどの程度の変更がなされたかを回答延べ数 (各トピックの回答数の合計) ベースで集計したものである。実現時期について見ると、技術的実現では 85%、社会実装では 82%と、2 割程度の変更が行われている。それ以外の質問項目については、ほとんど変更が行われていない。実現時期については、最頻値に近づく方向への変更が多く、繰り返しにより収れんが起こっていることがわかる。

図表 18: R2 における変更有無

質問項目	変更なし	最頻値から遠のく	最頻値に近づく
重要度	96%	1.2%	3.3%
不確実性	96%	0.9%	3.3%
非連続性	96%	0.8%	2.9%
倫理性	95%	1.1%	4.0%
国際競争力	97%	0.8%	2.7%
技術的実現可能性	96%	0.6%	3.1%
技術的実現時期	<u>85%</u>	4.7%	<u>11%</u>
技術的実現重点施策	95%	0.9%	4.3%
社会実装可能性	96%	0.4%	3.4%
社会実装時期	<u>82%</u>	4.7%	<u>13%</u>
社会実装重点施策	94%	1.2%	5.0%

3.2.2. 個別の回答傾向

研究開発特性の回答の変更状況(図表 19)を見ると、重要度及び国際競争力については高い方向への変更の傾向が見られる。それ以外の特性については明確な傾向は見られない。

実現可能性については、R1 で「実現済み」「実現しない」「わからない」を選択した回答者のそれぞれ 1 割程度が R2 において「実現する」に変更を行っている。技術的実現と社会実装の間で違いは見られない。

技術的実現時期の回答変更(図表 20)を見ると、2020 年までの実現の予測については 2 割程度回答の後倒しが見られる。その幅は 2 年程度が多いが、5 年の後倒しの回答も多い。2021～2025 年の回答については 9 割を超える回答に変更が見られず、非常に安定している。2026 年以降は、前倒しの回答が多くなり、2030 年回答の 5 年前倒し変更が一定数見られる。2031 年以降の回答については、変更のあった 2 割の回答のほとんどが 5 年以上、10 年以上の前倒し変更である。社会実装時期についても、技術的実現時期と同様の状況が時期をずらした形で見られる。2020 年回答が 5 年後倒しになる変更が一定数存在する一方、2025～2030 年回答は非常に安定しており 1 割の回答変更に残っている。2031 年以降の実現については、5 年、10 年を超える前倒し変更が見られる。技術的実現と社会実装の実現時期の差(実現時期ギャップ)を見ると、概ね 8 割の回答に変更がない。変更された約 2 割の回答を見ると、時期ギャップ 0 年から 5 年への変更、及び 10 年から 5 年への変更の回答が比較的多く、全体的に 5 年のギャップに収れんしている。時期ギャップ 5 年の回答は最も安定しており、9 割の回答に変更がない。

重点施策(図表 21)については、9 割以上の回答に変更がない。変更は、技術的実現においては「連携・協力」や「環境整備」から「資源配分」への変更、社会実装においては「その他」から「環境整備」への数%の変更程度である。

図表 19: 回答の変更状況(R1 時の各選択肢回答者数を 100%とした時の R2 回答の分布)

研究開発特性

【重要度】

R1	R2				
	非常に高い	高い	低い	非常に低い	わからない
非常に高い	98%	1%	0%	0%	0%
高い	5%	94%	0%	0%	0%
低い	1%	12%	85%	1%	0%
非常に低い	0%	1%	5%	94%	0%
わからない	0%	6%	2%	0%	86%

【競争力】

R1	R2				
	非常に高い	高い	低い	非常に低い	わからない
非常に高い	96%	4%	0%	0%	0%
高い	1%	98%	0%	0%	0%
低い	0%	7%	92%	0%	0%
非常に低い	0%	1%	7%	90%	1%
わからない	0%	4%	1%	0%	93%

【不確実性】

R1	R2				
	非常に高い	高い	低い	非常に低い	わからない
非常に高い	91%	7%	1%	0%	0%
高い	1%	96%	2%	0%	0%
低い	0%	2%	97%	0%	0%
非常に低い	0%	1%	6%	92%	0%
わからない	0%	4%	4%	1%	86%

【非連続性】

R1	R2				
	非常に高い	高い	低い	非常に低い	わからない
非常に高い	92%	6%	1%	0%	0%
高い	0%	96%	2%	0%	0%
低い	0%	2%	97%	0%	0%
非常に低い	0%	1%	6%	92%	0%
わからない	0%	4%	3%	0%	88%

【倫理性】

R1	R2				
	非常に高い	高い	低い	非常に低い	わからない
非常に高い	93%	3%	1%	2%	0%
高い	1%	94%	4%	1%	0%
低い	0%	2%	94%	3%	0%
非常に低い	0%	0%	2%	97%	0%
わからない	0%	2%	4%	5%	86%

実現可能性

【技術】

R1	R2			
	実現済み	実現する	実現しない	わからない
実現済み	91%	8%	0.1%	0.1%
実現する	0%	99%	0.1%	0.1%
実現しない	1%	8%	89%	1%
わからない	0%	12%	0.6%	86%

【社会】

R1	R2			
	実現済み	実現する	実現しない	わからない
実現済み	86%	13%	0.4%	0.2%
実現する	0.1%	99%	0.1%	0.1%
実現しない	0.1%	8%	89%	2%
わからない	0.1%	11%	1%	87%

* R2 時の無回答の割合を省略
* 四捨五入後 1%未満の場合、0%と表示。

図表 20: 実現時期回答の変更状況(回答延べ数)

技術的実現

R1 回答	(R2 実現時期回答-R1 実現時期回答)														
	~-11年	-10~-6年	-5年	-4年	-3年	-2年	-1年	0年	1年	2年	3年	4年	5年	6~10年	11年~
~2019					1	4	6	1912	90	263	133	69	40	77	6
2020			1		1	12	4	4053	38	202	111	47	259	42	3
2021~			1	3	4	9	18	1468	39	35	34	26	6	14	1
2025		6	46	3	63	93	20	4150	7	17	15	4	54	6	2
2026~		5	3	9	16	12	9	346	2	1	5	2			
2030		48	186	18	25	22	5	1977	1		3	1	10	7	1
2031~	87	195	134	9	13	12	3	1523	1	3	4	1	5	4	

社会実装

R1 回答	(R2 実現時期回答-R1 実現時期回答)														
	~-11年	-10~-6年	-5年	-4年	-3年	-2年	-1年	0年	1年	2年	3年	4年	5年	6~10年	11年~
~2019							3	856	31	78	62	43	37	94	31
2020			1		1	2	3	1878	9	73	64	37	224	77	13
2021~				1	3	9	7	1421	61	127	120	60	26	67	6
2025		1	7	2	14	17	8	3412	19	65	74	9	161	33	3
2026~			3	4	18	17	11	861	17	22	15	9	3	6	2
2030		27	99	11	39	48	6	2989	1	11	19	2	43	17	2
2031~	6	91	230	19	23	44	13	1540	8	16	13	1	14	7	1
2036~	111	191	169	11	22	10	3	1794		2	3	3	7	4	

技術的実現から社会実装までの期間(時期ギャップ)(回答延べ数)

R1 回答	R2 回答								
	0年	1年	2年	3年	4年	5年	6~9年	10年	11年~
0年	3916	28	111	103	28	301	16	41	3
1年	38	432	49	39	13	31	4	2	
2年	45	14	1110	89	65	88	19	2	2
3年	16	9	32	890	27	96	20	3	1
4年	6	6	19	26	447	33	30	4	2
5年	93	11	75	136	64	4356	104	109	2
6~9年	8	4	13	15	37	69	628	11	4
10年	30	5	11	26	18	251	93	1494	22
11年~	4	1		4	2	28	27	46	472

図表 21: 実現のための重点施策の回答変更(回答延べ数)

【技術】

R1	R2				
	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他
人材戦略	95%	3%	0%	0%	0%
資源配分	1%	97%	0%	1%	0%
連携・協力	2%	6%	90%	1%	0%
環境整備	2%	5%	1%	91%	0%
その他	1%	2%	1%	3%	91%

【社会】

R1	R2				
	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他
人材戦略	92%	3%	1%	2%	0%
資源配分	1%	94%	1%	3%	0%
連携・協力	1%	4%	90%	4%	0%
環境整備	1%	2%	1%	95%	0%
その他	1%	2%	1%	5%	90%

