

過去のデルファイ調査に見る  
研究開発のこれまでの方向性

2012年9月

文部科学省科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター  
横尾淑子 奥和田久美

本 DISCUSSION PAPER は、所内での討論に用いるとともに、関係の方々からのご意見をいただ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. 86

Tracing the Direction of Research and Development shown in past Delphi Surveys

Yoshiko YOKOO and Kumi OKUWADA

September 2012

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

本報告書の引用を行う際には、出典を明記願います。

## 過去のデルファイ調査に見る研究開発のこれまでの方向性

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター 横尾淑子、奥和田久美

要旨:

本研究では、1971年から2010年の40年間に実施された「デルファイ調査」(科学技術発展の将来展望を専門家に問うアンケート)で取り上げられた「トピック」(実現が期待される科学技術等の記述)を対象として、我が国の研究開発の方向性変化の例証を試みた。

まず、トピック中で用いられた名詞の出現頻度の推移を見ることにより、専門家の注目点の変化を分析した。次いで、トピック設定から20年後の実際の実現状況をもとに、トピック設定時の想定と実際の状況とのずれを分析した。

分析の結果、我が国の研究開発の方向性に関する専門家の考え方は、2000年代後半から変化が生じ始め、社会との関係性を重視する方向に向かったことが明らかになった。また、1990年代前半以降、専門家の見通し通りに予測が実現することが少なくなったこと、及び専門家の見通しがばらつくようになったことから、将来の変化を見通しにくくなったことが明らかになった。

## Tracing the Direction of Research and Development shown in past Delphi Surveys

Yoshiko YOKOO and Kumi OKUWADA, Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT

ABSTRACT:

This report tries to exemplify the change in direction of R&D in Japan, by analyzing “topics”, the statements on expected technologies that appeared in Delphi surveys from 1971 to 2010.

Analysis on appearance frequency of nouns in the “topics” and analysis on actual realization of the “topics” are employed here. The former focused on the shift of frequently-used nouns to find out the areas of special interest at the times and the latter focused on the gap between expectations at the times and actual situation 20 years later.

The result reveals that experts’ perspectives on R&D activities in Japan have begun to move to emphasized relation with society in the late 2000’s. The result also shows that experts’ opinions became more diversified and technological events less frequently occurred as expected in the 1990’s, which indicates increased uncertainty of the future.

## 目次

概要 .....	i
1. はじめに .....	1
2. 分析の対象と方法 .....	1
3. トピックの内容分析の結果 .....	8
4. トピックの実現状況分析の結果 .....	21
5. おわりに .....	35
<資料> .....	37

## 概要

### 1. 目的

我が国では、1971年から継続的に大規模な科学技術の予測調査が実施されてきた。予測調査で取り上げられた対象は、その時々専門家や社会の科学技術に対する関心や期待を反映したものと考えられる。そこで、それら対象事項の経時的変化を分析することにより、我が国の40年にわたる研究開発の方向性の変化を例証することを試みた。

### 2. 方法

本研究では、研究開発の方向性について、専門家の関心がどのように変化したか、及び当時の専門家の想定と異なる状況変化は起きたのか、の二つの側面から分析を行う。分析対象としたのは、これまで継続的に9回実施されてきた「デルファイ調査」(科学技術の中長期的発展に関する専門家アンケート)の中で設定された「トピック」(実現が期待される科学技術等の簡単な記述)、計8147課題である。

ここで、各トピックの記述内容は、当時の専門家が特に関心を持っていた注目点を反映していると考えられる。一方、設定された各トピックの実現状況は、専門家の想定とは異なる状況変化の有無を反映していると考えられる。トピックが実現していない場合、技術的・社会的要因により、当時の想定とは異なる状況が生じた可能性があると考えられるためである。以下に、分析の概要を記す。

#### [トピックの内容分析]

各トピックの記述中に頻りに用いられた名詞に着目して分析を行う。ここでは、ある名詞がある調査年に頻りに出現する場合、当該名詞に関連する科学技術がその当時の専門家の注目点であったと見なす。具体的には、全9回のトピックの記述から名詞をすべて切り出し、出現頻度をカウントする。そのうち出現頻度の高い名詞について調査年ごとの出現頻度を分析し、各調査年の特徴を明らかにする。

#### [トピックの実現状況分析]

各調査年に設定されたトピックが実際に実現しているかどうかの評価結果の分析を行う。ここでは、ある調査年におけるトピックのうち、その後実際に実現した数が減少した場合、当該調査年以降に当時想定した状況とは異なる変化が生じたため専門家の見通し通りにはならなかった可能性がある、と考える。具体的には、設定から約20年を経過したトピックを対象として、実際の実現状況をトピック属性(研究開発段階、当時の専門家が予測した実現時期、等)の観点から分析する。

### 3. 結果と考察

#### (1)トピックの内容分析

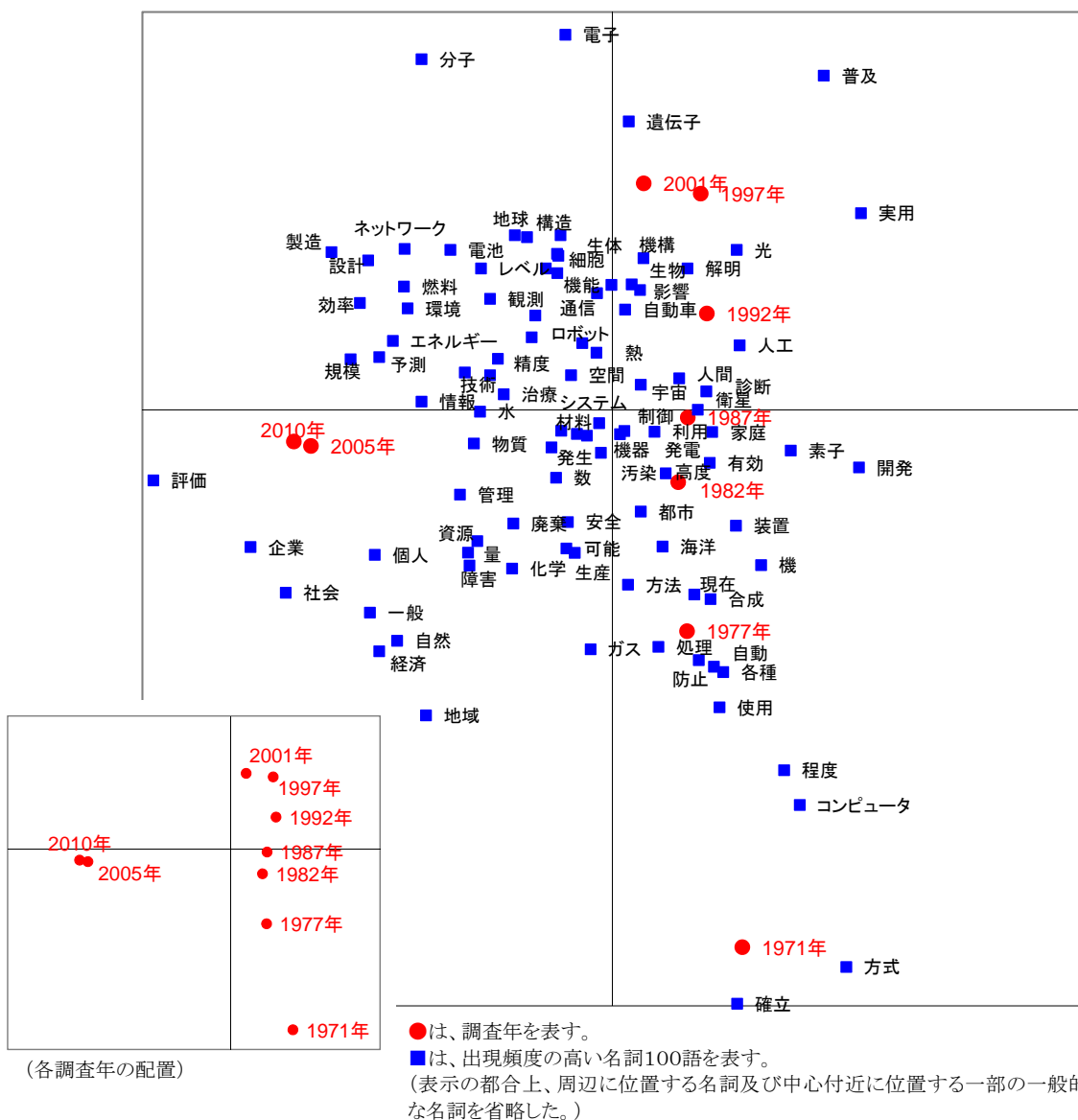
全9回の調査を通じてトピックの中で頻りに用いられた名詞100語の、調査年ごとの出現頻

度のデータを基に、それら名詞間の関係及び名詞と調査年との関係を図示した(概要図表 1)。この図では、出現頻度から見て類似している、あるいは関係が近いもの同士は近くに、類似していない、あるいは関係の遠いもの同士は離れて配置される。

「2005年」(2005年実施調査)及び「2010年」(2010年実施調査)が、他の調査年と離れて図の左側に配置されており、近傍には「社会」「企業」など、社会に関わる名詞が見られる。我が国の研究開発の方向性に対する専門家の考え方は、社会の要請を受けて2000年代後半以降大きく変化し、社会との関係性をより重視する方向に向かったと解釈できる。

科学技術関連の名詞としては、「環境」、「エネルギー」、「情報」などが、「2005年」及び「2010年」の近傍に位置している。なお、これらの名詞を含むトピック数は近年増加傾向にあり、

概要図表 1 出現頻度の高い名詞と調査年との関係図

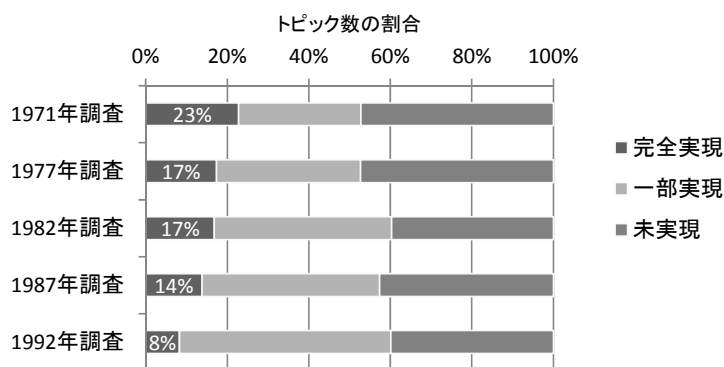


環境、エネルギー、情報に対して、様々な科学技術分野の専門家の関心が高まってきていることが窺える。

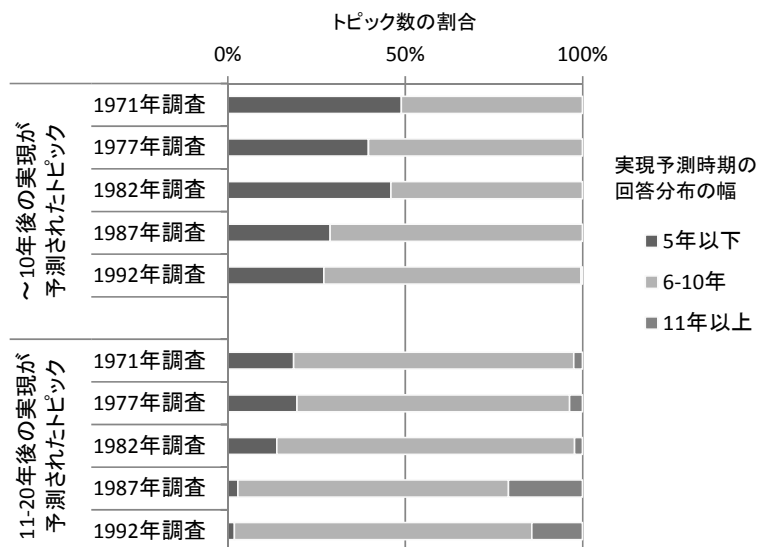
(2)トピックの実現状況分析

トピック設定から約20年を経過した時点で、トピックの記述内容がどの程度実現しているかを見た結果、調査年を追うごとに、記述の通りに実現する「完全実現」のトピック数の割合が減少し、記述の一部が実現する「一部実現」のトピック数の割合が増加している(概要図表 2)。特に1992年実施調査のトピックにおいて、「完全実現」と評価されたものの割合の減少が目立つ。また、各調査を実施した当時における専門家の実現時期予測の回答分布を見ると、10年後までに実現すると予測されたトピック、11-20年後までに実現すると予測されたトピックのいずれにおいても、回答分布の幅(ばらつき)が大きくなる傾向が見られる(概要図表 3)。これらのことから、調査年を追うごとに将来を見通すことが難しくなったことが窺える。

概要図表 2 トピックの実現状況(トピック設定から20年後の評価)



概要図表 3 トピックの実現予測時期に関する回答分布幅



## 1. はじめに

我が国では、科学技術の中長期的な発展を展望するため、1971年から継続的に大規模な科学技術予測調査が実施されてきた。実施に当たっては、時代の変化に対応すべく手法の漸進的改良が試みられており、近年の調査は、複数の手法を組み合わせる多様な視点から検討を行う設計へと移行している。

その中で、唯一継続的に実施されてきたのがデルファイ法を用いたアンケート調査である。この調査では、一貫して、科学技術等の中長期見通しについて幅広い科学技術分野の多くの専門家に見解を求めてきた。この調査で取り上げられた事項は、その当時どのような科学技術が注目されていたか、また、期待が持たれていたかを反映していると考えられる。

デルファイ法を用いたアンケート調査は、世界各国で広く行われている。しかし、長期間にわたる継続性という点において、対象とする科学技術の広範さという点において、また、多数の専門家の参加という点において、これまでの蓄積は他に類を見ない知の資産と言える。これらを概観することにより、我が国の過去40年にわたる研究開発の注目点について経時的変化の分析が可能であり、研究開発の方向性が社会との関わりの中でどのように変化してきたかを明らかにすることができると考えられる。

本調査は、我が国の研究開発における大きな方向性の変化を具体例から例証するとともに、今後の予測活動への示唆を得ることを目的とする。

## 2. 分析の対象と方法

### 2. 1. 分析対象の概要

#### 2. 1. 1. 分析対象

本調査において分析の対象とするのは、これまでのデルファイ法\*を用いたアンケート調査(以降、「デルファイ調査」と記す)の中で取り上げられた「トピック」である。デルファイ調査においては、調査時点から向こう30年間を展望し、実現が期待される科学技術や潜在可能性を秘める科学技術、あるいは科学技術の発展に関わる社会的な事柄を記述し、それらに対していくつかの問いを設けている。この記述を「トピック」あるいは「課題」と呼んでいる。トピックとして取り上げる範囲は、基礎・基盤的研究から、実用技術、社会システム、国民意識、社会状況の変化まで広範にわたる(図表 1 参照)。1トピックは平均40～50字程度の長さで、一定の様式に則った簡潔な表現を基本とし、回答者がイメージを描きやすいよう具体例を入れるなどの工夫がなされている。

トピックを設定するのは、10名程度の専門家から構成される分科会である。分科会は、調査対象とする科学技術分野や社会的目標に応じて設置される。トピックは、前回のデルファイ調査で取り



上げられたトピックを参考にしつつ、新たな視点で設定される。したがって、各調査においては、適宜修正を行った上で前回の調査から引き継がれたトピックと新しいトピックが混在する状況になっている。

図表 2 に、各調査の分野(=分科会)数、トピック数、回答者数を示す。トピック数は、計8147である。調査規模は、年を追うごとに拡大したが、近年は若干縮小している。トピック数が多いほど得られる情報は豊富になるが、一方で回答者の負担が重くなり、回答率の低下を招く。回答者の膨大な負担を避けるため、トピックの設定数には限界がある。

図表 1 トピックの例 (2010年調査から)

取り上げる範囲	トピックの例
基礎・基盤的研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ がんの転移機構の解明</li> <li>✓ 宇宙科学の進展に寄与する、宇宙ニュートリノ、超高エネルギーガンマ線、ダークマターなど、検出の難しい素粒子の探索技術</li> </ul>
開発・実用化・普及	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 電力効率を向上させ日本の総発電量を 20%削減することのできるスマートグリッド技術</li> <li>✓ 麻痺した運動機能を神経幹細胞の移植により、回復させる評価法・治療法</li> </ul>
社会制度・社会変化等	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 我が国において、資源の開発・利用に関与し、国際舞台で活躍できる知識と専門性を有する技術者育成プログラム</li> <li>✓ 医療の質と資源の至適マネジメントを可能にする医療社会制度</li> </ul>

図表 2 調査の規模

調査	分野(分科会)数	トピック数	回収数(2回の繰り返しアンケート後)
1971年調査	5	644	2482
1977年調査	7	656	1316
1982年調査	13	800	1727
1987年調査	17	1071	2007
1992年調査	16	1149	2385
1997年調査	14	1072	3586
2001年調査	16	1065	3106
2005年調査	13	858	2239
2010年調査	12	832	2900

このトピック設定にこそ、我が国のデルファイ調査が知の資産であると言える所以がある。トピック設定は、アンケートに回答するよりもはるかに困難な作業であり、多大な時間と労力を要する。この段階が、デルファイ調査における最もクリエイティブな段階である。一方、ここにデルファイ調査の最大の弱点があり、設定されなかった事項については情報を得ることができない。

1971年調査から2010年調査までの分科会構成(資料1参照)を見ると、扱う範囲に大きな変化は見られないが、トピック設定に当たって社会との関わりの要素をどのように取り入れるかについて、各調査において工夫が見られる。1971年調査及び1977年調査においては、社会の変化や将来

社会からの要請を尋ねる設問や技術開発を取り巻く周辺事項に関する設問が設けられ、人文・社会科学の専門家やゼネラリストが回答者となった。1987年調査からは分野横断的な視点での分析が取り入れられ、環境問題や高齢化など社会的な問題について科学技術の側面からの考察が行われた。2001年調査及び2005年調査では、将来の科学技術の検討と並行して経済・社会ニーズの検討のための分科会が設置され、ニーズの検討とそれに対する科学技術の貢献について分析が行われた。2010年調査では、将来目標が先行して検討され、それを出発点としてトピックが設定された。

また、各トピックに対する質問内容、すなわち専門家が予測する事項にも変更が施されてきた。継続的に繰り返されてきたのは、トピックが実現するであろうと思われる時期及びトピックの重要度を尋ねる設問であり、必要に応じて、我が国の研究開発水準、実現に関わるセクター、実現を促進するための政策などの設問が適宜付加されてきた。したがって、実現時期の予測及び重要度については、経時的な分析に用いることができる。

\*デルファイ法とは

デルファイ法とは、同一内容の質問を同一回答者に複数回繰り返すことにより、回答者の意見を収れんさせるアンケート手法である。我が国においては、これを広範な科学技術の将来予測に適用し、アンケートを2回繰り返すことにより多数の専門家の平均的見解を得ている。2回目のアンケートでは、1回目の集計結果が回答者に示される。回答者は、1回目の回答の全体分布を見ながら自身の2回目の回答を再度検討することができる。通常、一部の回答者は多数意見に賛同して意見を変える傾向があることから、ほとんどの場合、繰り返すにより回答が収れんする。回答の全体分布を見せて回答者に再考を促すことにより、より確信度の高い見通しを得られると考えられている。

デルファイ法適用の理由の第一は、不確定な将来の予測には意見の収れんが必須と考えられることである。専門家の知識と経験をもってしてもすべてに確信を持って答えられるとは限らないためである。理由の第二は、多数の専門家の見解であることに意味があると考えられることである。これは、一人の専門家の意見よりも多数の専門家の意見、すなわち「集合知」のほうがより確実性が高いとの想定に基づく。全体意見の収れんを図るという点から、デルファイ法は合意形成の手段の一つであると言うことができる。

過去9回のデルファイ調査報告書を、以下に示す。なお、本レポートでは、各調査の公表年を調査名として用いた。

[2010年調査(第9回)]

「将来社会を支える科学技術の予測調査 第9回デルファイ調査」、科学技術政策研究所、NISTEP REPORT No. 140 (2010年3月)

[2005年調査(第8回)]

「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査 デルファイ調査報告書」、科学技術政策研究所、NISTEP REPORT No.97 (2005年5月)

[2001年調査(第7回)]

「第7回技術予測調査」、科学技術政策研究所、NISTEP REPORT No.71 (2001年7月)

[1997年調査(第6回)]

「第6回技術予測調査」、科学技術政策研究所、NISTEP REPORT No.52 (1997年6月)

[1992年調査(第5回)]

「第5回技術予測調査」、科学技術政策研究所、NISTEP REPORT No.25 (1992年11月)

[1987年調査(第4回)]

「我が国における技術発展の方向性に関する調査－技術予測調査報告書－」、科学技術庁科学技術政策局 (1987年9月)

[1982年調査(第3回)]

「技術予測報告書」、科学技術庁計画局 (1982年12月)

[1977年調査(第2回)]

「技術予測報告書」、科学技術庁計画局 (1977年2月)

[1971年調査(第1回)]

「技術予測報告書」、科学技術庁計画局 (1971年6月)

## 2. 2. 分析方法

本研究では、研究開発の方向性の変化について、専門家の関心がどのように変化したか、及び、当時の専門家が想定した、あるいは、想定しなかった状況の変化は起きたのか、の二つの側面から分析を行う。

当時の専門家の関心を反映していると考えられるのが、トピックの記述内容である。調査規模に限界がある以上、当時の専門家が特に関心を持っていた注目点がトピックとして選ばれていると考えてよい。これを追うことにより、各調査時点における研究開発の方向性の変化を把握する。一方、専門家の想定とは異なる状況変化の有無を反映していると考えられるのが、設定されたトピックの実現状況である。トピックが実現していない場合、技術的・社会的要因により、当時想定されなかった新たな方向性への変化が起きた、あるいは、想定された変化が生じなかった可能性があると考えられる。ここでは、どういう場面でそうした状況が起きた可能性があるかを中心に分析する。以下に、トピックの記述内容の経時的変化分析、及び、トピックの実現状況の経時的変化分析について、その要点を記す。

### ○トピックの内容分析

専門家の関心が高かった注目点の変化を見るため、トピック記述の中で用いられている名詞に着目して分析を行う。ここでは、ある名詞が頻出する場合、当該名詞に関連する科学技術が専門家の関心の高い注目点であったと見なす。具体的には、調査年ごとに頻出する名詞を特定し、各調査年における専門家の注目点を明らかにする。併せて、いくつかの名詞について、当該名詞が含まれるトピックの中で用いられている名詞をすべて切り出し、当該名詞に関連する科学技術の詳細内容を調査年ごとに把握する。

### ○トピックの実現状況分析

専門家の想定とは異なる状況変化の生じた可能性を見るため、各調査年において設定されたトピックについて、それらが実際に実現したかどうかの評価結果を分析する。ここでは、ある調査年において実際に実現したトピックの数が減少した場合、当該調査年以降に当時想定した状況変化が生じなかった、あるいは想定しなかった状況変化が生じたため、専門家の見通し通りには実現しない場合が増加した可能性がある、と考える。具体的には、設定から20年が経過したトピックの実際の実現状況を当該トピックの持つ属性ごとに分析し、どのような場合に実現しにくくなったかを把握し、方向性変化の傍証とする。

方法の詳細は、以下のとおりである。

## (1)トピックの内容分析

### ①頻出名詞の抽出

40年間取り上げられてきた科学技術の全体を捉えるため、トピックの記述の中で頻繁に用いられている名詞を抽出する。具体的には、1971年調査から2010年調査までのデルファイ調査において設定されたトピックの記述から名詞を切り出し、当該名詞を含むトピックの数を調査年ごとにカウントする。この中から、全9回分の合計の多い、総出現頻度上位100位以内の名詞(以降、「上位語」と記す)を特定する。併せて、いくつかの上位語を例に、トピック数の経時的変化を見る。

### ②経時的変化の全体像の把握

注目点の経時的変化の全体像を捉えるため、①でカウントした、上位語の調査年別出現頻度のデータを用いて、上位語と調査年の関係性を表す二次元の分布図を作成する(詳細は、節末の参考参照)。これにより各調査年の特徴を表す上位語は何か、また、特徴的な上位語が類似する、すなわち専門家の注目点が類似する調査年はどれかを把握する。

### ③経時的変化の個別分析

②で明らかになった全体像を補強するため、頻出名詞の調査年ごとの特徴比較、及び、トピックの内容の詳細分析を行う。

頻出名詞の調査年ごとの特徴比較においては、特定調査年にのみ高い頻度で用いられている名詞を特定し、各調査年の特徴を把握する。具体的には、まず、調査年ごとに出現頻度上位100位以内の名詞を抽出し、その中で特定調査年における出現頻度が全調査年計の総出現頻度の20%超である名詞を特定する。ただし、調査規模(=トピック総数)の影響を排するため、トピック総数に応じて重み付けした出現頻度をデータとして用いる。

トピックの内容の詳細分析においては、①でトピック数の変化を見た上位語の中から4語を取り上げ、当該上位語を含むトピックの中で他にどのような名詞が用いられたかを手がかりに内容の詳細を把握する。

## (2)トピックの実現状況分析

1971年調査から1992年調査までのデルファイ調査において設定されたトピック(計4320課

題)の実際の実現状況について、トピックの属性の観点から分析する。

デルファイ調査は向こう30年間の科学技術の発展を展望する調査であるため、実現のためには中長期的な取り組みを必要とするトピックが多く取り上げられている。実現状況の評価は、過半のトピックの実現が予測された時期を経過した後に行うことが適当と考えられるため、調査実施から20年以上を経過した後に評価を行っている。1971年調査のトピックスの評価が1992年調査の実施中に行われたのを皮切りに、以降の調査において、その時点で20年以上を経過した調査年のトピックの評価が継続して行われている。

評価は、1992年調査以降のデルファイ調査時に設けられた分科会の合議により決定されている。実施から20年以上が経過した調査のトピックはその内容に応じて関連する分科会に割り振られ、各分科会において専門的見地から評価が行われる。2010年調査時には、設置されていた12の分科会において、1971年調査から1992年調査までのトピックの実現状況評価が行われた。評価内容は、評価時点における当該トピックの実現の有無及びその理由である。ただし、当時のアンケートにおいて専門家により予測された実現時期と実際の実現時期との整合性までは考慮せず、単に評価時点において実現しているか否かのみを判断する。具体的な評価項目は、以下の通りである。

<実現有無>

完全実現: 記述された通りに実現している

一部実現: 記述内容の一部が実現している、記述と類似する形で実現している、記述が曖昧であり記述通りの実現か否かの判断が難しい、等。

未実現: 実現していない

<完全実現の理由> シーズ主導、ニーズ主導

<未実現の理由> 技術的問題、社会的問題、コスト問題、代替技術出現、ニーズ小

まず、以下に示すように調査実施から約20年を経過した時点での各調査年のトピックの実現状況評価を見る。次いで、トピックの属性、すなわち、研究開発段階、実現時期の予測(実現予測時期の回答及び回答分布)、重要度、実現していない理由、分野の観点から経時的変化を考察する。

