

|              |                                                                                                                                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | サーブスイノベーションの情報科学リンケージの研究                                                                                                                    |
| Author(s)    | 坂田, 一郎; 橋本, 正洋; 森, 純一郎; 梶川, 裕矢;<br>柴田, 尚樹                                                                                                   |
| Citation     | 年次学術大会講演要旨集, 24: 60-65                                                                                                                      |
| Issue Date   | 2009-10-24                                                                                                                                  |
| Type         | Conference Paper                                                                                                                            |
| Text version | publisher                                                                                                                                   |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/8579">http://hdl.handle.net/10119/8579</a>                                                             |
| Rights       | 本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management. |
| Description  | 一般講演要旨                                                                                                                                      |

## サービスイノベーションの情報科学リンケージの研究

○ 坂田一郎（東京大学）・橋本正洋（特許庁）

森純一郎・梶川裕矢（東京大学）・柴田尚樹（東京大学・スタンフォード大学）

## 要旨

論文をノードとし引用関係をリンクとして構築した論文引用ネットワークを学術俯瞰マップと呼ぶ。サービスイノベーション研究と情報科学研究の二つの学術俯瞰マップの間の言語的なリンケージを算出することで、サービスイノベーションがどのような情報科学に依拠しているかをマクロ的、定量的に分析した。その結果、サービスイノベーションは全体として、情報科学のうち、人工知能、情報検索(ウェブ工学、俯瞰工学等)、情報システムの3分野に深く依拠していることが明らかとなった。また、サービスイノベーション研究内の領域ごとに、依拠する情報科学分野の違いがどの程度、存在するかを特定した。更に、本稿で示したような基礎科学とイノベーションプロセスとの関係を客観的に特定する手法を応用することで、技術ロードマップを高度化しうる可能性があることについて論じた。

## 1. 情報科学リンケージ

IBM 社等によって提起されたサービスサイエンス又は SSME(Service Sciences, Management and Engineering)は、今日、広く認知されるようになっている。各国の政策に採用されているほか、我が国では、時間軸を入れて政策目標とそれへの道筋を具体的に示した「技術戦略マップ：サービス工学分野」も策定されている<sup>1</sup>。一方、サービス産業のマクロ経済に占めるウエイトが大きくなったにもかかわらず、OECD のような国際的な場も含め、サービスサイエンス又は SSME の概念についての共通認識は必ずしも形成されていない。製造業と比較した場合、サービスサイエンスとサービス産業又はサービスイノベーションのプロセス全体との関係が不明確であることが大きな課題の一つとして挙げられよう。この点、先の技術戦略マップは、49 の要素技術を例示し、サービス産業の各機能との対応関係も示すという貢献を行っているが、対応関係の例示は概略的、概念的なものであり、他の領域のマップと比較して、技術の市場化に関するタイムフレームの設定も漠然としたものにとどまっている。技術戦略マップを有意義なものとするには、サービスサイエンスとサービスイノベーションとの対応関係を客観的に特定する手法の開拓とそれを基にしたタイムフレームの精緻化が求められる。

本稿では、情報科学を取り上げて、基礎科学とサービスイノベーションの各領域とのリンケージを特定する手法を検討する。サービスサイエンス自体は、本来、俯瞰的な学問と考えるべきではあるが、その中で、情報科学は重要な位置づけを占めるものと認知されている（科学技術振興機構, 2008）。また、情報科学は進化のスピードが非常に速く、従来多用されてきたデルファイ法、T-Plan 法のような手法では、全体像を特定し構造化することが非常に難しいという性格を持つ。タイムフレームを含めた技術戦略マップの設計を考える上でも情報科学とイノベーションとの関係を定量的に捉えることは、有用であると考えられる。

我々は、サービスイノベーションの各領域又は側面がどの程度、どのような分野の情報科学に依拠しているのかをテキストマイニングの手法を用いて特定し、それを「情報科学リンケージ」と名付ける。

## 2. データと分析手法

論文の引用情報は Garfield(1955)らによって創始され、現在では大量の論文情報からホットトピックや重要論文を抽出するための有益なツールとなっている(Börner et al., 2003)。論文の引用情報を構造化することで、学術俯瞰マップを作成することができる。分析に当たっては、データベースとして、トムソンロイター社の Web of Science、Science Citation Index(SCI) 及び Social Science Citation Index (SSCI)を用いた。