* R2 時の無回答の割合を省略
 * 四捨五入後 1%未満の場合、0%と表示。

3.2.3. まとめ

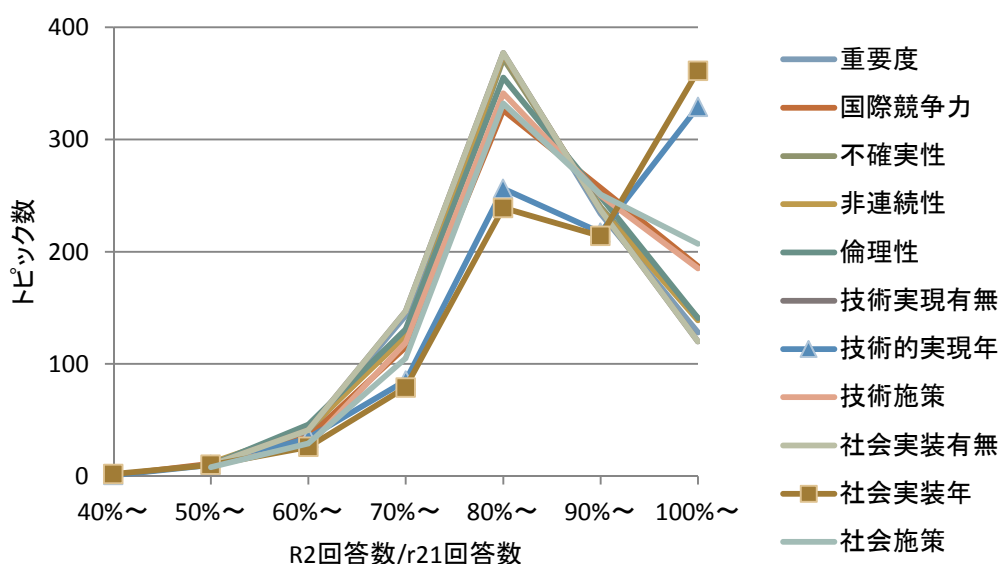
研究開発特性、実現可能性、重点施策については個人ベースでは回答変更が少なく、同一回答者群であれば繰り返し前後の回答に差異はないと言ってよい。一方、技術的实现及び社会実装の実現時期については、2割程度の回答変更が見られ、技術的实现であれば10年後、社会実装であれば15年後に収れんする傾向が見られる。また、技術的实现から社会実装までの時期ギャップについても2割程度の回答に差異が見られ、期間5年への収れんが見られる。

R1 結果は、①実現の可能性については、回答保留(「わからない」から「実現する」への変更を行った者)を一部含んでいる、②実現の見通しについては、早期の実現を予測する楽観的な見方と遅い実現を予測する慎重な見方の双方を含んだ幅広い見解を提供している、ことを特徴とする。R2 の段階を経て、多数回答への収れんが見られる。

3.3. R2 回答者の R1 結果と R2 結果の比較

本節では、同一回答者群を対象として R2 においてどの程度の変動が起きたかを検証するため、R2 回答者のみを抽出して集計した R1 結果(以降、r21)と R2 回答結果を比較する。回答は細目毎に管理されており、回答者は R1 で回答したトピックが含まれる細目について回答可とした。すなわち、同一細目内であれば、R1 時に回答しなかったトピックや質問項目に対して R2 において回答することが可能であり、一方、R1 で回答したトピックや質問項目をスキップすることもできた。従って、トピック毎に見ると厳密には同一の回答者群とは言えない。質問項目毎に R2 応答率(R2 回答数/r21 回答数) (図表 22)を見ると、ほとんどの質問項目について 80%台の応答率を持つトピックが多い。ただし、技術的实现と社会実装の実現時期については、実現時期を回答する条件となる「実現する」の回答が R2 において増加したことに伴い、実現時期の回答も 100%以上のトピックが最も多くなっている。

図表 22: 質問項目別の応答率(R2 回答数/r21 回答数)



3.3.1. 全体傾向

R2 において集計結果が減少したトピック、変動のなかったトピック、増加したトピックの占める割合を図表 23 に示す。

研究開発特性については、変動のないトピックがほとんどを占める。前節の個人ベースの変更状況にも見られたように、アンケートの繰り返しは影響を及ぼしていない。

図表 23: R2 回答者の R1 結果 (r21) と R2 結果の比較 (該当トピックの占める割合)

[研究開発特性]

r21 からの変動	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性
減少トピック	0%	0%	1%	0%	1%
変動なしトピック	99%	98%	99%	99%	97%
増加トピック	1%	2%	0%	1%	3%

[技術的実現]

実現可能性					
r21 からの変動	実現済み	実現する	実現済+する	実現しない	わからない
減少トピック	2%	1%	1%	3%	8%
変動なしトピック	97%	84%	87%	97%	92%
増加トピック	1%	15%	12%	0%	0%

実現時期					
r21 からの変動	1/4 番目 (Q1)	中央値 (Q2)	3/4 番目 (Q3)	幅 (Q3-Q1)	
前倒しトピック	3%	8%	23%	38%	
変動なしトピック	76%	76%	68%	56%	
後倒しトピック	21%	16%	8%	6%	

[社会実装]

実現可能性					
r21 からの変動	実現済み	実現する	実現済+する	実現しない	わからない
減少トピック	0%	1%	1%	3%	10%
変動なしトピック	99%	84%	86%	96%	90%
増加トピック	1%	16%	14%	1%	1%

実現時期					
r21 からの変動	1/4 番目 (Q1)	中央値 (Q2)	3/4 番目 (Q3)	幅 (Q3-Q1)	
前倒しトピック	4%	10%	27%	48%	
変動なしトピック	63%	73%	62%	43%	
後倒しトピック	33%	17%	11%	9%	

[技術的実現の重点施策]

r21 からの変動	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備
減少トピック	5%	4%	6%	2%
変動なしトピック	89%	84%	91%	94%
増加トピック	6%	12%	3%	4%

[社会実装の重点施策]

r21 からの変動	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備
減少トピック	3%	5%	7%	3%
変動なしトピック	94%	87%	89%	86%
増加トピック	3%	8%	4%	11%

技術的実現の可能性については、実現可能性(「実現済み」+「実現する」)の選択割合の合計に変動がなかったトピックが 9 割程度、増加したトピック 1 割程度存在する。一方、実現年(中央値、Q2)については、全トピックの 2~3 割に変動が見られる。早い方から 1/4 番目(Q1)及び 3/4 番目(Q3)の実現時期についても、若干の違いはあるものの、実現年(中央値、Q2)と同程度の変動が見られる。実現時期の回答幅(Q3-Q1)については、全トピックの 4 割程度のトピックにおいて幅の縮小が見られる。一方社会実装について見ると、実現可能性については、技術的実現と同様に全体の 1 割強のトピックにおいて増加が見られる。実現年(中央値、Q2)は技術的実現と同様に 3 割程度のトピックにおいて変動が見られ、早い方から 1/4 番目(Q1)及び 3/4 番目(Q3)の実現時期については、変動するトピックが技術的実現の場合よりも多い。回答幅(Q3-Q1)の変動は、約半数のトピックにおいて起こっている。