1971年調査のトピック: 1992年調査時に設置された16分科会による実現状況評価

1977年調査のトピック: 1997年調査時に設置された14分科会による実現状況評価

1982年調査のトピック: 2001年調査時に設置された16分科会による実現状況評価

1987年調査のトピック: 2005年調査時に設置された13分科会による実現状況評価

1992年調査のトピック: 2010年調査時に設置された12分科会による実現状況評価

参考) 経時的変化の全体像の把握について

上位語と調査年の関係性を把握するため、コレスポンデンス分析を行った。コレスポンデンス分析とは、二つの要素(クロス表の行要素と列要素)をそれぞれ多次元に分布するデータと捉え、これを低い次元(通常二次元)で近似させて重ね合わせ、要素間の類似性をマッピングする方法である。行要素と列要素を対応させるという意味で、対応分析とも言う。

この分布図では、類似するもの、関係の近いもの同士は近い位置に、異なるもの、関係の遠いもの同士は離れて配置される。また、共通的なものは図の中心近くに、特異的なものは図の周辺に配置される。

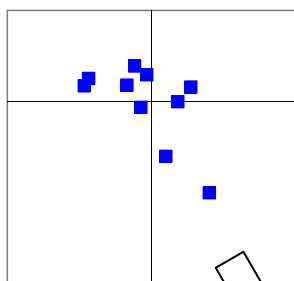
分析の基とする基礎情報は、上位語[行]と調査年[列]から成る出現頻度のクロス表である。各セルには、当該上位語が当該調査年において用いられた頻度が入力されている。

分析のため、行和並びに列和を用いて基礎情報を比率データに加工する。次いで、そのデータを用いて、行要素と列要素の相関が最も高く、データの散らばりを最も良く表す2軸を設定し、行要素・列要素のそれぞれについて各軸のスコアを算出する。求めたスコアを用いて、分布図を作成する。

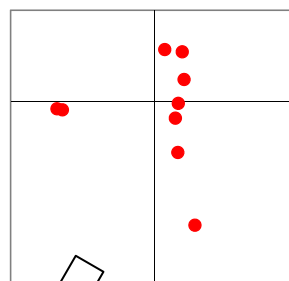
基礎情報(出現頻度のクロス表)

		列(調査年)				計(行和)
		1971年	1977年	...	2010年	
行(上位語)	上位語1					
	上位語2					
	...					
	上位語100					
	計(列和)					

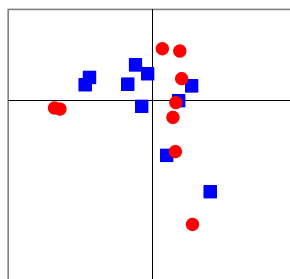
行要素の  
二次元図



列要素の  
二次元図



行要素(上位語)と列要素(調査年)  
の重ね合わせ



### 3. トピックの内容分析の結果

#### 3. 1. 40年間を通じて頻出する名詞

ここでは、40年間を通じて専門家が関心を持った注目点を把握するため、その間に頻繁に取り上げられてきた名詞を抽出する。具体的には、計9回分の全トピックを対象として、その記述から約6700の名詞を切り出し、当該名詞を含むトピック数の合計が多い、すなわち総出現頻度が高い名詞を抽出した。

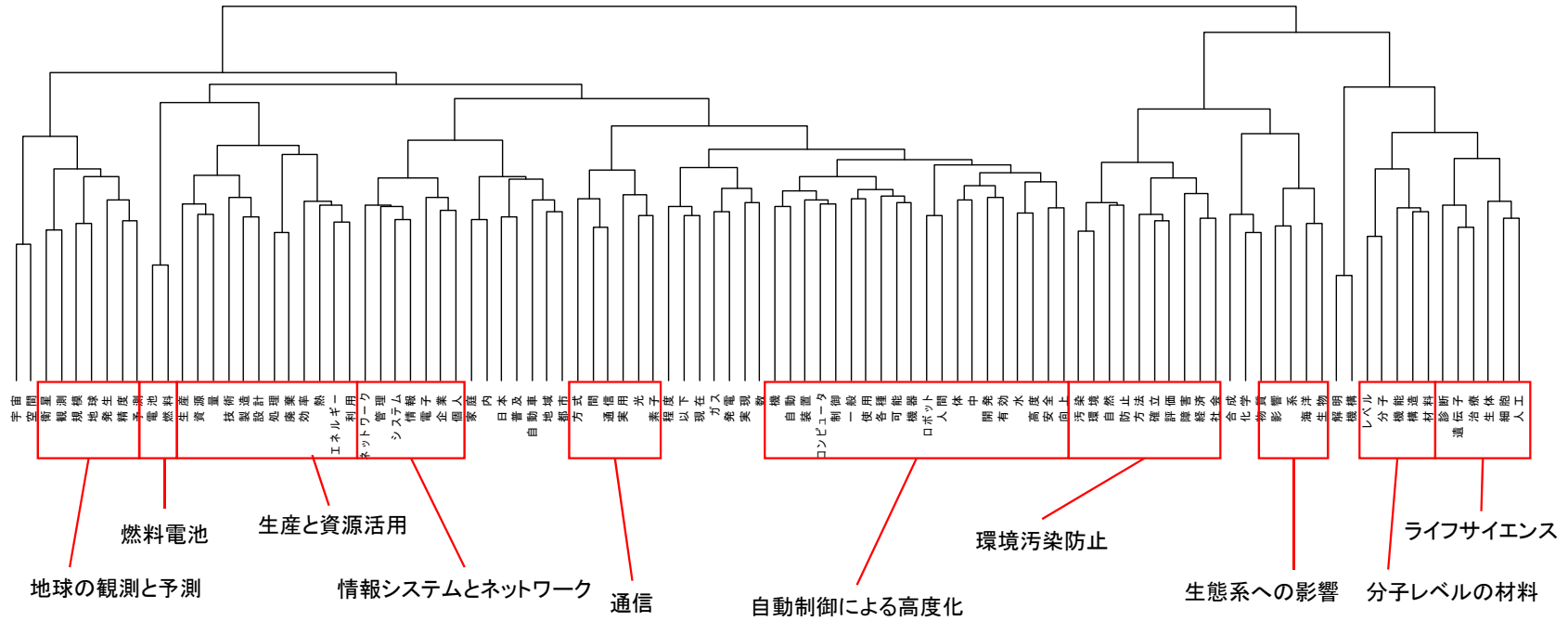
総出現頻度上位100位以内の語(上位語)を図表 3 に示す。特に上位に来ている語には科学技術領域を特定しない一般的な名詞が多い。科学技術との関連を想像させる上位語としては、「情報」、「通信」、「コンピュータ」、「ネットワーク」などの情報通信関連の語、「エネルギー」、「発電」、「資源」、「水」などの資源関連の語、「環境」、「汚染」、「自然」などの環境関連の語、「宇宙」、「衛星」などの宇宙関連の語、「細胞」、「治療」、「生物」、「遺伝子」などの医療・ライフサイエンス関連の語、「材料」、「生産」などが見られる。また、科学技術の用途の側面からは、「システム」、「自動」、「管理」、「安全」などが見られる。ただし、これらの語の出現頻度は、各調査年における分科会設定という調査設計の影響を多少受けていると考えられる。

図表 3 総出現頻度上位100位以内の語(上位語)

順位	上位語
1～10位:	技術、開発、実用、システム、普及、利用、可能、解明、環境、機能
11～20位:	情報、確立、材料、人工、実現、程度、制御、生産、エネルギー、自動
21～30位:	装置、物質、構造、管理、治療、通信、資源、衛星、安全、使用
31～40位:	製造、生物、機構、都市、コンピュータ、系、日本、効率、処理、人間
41～50位:	細胞、水、予測、家庭、ロボット、中、宇宙、方法、現在、規模
51～60位:	地域、地球、発生、発電、遺伝子、化学、観測、自動車、一般、分子
61～70位:	設計、廃棄、ネットワーク、社会、評価、量、光、間、数、機
71～80位:	レベル、向上、生体、汚染、海洋、企業、内、精度、ガス、各種
81～90位:	高度、素子、体、電池、燃料、空間、防止、以下、経済、自然
91～100位:	合成、影響、機器、電子、熱、診断、方式、障害、個人、有効

上位語について、9回分の全トピックへの出現頻度データを基にグループ分けを行ったところ、図表 4 に示すように10のグループが形成された。含まれる上位語を参考にして名称を付すと、地球の観測と予測、燃料電池、生産と資源活用、情報システムとネットワーク、通信、自動制御による高度化、環境汚染防止、生態系への影響、分子レベル材料、ライフサイエンス、の10グループとなる。これらは、我が国の専門家が継続的に注目してきた科学技術と見なすことができる。

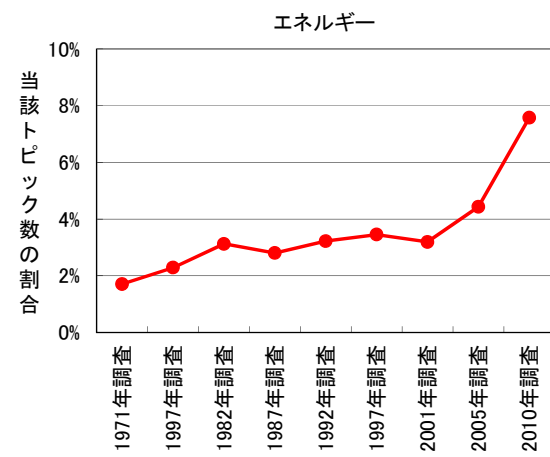
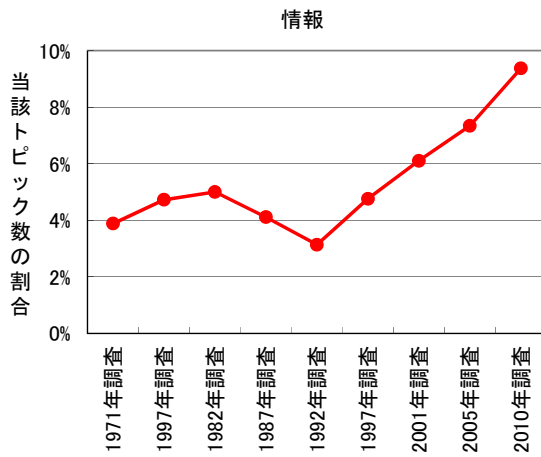
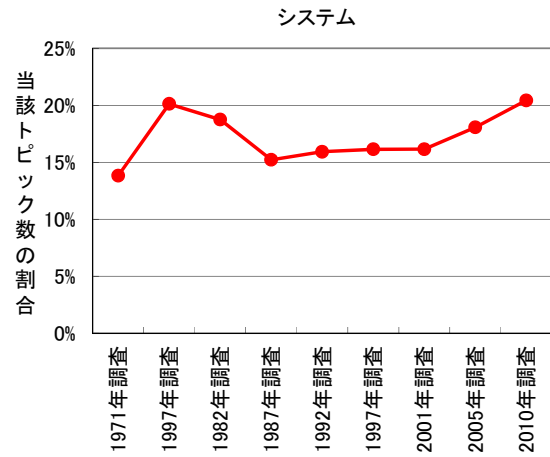
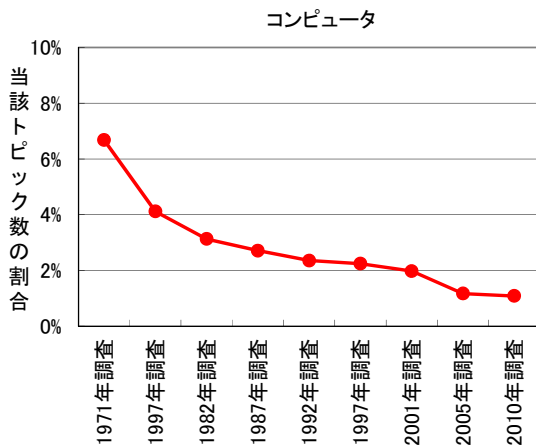
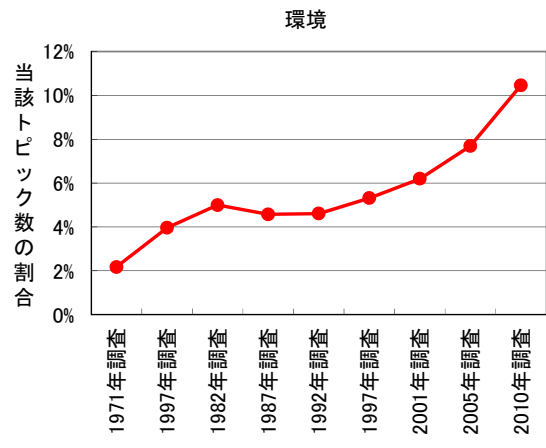
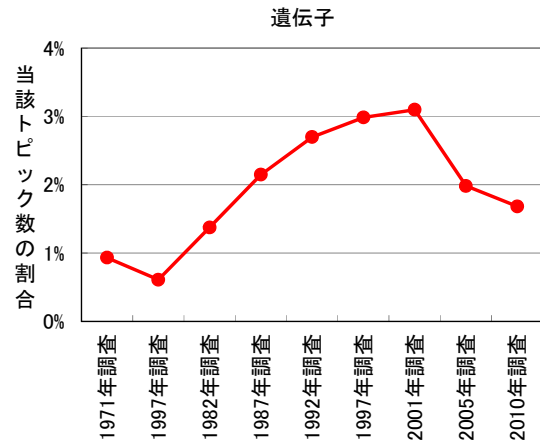
図表 4 総出現頻度上位100以内の語(上位語)のグループ分け



総出現頻度上位100位以内の語(上位語)について、各トピックに出現する回数をカウントした。この上位語の出現状況データをもとに、上位語間の相関係数、相関距離を算出し、ward法によりクラスター分析を行った。



図表 5 上位語を含むトピック数の推移の例



継続的に注目されてきたこれらのグループについて、各グループから1～3個の上位語を選び、それぞれを含むトピックの数(調査年によりトピック総数が異なるため、トピック総数に対する割合で示す)の増減を見ると、増加、減少、一定などいくつかのパタンが見られる(図表 5、資料 2)

増加型に該当するのは、「エネルギー」、「環境」、「観測」、「予測」、「情報」、「燃料」、「電池」と、生産と資源活用、地球の観測と予測、情報システムとネットワーク、及び、燃料電池グループに属する上位語であり、特に「エネルギー」及び「環境」は、2010年調査においてトピック数の割合が急増している。「情報」は1990年代後半からの伸びが著しい増加型だが、「コンピュータ」は一貫して減少型である。コンピュータが社会の様々な場面で広く用いることが当然となり、「コンピュータ」の語を明示する時代は終わったということであろう。「細胞」、「生体」といったライフサイエンスグループの上位語、「ロボット」及び「分子」は、増加の後に一定に移行している。「遺伝子」及び「光」は、増加の後に減少する山型となっている。「海洋」及び「廃棄」は、増減を繰り返している。「制御」及び「システム」は、トピック数割合の変動がなく一定に推移している。

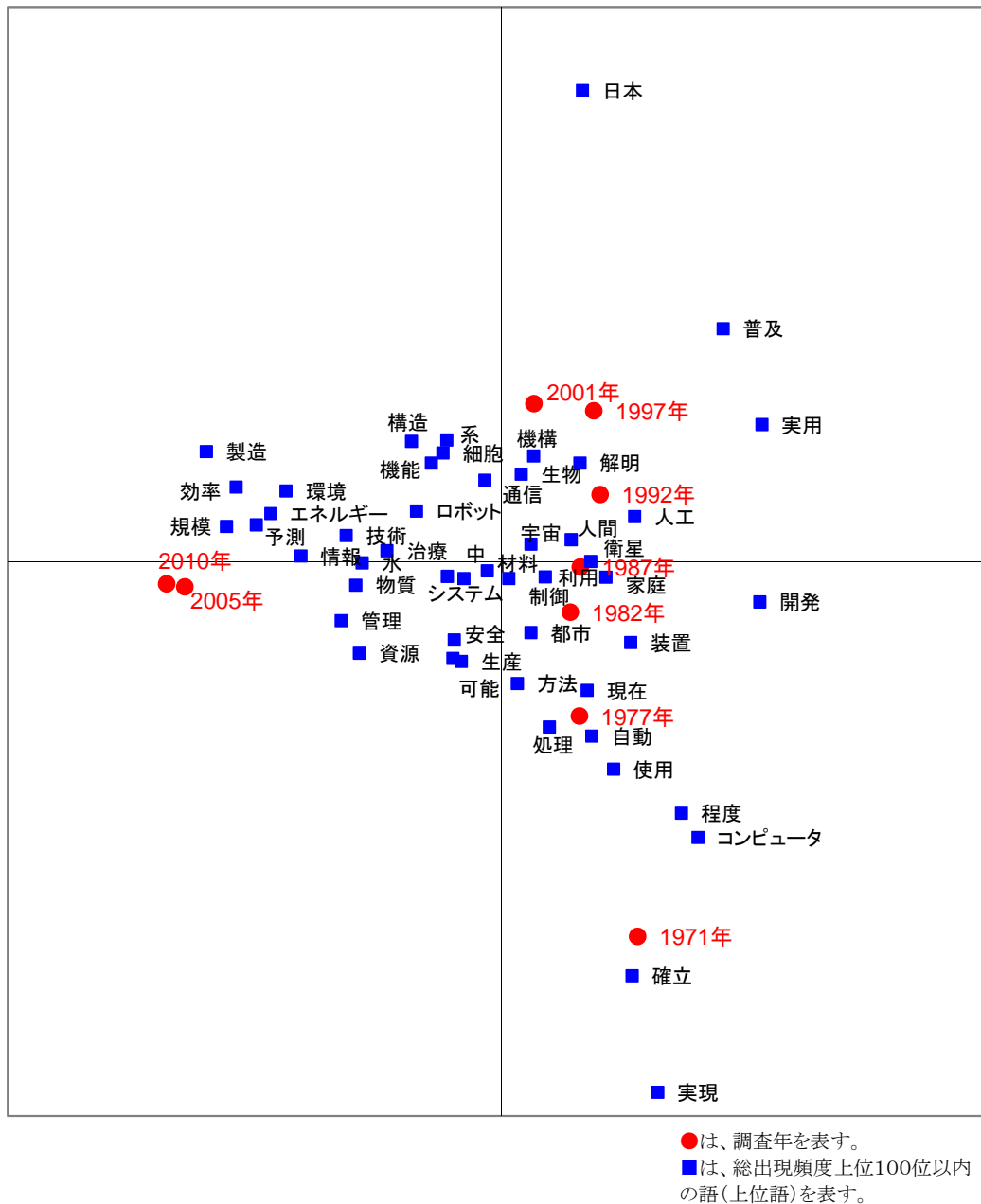
### 3. 2. 注目点の全体像

上位語の各調査年における出現頻度のデータを基に求めた、上位語と調査年の関係性を図表 6 に示す。ここでは、出現頻度から見て類似するもの、関係の近いもの同士は近い位置に、異なるもの、関係の遠いもの同士は離れて配置されている。また、共通的なものは図の中心近くに、特異なものは図の周辺に配置されている。この図から、各調査年の特徴を表す上位語は何か、また、特徴的な上位語が類似する、すなわち専門家の注目点が類似する調査年は何かを把握する。

まず、各調査年の近傍に位置する特徴的な上位語を見る。「1971年」(1971年調査のこと。以下同様。)及び「1977年」の近傍には、「コンピュータ」、「自動」、「処理」などの上位語が見られ、1970年代はコンピュータ利用による自動化が注目点だったことが窺える。「1982年」、「1987年」「1992年」は概ね中心付近に位置しており、「衛星」、「海洋」、「都市」、「人工」、「人間」、「診断」などの上位語が近傍に見られる。「1997年」及び「2001年」については、「光」、「電子」、「通信」、「遺伝子」、「生物」などの上位語が近傍に位置している。1980～2000年前半は、ライフサイエンスや情報通信を中心とした発展の様子が窺える。「2005年」及び「2010年」の近傍には、「企業」、「社会」、「経済」、「地域」など社会的視点を含む上位語が位置しており、科学技術に関連した上位語としては、「環境」、「エネルギー」、「情報」などが近傍に見られる。全調査年を通じて共通する上位語は、中心近くに位置する「宇宙」、「材料」、「制御」、「発電」、「汚染」などである。なお、図の右側及び下側にある「解明」「開発」「実用」「普及」は、2001年調査までの調査において、研究開発段階を特定するために付与した定型語であり、これらの出現頻度が高いことについて意味はない。

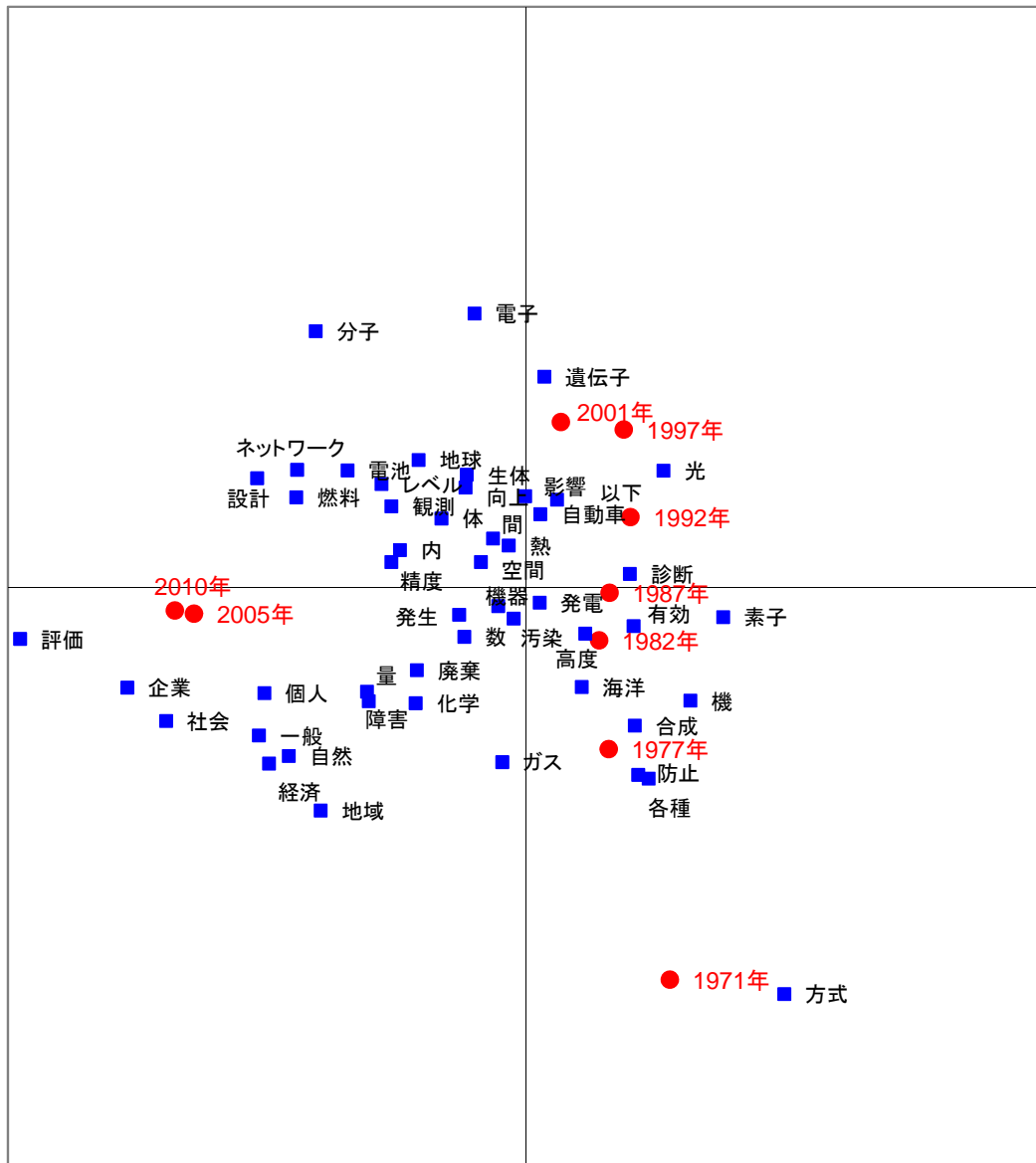
図表 6 総出現頻度上位100位以内の語(上位語)と調査年の関係図

a. 総出現頻度1～50位の上位語と調査年の関係図

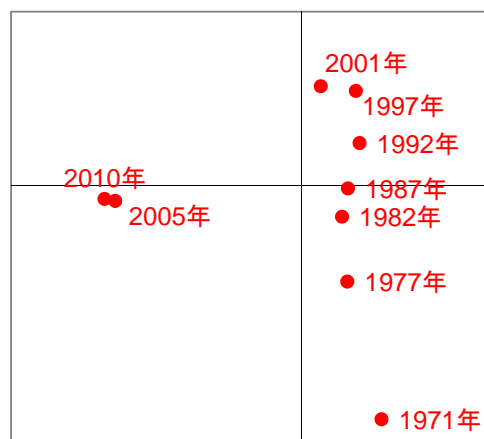


各調査年における出現頻度を合計した総出現頻度が上位100位以内の語(上位語)を分析対象とした。上位語の調査年別出現頻度データを用いてコレスポネンス分析を行い、上位語と調査年の関係性を表す図を作成した(ここでは、見えやすさを考慮して二つの図に分割して示した。元図は、資料3参照。)。図では、関係の近いもの同士は近くに、関係の遠いもの同士は慣れて配置される。

b. 総出現頻度51～100位の上位語と調査年の関係図



c. 各調査年の配置図



特に、「2005年」及び「2010年」が、図の左側、社会的要素を示す上位語の近傍に位置していることは、2000年代後半以降、研究開発の方向性に関する専門家の考え方に変化が生じ始めたことを表していると推測される。研究開発の将来方向性を考える視点として、2000年代後半以降、社会的要素をより意識するようになったということである。各調査年の分布を見ると、「1971年」、「2005年」、及び「2010年」が中心から離れた位置に配置されており、他の調査年と異なる特徴を持つことがわかる。1970年代にやや変化があり、1980年代から2000年頃までは変化が小さく、しかもその変化は緩やかな一定方向のもので、2000年代に入ってから急速に全く異なる方向への変化が起こった、と読み取ることができる。1980年代及び1990年代は、ある方向性の下で、科学技術の領域や知識が拡大し、専門性が深化した時代なのかもしれない。一方、2000年代後半以降は、それまでと視点が異なり、社会との関係性がより重視される方向に向かったと言える。しかし、その変化は、「社会開発」といった分科会設定にも見られるように、社会実装を想定してトピック設定がなされた1970年代前半への回帰ではない。

これらより、効率や利便性向上のための科学技術の時代(1970年代)、可能性を拡大させた科学技術の時代(1980年代～2000年代前半)、社会との関係性を強める科学技術の時代(2000年代後半以降)と将来方向性を総括することができる。