俯瞰マップを作成する手順としては、最初に、検索語又は領域カテゴリを指定し、そのタイトル、キーワード、アブストラクトに含む論文をデータベースから抽出する。次に、これらのデータについて、

論文の一つ一つをノードとし引用関係をリンクとするネットワークを構築し、その最大連結成分を取得する。更にこれらについて Newman 法(Newman,2004)を用いてクラスタリングを行う。クラスタリングの結果、特定されたクラスターは引用関係により特に密につながれた論文群であり、研究領域又は研究コミュニティを示す場合が多い。全クラスターのうち、ノードの数の上位のクラスターについて、論文タイトル、キーワード、アブストラクトから特性を判定し、名称を付した上で可視化を行う。ネットワークの可視化アルゴリズムには Large Graph Layout (Adai et al., 2004)を用いた。以上の俯瞰マップ作成手順を図 1 に示す。

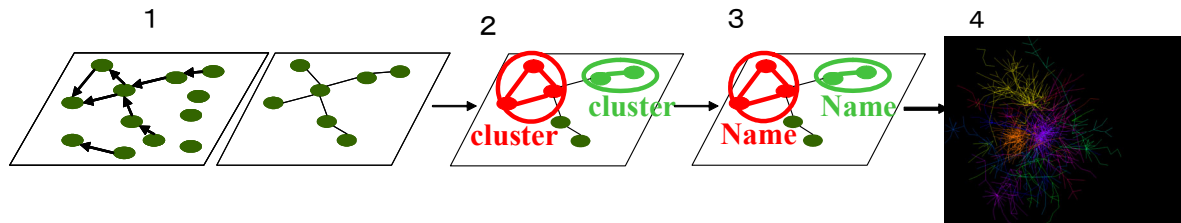


図 1： 分析手順, 1.ネットワークの作成→2.クラスタリング→3.クラスターの特徴分析→4.可視化

我々は、この手法により作成された橋本ほか(2008)による「サービスイノベーション・マップ」と森による「情報科学分野の学術俯瞰図の抽出に関する研究」の 2 つのマップを研究対象とする。前者は、サービスイノベーションの全体プロセス、市場化、イノベーションを担う組織論等を議論している論文群であり、後者は、シーズとしての科学技術研究の論文群である。サービスイノベーション・マップは、innovat-と service という言葉を検索語として用い、抽出された 6,284 件の論文とその引用情報に基づいて作成されている。クラスタリングによって抽出された主要クラスターは 8 件である。一方、情報科学マップは、Web of Science の IT/Computer Science のカテゴリに含まれる論文 765,053 件とその引用情報に基づいて作成されている。1 次のクラスタリングによって抽出されたクラスターのうち、いずれも 6 万件以上の論文が所属する規模上位 3 クラスターを分析対象とする。なお、これらと 4 位以下のクラスターとでは所属論文数の差異が大きい。3 クラスターは、1)機械学習、コンピュータビジョン、コンピュータグラフィックス、2)人工知能、通信ネットワーク、情報検索、情報理論、データベース、3)分散コンピューティング、アーキテクチャ、情報システム、プログラミングである。これら 3 クラスターについて、再度、クラスタリングを行うと 12 の主要サブクラスターが得られる。このようにして特定された両マップの研究領域の名称を整理したものが表 1 である。

表 1：情報科学とサービスイノベーションのクラスター

| 情報科学12領域                 |  | サービス・イノベーション8領域  |
|--------------------------|--|------------------|
| 1. 機械学習、ニューラルネットワーク、ファジー |  | 1. ビジネスサービス      |
| 2. パターン認識、コンピュータビジョン     |  | 2. サービスイノベーション研究 |
| 3. 神経情報学                 |  | 3. 新サービス開発       |
| 4. コンピュータグラフィックス         |  | 4. イノベーションの普及    |
| 5. 人工知能                  |  | 5. サービス組織(病院等)   |
| 6. 通信ネットワーク              |  | 6. 公共サービス        |
| 7. 情報検索                  |  | 7. 情報サービス        |
| 8. 情報理論                  |  | 8. ヘルスケアサービス     |
| 9. 分散コンピューティング           |  |                  |
| 10. アーキテクチャ              |  |                  |
| 11. 情報システム               |  |                  |
| 12. マルチメディア、CAD          |  |                  |