重点施策については、技術的実現、社会的実装のいずれにおいても 1 割程度のトピックに変動が見られるに留まる。

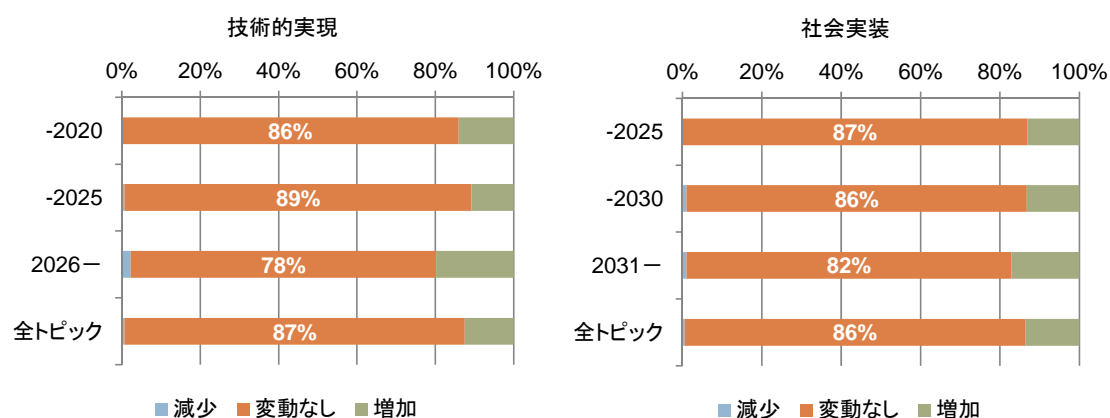
3.3.2. 詳細分析

(1) 実現可能性

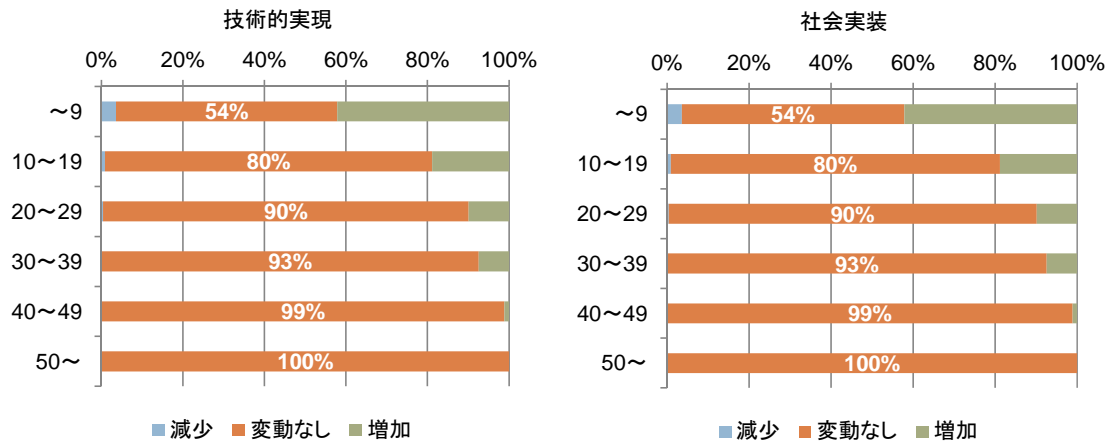
実現可能性に関しては、図表 23 にあるように、1 割程度のトピックに変動が見られる。図表 24 は、1 回目アンケート(r21)実現年別に変動状況を見たものである。技術的実現については、10 年以内(~2025 年)の実現が予測されたトピックのうち 1~1.5 割のトピックにおいて実現可能性が増加し、それ以降の実現が予測されたトピックについては当該区分内のトピックのうち 2 割のトピックに増加が見られるなど、実現時期見通しによって回答の変動状況が異なる。一方社会実装についても、どちらかと言えば実装時期の遅いトピックにおいて変動するトピックが若干増加しているが、大きな違いはない。

これを 1 回目アンケート(r21)回答数別に見ると、技術的実現、社会実装とも、回答数が増加するにつれて変動するトピックス数が減少する。すべての分野を比較的バランスよく含んでいる回答数 20~29 名の群を見ると、1 割程度のトピックに実現可能性回答の増加が見られる。

図表 24: r21 実現年別、実現可能性回答の変動状況(該当トピックの占める割合)



図表 25: r21 回答数別、実現可能性回答の変動状況(該当トピックの占める割合)



(2) 実現時期

図表 23 にあるように、技術的实现及び社会実装の実現年(中央値、Q2)は 2~3 割のトピックにおいて変動が見られる。これらの変動状況を 1 回目アンケート(r21)の実現年別に見たのが図表 26 である。

図表 26: r21 実現年別、実現年(Q2)の変動 (該当トピックの数)

技術的实现

r21 実現年	(R2 実現年-r21 実現年)											計
	-4 年超	~-4 年	~-3 年	~-2 年	~-1 年	0 年	~1 年	~2 年	~3 年	~4 年	4 年超	
~2019				1			1					2
2020					8	132	25	33	16	5	6	225
2021				2	5	5	15	6	5	3		41
2022			2	2	5	21	14	12	13		1	70
2023		1	3	6	15	10	6	15				56
2024		1	2	5	15	14	22					59
2025	4		11	14	26	301	6	5	10	2	8	387
2026~	4	2	11	3	9	35	6	2	10			82
2031~			1		1	6	0				1	9
計	8	4	30	33	84	524	95	73	54	10	16	931

社会実装

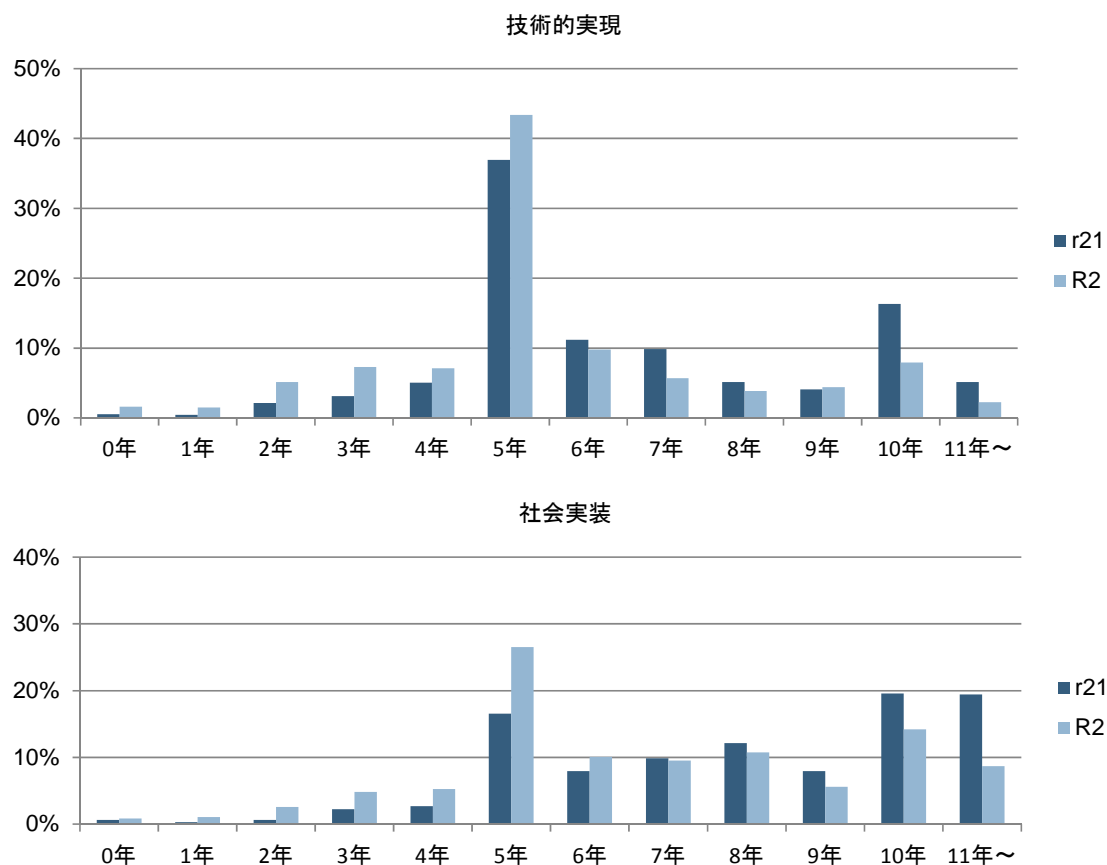
r21 実現年	(R2 実現年-r21 実現年)											計
	-4 年超	~-4 年	~-3 年	~-2 年	~-1 年	0 年	~1 年	~2 年	~3 年	~4 年	4 年超	
~2024				4	8	19	40	13	3	5	1	93
2025			1	4	8	251	18	21	16	4	10	333
2026			1	3	12	5	9	8	4	3		45
2027			6	5	8	4	7	4	12			46
2028			7	6	8	11	10	13			1	56
2029		3		4	5	4	12	1				29
2030	5	1	6	13	9	172	6	5			7	224
2031~	6	3	6	9	9	29	4	7	5	2	3	83
2036~	1		1			11	4	1	2	1	1	22
計	12	7	28	48	67	506	104	74	47	15	23	931