なお、トピック設定は、その時々調査の基本方針や設計思想に沿ってなされるものである。ここで見られた変化は調査設計側の意図として折り込み済みの部分もあり、専門家の意識の自然な変化とは言い切れない。しかし、調査の基本方針は、科学技術に対する社会からの要請を反映して設定されたものであり、社会からの要請を受けて専門家が視点を変え始めたと言うことはできる。

### 3. 3. 注目点の個別事例

#### 3. 3. 1. 各調査年における注目点

ここでは、ある調査年にのみ多く用いられた名詞を調査年に特徴的な注目点と位置づけて考察する。各調査年において出現頻度上位100位以内の語(資料4参照)であって、当該調査年における出現頻度が総出現頻度(出現頻度の全調査年合計)の20%を超える語を各調査年に特徴的な語として抽出した(図表7)。

1971年調査には、「コンピュータ」、「工場」、「プラント」、「大量」など、大量生産を連想させる語が並び、飛躍的な経済成長を経てさらに成長を持続させようという時代の意思を感じさせる。1987年調査から1992年調査にかけては、「知能」、「生理」といった、人間あるいは生物の機能の理解と応用を連想させる語が見られる。各調査年のトピック総数に応じた調整を行わない場合、1987年調査及び1992年調査において、「心理」、「行動」、「脳」、「学習」といった名詞が挙がる。また、1992年調査から2001年調査にかけては、「超電導」、「半導体」、「マルチメディア」、「インターネット」などの情報通信関連の語、「タンパク質」や「免疫」などのライフサイエンス関連の語が見られる。

図表 7 各調査において特徴的な語

調査	特徴的な語(重み付けなしの場合と共通の語は太字)	<参考>トピック総数に応じた重み付けなしの場合に抽出された語
1971年調査	確立、程度、 <b>コンピュータ</b> 、使用、完全、方式、教育、 <b>工場</b> 、重複、 進歩、無人、 <b>薬剤</b> 、テレビ、主要、電話、原子力、 <b>栽培</b> 、 <b>繊維</b> 、 <b>プラ</b> <b>ント</b> 、検索、出現、大量	—
1977年調査	確立、方式、汚染、手法、防止、 <b>大都市</b> 、作業、 <b>全国</b> 、条件、施設、 迅速、交換、主要、 <b>訓練</b> 、 <b>網</b>	人口、コンビナート、集中、回復、体系、有害
1982年調査	<b>住宅</b> 、 <b>無人</b> 、 <b>石炭</b> 、 <b>整備</b>	プラント、改良、石油、防災
1987年調査	<b>応用</b> 、 <b>科学</b> 、 <b>知能</b> 、 <b>生理</b>	セラミックス、心理、膜、維持、工学、防災、論理、回路、走行、表面、住宅、 耐、質、海底、連続、複合、電話、行動、保存、エンジン
1992年調査	応用、 <b>知能</b> 、 <b>建設</b> 、 <b>二酸化炭素</b>	領域、心理、耐熱、船、連続、生理、速度、画像、集積、予報、回路、変動、 採取、高温、識別、超電導、実験、自由、学習、小型、脳、セラミックス
1997年調査	<b>日本</b>	マルチメディア、搭載、バーチャル、素材、セキュリティ、修復、タンパク質、 走行、二酸化炭素、半導体、LSI、動物、分子、神経、ネットワーク、超電 導、地球、光、画像、自己、移動、回路
2001年調査	普及、 <b>日本</b> 、 <b>企業</b> 、 <b>電子</b> 、 <b>プロセス</b> 、 <b>支援</b>	インターネット、リサイクル、LSI、バーチャル、携帯、公共、理解、マシン、メ タン、商品、リアルタイム、保守、二酸化炭素、遠隔、動物、消費、サービ ス、端末、タンパク質、免疫、搭載、固定、家畜、製造、分解、臓器
2005年調査	<b>一般</b> 、 <b>評価</b> 、 <b>企業</b> 、 <b>ナノ</b> 、 <b>活動</b> 、 <b>活用</b> 、 <b>対応</b> 、 <b>我が国</b> 、 <b>形成</b> 、 <b>サービ</b> <b>ス</b> 、 <b>リスク</b> 、 <b>支援</b> 、 <b>分析</b> 、 <b>再生</b>	上場、感染、スケール、チップ、排出、薬、多様、デバイス、LSI、症、問題、 消費、促進、相互、提供、循環、特定、構築、免疫、精度、全体、病、知識
2010年調査	環境、 <b>エネルギー</b> 、 <b>資源</b> 、 <b>効率</b> 、 <b>製造</b> 、 <b>評価</b> 、 <b>地域</b> 、 <b>規模</b> 、 <b>社会</b> 、 <b>活用</b> 、 <b>経済</b> 、 <b>設計</b> 、 <b>自然</b> 、 <b>ナノ</b> 、 <b>支援</b> 、 <b>生活</b> 、 <b>リスク</b> 、 <b>燃料</b> 、 <b>活動</b> 、 <b>人</b> 、 <b>電池</b> 、 <b>サービス</b> 、 <b>循環</b> 、 <b>製品</b> 、 <b>制度</b> 、 <b>シミュレーション</b> 、 <b>我が国</b> 、 <b>組織</b> 、 <b>対応</b> 、 <b>CO2</b> 、 <b>バイオ</b> 、 <b>構築</b> 、 <b>高齢</b> 、 <b>疾患</b> 、 <b>インフラ</b> 、 <b>コスト</b> 、 <b>効</b> <b>果</b> 、 <b>災害</b> 、 <b>電力</b>	農村、マネジメント、将来、国、価値、論、デバイス、負荷、量子、スケール、 感染、低減、自律、多様、問題、日常、統合、マス、排出、寿命、地、単位、 融合、最適、伝達、対応、再生、症、遠隔、モニタリング、計測、消費、分 離、データベース、提供、解析、移動、脳、マイクロ

2005年調査では、「企業」、「サービス」、「リスク」など、科学技術と社会との関係に関連する語が見られるようになる。2010年調査では、「社会」、「生活」など科学技術と社会に関連する語がさらに増加し、また、「エネルギー」、「電力」などエネルギー関連の語が頻出するようになる。

2010年調査は、特徴的な語の数が最も多い。この時の調査では、既存分野の壁を排するような調査設計が行われ、また分科会間の視点の重複を可としたため、専門家集団の共通の注目点がより顕著に表れたものと考えられる。また、社会との関わりの観点から分野によらず取り組みの不足が懸念される事項（「効率」、「評価」、「制度」など）や社会的に問題となる視点（「地域」、「高齢」など）を表す語が見られる。科学技術発展の方向性に関する重要な視点は、過去40年間の中で最も大きく質的变化を起こしつつあると言える。また、こうした語が頻繁に用いられるようになったことは、課題解決や目標からのバックキャストという方向性と合致している。

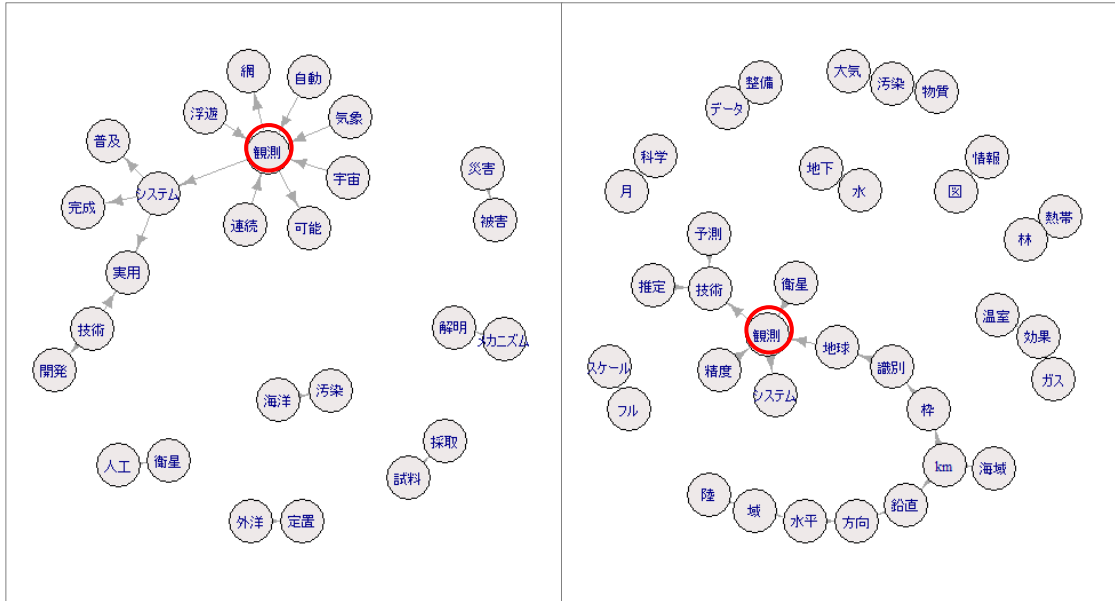
### 3. 3. 2. 特徴的な研究領域の内容変化

3. 1節において、各上位語を含むトピック数の割合を調査年ごとに見ると、いくつかのパターンが見られることを述べた。ここでは、これらの上位語の中から、増加傾向を示す「観測」、減少傾向を示す「コンピュータ」、増加から一定に移行した「細胞」、増減を繰り返す「廃棄」の4語を取り上げ、当該上位語に関連する研究領域の詳細内容の経時的変化を見る。内容の変化を把握する手がかりとして、トピック記述の中で当該上位語に隣接している他の名詞を取り上げる。隣接する名詞同士は、専門用語として複合語を形成するなど、当該上位語に関連する研究領域の内容を限定している場が多いためである。（各調査年の関係図については、資料5参照）

#### ○「観測」

出現頻度が急増した1982年調査から1992年調査にかけて、及び、再度増加した2010年調査において隣接する語の種類に増加が見られる。隣接する語以外の名詞も含めて内容を見ると、「気象観測」（気象＋観測）から、「メカニズム解明」（メカニズム＋解明）、「災害」や「海洋汚染」（海洋＋汚染）など用途の拡大、また、近年では「温室効果ガス」（温室＋効果＋ガス）など地球規模の環境問題への対応まで拡大を続けていることがわかる。観測網を構築して自動的にデータを取得するに留まらず、それらのデータを整備し予測に生かすなど、全体を総合的に捉え、成果を社会に生かす視点が加わっている。

図表 8-1 トピック内で用いられた名詞の関係図（「観測」を含むトピックの例）

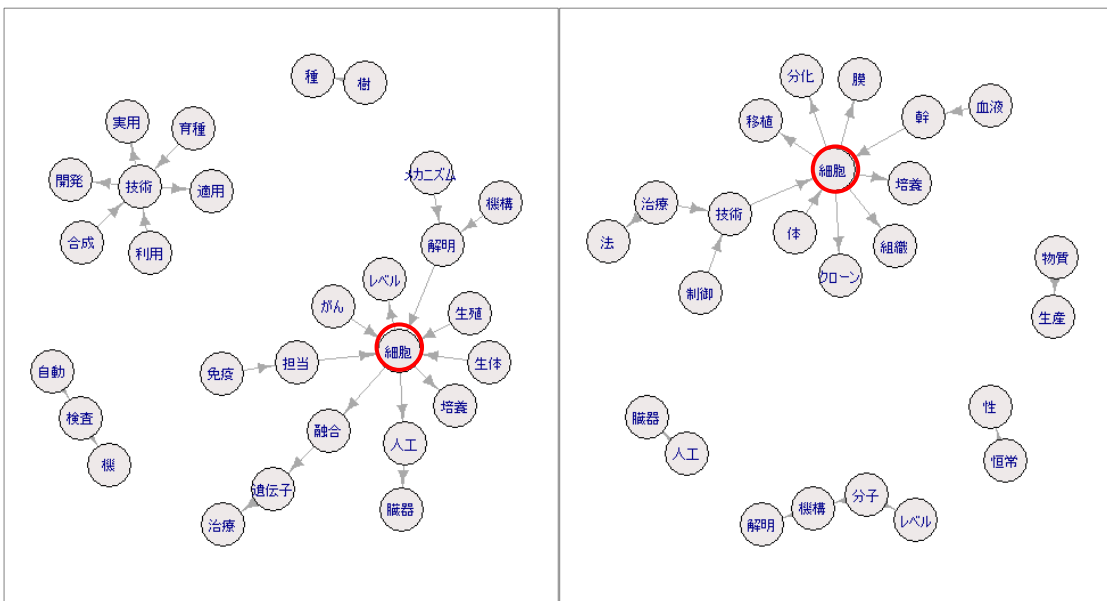


\* 隣接する頻度が2以上の名詞について、語の並び順に矢印を付した(以降の 8-2~8-4 も同じ)。

○「細胞」

細胞は、「機序解明」(機+序+解明)や「がん細胞」(がん+細胞)に始まり、2010年調査まで継続的に取り上げられている。ライフサイエンス分野の発展状況を反映し、取り上げられる内容は、「細胞培養」(細胞+培養)、「細胞融合」(細胞+融合)、「人工細胞」(人工+細胞)、「幹細胞」(幹+細胞)、「細胞分化」(細胞+分化)、「クローン」、「細胞移植」(細胞+移植)、「iPS 細胞」(iPS+細胞)と変化している。

図表 8-2 トピック内で用いられた名詞の関係図（「細胞」を含むトピックの例）

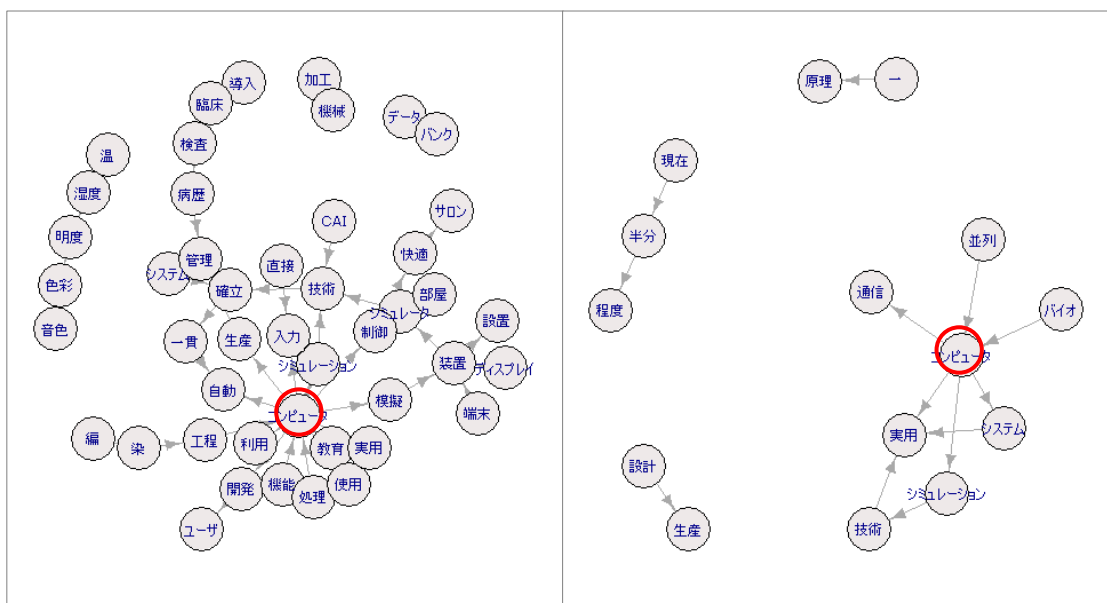




○「コンピュータ」

トピック数が減少した代表的な上位語である。トピック数減にしたがい、隣接して用いられる語の種類も減少する。1971年調査、1977年調査では、用途を表す語として「自動」、「模擬」、「シミュレーション」、「省力」、「制御」などが、場面を表す語として「生産」、「教育」、「医療」、「交通」、「都市」など、様々な語が共に用いられた。その後、「オフィス」、「在宅勤務」、「家庭」、「オンライン」など、事務部門や社会への浸透に関わる語が用いられた。続いて、「バイオコンピュータ」(バイオ+コンピュータ)、「並列コンピュータ」(並列+コンピュータ)など、高度化や新概念といった特定目的への進展、2010年調査では「コンピュータ柔軟結合」(コンピュータ+柔軟+結合)が挙げられた。特定場面での利用、利用場面の拡大、高度化、ネットワーク構築と、場面設定を交代しながら進展する様子が窺える。

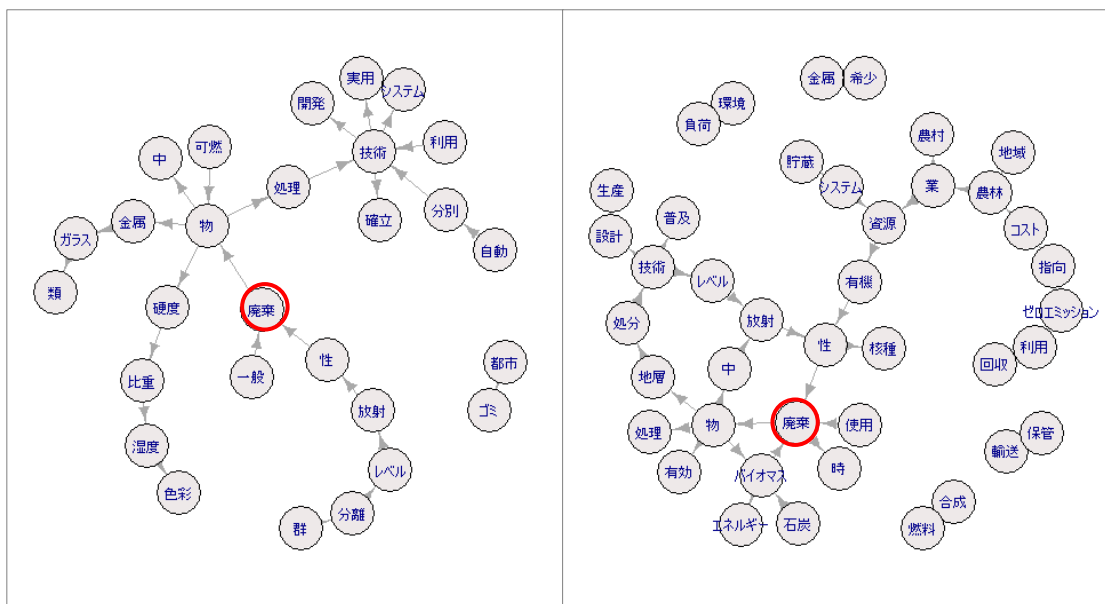
図表 8-3 トピック内で用いられた名詞の関係図（「コンピュータ」を含むトピックの例）



○「廃棄」

1971年調査から2005年調査まで、トピック数は減少後一定であったが、2010年調査において大幅に増加した。「放射性廃棄物」(放射+性+廃棄+物)は一貫して取り上げられており、調査年によって「一般廃棄物」(一般+廃棄+物)や「産業廃棄物」(産業+廃棄+物)が加わっている。「廃棄」と隣接して用いられてはいないが、1980年代までは、「都市ゴミ」(都市+ゴミ)などの語が見られ、1990年代から2000年代は「放射性廃棄物」が中心となっており、2010年調査において、「バイオマス」が登場している。「分別」、「利用」など、廃棄物を資源として捉える考え方を示す語は初期の調査から見られるが、2010年調査では、「コスト」、「農村」、「地域」など、経済的合理性や地域社会に関する語が登場する。

図表 8-4 トピック内で用いられた名詞の関係図（「廃棄」を含むトピックの例）



\* 隣接する頻度が2以上の名詞について、語の並び順に矢印を付した。

### 3. 4. まとめ

デルファイ調査は、向こう30年間の科学技術発展の方向性を専門家が予測する調査として、1971年から2010年の40年にわたり計9回実施されてきた。ここで取り上げられたトピックの記述内容は、当時の専門家の関心や社会の科学技術への期待を反映していると考えられる。

計9回の調査において設定されたトピック、すなわち、科学技術やそれに関連する社会のシステム等に関する記述を分析することにより、我が国の研究開発の方向性に関する専門家の考え方は、社会からの要請を受けて2000年代後半以降それまでと大きく方向性を変化させ、社会との関係性をより重視する方向へ向かったことが窺えた。

- i. 40年間に共通する注目点として、地球の観測と予測、燃料電池、生産と資源活用、情報システムとネットワーク、通信、自動制御による高度化、環境汚染防止、生態系への影響、分子レベル材料、ライフサイエンスが挙げられる。「エネルギー」、「環境」、「観測」、「情報」の語を含むトピック数は増加傾向にあり、注目が高まっていることが窺える。(3.1 節)
- ii. 我が国の研究開発の方向性に対する専門家の考え方は、2000年代後半以降大きく変化し、社会との関係をより重視する方向に向かったと解釈できる。注目点の推移として、①コンピュータの利用による自動化(1970年代)、②情報通信技術及びライフサイエンスを中心とした発展(1980年代～2000年頃)、③社会的視点の重視、並びに、環境、エネルギー、情報への関心の高まり(2000年代前半以降)、という流れが見える。(3.2 節)
- iii. 各調査年のみ頻出する語から、iiで見られた特徴を確認することができる。各調査年の特

徴として、大量生産(1970年代)、生物の機能理解と応用(1980～1990年頃)、情報通信とライフサイエンス(1990～2000年前半)、社会的問題とエネルギー(2000年代後半以降)に関連する語が特定された。事例として、特徴的な研究領域に関するトピックの内容を見ると、研究開発の進展に沿った注目点の変化や社会的観点の導入が見られる。(3.3 節)

## 4. トピックの実現状況分析の結果

ここでは、当時の専門家の想定とは異なる状況変化が生じたかどうかの可能性を表すものとして、トピックに関する専門家の将来見通しと実際の実現状況とのずれに着目し、トピック属性の観点から考察する。トピックの属性として、トピックの研究開発段階、トピックの実現時期に関する専門家の予測回答及びその回答分布幅、トピックの重要度評価、トピックが実現していない理由、トピックの属する分野を取り上げる。当時のアンケート結果(実現予測時期及び重要度の回答)も含まれるため、トピックを設定した専門家集団だけでなく、回答者というより広い専門家集団の視点も併せて議論することになる。

2. 2節に述べたように、デルファイ調査については、調査実施から20年以上経過した調査年のトピックについて、「どの程度実現しているか」「実現していない場合、その理由は何か」という評価が継続的に行われている。これまで評価が行われたのは、1971年調査から1992年調査までのトピックである。

なお、実現状況評価の結果については、1971年調査トピックの評価を1992年調査報告書に掲載して以降、全体及び分野別の実現状況や実現していない理由の分析結果を記述した章を各調査年の報告書に設けている。また、実現が予測できなかった事例や実現が予測より早まった事例から、研究領域の特徴分析やデルファイ法による将来予測の可能性と限界についての分析も行っている。それらはいずれも全調査年に共通して見られる傾向について考察したものである。ここでは経時的変化に焦点を当てて分析を行う。

### 4. 1. 調査実施から20年後の実現状況

1971年調査から1992年調査までのトピックの実現状況について、2009年末における評価、及び調査実施から20年を経過した時点での評価の結果を図表 9 に示す。

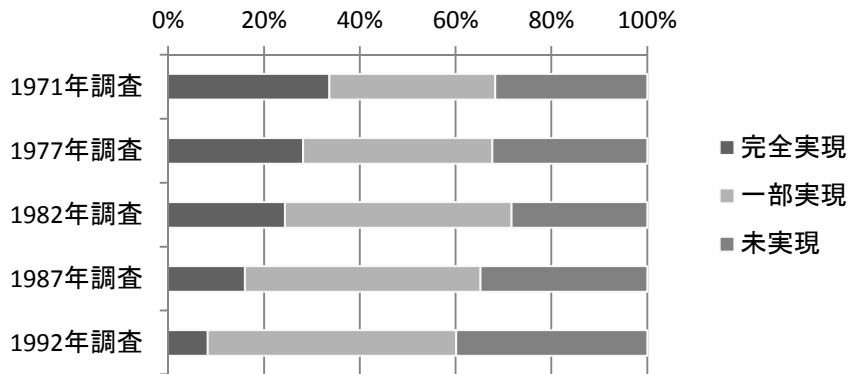
まず、2009年末における実現状況の評価を見ると、平均して全体の60%強のトピックが完全に実現(記述通りに実現)、あるいは一部実現している。調査年が古いものほど、完全に実現しているトピックの割合、及び、一部実現を含めた実現済みトピックの割合が高い(図表 9 上)。これは、調査実施からの経過年数が徐々に長くなることを考慮すると、時間経過につれ実現するトピックも増えるという当然の結果に見える。そこで、経過年数の影響をなくすため、調査実施から評価時点までの期間を約20年に揃えた時の評価(図表 9 下)を見ると、一部実現を含めた実現済みトピックの割合は60%程度と調査年による大きな差は見られないが、完全に実現しているトピックの割合は、調査年が新しくなるにつれ低下する傾向が見える。特に、1992年調査において完全実現の割合の低下が目立つ。これは、何らかの想定しなかった事態により、完全に実現することが難しくなった可能性を示している。

専門家によって予測された実現時期の分布を図表 10 に示す。分布を見ると、新しい調査年に

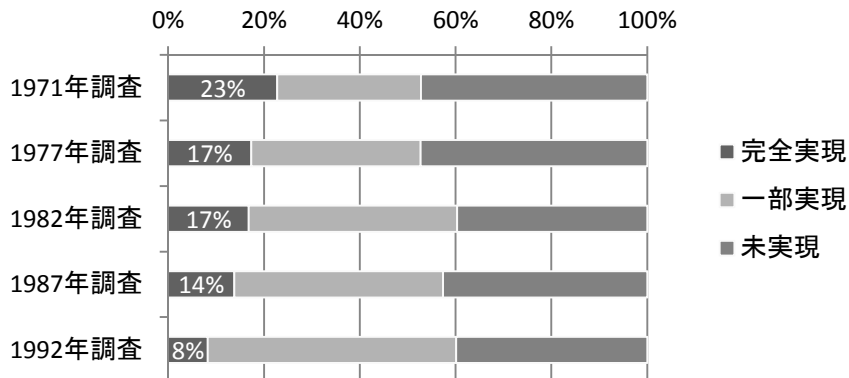
いて実現時期の予測が早めになる傾向が見られ、1987年調査及び1992年調査では、調査実施時点から20年以内に実現すると予測されたトピックが全体の9割を占める。20年後以降の遠い将来を想定してトピックを設定することが難しくなったか、あるいは、回答した多くの専門家が順調な進展を想定して早期実現を予測したためと考えられる。

