

Title	最先端学術分野に適用する既存科学技術候補の抽出に関する研究
Author(s)	岩見, 紫乃; 原田, 大地; 梶川, 裕矢
Citation	年次学術大会講演要旨集, 30: 898-902
Issue Date	2015-10-10
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/13419">http://hdl.handle.net/10119/13419</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

## 最先端学術分野に適用する既存科学技術候補の抽出に関する研究

○岩見紫乃（科学技術振興機構）、原田大地、梶川裕矢（東京工業大学）

## 1. はじめに

日本の少子高齢化が進行し労働人口が減少する中で社会保障費が増加していくことから、収益性の高い産業の育成等が必要であるにも関わらず、その種を産出すべき科学技術費は、毎年、増減する予備費や地方公共団体分を除くと横ばいである。政府も、「限られた予算を有望な分野や政策に重点的に配分」する方針を打ち出しており[1]、科学技術の成果を効果的・効率的にイノベーションに結びつけるシステムを強化することが求められる。その一つの方策が、既存の科学技術を異分野で活用し、一粒の種から二度三度、果実を得ることである。例えば、イノベーションに取り組んでいる企業の一つに3Mがあるが、3Mは自社の保有する技術を組み合わせて新しい製品を産み出し、ひとつの技術を複数の製品に適用するフレームワークを「テクノロジープラットフォーム」として活用している[2]。

そこで、本研究では、科学技術の効率的な活用を目指して、他分野で通用する科学技術の候補を抽出することを目的とする。具体的には、ロボットに関する日本の得意分野が他の科学技術に適用できるか、特徴的なキーワードを利用して分野間の類似度を計算することで、探索的に分析する。ロボット分野の全体像の俯瞰は、2012年時点のデータを用い先行研究[3]で実施している。本研究では、最新のデータを含むように新たにデータセットを構築し、構築したデータセットを用いて、他分野との関連性の分析を行った。論文への引用関係を分析の元データとして活用することは、Garfieldが研究の評価として取り組み始め[4]、書誌計量学・科学計量学として発達してきた。類似度を活用して異なる分野間の関連性を見出す研究に、論文と特許の類似性計算から論文または特許の空白を探し出す研究[5]、社会課題と技術との類似性から課題の解決策を発見する研究[6]、既知と未知の関係性を含む類似度と既知の関係性を示す引用関係・共著関係の差分から未知の関係性を見つけ出す研究[7]などがある。

## 2. 手法

本研究では、近年の注目を集めているロボット分野について、2015年8月11日時点でWeb of Scienceに収録されている77,657論文を収集した。この分野の国別論文数をみると、各年の論文数について2008年までは日本が世界で2位であったが、2009年には中国にその座を譲り、2014年段階ではトップの米国、3位の韓国、4位のイタリアに次いで、日本は5位となっていることが分かった。これらのロボット分野の論文のうち、引用ネットワークの最大連結成分を形成する54,370論文の書誌情報を学術俯瞰システム[8][9][10]を用いてクラスターに分割し、25の日本の得意分野を特定した。ここで、日本の得意分野とは、そのクラスターに含まれている論文のうち、被引用数が最大の論文著者が日本の組織に所属しているものとする。ただし、論文数が多いクラスターに関しては、1クラスターに含まれる論文数が1,000論文未満になるまでサブクラスターリングを再帰的に実施して分野に分割し、10論文以上999論文以下のクラスターを対象とする。

ロボットに関する日本の得意分野それぞれの特徴語ベクトルと、他分野のクラスターの特徴語ベクトルとの類似度を計算し、高い類似度を有するクラスターペアについて内容を確認する。

本分析で利用する学術俯瞰システム[8][9][10]では、以下の手順で分析を行う。

- ステップ 1. 分析の対象となる論文の書誌情報を Thomson Reuters 社の Web of Science より取得する。
- ステップ 2. 1論文を1ノード、2つの論文間の引用と被引用の引用関係を1エッジとし、引用ネットワークを構築する。引用関係には、直接引用、共引用、書誌結合の3種類があるが、ここでは、内容の近さが他より近くなり、より多くの論文を分析に利用できる直接引用[11]を選択する。
- ステップ 3. 引用ネットワークの最大連結成分に対し、クラスター分析を行う。クラスター分析の手法は、Newmanにより開発された Fast Clustering Algorithm[12]を用いる。この Newman 法では、モジュラリティが最大になるように自動的にクラスターに分割されるため、事前に分割するクラスター数を設定する必要がない。