以上の情報をもとに、両マップの間の言語的なリンケージの強弱を算出する(図 2 参照)。ここで、サービスイノベーションのクラスターごとに、どの情報科学の領域(サブクラスターレベル)との言語的な関連が強いかを後方リンケージと呼び、逆に情報科学側からみて、サービスイノベーションのどのクラスターとの関連が強いかを前方リンケージと呼ぶ。前後の呼び方は、市場に近い側を前方と考えて

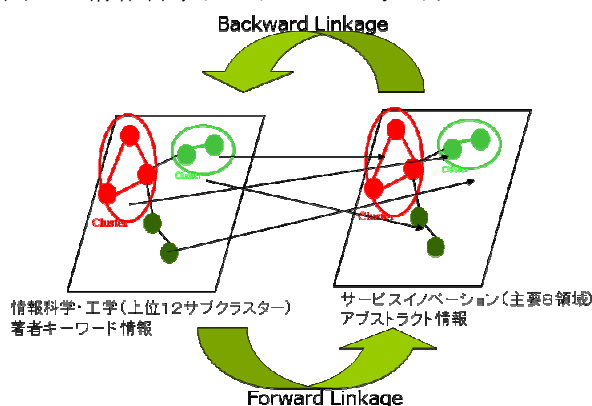
名付けたものである。

情報科学マップのクラスター*i*に含まれるキーワードの集合  $W_i$  の各キーワードを  $w_i$  とし、サービスイノベーション・マップのクラスター*j*の論文のアブストラクトに  $w_i$  が含まれる頻度を  $freq_j(w_i)$  とする。クラスター*i*とクラスター*j*の関連  $linkage(i, j)$ 、すなわち、情報科学リンケージは以下のように計算される。

$$linkage(i, j) = \begin{cases} \sum freq_j(w_i) / |A_j| & \text{if forward linkage } (i \rightarrow j) \\ \sum freq_j(w_i) / |W_i| & \text{if backward linkage } (j \rightarrow i) \end{cases}$$

ここで  $A_j$  はクラスター*j*の論文のアブストラクトの集合である。また、*forward linkage* (*i*→*j*) はクラスター*i*からクラスター*j*への前方リンケージを示し、*backward linkage* (*j*→*i*) はクラスター*j*からクラスター*i*への後方リンケージを示す。

図2：情報科学リンケージの考え方



最初に、情報科学マップの12の主要クラスター（領域）に含まれる論文の著者キーワードの集合  $W_i$  を抽出した。著者キーワードのうち出現頻度が低いものは必ずしも論文のキーワードとして適切でないものがあつたため、出現頻度がある閾値以下のキーワードは分析の対象から除いた。事前実験に基づき、閾値は100とした。各クラスターのキーワードの種類数は、表2の通りである。

表2：キーワードの種類数の分布

| クラスター | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|       | 825 | 657 | 782 | 552 | 722 | 615 |
| クラスター | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|       | 571 | 513 | 576 | 631 | 550 | 592 |

次に、情報科学マップの各クラスターに属する論文の著者キーワード  $W_i$  について、サービスイノベーションの各クラスターに属する論文のアブストラクト  $A_j$  におけるそれらの出現頻度に基づき、情報科学マップとサービスイノベーション・マップとの関連 *forward linkage* (*i*→*j*) 及び *backward linkage* (*j*→*i*) を計算した。サービスイノベーションマップにおける各クラスターの論文のアブストラクト数は、表3の通りである。

表3：アブストラクト数の分布

|          | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
|----------|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| アブストラクト数 | 116 | 99 | 97 | 56 | 56 | 50 | 46 | 38 |