* 社会実装の実現年の回答が得られなかった 1 トピックを除く

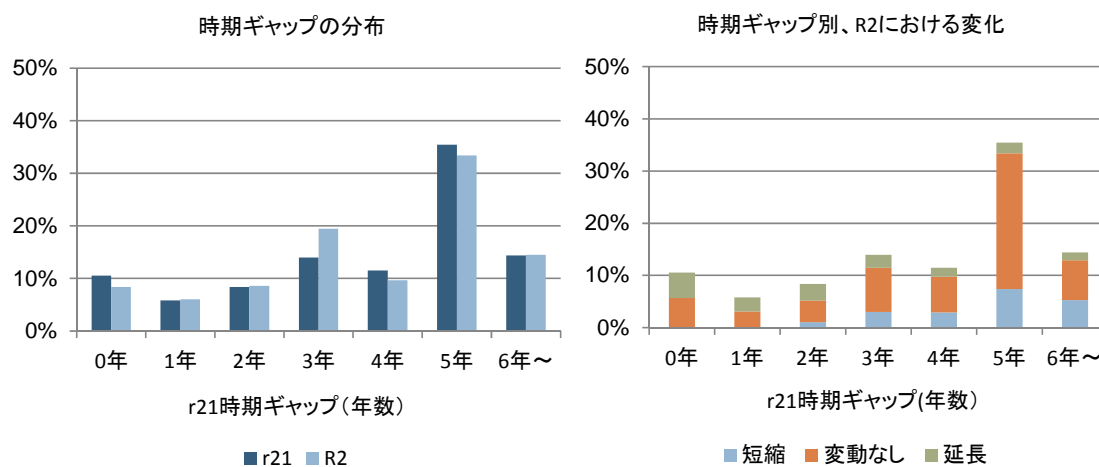
技術的実現については、2020年の実現が予測されたトピックのうち3割程度のトピックにおいてR2結果が変動しており、その多くは3年以内の後倒しとなっている。また、2021～2024年の実現が予測されたトピックについても、2～3年の後倒しが生じている。一方、2025年の実現が予測されたトピックについては9割近いトピックに変動がなく、実現年が前倒し、後倒しとなったトピックが各々1割弱存在する。それ以降の実現見通しのものは、前倒しとなるトピックが多い傾向にある。

社会実装については、2025年の実現が予測されたトピックのうち2割のトピックに変動が見られ、その多くは3年以内の変動である。2030年の実現が予測されたトピックについては、約2割のトピックにおいて前倒しと後倒しの両方の変動が見られる。技術的実現における状況を5年スライドさせる形で同様の変動が生じているが、技術的実現と比べ、変動の大きいトピックが多いこと、及び、前倒しになるトピックと後倒しになるトピックの混在が目立つことが特徴と言える。

図表 27: 実現時期回答幅の分布



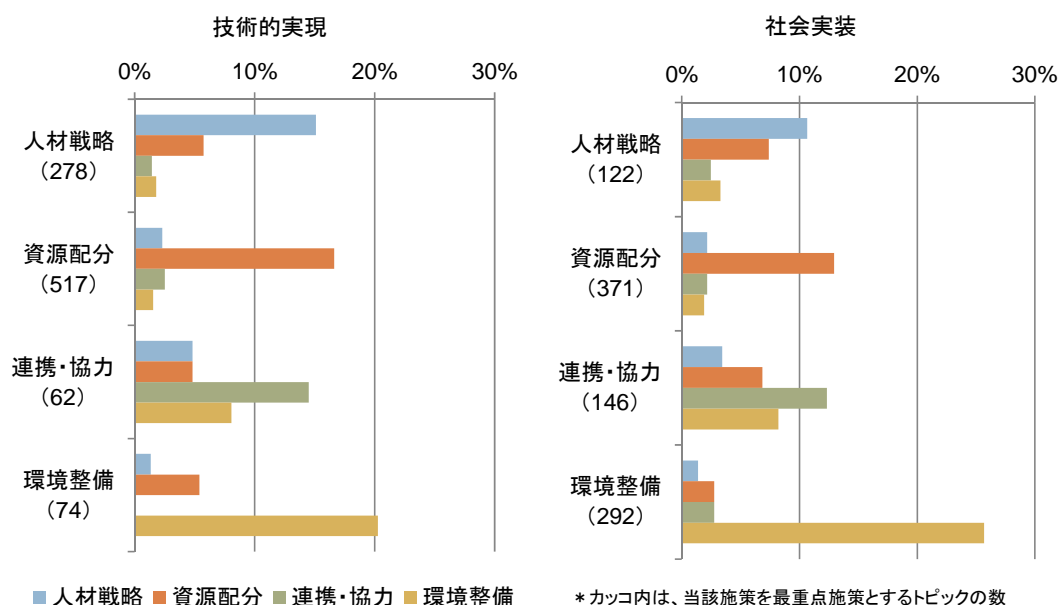
図表 28: 時期ギャップの分布と変動



(3) 重点施策

重点施策については、図表 23 にあるように、技術的実現、社会実装とも 1 割程度のトピックにおいて変動が見られる。1 回目アンケート(r21)において最重点施策とされた項目によってトピックをグループ分類した上でグループ毎の変動状況(図表 29)を見ると、当該最重点施策の選択割合が増加したトピック数が突出している。他の質問項目と同様に、さらなる集中が R2 において生じている。

図表 29: r21 最重点施策別、施策選択の変動(該当トピックの占める割合)



3.3.3. まとめ

研究開発特性については、前節の回答変更状況と同様に繰り返しによる変動は見られない。

技術的実現や社会実装の可能性については 1 割強のトピックに変動が見られ、どちらかと言えば実現見通しの遅いトピックにおいて変動が多くなる傾向にある。技術的実現及び社会実装の実現時期については、3 割程度のトピックにおいて変動が生じている。早期実現の予測は後倒し、遅い実現の予測は前倒しとなり、回答幅 5 年への収れんが起きている。個人ベースの変更状況追跡では明確な差として表れていないが、集計結果比較においては社会実装の実現時期の方が変動するトピックが多い。また、中央値である実現年については、変動のあった約 3 割のトピックのうち、やや慎重な見方に傾き、後倒しとなるトピックの方が多い。

重点施策については 1 割程度のトピックにおいて変動が見られるが、1 回目アンケートにおいて重点施策であった項目にさらに回答が集中する形となる。

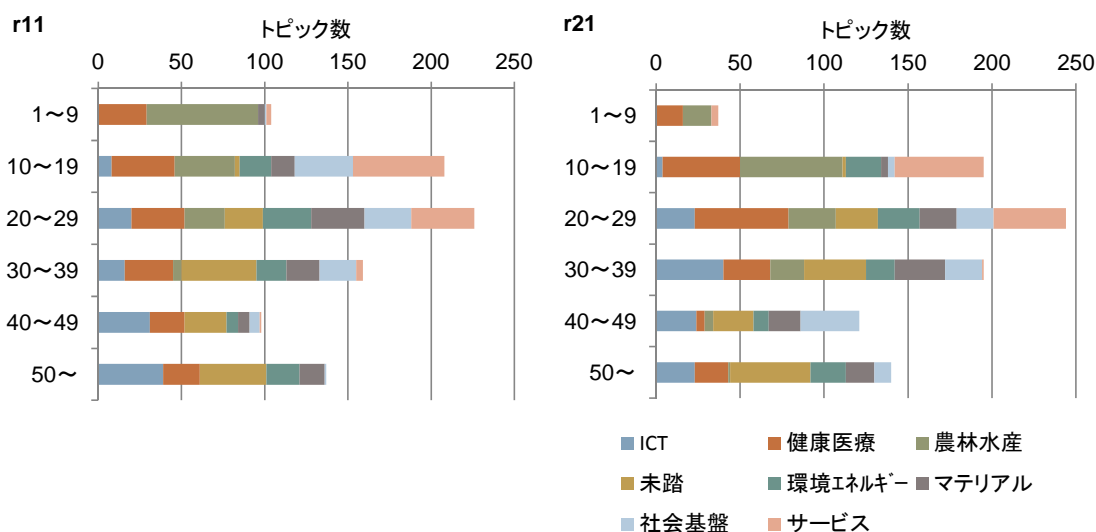
3.4. R1 回答者群の群内比較

3.2 節及び 3.3 節では、R2 回答者に絞って集計した R1 結果(r21)と R2 結果の比較を行った。本節では、R1 回答者に焦点を当てる。R1 回答者を R1 のみに回答した群(R1 のみ回答者群:r11)と R1 と R2 両方に回答した群(R1&2 回答者群:r21)に分け、それぞれの R1 結果の比較を行う。