他分野の中には、Web of Science に含まれる 2007-2014 年に出版された論文で構成される、あらゆる分野が含まれる。

### 3. 結果

ロボットに関する日本の得意分野として、表 1 に、クラスター内で日本の論文が最多の被引用数を集めた 25 クラスターを示す。

表 1 ロボット分野における、日本の論文の被引用数がトップである 25 クラスター

	平均 出版年	論文数	リンク 数	トピック	日本の シェア
C#1-1-2-4	2012.0	16	21	自己組織化組立システム、進化するロボット	12.5%
C#4-17	2011.3	10	9	リハビリテーション、動作支援	20.0%
C#1-14	2011.1	14	14	連想記憶、認知アーキテクチャ	14.3%
C#1-3-2-9	2011.0	11	14	視線予測	9.1%
C#4-2-2	2010.8	334	1,123	不気味の谷	19.2%
C#1-1-3-6	2010.0	48	72	マルチ・エージェント・ロボット、狩猟動作における協働	8.3%
C#1-3-2-2	2009.5	293	955	認知発達ロボティクス	10.9%
C#4-8	2009.4	66	72	人-ロボット間インターフェース	10.6%
C#42	2009.4	15	28	曲線における経路計画	33.3%
C#1-4-4	2009.2	475	876	ビジョン、視覚センサー	4.2%
C#1-3-1-4	2008.9	100	251	蛇ロボット	11.0%
C#1-1-3-5	2008.9	122	422	自律分散ロボットの経路決定	9.8%
C#5-24	2008.8	13	14	手術ロボット	30.8%
C#2-15	2008.0	10	10	触覚インターフェース、五本指インターフェース	30.0%
C#6-10	2008.0	41	62	バイオマス、エタノール精製（ロボットが本題ではない）	7.3%
C#1-1-2-3	2007.8	343	1,738	モジュールロボット、再構成可能ロボット	10.2%
C#1-3-3-9	2007.4	10	9	二足歩行の安定動作のためのマニピレーター	10.0%
C#1-3-3-7	2007.3	16	16	遠隔操作、協調ロボット	25.0%
C#1-3-2-6	2007.1	38	44	対応・対話、語彙獲得	23.7%
C#1-2-8	2006.9	38	69	体操ロボット	28.9%
C#1-2-12	2006.4	25	38	セキュリティロボット、パトロール	8.0%
C#1-3-3-1	2006.2	324	1,191	二足歩行の歩行計画	7.1%
C#1-3-3-8	2005.2	10	12	ロボカップ、人間型	20.0%
C#1-12	2003.6	22	24	ロボカップ、ロボットサッカー	27.3%
C#5-2	2002.9	228	588	農業ロボット	7.0%

これら 25 クラスターと他分野の論文の、それぞれのクラスターの 50 の特徴語を使ってコサイン類似度によりクラスター間の類似度を計算し、類似度の高い方から 50 クラスターを選定する。この 50 クラスターの類似度は、0.518~0.316 であった。選定の後、他分野のクラスターのうち、ロボットを扱っているクラスターは除外すると、5 トピック (0.425~0.318) に集約された。表 2 に結果を示す。

表 2 ロボット分野のち日本の強いトピックと、類似度の高い分野のトピック

	ロボット分野	※1	他分野のトピック	※2
A1	農業ロボット [2002.9 年]	-	B1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 果実の冷害耐性を高める研究 [2011.7 年]</li> <li>• 果実のアスコルビン酸（ビタミン C 原末） [2011.7 年、2011.3 年]</li> <li>• 農作物の品種改良（大きさ、耐病性など） [2011.6 年]</li> <li>• 果実の熟成 [2012.3 年]</li> </ul>	無