以上の結果に基づき、サービスイノベーションと情報科学の相互の関係を議論する。

### 3. 分析結果

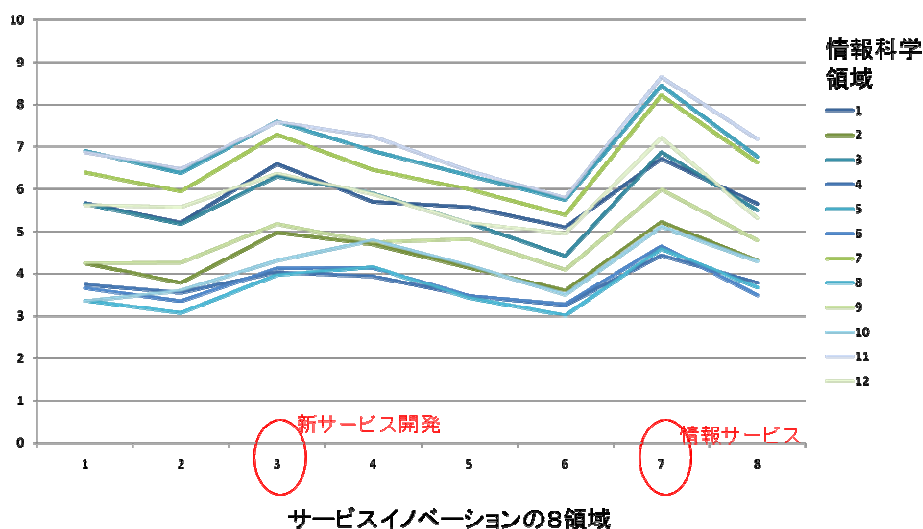
Linkage(i, j)の分析結果をマトリックスとして示したものが表4である。縦軸を情報科学の12領域、横軸をサービスイノベーションの8領域とし、領域×領域で、出現頻度を整理したものである。例えば、情報科学領域#2の著者キーワード群のサービスイノベーションの領域#2に属するアブストラクト群への出現頻度は374件である。正規化前の段階では、情報科学の領域#2に属するキーワード群のサービスイノベーションの領域#2に属するアブストラクト群への出現頻度が801件と最も高い<sup>2</sup>。

表4:出現頻度マトリックス

|           |    | サービスイノベーションの8領域 |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|----|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           |    | 1               | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| 情報科学の12領域 | 1  | 658             | 515 | 639 | 319 | 312 | 255 | 309 | 215 |
|           | 2  | 492             | 374 | 482 | 263 | 232 | 180 | 240 | 164 |
|           | 3  | 655             | 512 | 611 | 330 | 291 | 221 | 316 | 209 |
|           | 4  | 434             | 352 | 391 | 221 | 195 | 163 | 204 | 144 |
|           | 5  | 801             | 631 | 738 | 387 | 354 | 287 | 389 | 257 |
|           | 6  | 425             | 332 | 400 | 232 | 195 | 164 | 214 | 133 |
|           | 7  | 742             | 589 | 708 | 362 | 336 | 270 | 378 | 252 |
|           | 8  | 391             | 305 | 385 | 233 | 192 | 151 | 211 | 140 |
|           | 9  | 494             | 422 | 503 | 266 | 270 | 205 | 276 | 182 |
|           | 10 | 389             | 357 | 418 | 268 | 234 | 175 | 235 | 163 |
|           | 11 | 798             | 642 | 736 | 406 | 360 | 290 | 398 | 273 |
|           | 12 | 653             | 553 | 618 | 330 | 291 | 248 | 332 | 202 |

*forward linkage* ( $i \rightarrow j$ )については、横の比較を行うため、サービスイノベーションの各領域に含まれる論文アブストラクト数で正規化を行っている。領域ごとに取得できたアブストラクト数には、ばらつきがあり、アブストラクト数が多ければ出現頻度が高くなるからである。その結果、図3によれば、まず、情報科学領域ごとの差異は小さいことがみてとれる。その中でも「新サービス開発」と「情報サービス」とのリンケージが高いことがわかる。情報サービスとのリンケージの高さは予想された結果であるが、それ以外に、新たな商品開発への投入頻度が高いことが抽出された。