図表 9 調査年別、トピックの実現状況

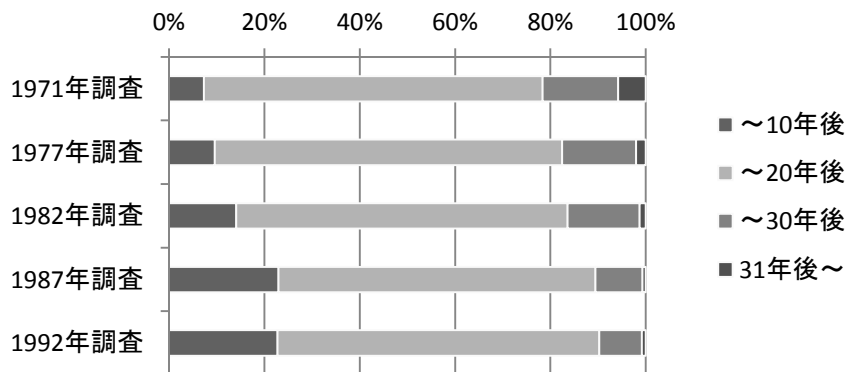
(2009年末評価における完全実現・一部実現・未実現トピック数の割合)



(調査実施から約20年後の評価における完全実現・一部実現・未実現トピック数の割合)



図表 10 調査年別、トピックの実現予測時期の構成



一般に、経済が拡大基調にある右肩上がりの時代には、漸進的な進歩、すなわち既定路線での進展が期待できる。一方、社会変化の大きな時代や経済的に不安定な時代においては、科学技術の漸進的な進歩はその時々社会に対応したものとはならず、研究開発の方向性の変化を迫られる場合があると考えられる。日本の経済成長は1985年前後に変曲点を迎え、1990年前後からは明らかに成長が鈍化したと言われている。したがって、1990年頃までは想定通り実現する確率が比較的高かったが、それ以降、既定路線からの修正や変更がなされるようになり、完全に実現を予測することが難しい状況が生じたと考えられる。特に、漸進的な進歩より破壊的イノベーションが目されるようになった2000年代以降は、漸進的な進歩を期待した1990年頃までの想定は通用しなくなった部分があるのではないかと考えられる。3章の結果によれば、1980年代から1990年頃までの間に専門家の注目点はさほど大きく変化していない。したがって、20年前とは社会的経済的状況が大きく変化した現在、今後この時代のトピックの実現する割合、特に想定通り完全に実現する割合は、大きくは増加しないことが想像される。これは現段階では仮説であるが、今後もトピックの実現状況評価が継続されれば、次第に明らかになるだろう。

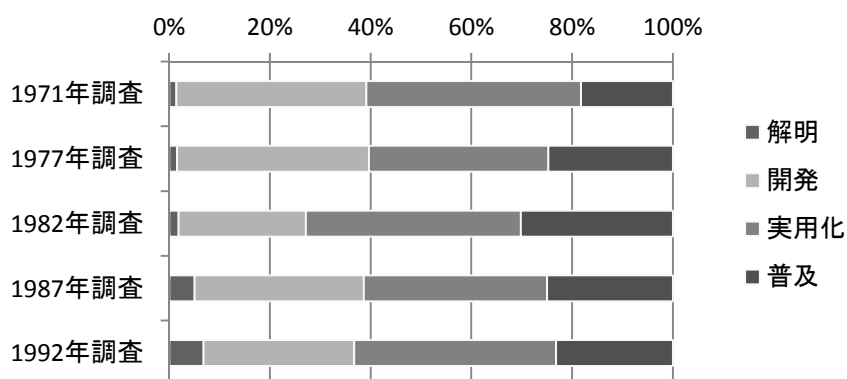
#### 4. 2. 研究開発段階と実現状況の関係

1971年調査から2001年調査までのトピックについては、回答者のイメージのぶれを減ずるため、研究開発の段階(解明、開発、実用化、普及の4段階)がほとんどのトピック文中に明示されている。そこで、1971年調査から1992年調査までのトピックを研究開発段階別に分類し、各々の構成割合及び実現状況を見た。

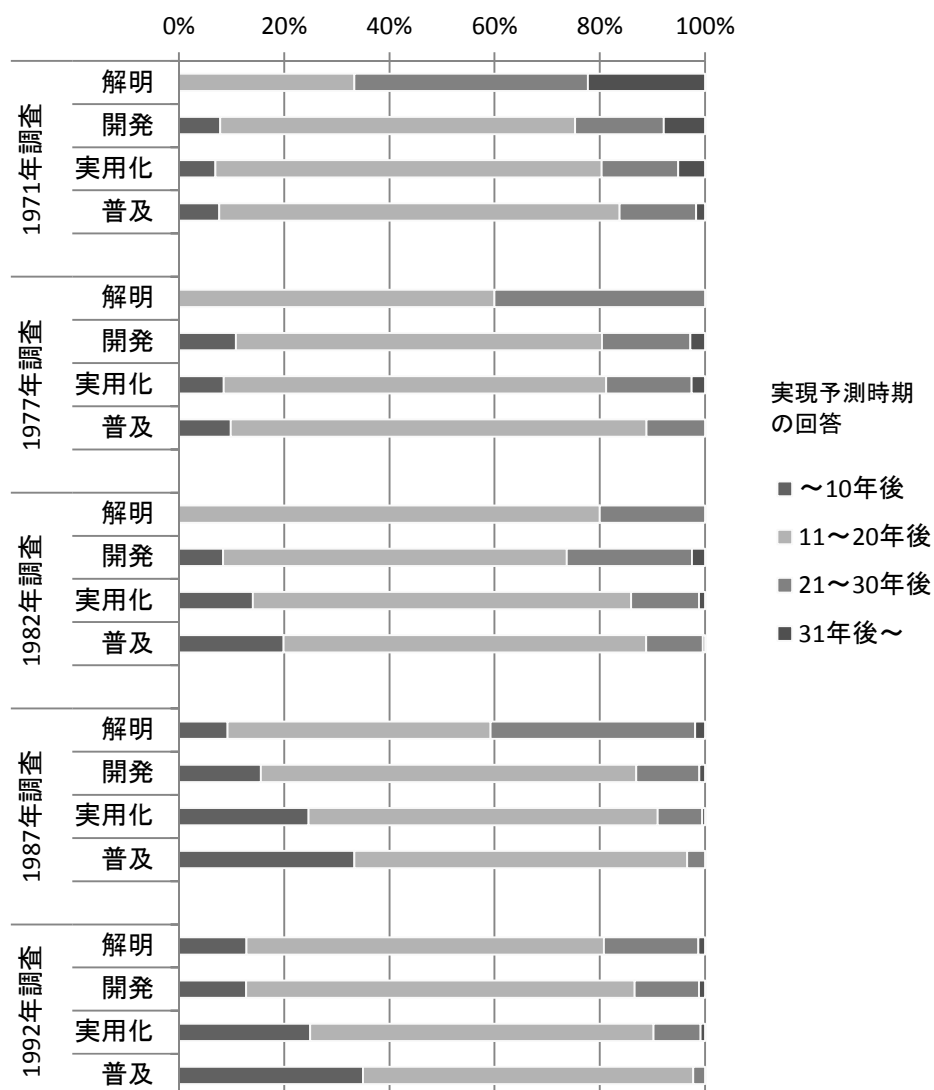
各調査年のトピックの研究開発段階別分布(図表 11)を見ると、実用化段階や普及段階といった社会への適用に関するトピックが全体の6割程度を占めており、一貫して科学技術の社会適用に重点が置かれている。一方、1971年調査ではほとんど見られなかった解明段階のトピックの占める割合が調査年を追うごとに徐々に増加し、特に1980年代後半から目立ち出す。これは、我が国における1980年代からの研究開発における基礎研究重視の方針と合致している。

当時の実現予測時期の回答を見ると、研究開発段階が進むにつれて、実現時期の予測が早くなっている(図表 12)。デルファイ調査は中間の10年間を中心として向こう30年間を展望する調査であるため、ある程度技術的見通しが立つものについては、30年間という展望期間を考慮して、社会での適用に焦点を当てたトピックとして記述することがしばしば行われた。実用化段階や普及段階のトピックは、その実現のための技術の形がある程度見えている、あるいは、技術的にはほぼ確立しているものである場合も多く、具体的にイメージされやすいため実現時期が早めに予測されたのかもしれない。

図表 11 調査年別、トピックの研究開発段階の構成



図表 12 調査年別、研究開発段階別、トピックの実現予測時期の構成

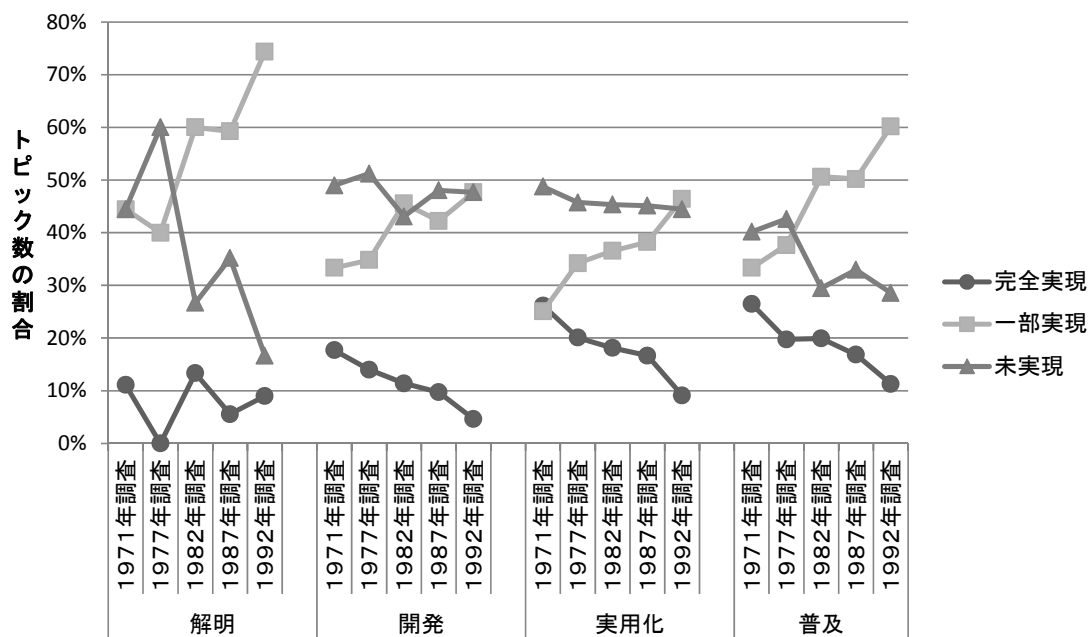


調査実施から20年後の実現状況を研究開発段階ごとに見ると、全般的には、完全実現トピックの割合が減少し、一部実現トピックの割合が増加する傾向がいずれの段階においても見られる(図表 13)。特に、1977年調査から1982年調査にかけて、並びに、1987年調査から1992年調査にかけて一部実現の大幅な増加が見られる。

解明段階のトピックは、トピック総数が少ないため断定的なことは言いにくいですが、未実現の割合が減少し、代わって一部実現の割合が増加している。特に、1997年調査から1982年調査にかけての変化が大きい。開発段階のトピックは、1997年調査から1982年調査にかけて未実現の割合が減少し、代わって一部実現が増加する傾向が見られたが、それ以外は微少な変化である。実用化段階のトピックについては、未実現トピックの占める割合の変化は微少であり、完全実現の減少分は一部実現に取って代わられている。普及段階については、未実現あるいは完全実現のトピックが減少し、代わって一部実現トピックが増加している。1997年調査から1982年調査にかけては、解明段階や開発段階と同様に、未実現トピックの割合が大きく減じ、代わって一部実現トピックの割合が増加した。1980年調査から1992年調査にかけての一部実現トピックの割合の大きな増加は、完全実現トピック及び未実現トピックの割合の減少による。

いずれの研究開発段階のトピックにおいても一部実現の割合の増加が見られ、当時の想定通りではなく、計画の修正や実現方法の変更など既定路線からの変更が行われて実現に至ったものが多くなったことなどを考えると、研究プロジェクトの中間評価などにおいて、研究の方向性を改めて問い直すことの意義は大きいと考えられる。

図表 13 研究開発段階別、調査実施20年後の各調査年トピックの実現状況

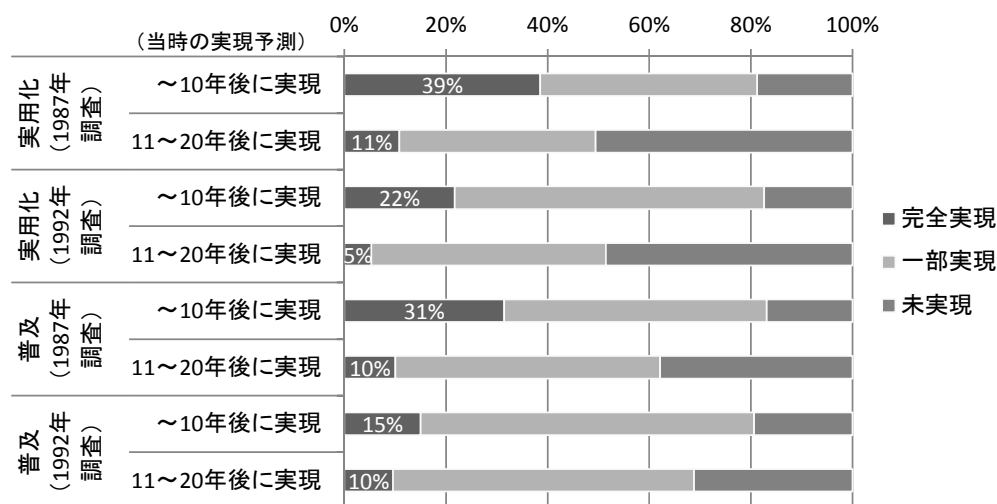




特に、1987年調査から1992年調査にかけての変化として、完全実現トピックの割合の減少と一部実現トピックの割合の増加が比較的大きい(図表 9)ことから、この間において一部実現トピックの割合の増加が大きい実用化及び普及段階を取り上げる。実現予測時期別の状況(図表 14)を見ると、実用化段階については、当時実現が予測された時期にかかわらず完全実現したトピックの割合がほぼ半減している。普及段階については、10年以内の実現が予測されたトピックの完全実現の割合が半減している一方、11～20年後の実現が予測されたトピックについては、完全実現したトピックの割合は変わらない。

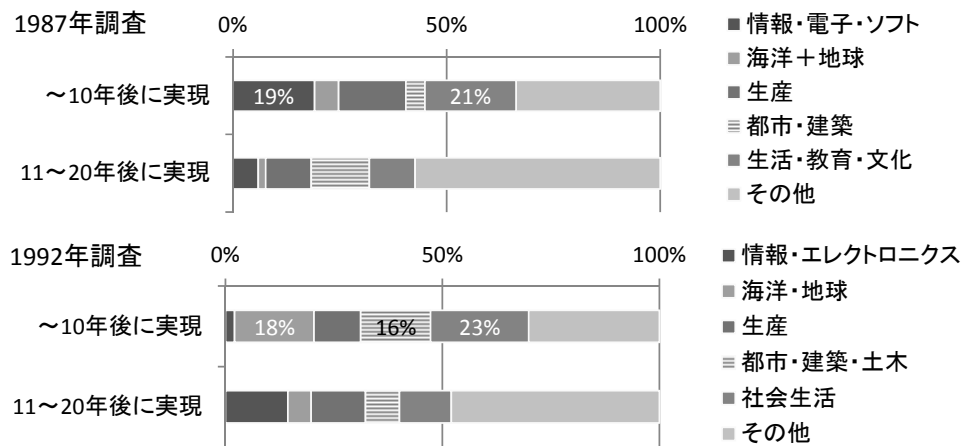
10年以内の実現が予測されたトピックには分野の偏りが見られ(図表 15)、1992年調査では、情報分野のトピック数が減少、海洋・地球分野のトピック数が増加している。また、普及段階については、都市・建築分野のトピック数も増加している。完全実現のトピックが多い情報分野を除いた場合の完全実現の割合を求めると、普及段階については、25%(1987年調査)、15%(1992年調査)であり、半減には至らないが同じく大幅減である。実用化段階について同様の割合を見ると、31%(1987年調査)、19%(1992年調査)であり、依然として差は存在する。ただし、社会の影響を受けやすい社会適用段階、特に普及について向こう10年間を見通すことが難しくなったことが、1990年代後半から2000年代前半という時期の特徴なのか、1990年代後半以降継続する傾向なのか、あるいは分野特性の反映なのか、その断定は現時点の情報では難しい。

図表 14 研究開発段階別、実現予測時期別、トピックの実現状況



\* 20年後以降の実現が予測されたトピックは、実現予測が評価時点より後であるため省略した。

図表 15 実現予測時期別、普及段階トピックの分野構成

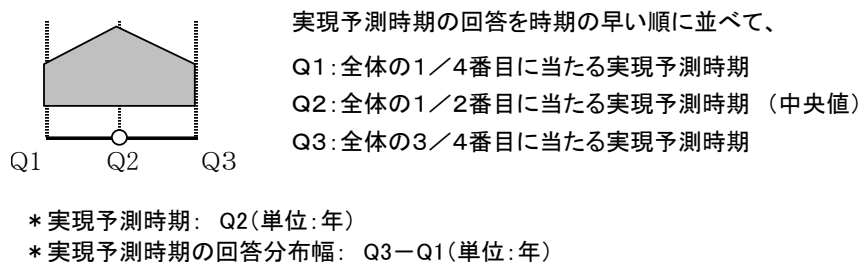


#### 4. 3. 実現予測時期の回答分布幅と実現状況の関係

デルファイ調査における設問の一つである実現予測時期については、実現予測時期の回答を早い順に並べたときの中央値に当たる回答を代表値として用い、早い方から1/4番目に当たる回答(Q1)と3/4に当たる回答(Q3)の実現予測時期の差、すなわち全回答の両端1/4ずつを切った、中央の1/2の回答の幅を実現予測時期の回答分布幅として示している。

回答分布幅が狭いトピックは専門家の見通しが比較的一致していることを表し、その実現時期の予測は信頼性が高いと判断される。

図表 16 実現予測時期の回答分布幅



調査実施時点から10年以内を実現すると予測されたトピック及び11～20年後に実現すると予測されたトピックについて、それらの回答分布幅を見る(図表 17 左)。1987年調査及び1992年調査では、双方とも回答分布幅の広いトピックの占める割合が増加している。これらの調査では、それ以前の調査に比べて10年以内の実現が予測されたトピックが増加し、20年以内を実現すると予測されたトピックが全体の9割を占めた(図表 10)。全体的に実現時期の予測が早めになっている一方で、回答分布幅(ばらつき)が大きくなっている。すなわち、早い実現を予測する楽観的な見

方の専門家が増加したが、そう考えない専門家も依然として存在し、専門家集団の見解が分かれていたことを示している。

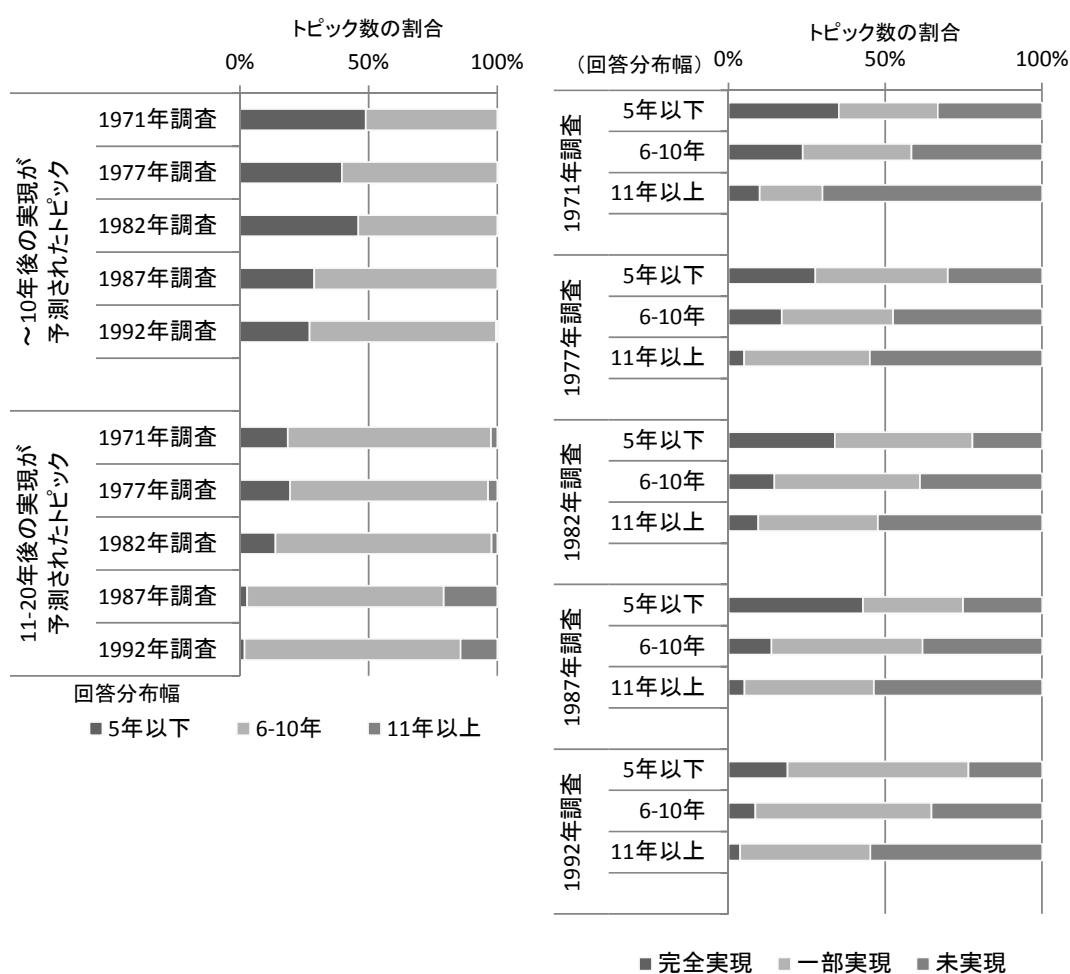
また、回答分布幅ごとに調査実施から20年後のトピックの実現状況を見ると(図表 17 右)、回答分布幅の広いトピックについては、全般的に完全に実現した割合が低いこともあり調査年による顕著な差は見られない。しかし、1992年調査において、回答分布幅が5年以下と狭い、すなわち専門家の見解が比較的揃っていたトピックにおいて、完全に実現した割合が低下している。1992年調査においては、10年以内の実現予測についても実現予測時期の回答のばらつきが大きくなり、しかもその中でばらつきが小さかったトピックでも完全に実現する割合が低下したのである。1990年前半からの10年間の予測において、専門家の中では楽観的な見方も増えたが、見解のばらつきも見られ、結果的にはその多くは一部実現に留まったということである。

1990年頃の専門家の回答のばらつきは、1970～80年代のような漸進的な進展が続かないこと、将来が見通しにくくなることの前兆を表しているように思われる。

図表 17 実現予測時期の回答分布幅、及び、回答分布幅別の実現状況

(実現予測時期の回答分布幅)

(実現予測時期の回答分布幅別の実現状況)



図表 18 実現予測時期の回答のばらつきが小さかったが完全実現していないトピックの例  
(1992年調査より)

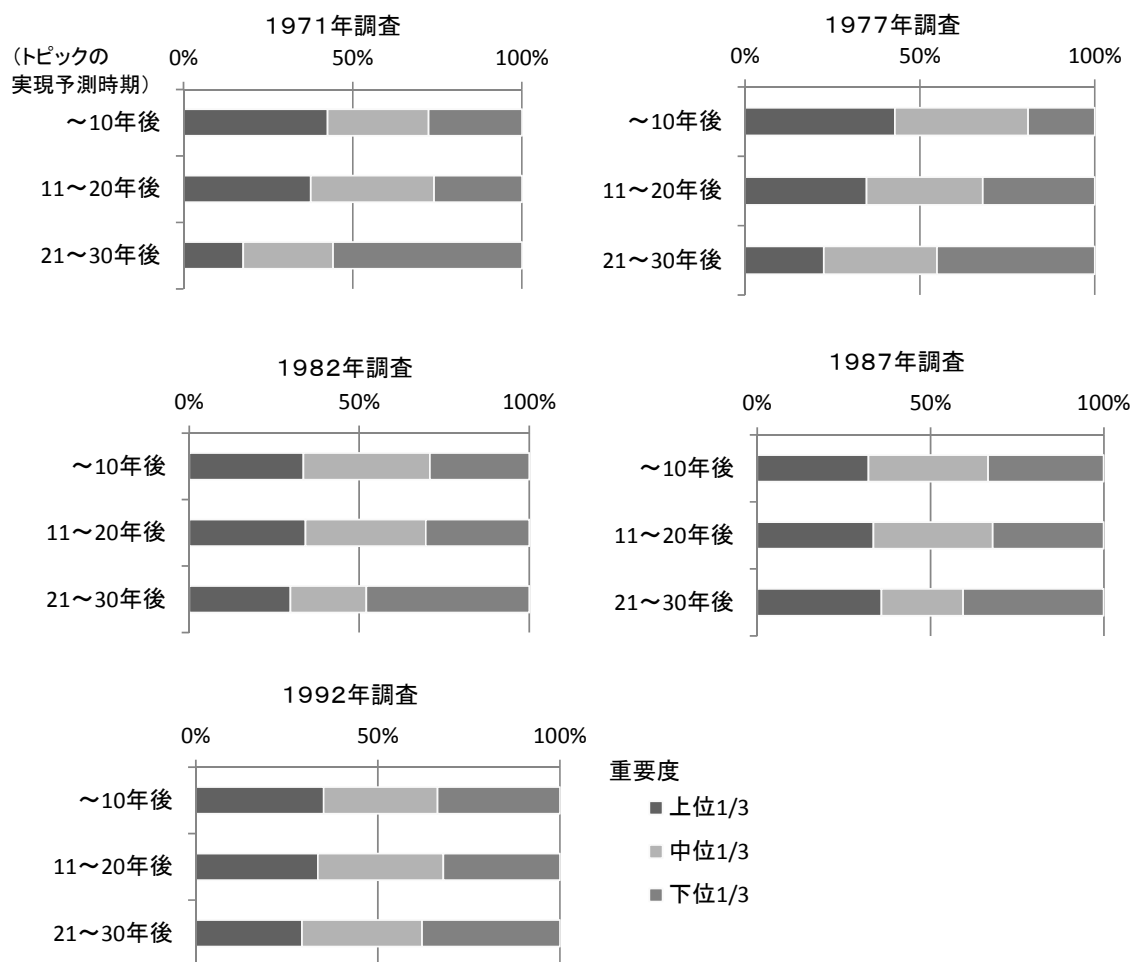
分野	トピック	(実現予測時期)		実現状況
		年	回答幅	
交通	レーザや超音波等を利用して鉄道線路上の人や自動車等の障害物を探知し、自動的に列車を停止させるシステムが実用化される。	1998	5	一部実現
海洋・地球	集中豪雨による土砂崩れ、土石流の予知・予報技術がかなりの精度で実用化される。	2001	5	一部実現
通信	救急車と病院の間での救急医療用の画像及び知識ベースの伝送が普及する。	2002	4	一部実現
素粒子	書込速度毎秒 1 ギガバイト以上の大容量記録装置が実用化される。	2003	5	未実現
エネルギー	出口ガス温度 1000°C の高温ガス炉用耐熱合金材料もしくはセラミックス材料が実用化される。	2002	5	未実現
都市・建築・土木	高層ビル火災に対応できる消火、救出技術が開発される。	2001	5	未実現