A2	蛇ロボット [2008.9年]	有	B2	<ul style="list-style-type: none"> <li>化石からみる蛇の進化 [2011.6年]</li> <li>蛇や水辺、甲殻類の分布・生態 [2011.7年、2012.2年]</li> <li>毒蛇にかまれた時の治療 [2011.7年]</li> </ul>	無
A3	バイオマス、エタノール精製 [2008.0年]	有	B3	<ul style="list-style-type: none"> <li>バイオ燃料 [2011.9年]</li> <li>藻類または発酵によるエタノール抽出 [2011.8年]</li> </ul>	無
A4	二足歩行の安定動作のためのマニピレーター [2007.4年]	有	B4	<ul style="list-style-type: none"> <li>形状記憶合金 [2011.9年]</li> </ul>	無
A5	セキュリティロボット、パトロール [2006.4年]	有	B5	<ul style="list-style-type: none"> <li>カオスシステム、流れ、同期 [2012.1年]</li> </ul>	無

[ ]で示す年は対象となったクラスターの平均出版年を示し、※1 欄は A 群と B 群との間の引用関係の有無を、※2 欄は B 群に「robot OR robots OR robotic OR robotics」のキーワードの有無を示す。(ただし、「-」は合理的な時間内に検証が完了しなかった。)

著者の誰かが関係性を認識している既知の関係か、未知の関係かを判断するために、A 群と B 群の間で引用関係があるか否かを表 2 の※1 欄に調査した。また、B 群がロボットを意識して実施された研究であるかを確認するために、表 2 の※2 欄に、B 群にロボット関係のキーワードが含まれているか確認した結果を記した。データセットが大きく引用関係の調査が終わらなかった A1 と B1 の間を除き、B 群はロボットを対象にしていなくてもかかわらず、A 群と B 群との間には引用関係が存在していることが分かった。

#### 4. 考察

上記の結果では、各クラスターペアで、ロボット分野 A 群の平均出版年が古く B 群の平均出版年が新しい傾向にある。単純に平均出版年を比較すると古い方から新しい方へ知見を適用することを考えるが、内容を精査するとロボット分野に対して他分野の要素技術が適用できるクラスターペアもある。

A2「蛇ロボット」と B3 の蛇に関わるトピックにおいては、蛇の匍匐前進や水中を泳ぐ機構を利用して、蛇ロボットが世界中で作られており[13]、生物のしくみがロボットに応用された事例である。日本の得意分野としては登場しなかったが、「biomimetic robot」(生体模倣ロボット)として、壁面に張り付くヤモリの手[14]や蜂の空中停止機構[15]など多様な生物の機構をロボットに活用している事例もある。

A5「セキュリティロボット、パトロール」および B5「カオスシステム、流れ、同期」において、それぞれ「chaotic」が特徴語に挙げられており、ロボットに予測不可能な動きを加えること、そして、自律移動を行うこと (A5) に対して、カオスシステムの理論 (B5) の適用が期待される。移動ロボットが実用されると外乱により常に経路情報の更新が要求される。その際の経路の再計算に、カオスシステムが貢献し、移動ロボットが自律的に移動できるようになると予想される。

以上の 2 分野では、他分野の知見がロボットに活かされる可能性があるのに対し、残りの 2 分野は、ロボット分野 A 群が他分野 B 群で活躍する目的で製作されている。「農業ロボット」(A1) では、収穫ロボット、種まきロボット、食品の封入ロボットなどを研究対象にしており、また、果実に関する特徴語が含まれているため農業分野 (B1) との類似度が高い。また、「バイオマス、エタノール製造」(A3 および B3) においては、ロボット分野 (A3) の主なトピックはロボットではない。類似度が高い理由は、両分野にバイオマスや原料となる糖や酵素の物質名 (キシロース、セルラーゼなど) が含まれているためである。ロボット分野の「バイオマス、エタノール製造」(A3) においてロボットに関する研究を見ると、素材の分類や酵素の自動付加[18]、タンパク質精製時の吸い上げ[19]など、製造過程の微細な作業をロボットで自動化することが行われている。

残る 1 分野の、A4「二足歩行の安定動作のためのマニピレーター」と B4「形状記憶合金」の組み合わせを見ると、A4 において最も引用されている日本の論文[16]は二足歩行における安定動作について記述されているが、この研究自体には形状記憶合金の記述はない。同クラスターには、形状記憶合金 (SMA; shape memory alloy) は応答が遅いという特性のために、SMA をアクチュエータに使用するとロボットの二足歩行の安定性に問題を発生する可能性があるが、その問題を解決するモデルを提示した研