(1) 回答者

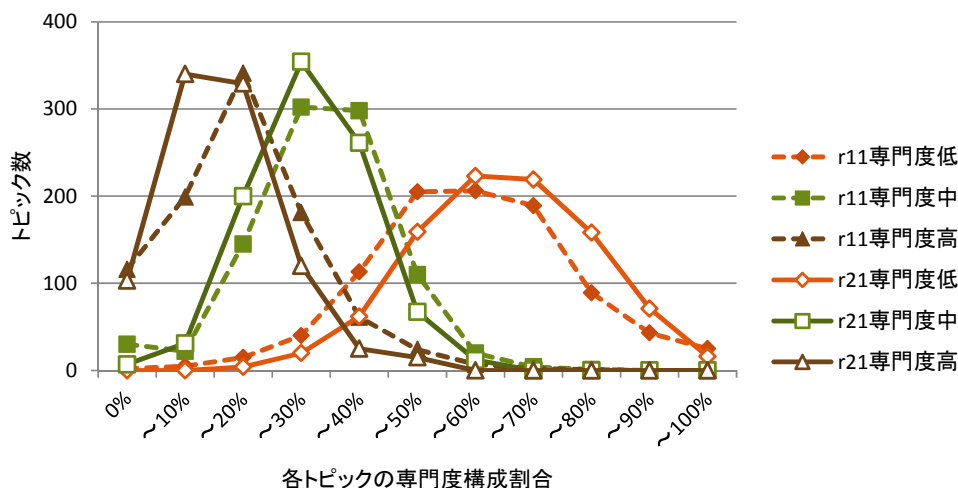
R1 回答者(4309 名)のうち「専門度なし」を除く回答者数は、R1 のみ回答者群(r11)が 2312 名、R1&2 回答者群(r21)が 1894 名である。図表 30 は、回答数別のトピック分布を示したものである。実人数は r21 の方が少ないが、各トピックの回答数は r21 の方が全般的に多い。

図表 30: トピックの回答数分布

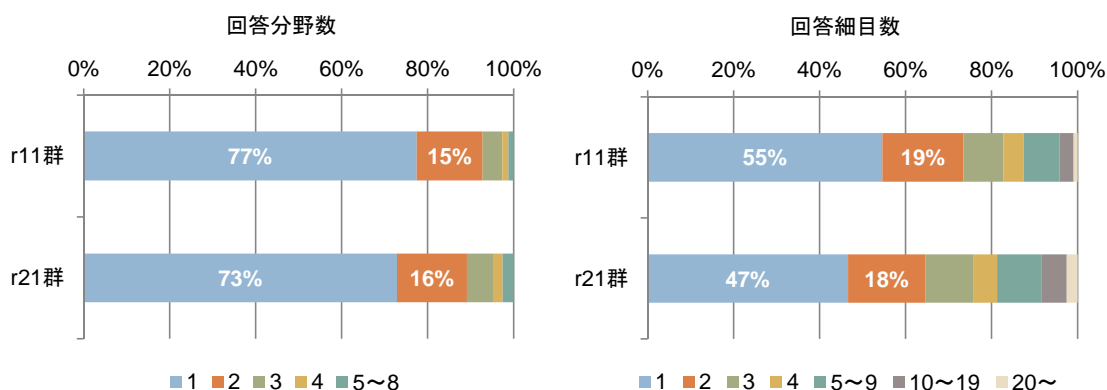


専門度構成割合の全トピック平均を見ると、R1 のみ回答者群(r11)では高 16%、中 29%、低 55%、R1&2 回答者群(r21)では、高 12%、中 27%、低 60%となっており、わずかではあるが r21 の方が専門度の低い傾向が見られる。各トピックの専門度分布(図表 31)を見ると、専門度「低」の分布は R1&2 回答者群(r21)の方が割合の大きい側に、一方、専門度「高」及び「中」の分布は割合の小さい側に位置している。回答者群別に回答した細目数及び分野数を見たのが、図表 32 である。違いは小さいが、r21 回答者群は r11 回答者群と比べて、複数分野、複数細目への回答が若干多い。また、R1 における一人当たりの平均回答トピックス数(図表 33)を見ると、r11 回答者群は 12 件、r21 回答者群は 16 件となっている。r21 回答者群(=R2 回答者群)は、R1 時に幅広く回答協力を行っており、これが専門度の若干の違いに影響していると考えられる。

図表 31: 回答者の専門度構成割合の分布



図表 32: R1 回答者群別、R1 における回答分野数及び細目数の分布



図表 33: 分野別回答数

分野	1トピック当たり 平均回答者数		1人当たり 平均回答トピック数		参考)1 細目当 たりトピック数
	r11	r21	r11	r21	
ICT・アナリティクス	44.8	39.1	9.7	11.9	9.5
健康・医療・生命科学	29.4	27.5	11.0	13.0	17.1
農林水産・食品・バイオテクノロジー	12.2	20.1	7.7	10.3	7.8
宇宙・海洋・地球・科学基盤	46.0	50.1	9.0	10.3	13.6
環境・資源・エネルギー	37.3	36.0	8.2	9.3	8.5
マテリアル・デバイス・プロセス	31.6	38.9	9.3	11.2	13.1
社会基盤	23.9	37.1	9.8	14.4	13.3
サービス化社会	18.9	18.7	11.3	15.0	10.1
全分野	30.6	33.1	12.3	16.3	11.1

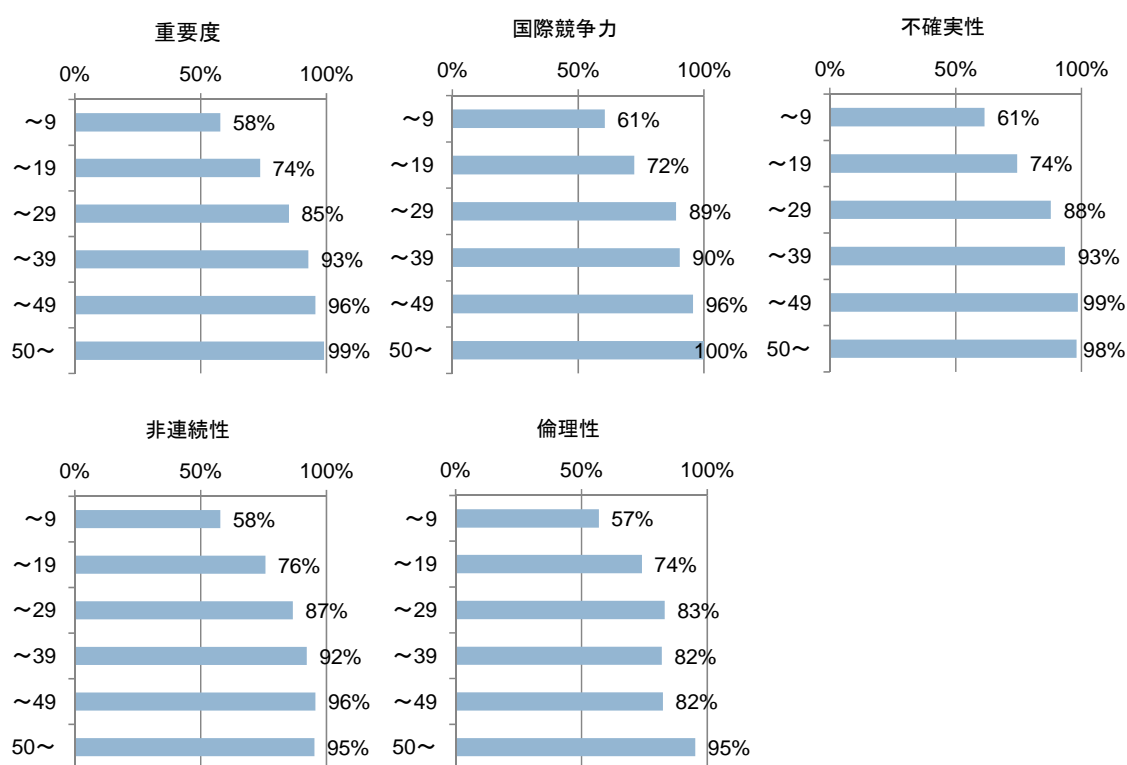
(2) 研究開発特性

研究開発特性を見ると、いずれの特性についても、r11とr21で集計結果に違いが見られたトピックが約1割存在し、R1全体とR2全体の比較(3.1節)よりも違いの見られたトピックが多い。特性毎に見ると、重要度及び国際競争力においてR1のみ回答群(r11)で評価が高い傾向が見られる(図表34)。各トピックの回答数(r11とr21のうち回答数の少ない方)別に違いの見られないトピックの占める割合(図表35)を見ると、回答数30名以上のトピックについてはその9割で違いが見られなくなる。統計上有意な差が見られるトピックは、いずれの特性についても1割程度である。