#### 4. 4. トピックの重要度と実現状況の関係

デルファイ調査では、1971年調査から1992年調査にわたって、各トピックの重要度を尋ねる質問が設けられている。各トピックに対して、我が国にとっての重要度を専門家が4段階で評価し、その集計結果を指数化して分析に用いている。全体的には、重要度が高いグループでは実現(完全実現と一部実現の計)するトピックの割合が高くなる傾向が見られる(詳細は、1992年調査以降の報告書参照)。

図表 19 は、実現予測時期別にトピックの重要度分布を見たものである。各調査年について、トピックを重要度指数の高い順に上位・中位・下位の3グループに分類し、実現予測時期別に各グループのトピックが含まれる割合を示している。1971年調査、1977年調査においては、実現予測時期が遅いトピックには重要度が低い傾向が見られるが、1982年調査以降ではその傾向が薄れる。実現可能性は低いかもしれないが、社会にもたらす効果が明白で、より大きな期待が持たれるトピックが優先的に選択されるようになったと考えられる。堅実性は増したが、飛躍的なアイデアは盛り込まれにくくなったとも言える。

図表 19 実現予測時期別のトピック重要度分布



#### 4. 5. 実現していない理由の変化

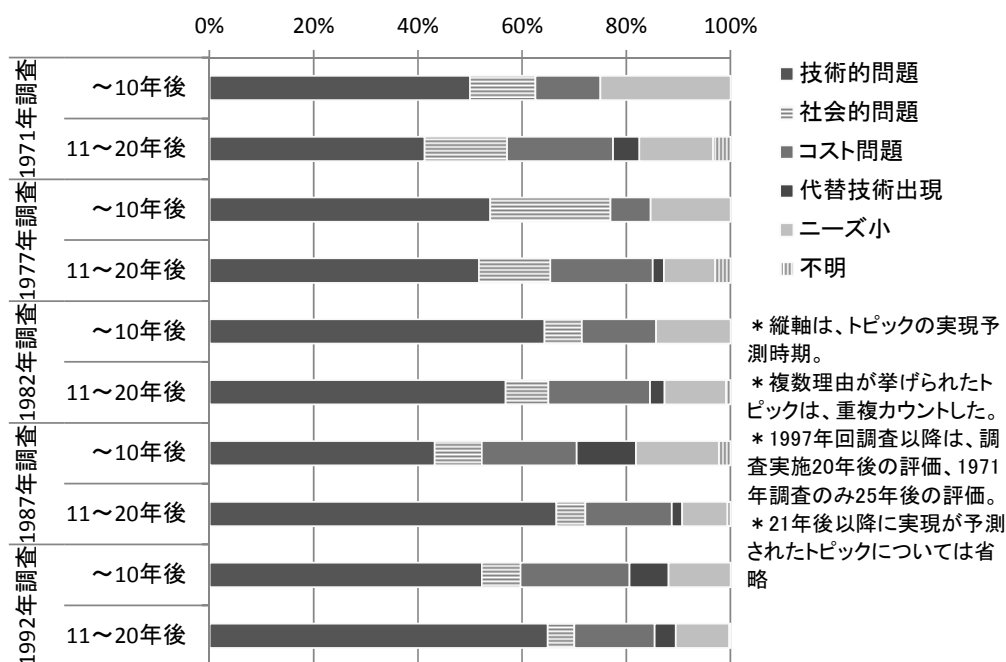
調査実施から約20年を経過した時点の評価において「未実現」と評価されたトピックについて、実現していない理由を実現予測時期別に見た結果を図表 20 に示す。未実現トピックのうち5～7割が「技術的問題」により実現しなかったとされている。初期の調査年の未実現トピックでは、「社会的問題」や「ニーズ小」を理由とするトピックがある程度の割合を占めていたが、1980年以降の調査年の未実現トピックについてはその割合は減少している。

初期の調査年の未実現トピックを見ると、10年以内の実現が予測されたトピックであるにもかかわらず、「ニーズ小」という理由で実現しなかったものが2割を占めている。すなわち、社会のニーズをあまり考慮していなかったと思われるトピックが一定割合含まれていたことになる。1970年代は、技術開発できるものは何でもやってみようという雰囲気があり、シーズからニーズを作り出し、新たな展開を図ろうというシーズ指向の姿勢が強かったのではないかと考えられる。

一方、1980年代の未実現トピックを見ると、「ニーズ小」を理由として実現しなかったものは、実現予測時期に関わらず1割程度と減少している。これは、前節で述べたように社会にもたらす効果が明白で、より大きな期待が持たれているトピックが選択されるようになったことを裏付ける結果と言える。一方、「技術的問題」に次いで「コスト問題」が大きな位置を占めるようになった。当初、コストが問題となるトピックは実現時期の予測が11年後以降のトピックの方が多かったが、1992年調査においては、10年以内の実現が予測されたトピックの2割が「コスト問題」を理由としており、11年後以降の実現が予測されたトピックよりもその割合が高くなった。

全般的に、調査年が進むにつれ、シーズ指向は弱まる傾向にあり、社会からの要請や社会におけるハード・ソフト両面の受け入れ環境等を考慮するようになり、社会を念頭においた現実路線の目標設定が指向されるようになってきたのではないかと考えられる。同時に社会の側も、科学技術の成果をより活かせるよう環境を整え始めたと考えられる。

図表 20 実現予測時期別の実現していない理由

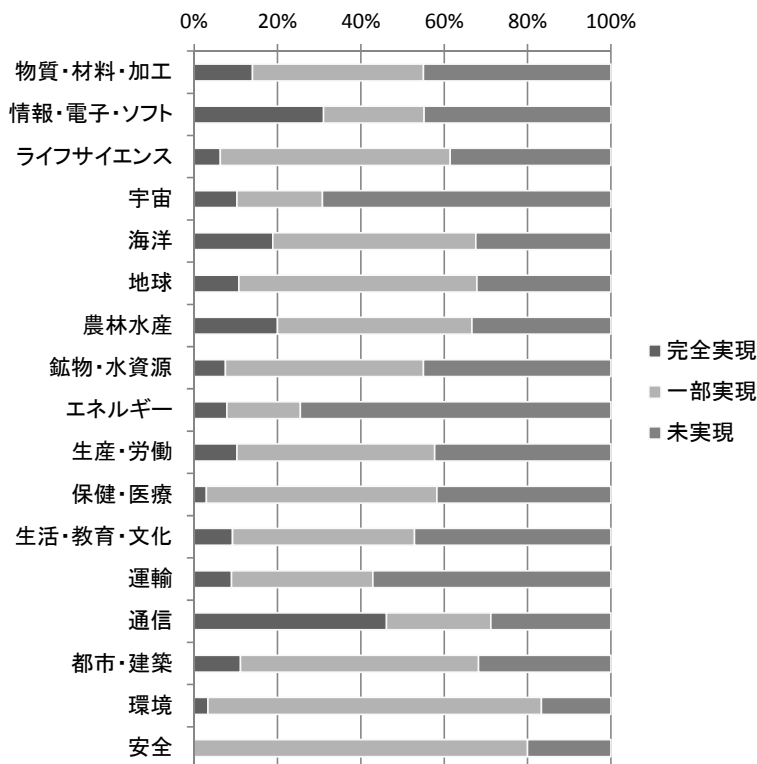


#### 4. 6. 研究分野に関する経時的変化

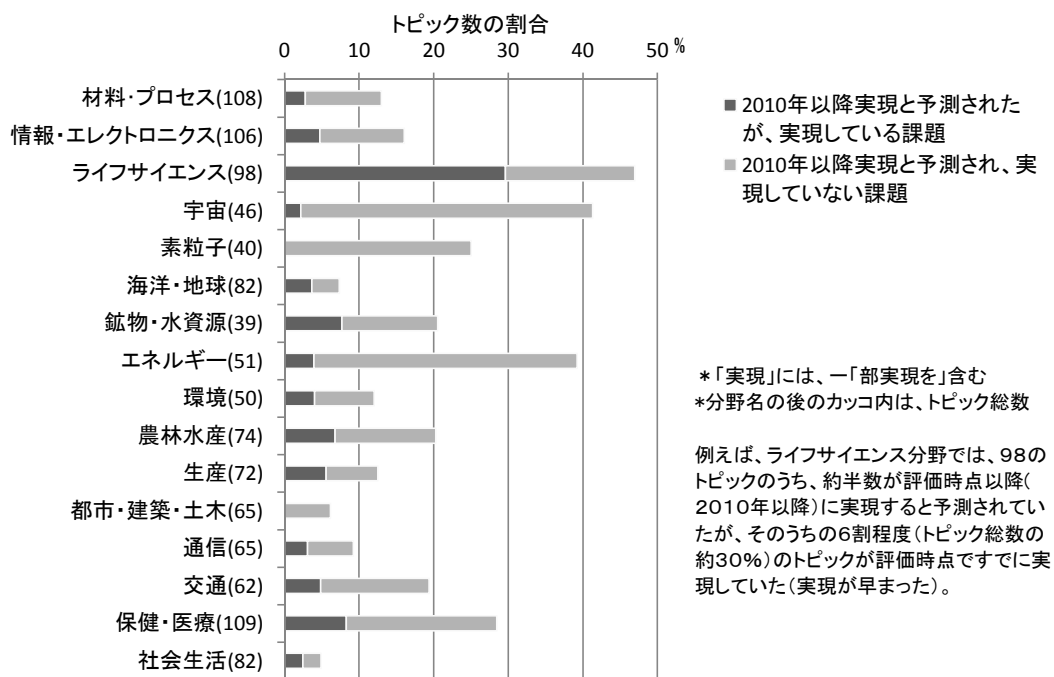
実現状況の分野別特徴を見ると、例えば1987年調査(図表 21、その他の調査年については資料 6 参照)に見られるように、情報・通信分野において完全実現トピックの占める割合が大きい、都市・建築・土木分野、環境分野において一部実現トピックの占める割合が大きい、エネルギー分野、運輸・交通分野、宇宙分野において未実現トピックの占める割合が大きい、などが共通する傾向として挙げられる。また、ライフサイエンス分野は、その急速な発展を反映して、当時実現が予測

されていた時期よりも早期に実現したトピックが多い(図表 22)。しかし、こうした特徴は、全調査年を通じて総じて当てはまるものであり、経時的な変化は見られない。

図表 21 トピックの分野別実現状況(1987年調査の例)

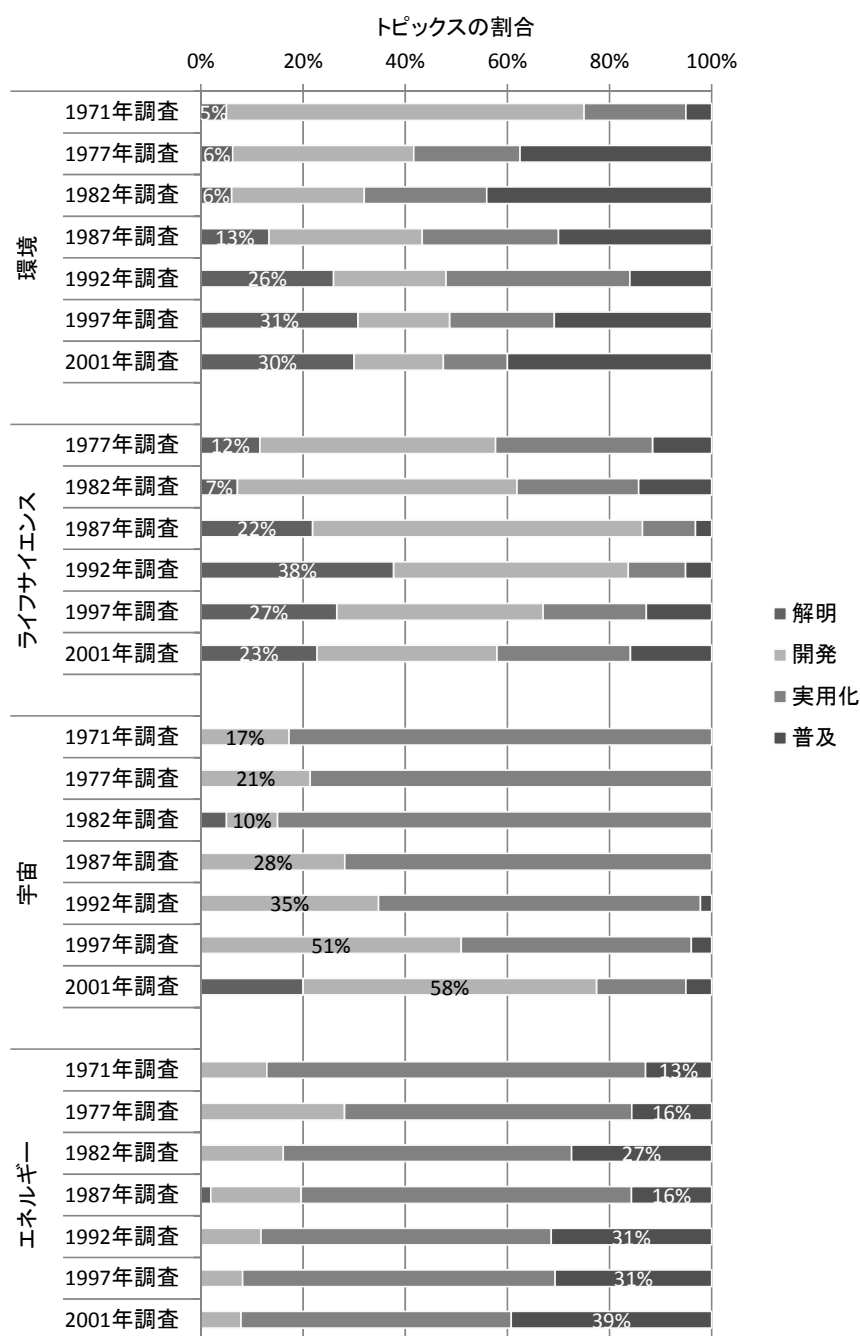


図表 22 予測よりも早く実現したトピックの割合(1992年調査の例)



分野別に経時的变化が見られるのは、トピックの研究開発段階の設定である。研究開発段階が設定されていた2001年調査までのトピックを含めて計7回分の推移を見ると、図表 23 に示すように、環境分野における解明段階へのシフト、ライフサイエンス分野における1990年代前半をピークとする解明段階へのシフト、宇宙分野における実用化段階から開発段階へのシフト、エネルギー分野における普及段階へのシフト、といった特徴が見える。

図表 23 分野別の研究開発段階シフト





#### 4. 7. まとめ

過去の調査で設定されたトピックがどのような場合にどの程度実現しているかは、当時の専門家の科学技術や社会の変化に関する将来見通しに対し、その想定と異なる状況が生じたかどうかを表すものと考えられる。

調査実施から20年以上が経過した計5回の調査において設定されたトピックの実現状況を見ることにより、1990年前半以降、実際に専門家の想定通りに科学技術や社会が変化することが少なくなっていることが明らかになり、将来を見通しにくくなっていることが窺われた。

- i. 調査年を追うごとに、記述通り、すなわち、当時の専門家の想定通りに実現するという「完全実現」のトピック数が減少し、「一部実現」のトピック数が増加している。これは、技術や社会の変化について中長期の将来を見通すことが難しくなったことを示している。(4.1 節)
- ii. 技術的要素だけでなく社会的要素も大きな影響を及ぼす技術の普及については、10年以内の実現が予測されたトピックであっても想定通りに実現することが少なくなった。また、一般的に実現時期の予測のばらつきが大きくなり、また専門家の見解が比較的一致していたトピックについても記述通りに実現することが少なくなっている。特に社会との関わりが深い場合に、社会の変化に対応して研究開発の方向性が変化した、あるいは、想定したようには社会が変化しなかった可能性があるのではないかと推測される。(4.2 節、4.3 節)
- iii. 社会的問題やニーズが小さいことを理由に実現しないことは減少した。また、社会にもたらす効果が明白な科学技術が優先的に取り上げられるようになった。これは、社会との関係を考慮した研究開発が指向されるようになったことを意味している。(4.4 節、4.5 節)

なお、1992年調査の実現状況評価においては、それ以前の調査年とは異なる変化の傾向が見られた。ここで見られた変化がそのまま続くのか、あるいは、この時期が特異な時期であったのかについては、今後の実現状況評価によって明らかになるであろう。

## 5. おわりに

向こう30年間の科学技術発展の見通しについて専門家の見解を問うアンケートであるデルファイ調査のトピックを分析対象として、我が国の研究開発における大きな方向性の変化の例証を試みた。分析の結果、以下の点が明らかになった。

- i. 我が国の研究開発の方向性に関する専門家の考え方は、社会の要請を受けて2000年代後半以降それまでと大きく方向性を変化させ、社会との関係性をより重視する方向に向かったと解釈できる。

注目点の推移として、①コンピュータの利用による自動化(1970年代)、②情報通信技術、ライフサイエンスを中心とした発展(1980年代～2000年頃)、③社会的視点の重視、並びに、環境、エネルギー、情報への関心の高まり(2000年代前半以降)、という大きな流れが見える。

- ii. 社会が大きな変化を見せる中、1990年代前半以降、将来を見通しにくくなったことが窺われる。

調査年を追うごとに、当時の専門家の想定通りに科学技術が進展することが減少している。また、専門家の将来見通しについての認識にもばらつきが見られるようになった。特に社会と関わりが大きい場面において、また1990年代前半以降の20年間の変化において、この傾向がより明確に表れた。

以上のように、研究開発の方向性に関する専門家の考え方が、社会との関係を重視したものへと変化し始めたことが明らかになった。これは、これまでの実際の変化をデータにより例証するものと言え、取り上げた範囲や調査に参加した人数に限りはあるものの、設定されたトピックは将来展望に当たって有用性を持つと考えられる。

一方、近年においては、科学技術の展望や社会の変化は、専門家の想定通りに進むわけでもなくなったように見える。これは、社会がどの方向に向かうかが見通しにくくなったためであり、中長期の目標として、将来社会のための研究開発の方向性を設定することが難しくなると考えられる。社会との関係の重視という研究開発の方向性が、今後も継続、あるいはさらに強化されるとすれば、将来社会の方向性を見定めがますます重要性を増すことになる。

今後のより良い未来に向けた研究開発の方向性を描くには、将来社会の方向も明示的に含め、現在思い描くことのできる範囲を超えてある程度の大胆さを持った想定を検討の選択肢に敢えて加えること、また、人文・社会科学の専門家をより適切な形で取り込んで共同作業として検討を行うことなどが求められよう。また、研究開発プロジェクト等の中間段階においては、研究の必要性や方向性を改めて問い直すことの意義はますます高まると考えられる。

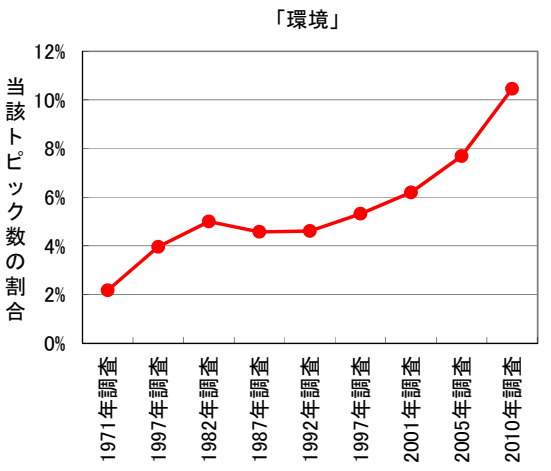
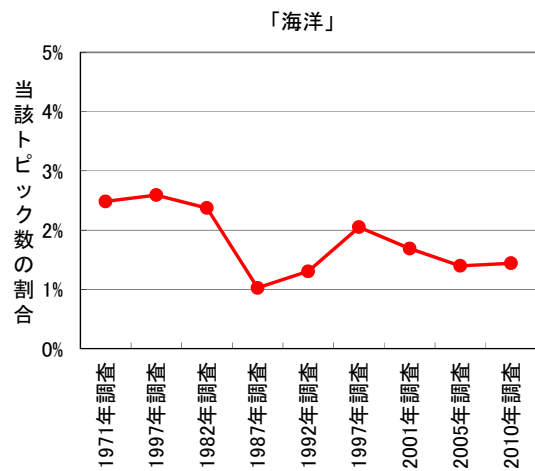
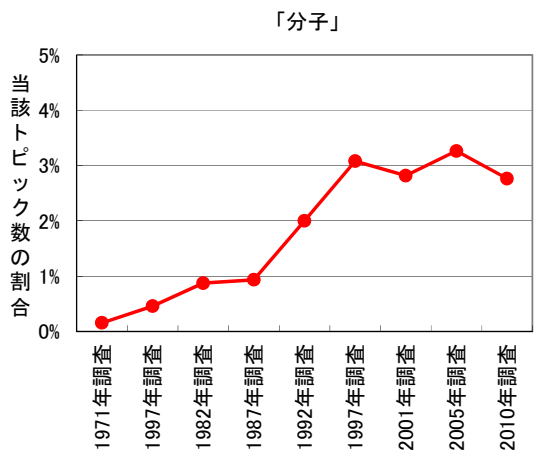
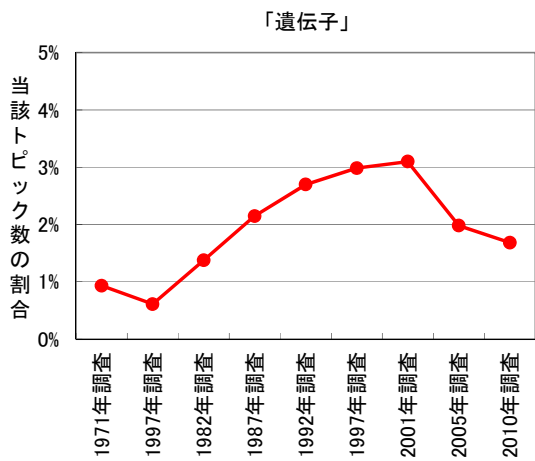
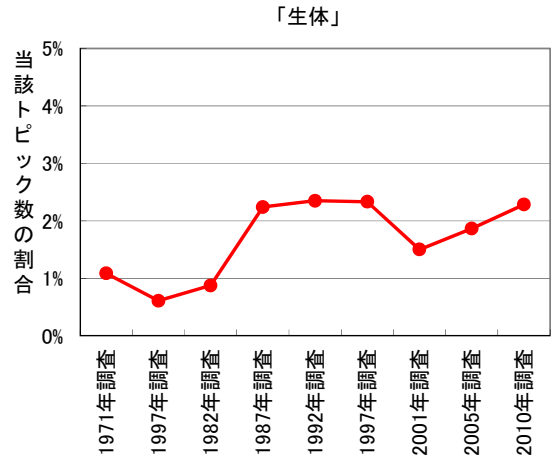
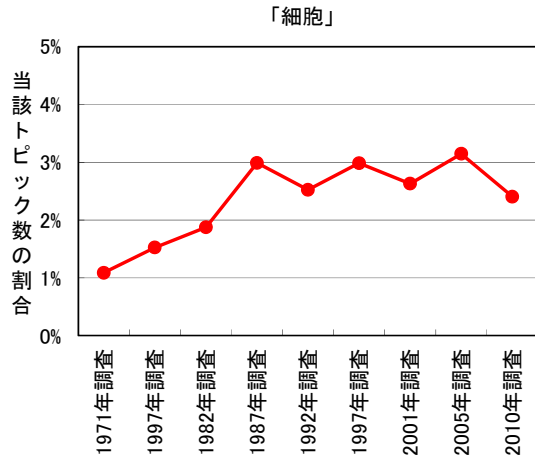


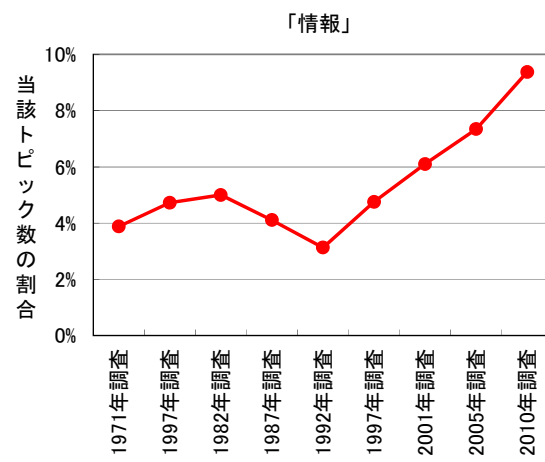
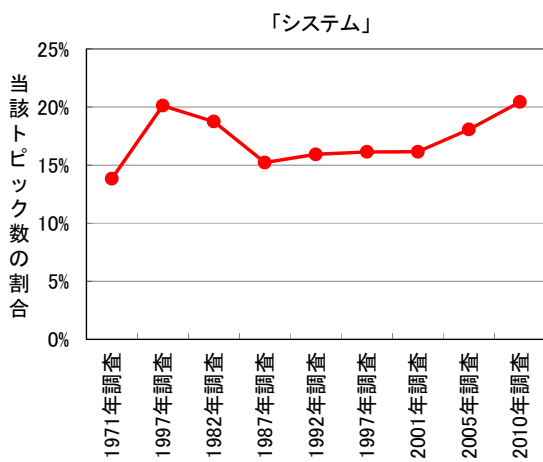
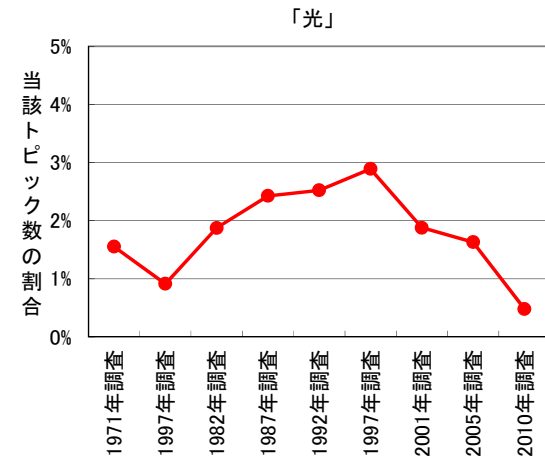
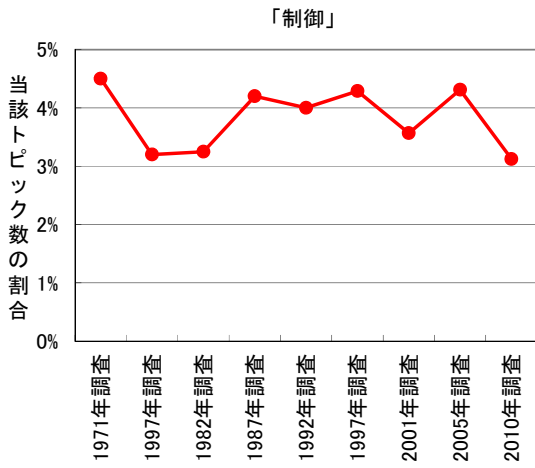
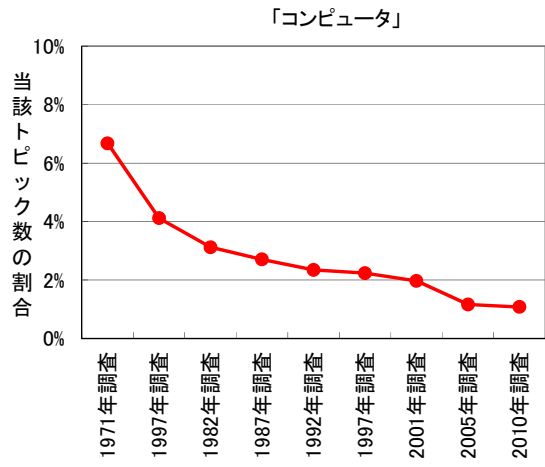
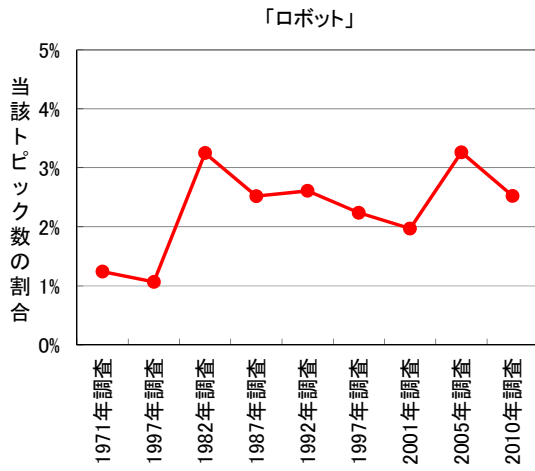
<資料>