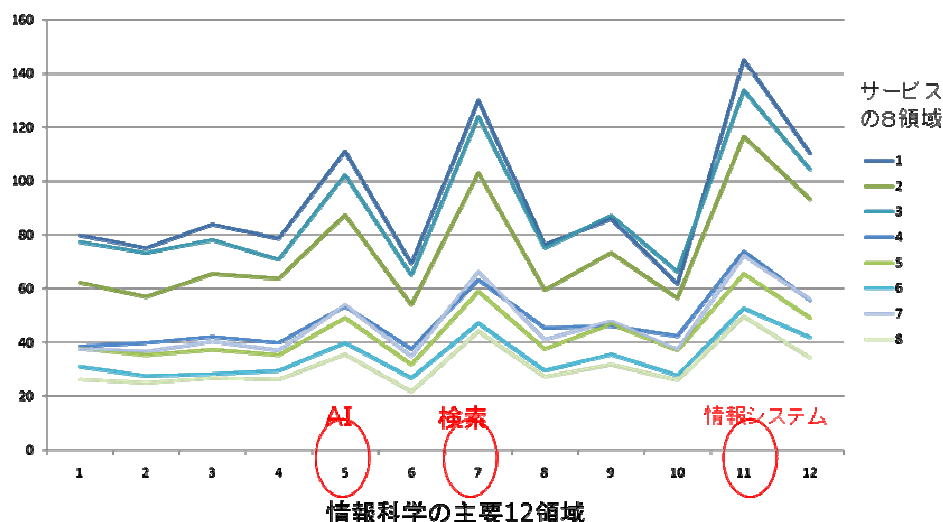
図3：前方リンケージの比較（サービスイノベーション領域別）



*backward linkage* ( $j \rightarrow i$ )については、情報科学の各領域に含まれる単語の種類数で正規化を行っている。単語の種類数は領域により3倍程度の開きがある。その結果、人工知能(AI)、情報検索、情報システムとのリンケージが顕著に高いことが判明した(図4)。サービスの8領域別に、どの情報科学とリンケージが高いかについては、ほとんど差異が見られない。なお、正規化を行わない場合、神経情報学にも出現頻度の山がみられる。

言語的な分析でみる限り、現在のサービスイノベーションは、人工知能(AI)、情報検索、情報システムの3領域への依存度が高いことがわかる。情報の蓄積、それへのアクセス、アクセス結果の処理の3つの基本要素に関わる技術群が現在のサービスイノベーションを支えていると言える。

図4：後方リンケージの比較（情報科学の領域別）



#### 4. 結論と今後の課題

既存の2つのマップ（情報科学、サービスイノベーション）について、論文に含まれるキーワード、アブストラクト間の言語的な出現頻度を計算する手法により、サービスイノベーションと情報科学との間のリンケージ（「情報科学リンケージ」）の客観的な分析を試みた。その結果、情報科学は、サービスイノベーションの8領域のうち、新サービス開発と情報サービスとのリンケージがやや高く、サービスイノベーションは、情報科学のうち、人工知能(AI)、検索、情報システムの3領域とのリンケージが高いことを特定することができた。

「技術戦略マップ サービス工学分野」において特定されているサービス工学の技術群には、人工知能(AI)、検索、情報システムの3領域に含まれる技術が多く含まれている。この点では、T-plan法に基づき作成された技術戦略マップの適切性をサポートする結果となっている。

情報科学は知識進化のスピードが非常に早い分野である。そのような性格を持つ科学の周辺で、従来型の手法により、技術戦略マップを策定し、変化に応じて更新していくことは、次第に困難になってきている。一方、進化の早い分野における技術進歩、新技術の登場、技術開発のトレンドの構造変化等を早期に認識する手法として、「学術俯瞰マップ」が注目されているが（例えば、Shibata et al., 2009, Takeda et al., 2009）、それを技術戦略の策定プロセスに落とし込む体系的な手法はこれまで開拓されてこなかった。言語的な分析によりリンケージを特定する我々の手法は、技術戦略マップと学術俯瞰マップとを橋渡しする方法となりうる。本手法を応用して、予め情報科学の学術俯瞰マップとのリンクを張っておくことで、学術俯瞰マップの更新に応じ、追加の情報提供や技術ロードマップの変更の自動修正を行うことが可能となる。例えば、ロードマップの時間軸について、特定の技術領域の研究が予想よりも活発化したことが学術俯瞰マップに現れた場合、それを反映させ、達成見込み時期を前倒しするのである。サービスイノベーションを含め、進化の早い科学技術に裏打ちされた分野について、このような新たな仕組み（「自動修正機能付きロードマップ」と呼ぶ）の導入を提案したい。

本手法には、改善の余地も多く残されている。一つは、書誌分析の対象とする範囲である。本研究では、情報科学側の特性を明確にすることとノイズを排除することを重視して、情報科学側は著者キーワ