図表 34: 研究開発特性の回答の差異(該当するトピックの占める割合)

	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性
r11の方が大きい	13%	11%	7%	9%	9%
同じ	83%	83%	84%	83%	79%
r21の方が大きい	4%	6%	9%	8%	12%
R1R2比較において 変動なしのトピック	98%	98%	97%	96%	93%

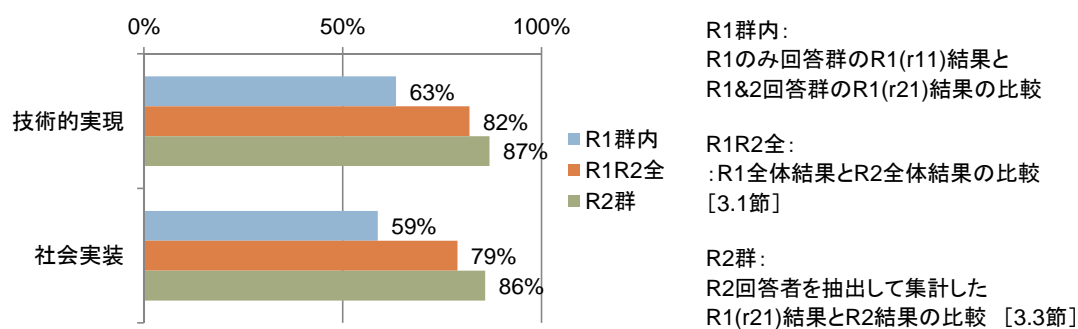
図表 35: 回答数区分別、研究開発特性スコアに違いが見られないトピックの占める割合



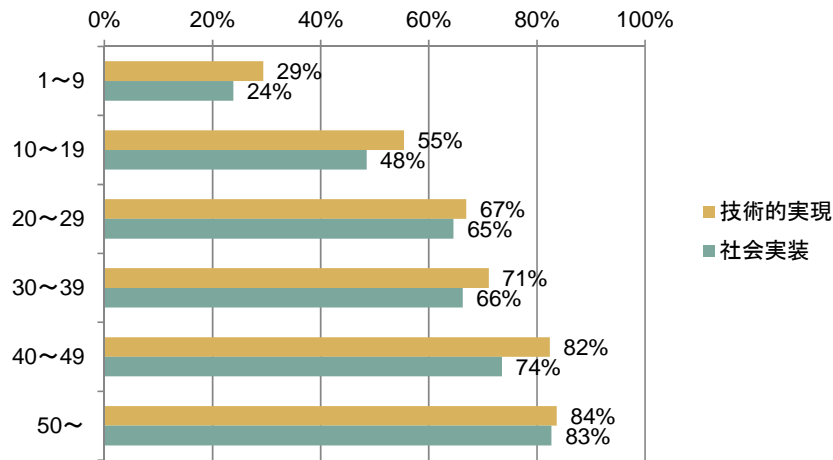
(3) 実現可能性と実現時期

実現可能性については、技術的实现、社会実装とも 6 割のトピックにおいて違いが見られない (図表 36)。R1 全体と R2 全体の比較 (3.1 節参照) においては 8 割のトピックに違いが見られないことから、この R1 回答者群内 (r11 と r21) 比較が最も差のあるトピックが多い。回答数区分毎 (図表 37) に見ると、回答数 50 名以上になると R1 全体と R2 全体の比較と同程度になるが、この区分に含まれるトピックは全体の 1 割程度である。

図表 36: 実現可能性に違いの見られないトピックの占める割合



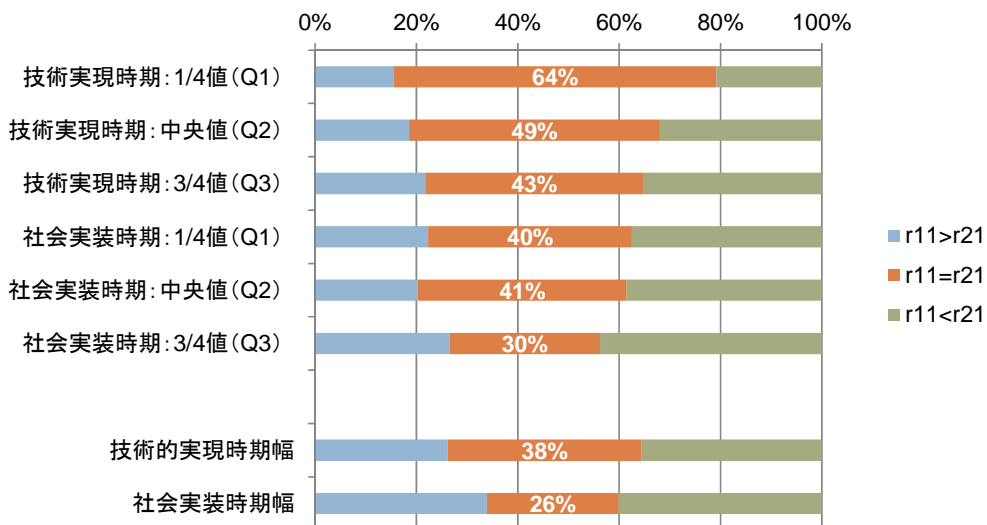
図表 37: 回答数区分別、実現可能性の選択割合に違いの見られないトピックの占める割合



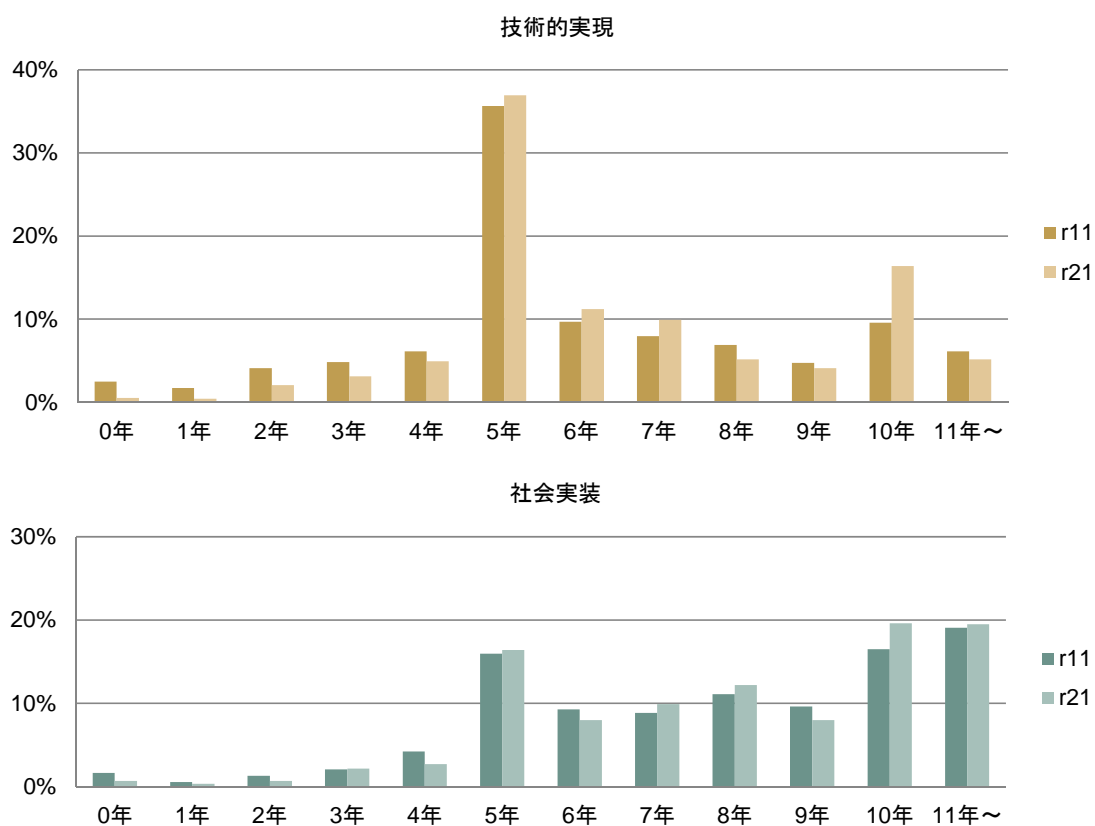
実現時期の差異(図表 38)を見ると、全体的に 2 群に違いが見られるトピックが多い。また、R1 全体と R2 全体の比較(3.1 節)においては中央値(Q2)が最も安定しているのに対し、R1 回答者群内(r11 と r21)比較では、時期が早い 1/4 値(Q1)の方が安定している。全体的に、r21 回答者群が遅い時期を回答しているトピックが多く、また回答幅(Q1 と Q3 の差)は、R1&R2 回答者群(r21)の方が回答幅の広いトピックが多い(図表 39)。