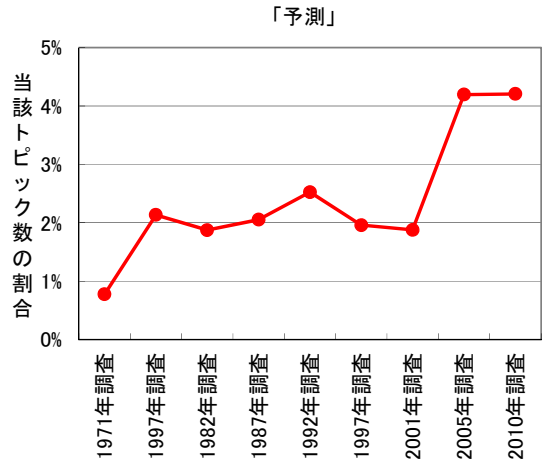
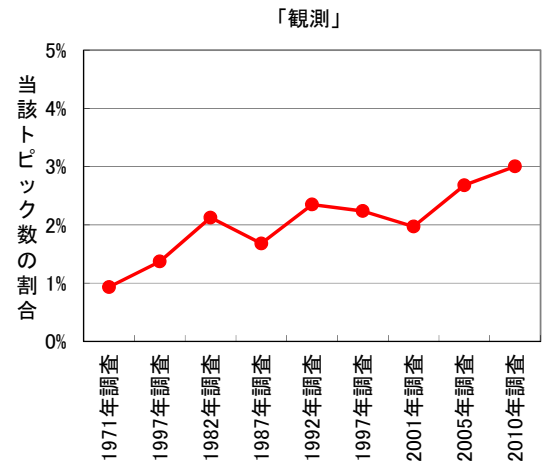
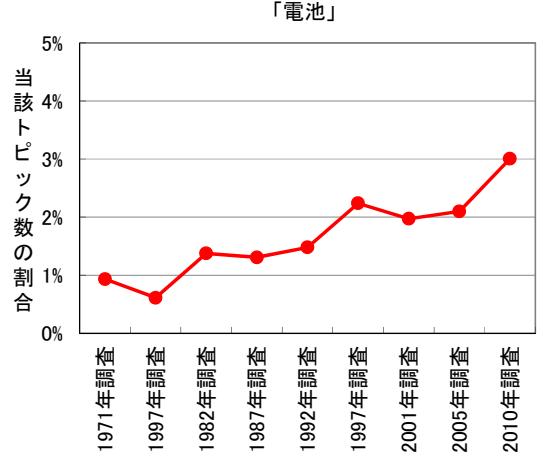
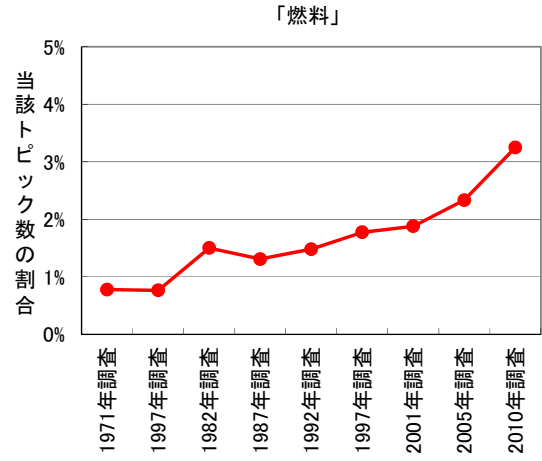
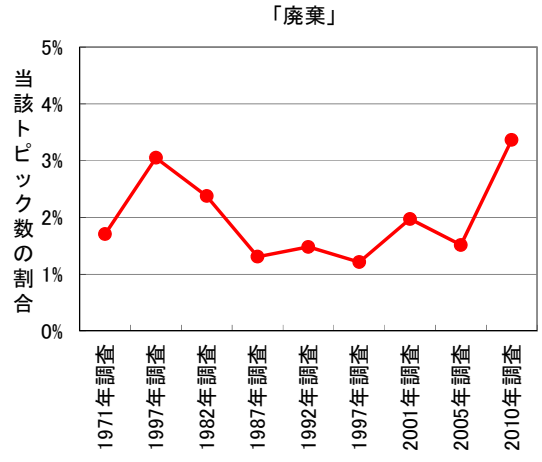
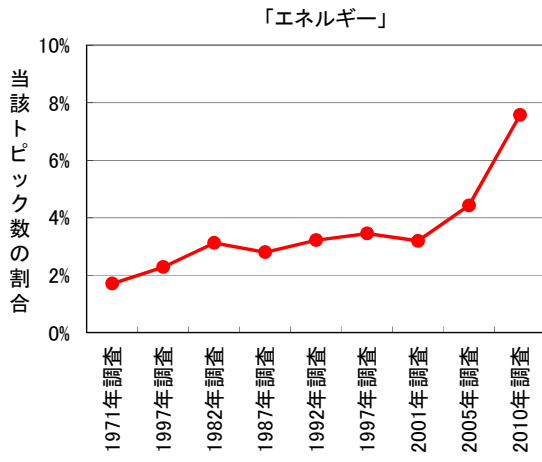
資料 1 : 各調査の分野 (=分科会) 構成

調査		1971年調査	1977年調査	1982年調査	1987年調査	1992年調査	1997年調査	2001年調査	2005年調査	2010年調査	
分 科 会	社会開発(生活の向上、レジャー、教育)	家庭生活・教育	生活・教育	生活・教育・文化	社会生活			サービス	社会技術		
	社会開発(都市開発)	国土利用(建設)	都市・建築・土木	都市・建築	都市・建築・土木	都市・建築・土木	都市・建築・土木	都市・建築・土木	社会基盤	生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群	
	社会開発(交通機関)	国土利用(輸送)	交通・運輸	運輸	交通	交通	交通	交通			
	社会開発(公害・災害の防止)	環境・安全	環境・安全	環境 安全	環境	環境	環境	環境	環境	環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する	
	情報	国土利用(情報)	通信・情報・エレクトロニクス	情報・電子・ソフト	情報・エレクトロニクス	エレクトロニクス	エレクトロニクス	エレクトロニクス	エレクトロニクス	情報・通信	ユビキタス社会に電子・通信・ナノテクノロジーを生かす; 情報処理をメディアやコンテンツまで拡大して議論
				通信	通信	通信	通信	通信	通信		
	医療保健	健康(保健・医療、労働)	保健・医療	保健・医療	保健・医療	保健・医療	保健・医療・福祉	保健・医療	保健・医療・福祉	保健・医療・福祉	ITなどを駆使して医療技術を国民の健康な生活へ繋げる
	食糧農業	資源・エネルギー(食糧、森林、水)	農林・水産資源	農林水産	農林水産	農林水産	農林水産	農林水産・食品	農林水産・食品		
	工業・資源(エネルギー、資源)	資源・エネルギー(エネルギー)	エネルギー・鉱物資源・水資源	鉱物・水資源 エネルギー	鉱物・水資源 エネルギー	資源・エネルギー	資源・エネルギー	エネルギー	エネルギー	エネルギー・資源	水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う 多彩なエネルギー技術変革を起こす
	工業・資源(鉱工業の高度化)	工業生産	生産・労働	生産・労働	生産	生産・機械	製造	製造	製造	製造	産業・社会の発展と科学技術を総合的に支える製造技術
	工業・資源(新材料開発)		材料・素子	物質・材料・加工	材料・プロセス	材料・プロセス	材料・プロセス	材料・プロセス	材料・プロセス	材料・プロセス	物質・材料・ナノシステム・加工・計測などの基盤技術
	工業・資源(宇宙・海洋)	先導的・基盤的 科学技術(宇宙開発、海洋開発)	宇宙	宇宙	素粒子 宇宙	宇宙	宇宙	宇宙	宇宙	フロンティア	宇宙・地球のダイナミズムを理解し、人類の活動領域を拡大する
			海洋	地球	海洋・地球	海洋・地球	海洋・地球	海洋・地球	海洋・地球		
		先導的・基盤的 科学技術(ライフサイエンス)	ライフサイエンス	ライフサイエンス	ライフサイエンス	ライフサイエンス	ライフサイエンス	ライフサイエンス	ライフサイエンス	ライフサイエンス	バイオとナノテクノロジーを人類貢献へ繋げる
	先導的・基盤的 科学技術(ソフトサイエンス)						流通 経営・管理	産業基盤		科学技術の進展によりマネジメント強化すべき対象全般	

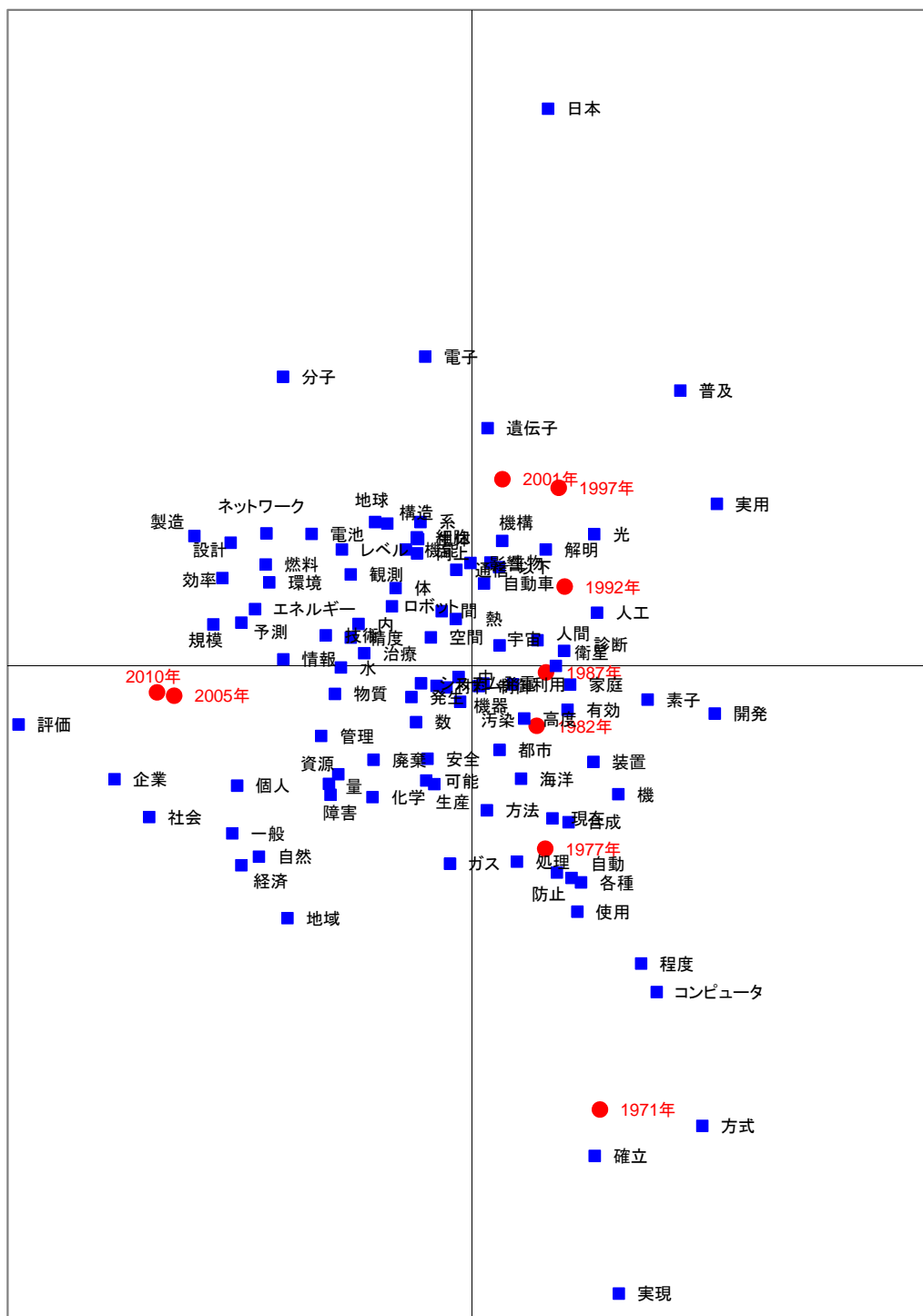
資料2：総出現頻度上位の名詞を含むトピック数の推移







資料 3 : 総出現頻度上位 100 語と調査年の関係図



●は、調査年を表す。 ■は、出現頻度上位100位以内の語(上位語)を表す。  
 各調査年における出現頻度を合計した総出現頻度が上位100位以内の語(上位語)を分析対象とした。  
 上位語の調査年別出現頻度データを用いて相関係数分析を行い、上位語と調査年の関係性を表す図を作成した。図では、関係の近いもの同士は近くに、関係の遠いもの同士は離れて配置される。



資料 4 : 各調査の出現頻度上位の名詞

調査	順位	頻出語(名詞)
1971年調査	1～10位:	開発、実現、実用、技術、システム、確立、利用、程度、可能、コンピュータ
	11～20位:	自動、使用、装置、材料、生産、制御、方式、完全、情報、人工、万
	21～30位:	処理、現在、地域、物質、資源、方法、解明、管理、治療、企業、合成、教育
	31～40位:	機能、工場、普及、都市、海洋、重複、安全、化学、各種、防止、人、進歩
	41～50位:	環境、衛星、中、量、素子、データ、医療、無人
	51～60位:	家庭、発生、数、薬剤、生物、人間、水、宇宙、ガス、診断、個人、率、テレビ、電話、主要
	61～70位:	エネルギー、発電、廃棄、機、自然、障害、有効、輸送、金属、食品、原子力、栽培、繊維
	71～80位:	—
	81～90位:	通信、一般、光、以下、経済、機械、必要、施設、直接、全国、大都市、検索、大量、プラント、出現
	91～100位:	地球、体、空間、予防、大型、加工、世界、所、能力、海底、海上、保存、実験、海中、場、訓練、公害、衣服
1977年調査	1～10位:	開発、技術、システム、実用、普及、利用、可能、確立、程度、解明
	11～20位:	自動、実現、情報、安全、処理、コンピュータ、生産、装置、人工、環境
	21～30位:	方式、都市、衛星、万、方法、防止、人間、機、汚染、手法
	31～40位:	制御、現在、機能、家庭、ガス、社会、使用、材料、地域、量、廃棄、大都市
	41～50位:	発電、一般、全国、作業、資源、各種、発生、輸送、高度、機構
	51～60位:	海洋、宇宙、所、条件、評価、精度、管理、中、数、経済、生活、自動車
	61～70位:	率、エネルギー、自然、機械、施設、迅速
	71～80位:	物質、治療、予測、規模、影響、教育、データ、無人、生物、水、主要、障害、通信、加工、交換
	81～90位:	有効、食品、訓練、系、微生物、生態、網、地下
	91～100位:	完全、合成、工場、化学、医療、診断、個人、直接、予防、海上、人口、構造、建築、有害、計画、回復、コンビナート、体系
1982年調査	1～10位:	技術、実用、開発、普及、システム、利用、可能、確立、実現、人工
	11～20位:	情報、環境、材料、機能、生産、衛星、解明、都市、使用、自動
	21～30位:	安全、処理、資源、管理、発電、化学、程度、装置、各種、住宅
	31～40位:	制御、ロボット、コンピュータ、エネルギー、家庭、物質、構造、方式、ガス、中、生物
	41～50位:	防止、大幅、素子、廃棄、海洋、方法、機、輸送、機構、治療、無人、水、間、熱
	51～60位:	汚染、一般、宇宙、所、経済、自動車、大型、観測、向上、空間、レベル、製造
	61～70位:	地域、作業、精度、データ、通信、系、機器、石炭
	71～80位:	人間、現在、数、施設、予測、影響、障害、合成、細胞、内、金属、交通、整備
	81～90位:	量、全国、発生、高度、生活、自然、有効、診断、総合、効率
	91～100位:	万、規模、健康、光、高速、度
1987年調査	1～10位:	開発、技術、実用、普及、システム、利用、可能、解明、人工、確立、機能
	11～20位:	材料、環境、制御、情報、生産、通信、装置、人間、都市、自動

調査	順位	頻出語(名詞)
	21～30位:	実現、程度、家庭、物質、構造、管理、機、細胞、使用、自動車、科学、応用
	31～40位:	安全、エネルギー、機構、衛星、コンピュータ、処理、ロボット、生物、治療、高度
	41～50位:	資源、素子、方法、系、機器、間、合成、光
	51～60位:	製造、生体、化学、各種、宇宙、地域、現在、遺伝子、中、水、向上、レベル、予測、有効、センサ
	61～70位:	住宅、熱、金属、変換、知能
	71～80位:	一般、効率、生理、メカニズム、発生、生活、体、がん、方式、経済、観測、精度、自然、規模、社会、測定、地球
	81～90位:	防止、総合、加工、状態、地震、電子、以下、セラミックス、上
	91～100位:	ガス、空間、データ、影響、障害、内、診断、設計、変化
1992年調査	1～10位:	実用、開発、技術、普及、システム、利用、解明、可能、機能、人工
	11～20位:	材料、環境、制御、通信、程度、機構、装置、物質、系、エネルギー
	21～30位:	情報、生産、衛星、生物、人間、自動、宇宙、確立、構造、応用、遺伝子、水
	31～40位:	ロボット、資源、細胞、光、中、予測、地球、治療、現在
	41～50位:	コンピュータ、生体、観測、都市、機、素子、間、効率、発生
	51～60位:	実現、家庭、使用、向上、管理、方法、有効、分子、自動車、処理、高度、レベル、知能
	61～70位:	機器、センサ、熱、メカニズム、がん、空間、影響
	71～80位:	安全、変換、防止、電子、以下、発電、交通、なみ、科学、測定、建設
	81～90位:	製造、化学、生理、体、方式、精度、診断、長期、小型、予防、変動、二酸化炭素
	91～100位:	合成、各種、地域、規模、地震、上、ガス、内、変化、汚染、廃棄、輸送、燃料、電池、連続、自己、画像、超電導
1997年調査	1～10位:	実用、技術、開発、普及、システム、利用、日本、解明、機能、可能
	11～20位:	人工、環境、材料、情報、制御、程度、機構、構造、装置、生産、生物
	21～30位:	通信、エネルギー、系、地球、実現、分子、衛星、遺伝子、細胞、ネットワーク
	31～40位:	自動、光、宇宙、効率、人間、家庭、物質、治療、管理
	41～50位:	自動車、生体、都市、電子、発電、ロボット、中、コンピュータ、観測、電池
	51～60位:	確立、水、資源、素子、発生、以下、診断、空間、製造、上、海洋
	61～70位:	予測、処理、がん、規模、使用、向上、影響、安全、体、自己、設計
	71～80位:	現在、間、熱、メカニズム、燃料、数、微生物、完全
	81～90位:	変換、交通、内、電気、大型、応用、方法、有効、汚染、超電導、半導体、バイオ
	91～100位:	レベル、地震、輸送、度、音声、生態、世界、小型、変動、合成、変化、画像、操作、臓器、組織、波、高速、移動、動物
2001年調査	1～10位:	普及、実用、技術、開発、システム、利用、日本、環境、情報、可能
	11～20位:	機能、解明、人工、製造、材料、企業、治療、割、制御、構造
	21～30位:	程度、装置、エネルギー、遺伝子、生物、自動、電子、安全、生産、分子
	31～40位:	系、ネットワーク、物質、衛星、細胞、使用、効率、人間、以下、量
	41～50位:	機構、中、上、設計、通信、管理、家庭、発電、体、数、プロセス
	51～60位:	地球、規模、現在、交通、都市、ロボット、コンピュータ、観測、電池、確立、水、発生、内、方法、廃棄、サービス

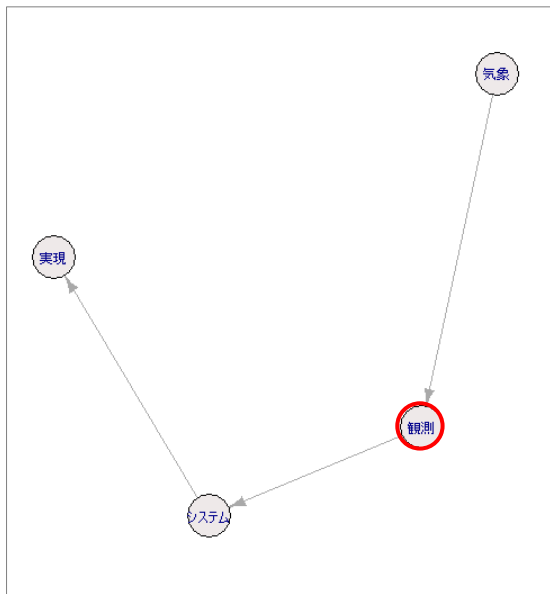
調査	順位	頻出語(名詞)
	61～70位:	光、診断、予測、処理、燃料、支援
	71～80位:	宇宙、自動車、影響、メカニズム、汚染、レベル、資源、海洋、がん、臓器、分解、道路、精度
	81～90位:	実現、向上、自己、完全、水素、評価、インターネット
	91～100位:	生体、間、超電導、バイオ、動物、センサ、LSI、障害、食品、社会
2005年調査	1～10位:	技術、システム、利用、可能、環境、情報、機能、解明、一般、物質
	11～20位:	製造、エネルギー、管理、制御、材料、生産、予測、評価、企業、治療
	21～30位:	効率、構造、地球、規模、分子、ロボット、社会、開発、細胞、ナノ
	31～40位:	ネットワーク、確立、安全、機構、個人、活動、活用、装置、系、通信
	41～50位:	程度、設計、観測、精度、量、水、資源、対応、衛星、人間、我が国
	51～60位:	使用、発生、燃料、形成、体、内、サービス、レベル、実現、向上、センサ、障害
	61～70位:	自動、数、電池、方法、処理、地域、人、自然、リスク
	71～80位:	人工、遺伝子、電子、支援、自動車、がん、経済、分析
	81～90位:	生物、中、プロセス、宇宙、汚染、生体、化学、手法、再生、影響、組織、空間、変動、時、提供、チップ、多様
	91～100位:	現在、交通、光、自己、完全、製品、高度、予防、機器、免疫、病、植物、検出、災害
2010年調査	1～10位:	技術、システム、可能、利用、環境、情報、エネルギー、機能、材料、資源
	11～20位:	効率、製造、評価、地域、開発、普及、物質、管理、生産、規模、社会
	21～30位:	水、予測、活用、設計、経済、構造、自然、化学、実用
	31～40位:	治療、ナノ、実現、支援、廃棄、生活、解明、企業、燃料、リスク
	41～50位:	制御、ネットワーク、確立、安全、活動、系、通信、人、都市、観測、電池、人工
	51～60位:	サービス、生物、中、製品、循環、分子、個人、量、発生、自動、制度、CO
	61～70位:	対応、我が国、レベル、組織、発電、シミュレーション
	71～80位:	ロボット、間、細胞、内、障害、構築、バイオ、高齢、生体、手法、多様、医療、疾患
	81～90位:	地球、処理、宇宙、災害、効果、ガス、必要、状態、電力、コスト、インフラ
	91～100位:	数、方法、再生、空間、生態、世界、国