ード、サービスイノベーション側はアブストラクトを用いた。ノイズの排除には成功しているが、反面、使用する情報量を限定していることも事実である。例えば、サービスイノベーション側の分析対象をフルテキストとすることや両者をアブストラクトとすることも考え得る。今後、比較検討が必要であると考えている。また、大量の論文を含むA I、情報検索、情報システムの領域は、再度のクラスタリングにより更に細分化された多数のグループ群として再整理し、リンケージを算出することが可能であるが、本稿ではそこまで踏み込んではいない。例えば、サービスイノベーションを支える人材育成のプログラムを検討するような場合は、情報科学は重要であるが(丹羽, 2006)、教育期間や人的資源に応じて時間又は物理的な限界が存在する。3 領域が持つ膨大な知識量の中から当該イノベーションとさらに関連の深いサブ領域を特定し、それら領域を優先して講義等のカリキュラム編成を行うような対応が求められるであろう。今後、更に細分化された領域についても本手法を適用してリンケージを検討していきたい。

#### (謝辞)

本研究は、内閣府経済社会総合研究所の助成を得て、その「サービス・イノベーション政策に関する国際共同研究」(平成 21 年度事務局：未来工学研究所)の一貫として実施したものである。

#### (参考文献)

- Adai A.T., Date S.V., Wieland S., Marcotte E.M. (2004) "LGL: Creating a map of protein function with an algorithm for visualizing very large biological networks." *J Mol Biol* 340:179-190
- Börner K., Chen C., Boyack K.W. (2003) "Visualizing knowledge domains." *Annual Rev Info Sci Technol* 37:179-255
- Garfield, E. (1955) "Citation indexes for science: a new dimension in documentation through association of ideas." *Science* 122:108.
- Newman M.E.J.(2004) "Fast Algorithm for detecting community structure in networks." *Phys Rev E* 69:066133
- Shibata N., Kajikawa Y., Takeda Y., Sakata I., Matsushima K.(2009) "Detecting emerging research fronts in regenerative medicine by citation network analysis of scientific publications" *Portland International Conference on Management Engineering and Technology 2009 (PICMET'09) in Portland, U.S.A. (August 2-6, 2009).*
- Takeda Y., Mae S., Kajikawa Y., Matsushima K.(2009) "Nanobiotechnology as an emerging research domain from nanotechnology: a bibliometric approach" *Scientometrics* 78:543-558
- 科学技術振興機構研究開発センター(2008)「サービスの効率化・高度化に向けた数理・情報科学に基づく技術基盤の構築」CRDS-FY2008-SP-06
- 経済産業省(2008)「技術戦略マップ サービス工学分野」  
<http://www.nedo.go.jp/roadmap/2009/soft2.pdf>
- 丹羽邦彦(2006)「サービスサイエンス サービスイノベーションを目指す多分野融合的アプローチ」一橋ビジネスレビュー54 巻 2 号 70-84
- 橋本正洋, 坂田一郎, 梶川裕矢, 武田善行, 松島克守(2008)「サービスイノベーションの分析」研究・技術計画学会 2008 全国大会予稿集 2B04

<sup>1</sup> 例えば、米国では、国家競争力法の第 1 章において、サービス科学の認知度向上、支援のあり方の検討等を規定している。EU では、Europe INNOVA が "Fostering Innovation in Service" (2007) 等の報告書をまとめている。また、現在策定中の "European Plan for Innovation 2010" の中で、Innovation in Service Sector は重要な作業項目として位置づけられている。OECD は現在、2010 年春の完成を目指して "OECD Innovation Strategy" を検討中であるが、本年 7 月の Interim Report 2009 では、民間セクターのイノベーションに適した環境創造として挙げられた 9 項目のうち 1 つが Focus on Service である。

<sup>2</sup> 例えば、人工知能(No.5)の著者キーワードで新サービス開発(No.3)のアブストラクトに出現するキーワードは、Design, Interaction, Decision-Making, Empirical Study, Heterogeneity, Problem Solving, Modeling, Identification, Project Management, Resource Management, Hierarchy, Concurrent Engineering, Hypermedia, Networks, Information Sharing, Fuzzy E-Commerce, Logistic Regression, Partial Least Squares, Correlation 等である。