回答数区分別の傾向(図表 40)を見ると、回答数が多くなるほど違いの程度は減るものの、いずれの回答数区分においても R1 全体と R2 全体の比較(3.1 節)よりも違いの見られるトピック数が多い。ただし、統計上有意な差があるのは全トピックの 1 割程度に留まる。実現時期の回答幅(図表 41)については、回答数が一桁のトピックを除外すると、回答数区分による傾向は明確ではない。

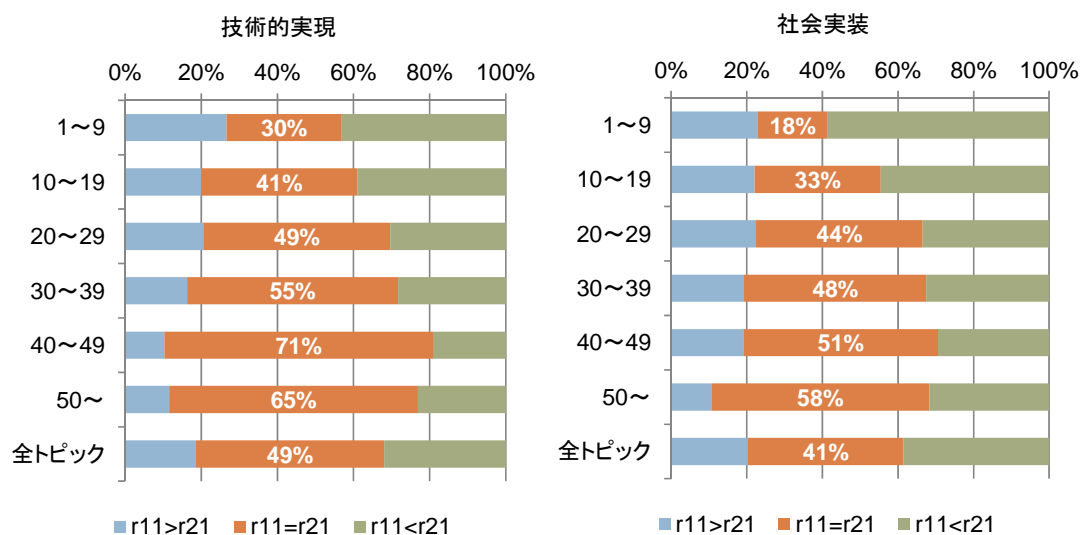
図表 38: 実現時期及び実現時期回答幅の違い(該当トピックの占める割合)



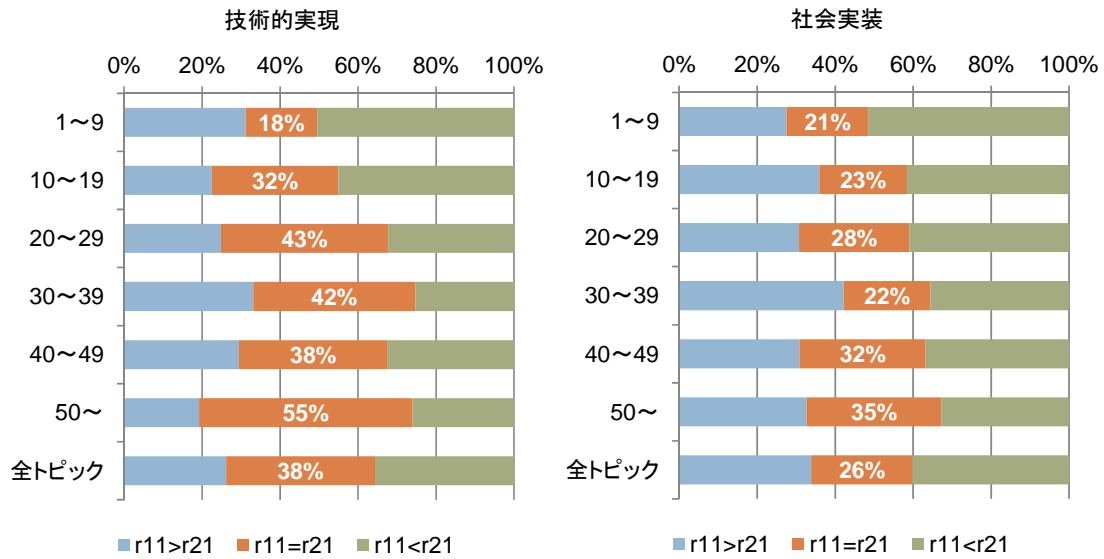
図表 39: 実現時期回答幅の分布(該当トピックの占める割合)



図表 40: 回答数区分別、実現年(中央値、Q2)の違い(該当トピックの占める割合)



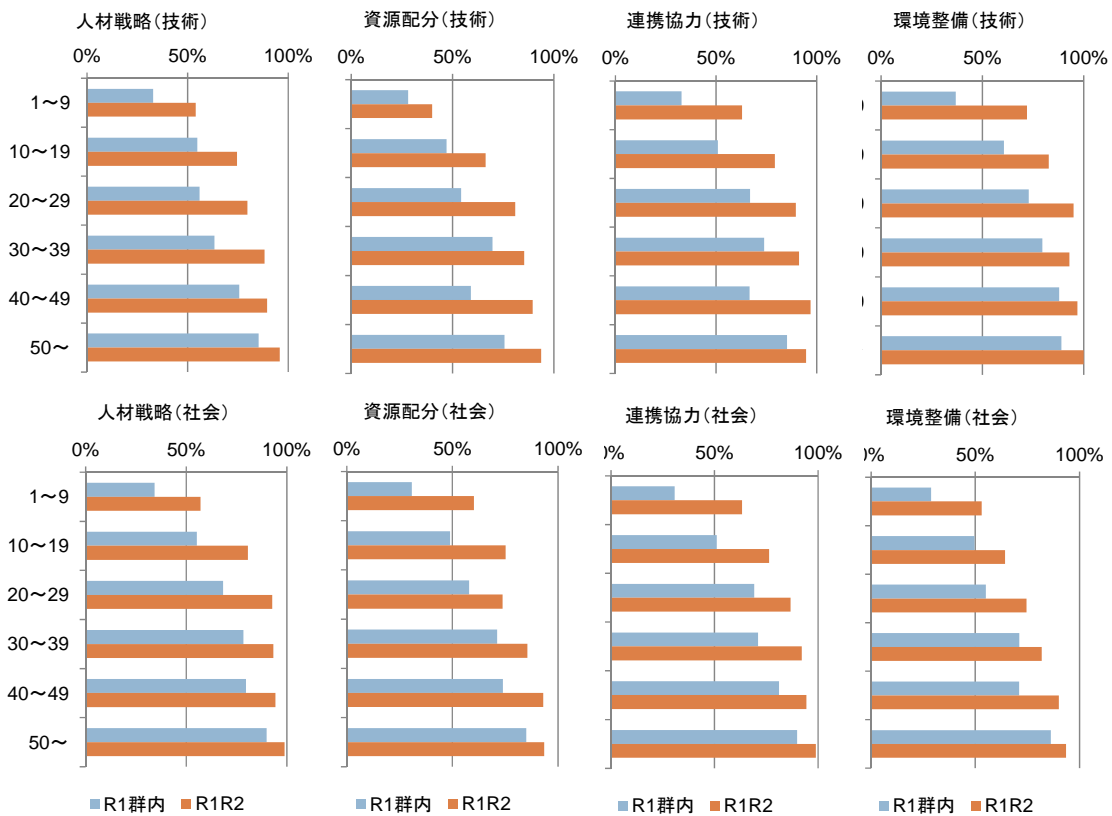
図表 41: 回答数区分別、実現時期回答幅(Q3-Q1)の違い(該当トピックの占める割合)