資料5：特定上位語を含むトピック内で用いられている名詞

\* 隣接する頻度が2以上の名詞について、語の並び順に矢印を付した。

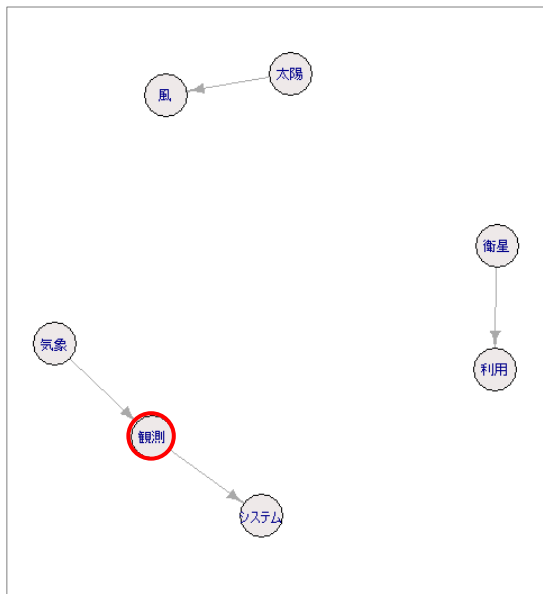
「観測」

<1971年調査>



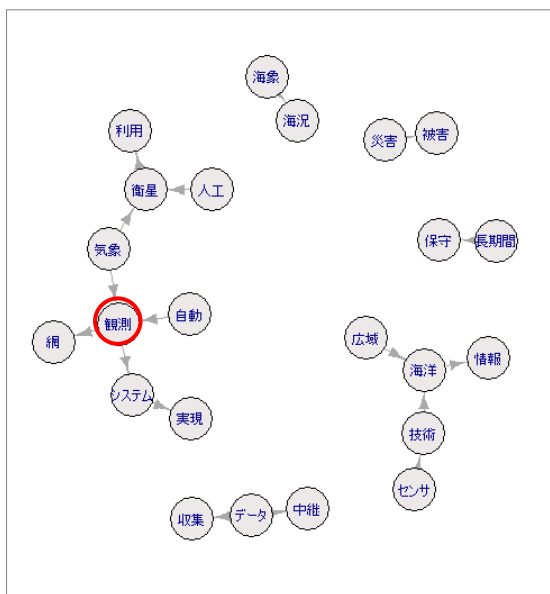
気象観測システム

<1977年調査>



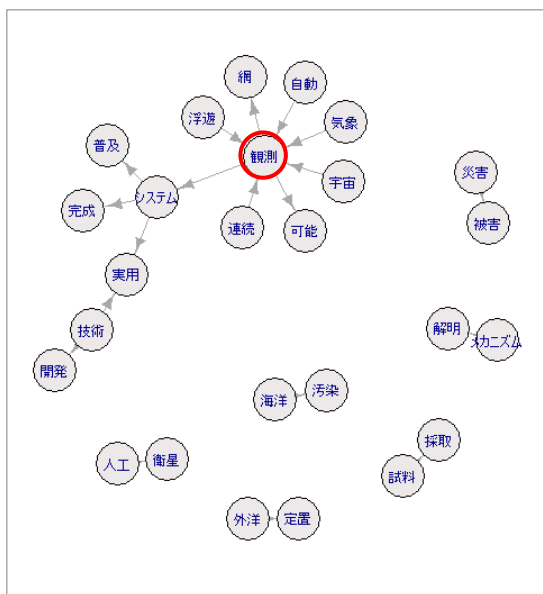
気象観測システム

<1982年調査>



自動観測、観測網、観測システム、宇宙観測

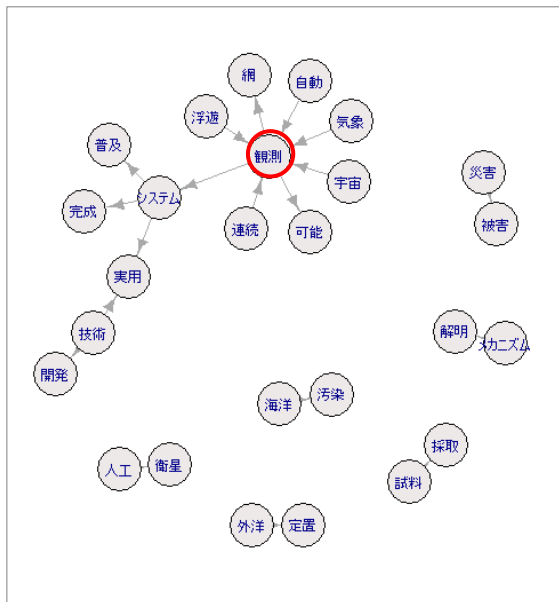
<1987年調査>



気象観測、宇宙観測、観測網、自動観測、連続観測、観測システム

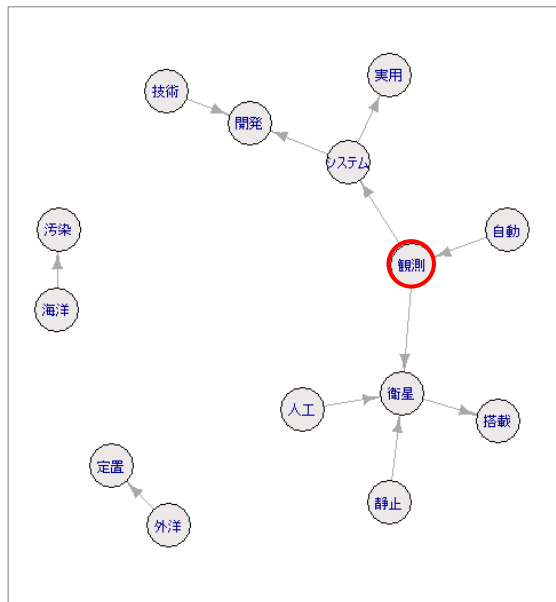
「観測」(続き)

<1992年調査>



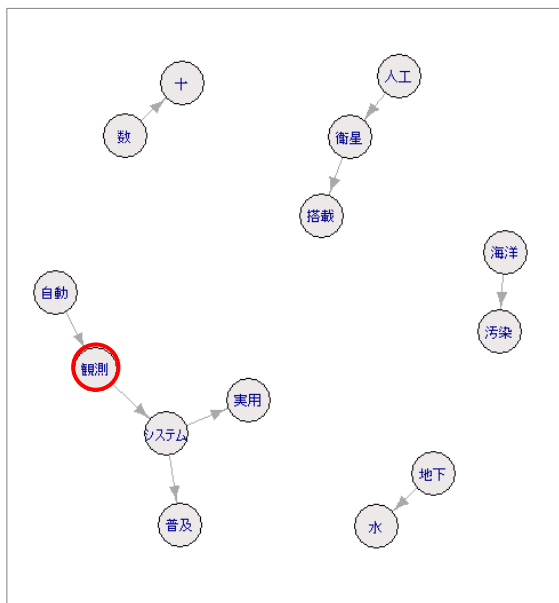
気象観測、宇宙観測、観測網、自動観測、連続観測、観測システム

<1997年調査>



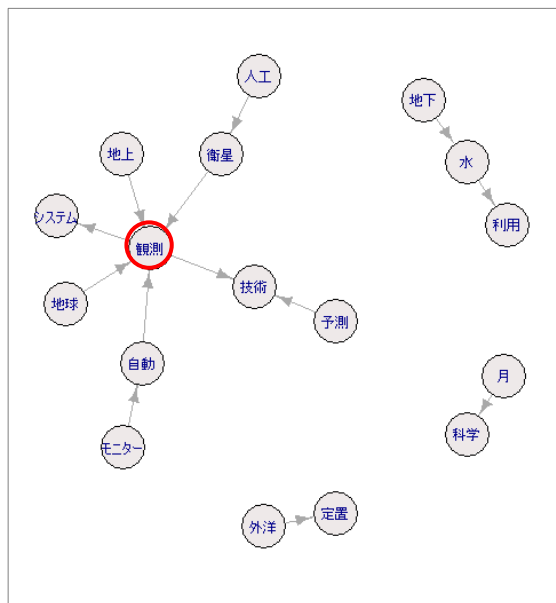
自動観測、観測システム、観測衛星

<2001年調査>



自動観測、観測システム

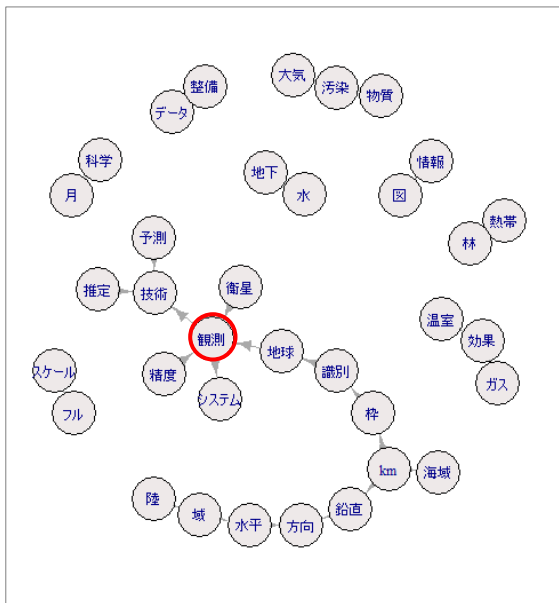
<2005年調査>



地球観測、地上観測、自動観測、衛星観測  
観測システム、観測技術

「観測」(続き)

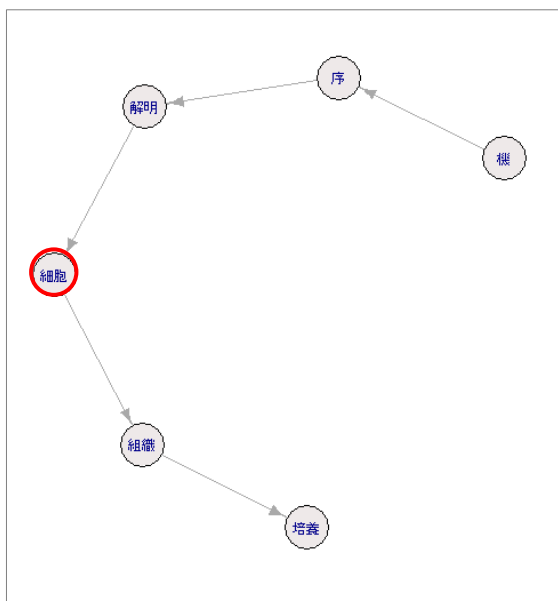
<2010年調査>



観測技術、精度観測、衛星観測、地球観測、観測システム

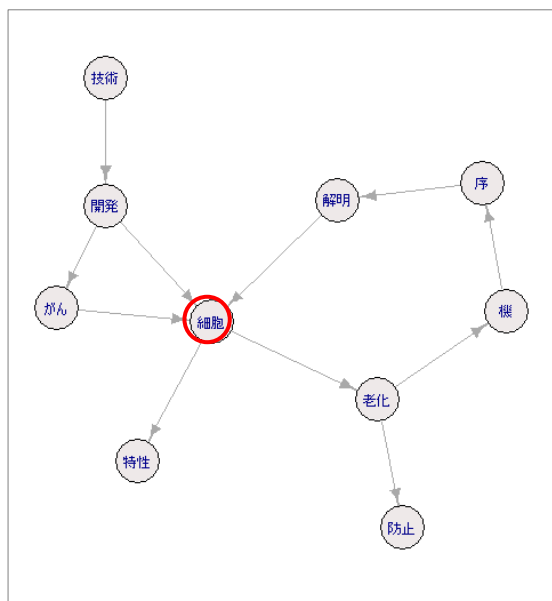
「細胞」

<1971年調査>



細胞組織、機序の解明、細胞培養

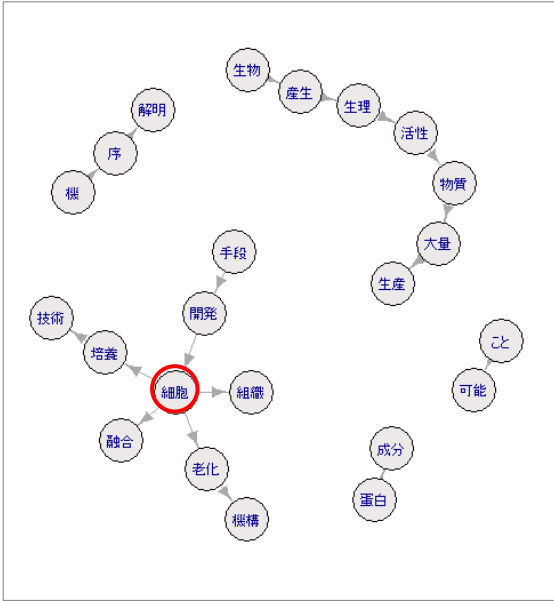
<1977年調査>



がん細胞、細胞老化、細胞特性

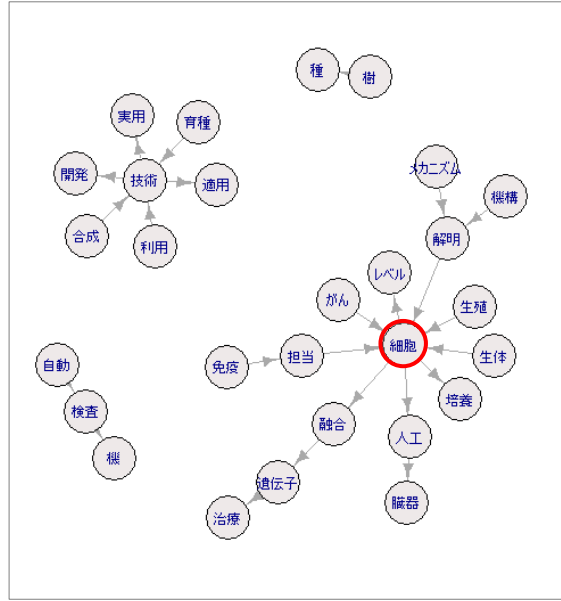
「細胞」(続き)

<1982年調査>



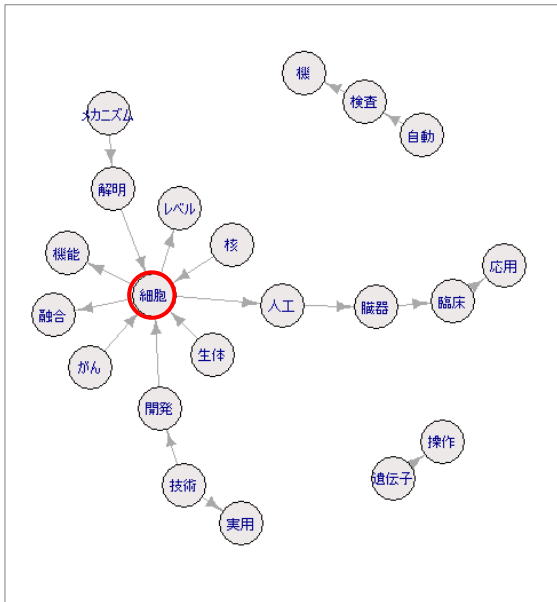
細胞融合、細胞老化、細胞組織、細胞培養

<1987年調査>



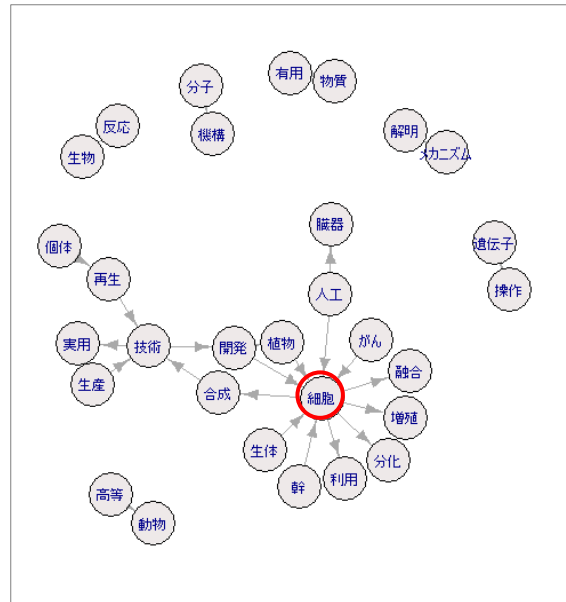
がん細胞、生殖細胞、生体細胞、細胞融合、細胞培養、細胞レベル

<1992年調査>



がん細胞、生体細胞、細胞融合、細胞レベル

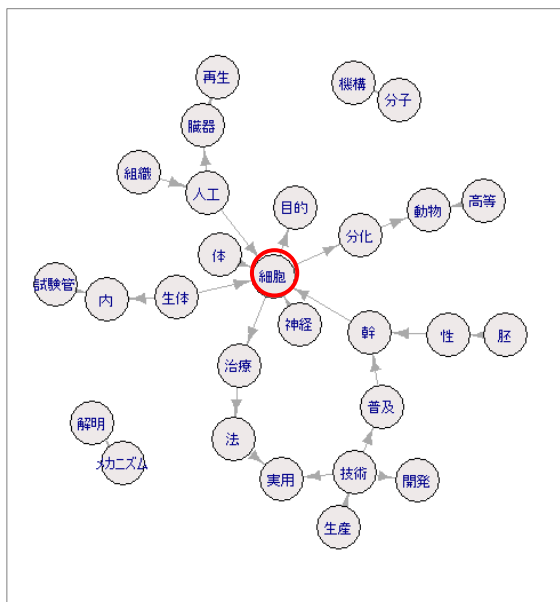
<1997年調査>



がん細胞、細胞融合、細胞増殖、細胞分化、細胞利用、幹細胞、生体細胞、細胞合成

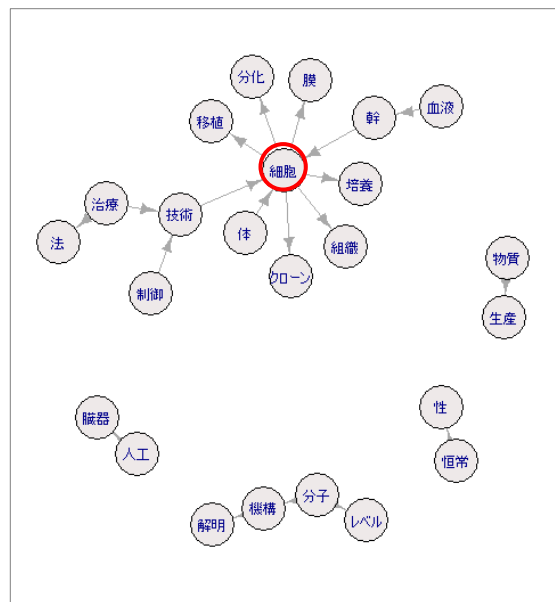
「細胞」(続き)

< 2001年調査 >



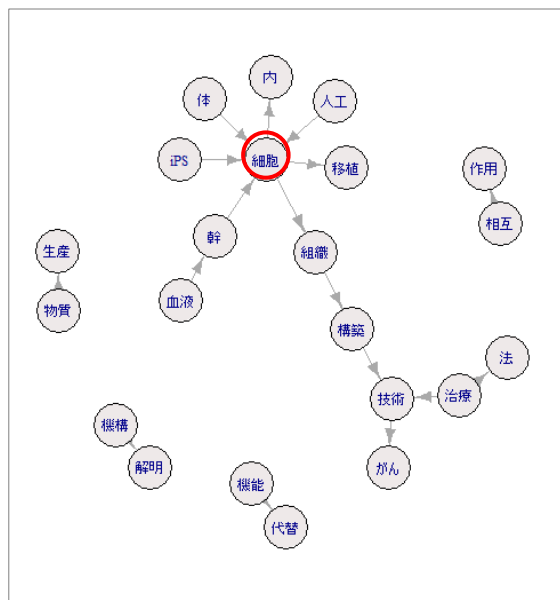
神経細胞、体細胞、人工細胞、生体細胞、  
細胞分化、細胞治療、幹細胞

< 2005年調査 >



細胞クローン、細胞移植、幹細胞、体細胞、  
細胞膜、細胞分化、細胞組織、細胞培養

< 2010年調査 >

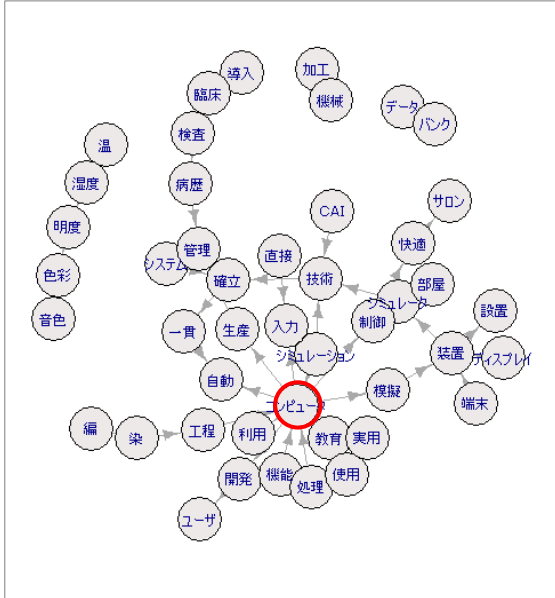


iPS 細胞、体細胞、細胞内、人工細胞、細胞移植、  
細胞組織、幹細胞



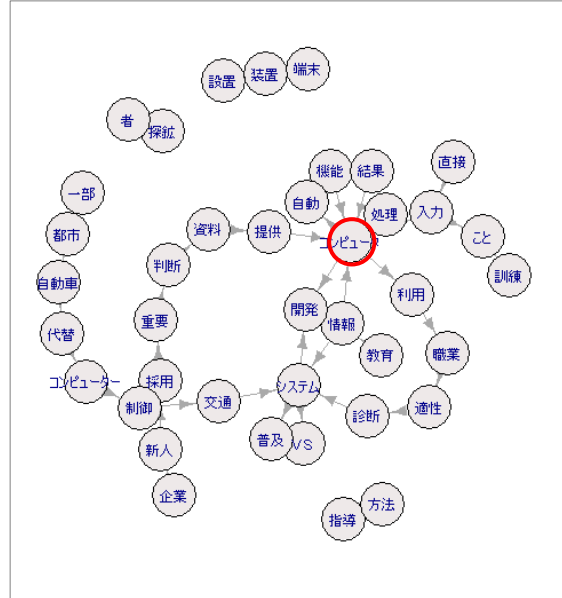
## 「コンピュータ」

<1971年調査>



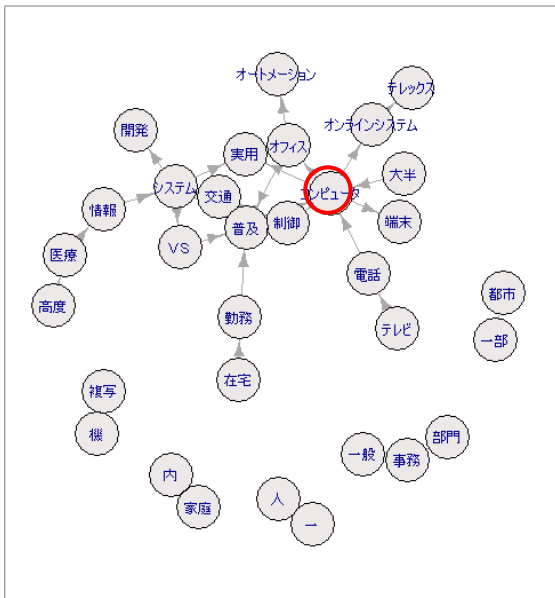
コンピュータ入力、コンピュータシミュレーション、  
コンピュータ制御

<1977年調査>



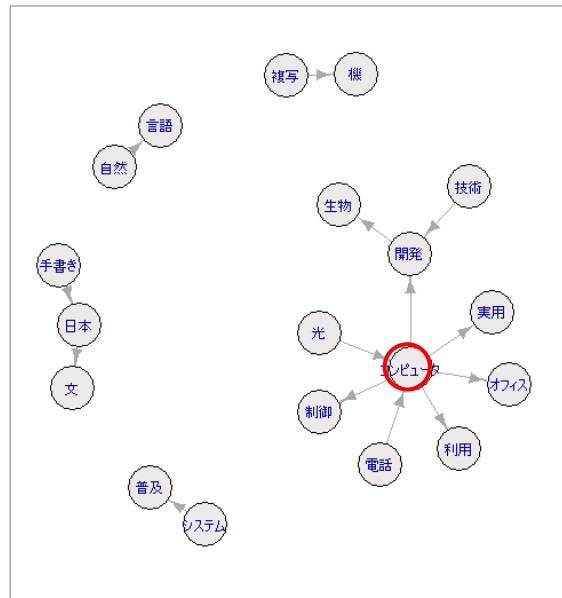
コンピュータ利用、コンピュータ処理

<1982年調査>



コンピュータオンラインシステム、コンピュータ端末、  
コンピュータ制御、コンピュータオフィス

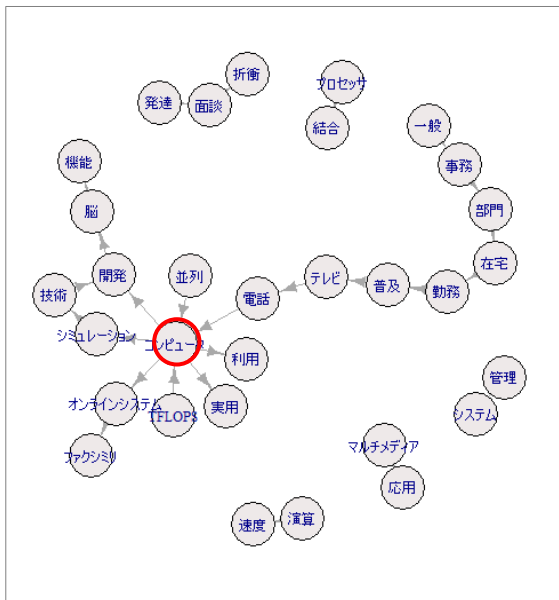
<1987年調査>



コンピュータオフィス、光コンピュータ、  
コンピュータ制御、電話コンピュータ

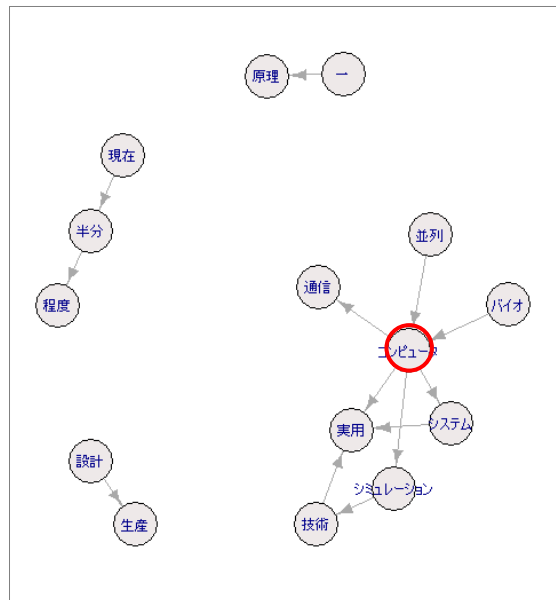
「コンピュータ」(続き)

<1992年調査>



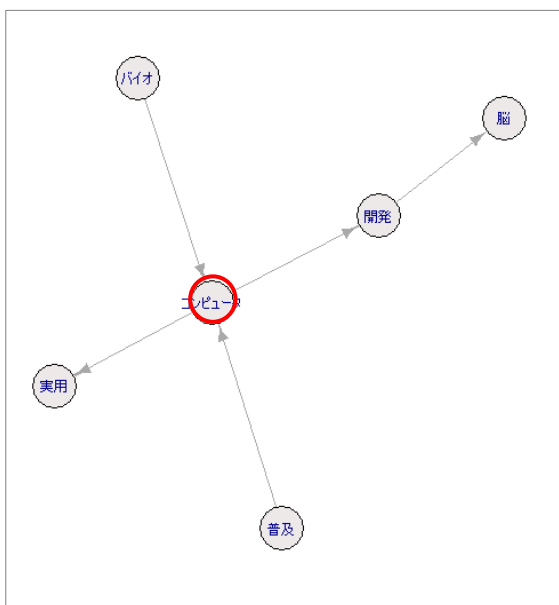
コンピュータシミュレーション、並列コンピュータ、  
コンピュータオンラインシステム、TFLOPS コンピュータ

<1997年調査>



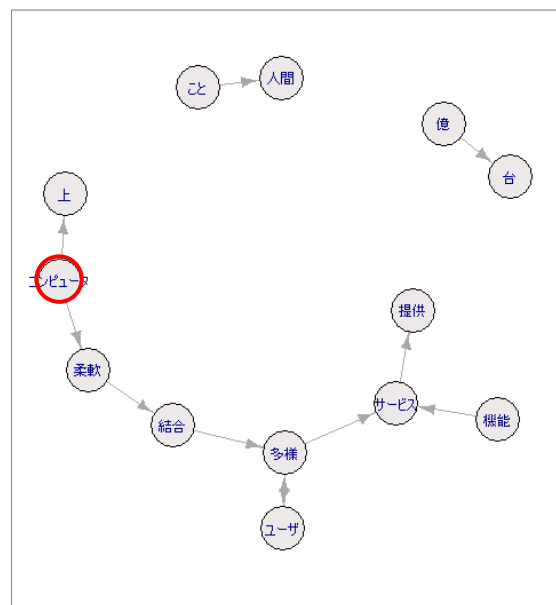
バイオコンピュータ、コンピュータシミュレーション  
並列コンピュータ、コンピュータ通信