(4) 重点施策

重点施策については、いずれの施策についても、またいずれの回答数区分においても、R1 と R2 の比較(3.1 節)と比べ R1 回答者群内(r11 と r21) 比較の方が違いの見られたトピックが多い。

図表 42: 回答数区分別、重点施策に違い(違いの見られないトピックの占める割合)



3.5. まとめ

前節までの分析の結果、以下のことが明らかになった。

○R1 結果と R2 結果の比較

(1) 研究開発特性

- ◆ 全般的に繰り返しによる回答変更は少なく、R1 結果と R2 結果の間に顕著な違いは見当たらず、繰り返しによる影響はほとんどない。

(2) 実現可能性

- ◆ 繰り返し時に、「実現済み」「実現しない」「わからない」から「実現する」への回答変更がそれぞれ1割程度見られる。
- ◆ 繰り返し後において、実現可能性が増加するトピックが 1～2 割程度存在するが、その多くは「わからない」から最も多く選択された「実現する」への回答変更によるものである。「実現しない」の回答に変動は見られない。従って、実現するかしないかの判断については、繰り返しによる影響はほとんどない。
- ◆ 遅い実現(技術的实现では 10 年後以降、社会実装では 15 年後以降)が予測されたトピックについては、R2 において「わからない」から「実現する」への変更がなされるものが増える。

(3) 実現時期

- ◆ 繰り返し時に、全体の 2 割程度の回答において、最頻値に近づく形で回答変更がなされている。技術的实现については 2021～2025 年の回答、社会実装については 2026～2030 年の回答は安定している。
- ◆ 繰り返し後においては、全体の 3 割程度のトピックの実現年(中央値、Q2)の変動が見られ、2～3 年後倒しになる例が多い。技術的实现に見られた変動状況をほぼ 5 年スライドさせる形で同様の状況が社会実装において起こっているが、社会実装の方が変動するトピックが多く、また前倒しと後倒しが混在している。
- ◆ 実現時期の回答幅(Q3-Q1)は、早い方から 1/4 番目(Q1)の回答の後倒しと 3/4 番目(Q3)の回答の前倒しが見られ、半数程度のトピックにおいて繰り返し後に回答幅が縮小する。特に、社会実装において縮小するトピック数及び縮小幅が大きい。技術的实现、社会実装とも、回答幅 5 年区分への収れんが見られる。

(4) 重点施策

- ◆ 繰り返し後の R2 においては、全体の 1 割に当たるトピックに変動が見られる。変動は、最多選択肢にさらに回答が集中する形をとる。

○R1 回答者の特性

R1 回答者のうち、R1 のみ回答した群と R2 にも回答した群では、R1 全回答者の集計結果と R2 全回答者の集計結果の比較よりも、変動したトピックが多い。R1 の 2 群の比較では、研究開発特性では 1 割以上、実現可能性では 2 割以上、実現時期では 4 割以上のトピックに違いが見られ、それぞれ、R1 全回答者と R2 全回答者の集計結果の比較よりも 1 割程度トピック数が多い。

4. 考察

第 10 回科学技術予測調査の一環で実施した「分野別科学技術予測」においては、従来と同様、同じ質問を 2 回繰り返すデルファイ法により専門家アンケートを実施したが、収れんする前の幅広い意見から示唆を得ることを目的として、1 回目アンケート(R1)結果を分析に用いた。収れんにより確信度を高めることの代替として、専門性に合致するトピックに回答しやすいようなアンケートサイト設計を行った。

本章では、相応の専門性を有する回答者群において、アンケート繰り返しによりどの程度の変動が起こったのかを分析した前章の結果を基に、1 回目アンケート(R1)結果を特徴づけるとともに、今後の方向性について考察する。

4.1. 繰り返しによる変動

(1) 繰り返しの影響が見られる質問項目

今回調査を行った質問項目のうちアンケート繰り返しによる変動が見られたのは、実現可能性、実現時期、実現のための重点施策の 3 項目である。

実現可能性については、「わからない」から「実現する」への変更が主であり、「実現する」または「実現しない」と回答した者の回答変更はほとんど見られない。

実現予測時期については、繰り返しにより 2~3 割のトピックに変動が見られる。全体的な傾向として、実現時期の代表値として用いている中央値(Q2)は 2~3 年後倒しになり、回答の幅(早い方から 1/4 番目の回答(Q1)と 3/4 番目の回答(Q3)の差)は半数以上のトピックにおいて縮まっている。回答の変更状況を見ると、早い時期を選択した者の後倒しの回答変更、遅い時期を選択した者の前倒しの回答変更の状況が見られる。特に、10 年後以降の中長期の予測、また様々な要素が絡む社会実装については、変動するトピックの数が多い。これらについては、相応の専門性を有する回答者であっても確定的な回答をしにくいものと推測され、繰り返しによる収れんが意味を持つと考えられる。

重点施策については、最も重要とされた項目への収れんという形で変動が起こっている。選択された割合には変動が見られるものの、何が最重点施策かは変わらない。

(2) 回答者群の影響

今回調査では 2 回目アンケート(R2)の応答率(回収率)が 50%を下回っており、1 回目アンケート(R1)回答者群と 2 回目アンケート(R2)回答者群を同一集団とは言いにくい。「集計結果を提示し、同一の回答者に同一の質問を繰り返して再考を促す」ことについて部分的に留まったことになる。また、1 回目(R1)と 2 回目(R2)の両方に回答した群と 1 回目(R1)のみに回答した群の 1 回目アンケート(R1)集計結果の差が、繰り返しによる変動(全回答者についての 1 回目アンケート(R1)集計結果と 2 回目アンケート(R2)集計結果の差)よりも大きかった。繰り返しの効果を求めるのであれば、同一集団と見なしてもよいと考えられる応答率(回収率)を確保する必要がある。

4.2. 今後の方向性

今回調査において、研究開発特性、実現可能性、重点施策については繰り返しなしでもある程度確信度の高い回答を得ることができた。一方実現時期の見通しについては、相応の専門性を有する回答者の参加をより得やすい設計とした今回調査においても一部のトピックにおいて繰り返しによる変動が見られ、回答幅が縮小するトピックが半数に及んだ。今回の1回目アンケート結果を用いた分析結果は、楽観的な早期実現の見通し、慎重な遅い実現見通しの双方を含んでおり、将来の不確実性を反映した幅広い見解を含んだ結果と解釈される。ただし、社会実装の実現時期の回答幅を検討に用いる場合は、繰り返しを経るとかなりの収れんが見られるものであることを認識した上で解釈する必要がある。

本調査においては、一部のトピックにおいて十分な回答数を得ることができなかった。今後、萌芽的な事象や微少な変化の兆候を検討するに当たっては、相応の専門性を有する回答者を一定数確保することがこれまで以上に難しくなることが想定される。また、回答者を得られたとしても確信を持って将来インパクトや実現見通しを回答できるとは限らず、専門家間に一定程度以上の見解の幅が存在すると想定される。このような場合には、繰り返しによる収れんが有用な手法の一つとなり得ると考えられる。

一方、デルファイ法の本来に立ち返ると、質的・量的に十分な回答者の確保、及び2回目アンケートにおける高回収率の確保が必須である。回答者の確保については、関連学協会・団体等とのより緊密な連携・協力の推進が求められる。また、国際共同プロジェクトによる国際的知見の取り入れも今後の挑戦となろう。回収率を高める上では、繰り返しを行う質問項目を絞る、回答変更が可能なオープン期間を設けて変更結果がリアルタイムで反映される方式をとるなど、回答しやすさ向上のための工夫が求められる。さらに、不確実性の益々の増大に対応し、技術的・社会的背景、発展可能性、社会的インパクトなどについて深い議論を行うワークショップやインタビュー等の場の設定など、新しいラウンドを加えた、進化型デルファイとも言える形態の模索も今後の検討課題であろう。

DISCUSSION PAPER No.135

第 10 回科学技術予測調査
分野別科学技術予測の詳細分析
—デルファイ法による意見収れんの検証—

2016 年 3 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所
科学技術動向研究センター

〒100-0013

東京都千代田区霞が関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館 東館 16 階

TEL:03-3581-0605 FAX:03-3503-3996

<http://doi.org/10.15108/dp135>



<http://www.nistep.go.jp>