<2001年調査>



バイオコンピュータ

<2010年調査>

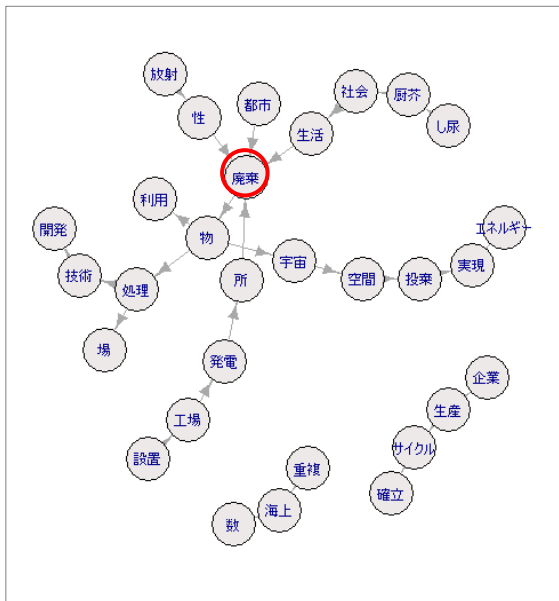


コンピュータ柔軟結合

\* 2005年調査(第8回)では、「コンピュータ」に頻度2以上で隣接する名詞は存在しない。

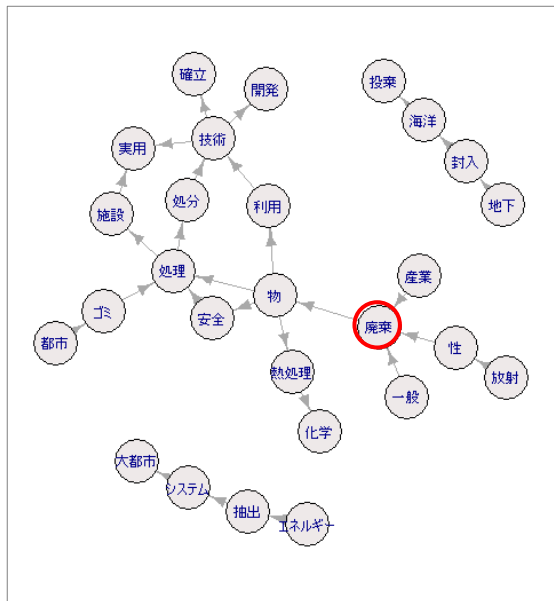
「廃棄」

<1971年調査>



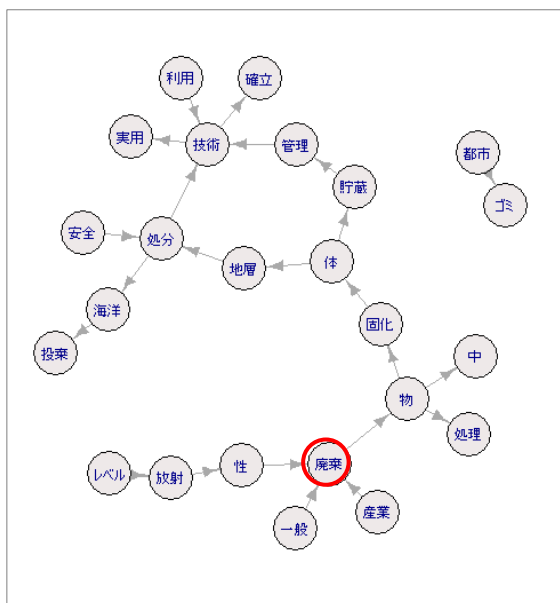
放射性廃棄物、都市廃棄物、生活廃棄物  
廃棄物利用、廃棄物処理

<1977年調査>



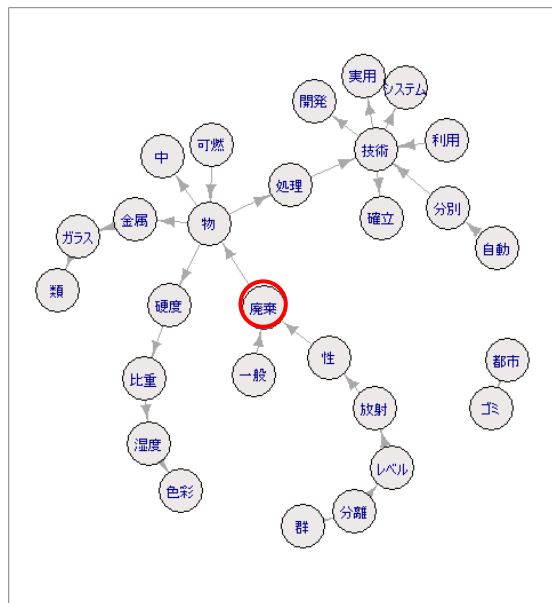
放射性廃棄物、一般廃棄物、産業廃棄物

<1982年調査>



放射性廃棄物、一般廃棄物、産業廃棄物、  
廃棄物処理

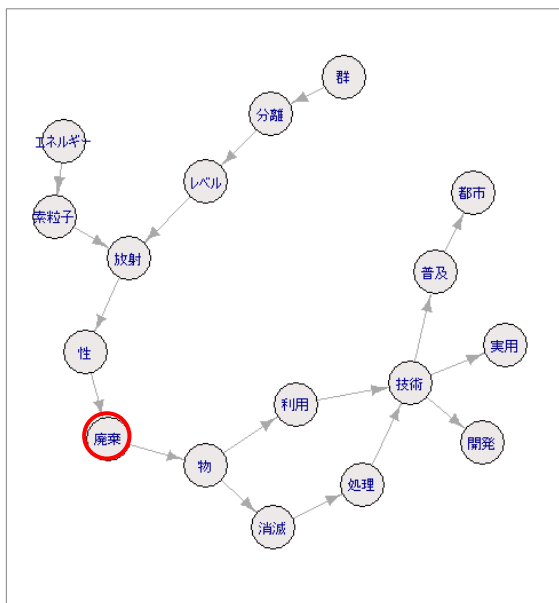
<1987年調査>



放射性廃棄物、一般廃棄物、廃棄物処理

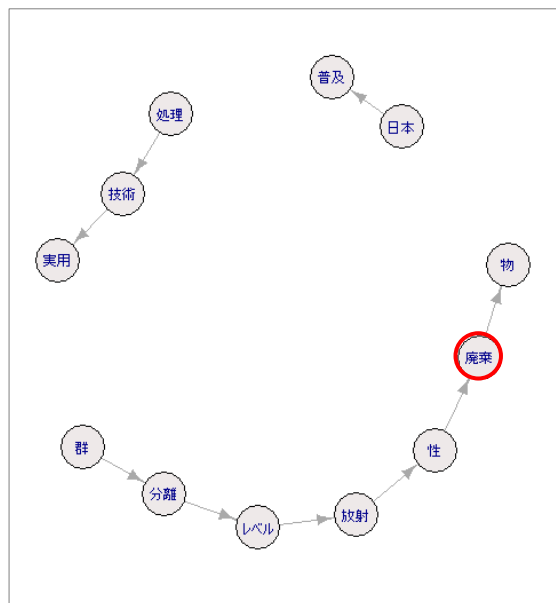
「廃棄」(続き)

<1992年調査>



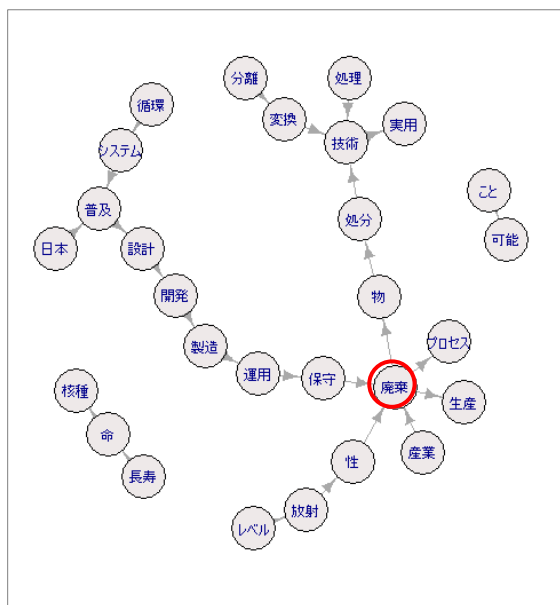
放射性廃棄物

<1997年調査>



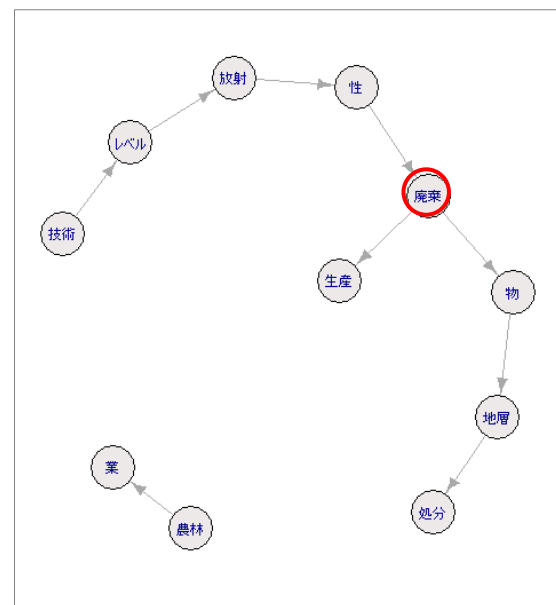
放射性廃棄物

<2001年調査>



放射性廃棄物、産業廃棄物、廃棄プロセス、

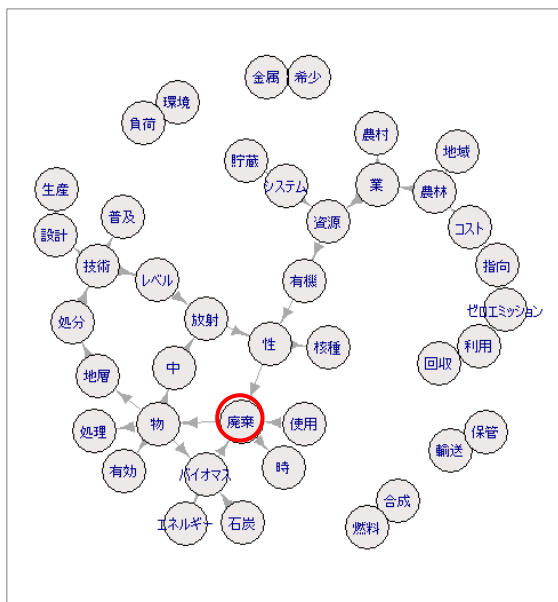
<2005年調査>



放射性廃棄物

## 「廃棄」(続き)

<2010年調査>

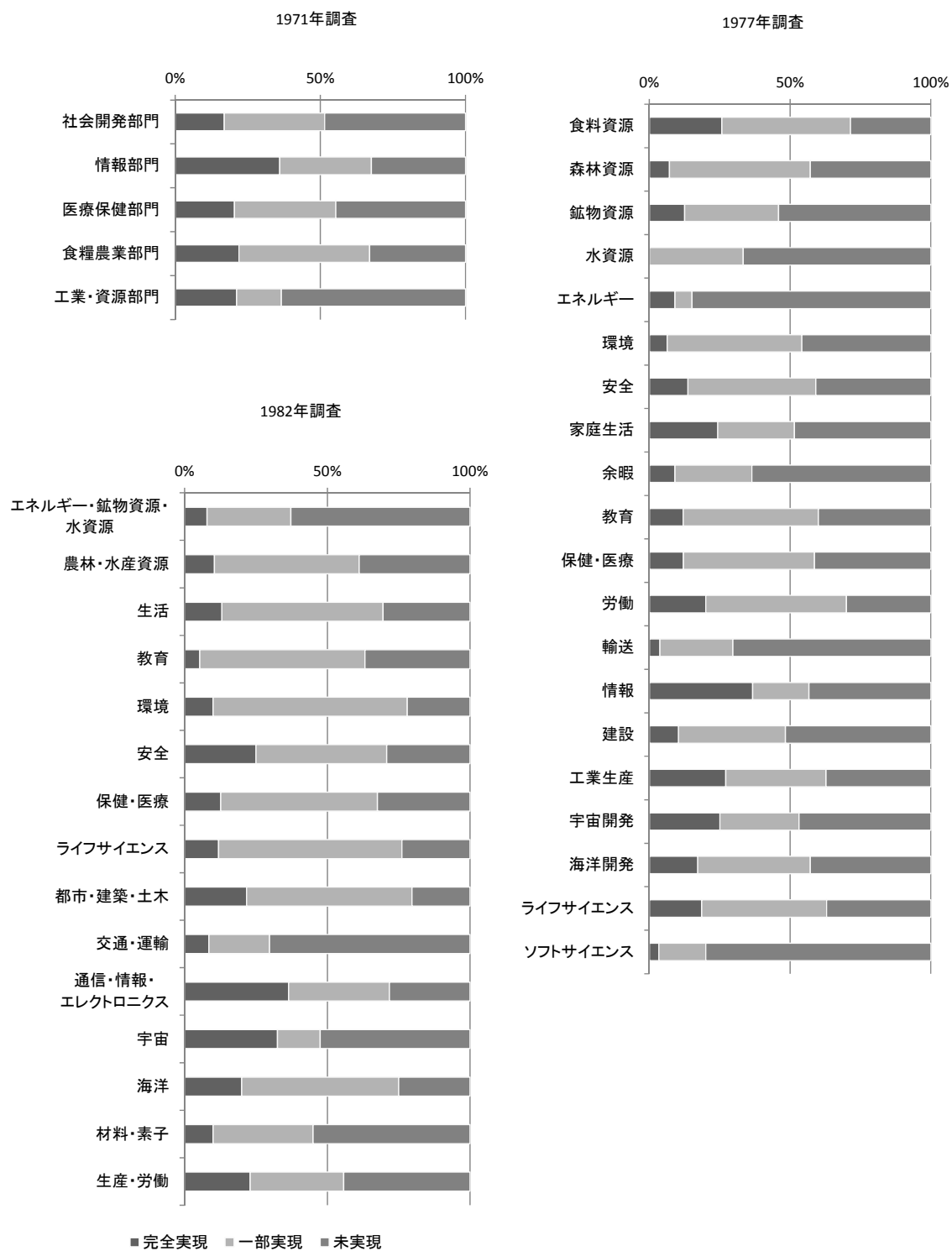


### 放射性廃棄物、バイオマス廃棄、廃棄物処理

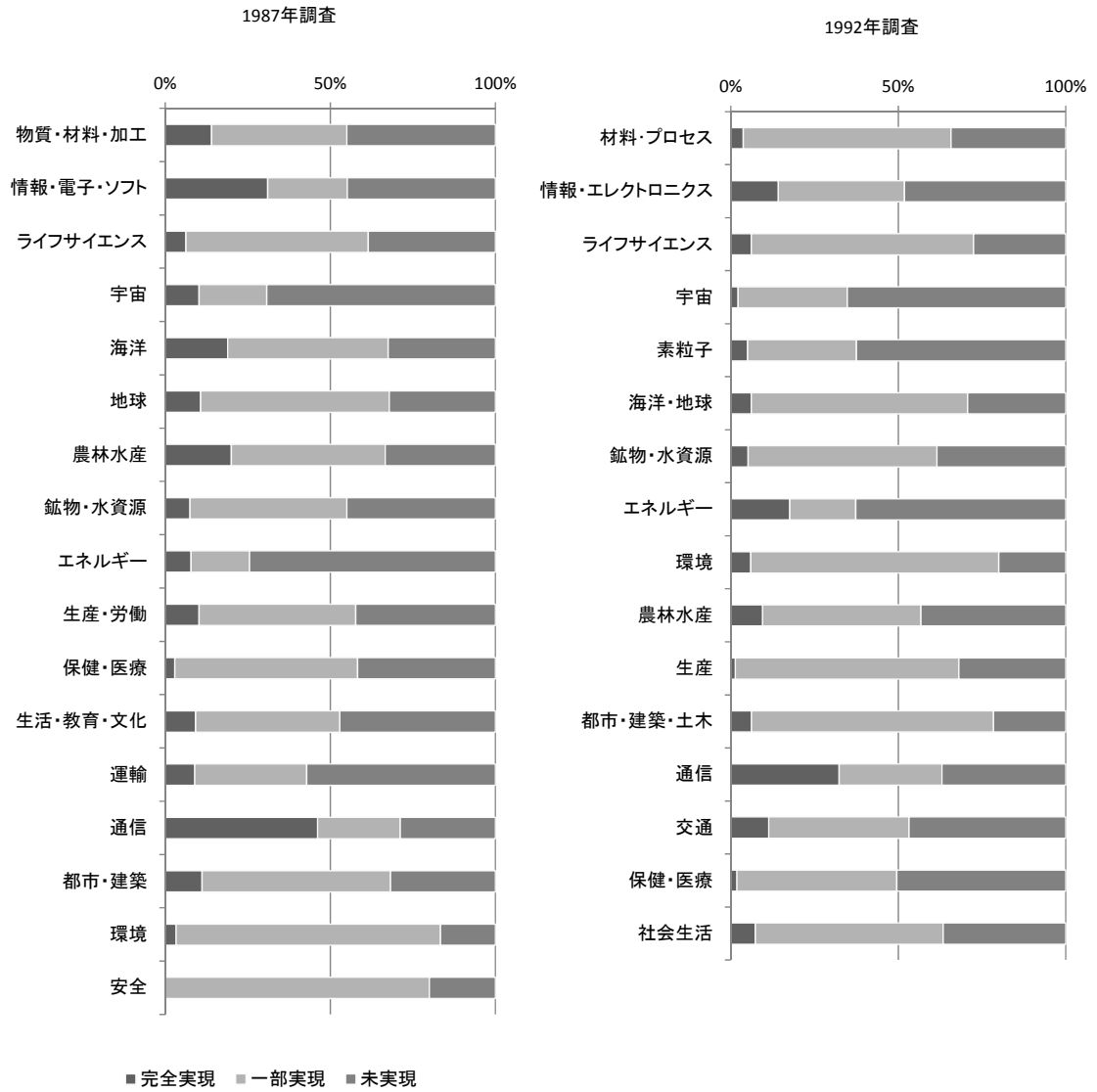
総出現頻度上位100語(上位語)の中から、当該上位語を含むトピック数の増減が特徴的な、観測、細胞、コンピュータ、廃棄の4語について、当該名詞を含むトピックを抽出した。それらのトピックで用いられている名詞をすべて切り出し、名詞間の関係を表す図を作成した。図中の矢印は、頻度2以上で隣接する名詞について、語の並び順に矢印で繋いだもの。

## 資料6：分野別のトピック実現状況

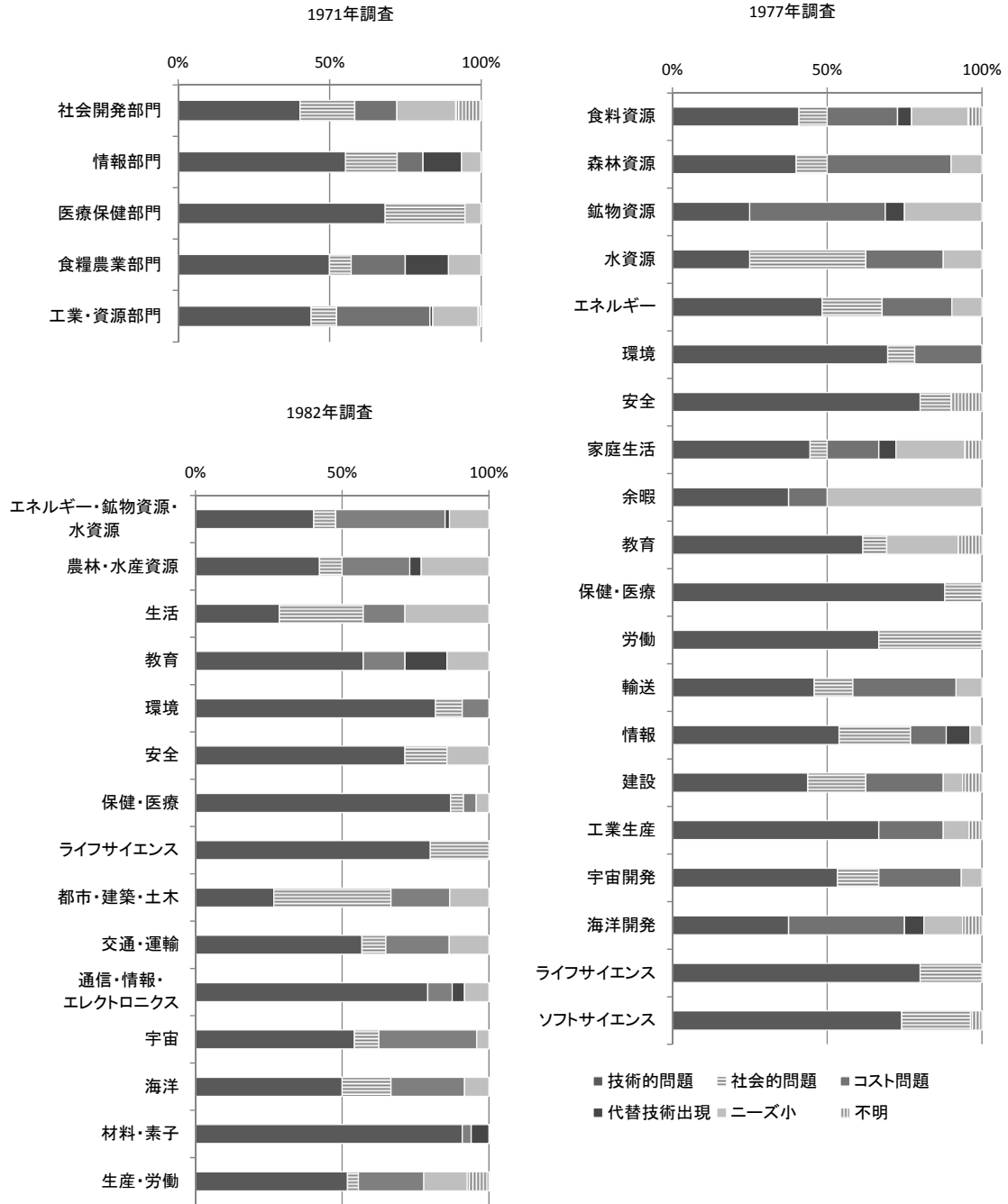
トピック設定から20年経過後の実現状況(完全実現・一部実現・未実現トピック数の割合)



トピック設定から20年経過後の実現状況(続き)

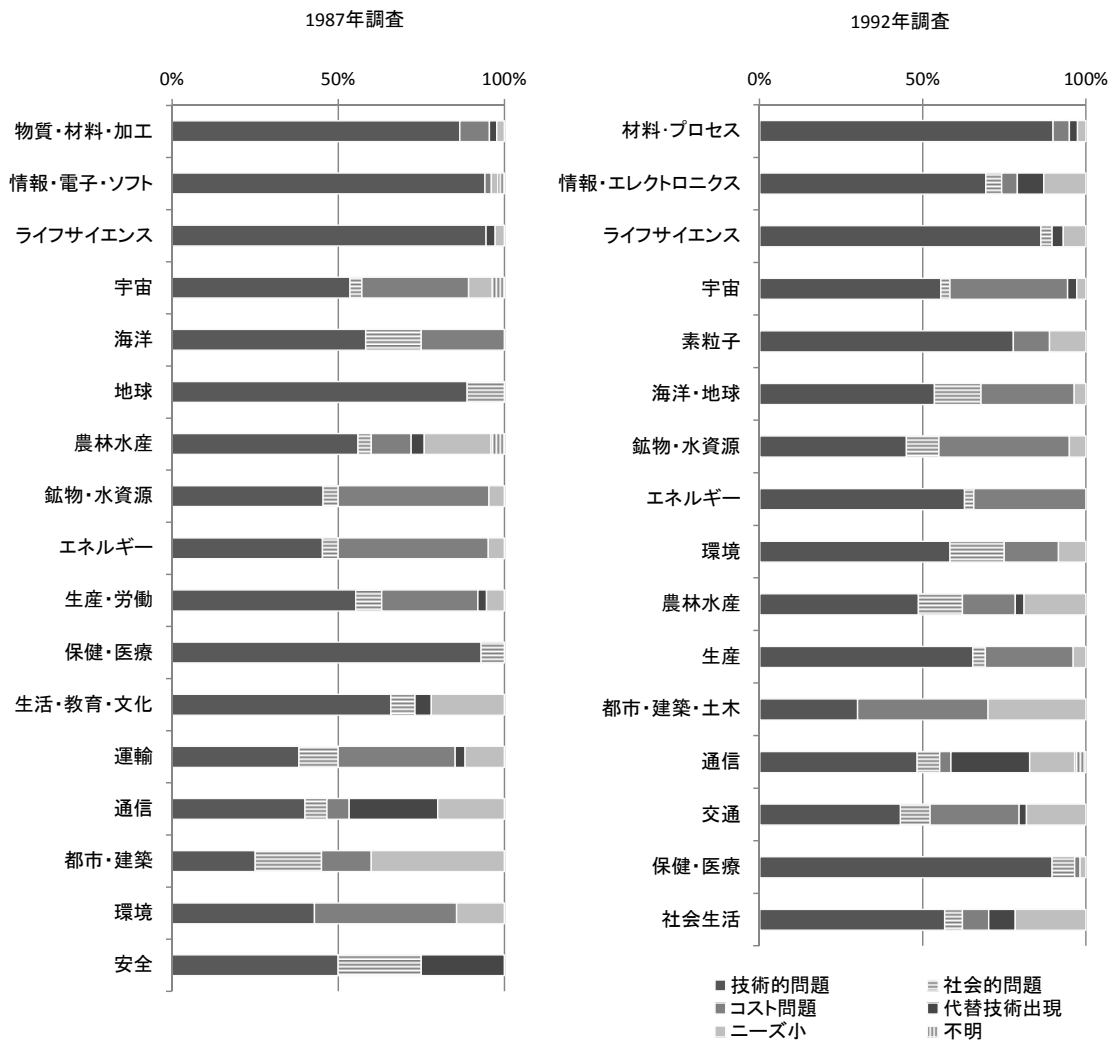


実現していない理由





実現していない理由(続き)



<分析協力>

株式会社アイズファクトリー

岩崎 哲            取締役・情報エンジニアリング部長

筒井 直人        情報エンジニアリング部 部長補佐

DISCUSSION PAPER No. 86

過去のデルファイ調査に見る研究開発のこれまでの方向性

2012 年 9 月

文部科学省 科学技術政策研究所  
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