究[17]があり、これが他分野の形状記憶合金のクラスターと同じキーワード (SMA; shape memory alloy) を有している。A4 と B4 との間では、部品 (B4) と製品 (A4) の関係であり、他分野がロボット分野に直接的に貢献している。

これらを類型化すると、以下の3種類の関係性に整理できる。

- A refers to B. (A2・B2、A5・B5)
- A is applicable for B. (A1・B1、A3・B3)
- A consists of B. (A4・B4)

## 5. 結論

本研究では、異なる分野のキーワード類似度を測定することで、既存の科学技術を他の分野へ適用する方法について分析を行った。ロボット分野の論文を Web of Science から収集し引用ネットワークを形成した後、クラスター分析により 1,000 未満の論文になるまで分割した。これらクラスターをロボット分野における学術分野とし、他分野のクラスターとの類似度をクラスターの特徴語ベクトルを用いてコサイン類似度を計算した。その結果、ロボットに関係しない他分野から、ロボットに関する日本の得意分野と類似度の高い5トピックが抽出された。これらのうち、3トピックにおいて、「蛇」から「蛇ロボット」へ、「形状記憶合金」から「二足歩行の安定性」へ、「カオスシステム、流れ、同期」から「セキュリティロボット、パトロール」への応用可能性を発見した。また、「農業ロボット」「バイオマス、エタノール製造」の2トピックはロボットが活躍する分野を見出した。

本研究では、ロボット分野と他分野との間において引用関係があることは確認したが、引用の方向を確認していない。しかしながら、B群にロボットに関するキーワードはないが、A群とB群との間に引用関係があることから、ロボット分野A群は他分野B群を意識して研究していることが予想される。今後の研究においては未知の組み合わせを発見しイノベーションを創出する端緒を開きたい。本研究の手法は、既存の科学技術を再活用を促し、科学技術を効率的に発展にさせる一助となると期待する。

## 参考文献

- [1] 内閣府, “科学技術関係予算のプロセス (平成 26 年度～) .” [Online]. Available: <http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/index4.html>. [Accessed: 31-Aug-2015].
- [2] 3M, “3M テクノロジー.” [Online]. Available: [http://www.3mcompany.jp/3M/ja\\_JP/company-jp/about-3m/technologies/](http://www.3mcompany.jp/3M/ja_JP/company-jp/about-3m/technologies/). [Accessed: 24-Aug-2015].
- [3] 内藤理, 岩見紫乃, 森純一郎, 梶川裕矢, 佐藤啓宏, 工藤俊亮, and 池内克史, “実社会との関係形成で変化するロボット研究の現状:—ロボットに関する学術論文の引用関係からの考察—,” 日本ロボット学会誌, vol. 31, no. 8, pp. 804–815, 2013.
- [4] E. Garfield, “Citation Indexes for Science: A New Dimension in Documentation through Association of Ideas,” *Science (80- )*, vol. 122, no. 3159, pp. 108–111, Jul. 1955.
- [5] N. Shibata, Y. Kajikawa, and I. Sakata, “Extracting the commercialization gap between science and technology -- Case study of a solar cell,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 77, no. 7, pp. 1147–1155, 2010.
- [6] V. Ittipanuvat, K. Fujita, I. Sakata, and Y. Kajikawa, “Finding linkage between technology and social issue: A Literature Based Discovery approach,” *J. Eng. Technol. Manag. -JET-M*, vol. 32, pp. 160–184, 2014.
- [7] S. Iwami, F. Tacao, J. Mori, Y. Kajikawa, and I. Sakata, “Bibliometric Methodology to Detect Collaborative and Competitive Countries,” in *IEEE IEEM*, 2014.
- [8] イノベーション政策研究センター, “学術俯瞰システム,” 2013. [Online]. Available: <http://academic-landscape.com/>.
- [9] 松島克守, 梶川裕矢, 坂田一郎, 柴田尚樹, and 武田善行, 知の構造化の技法と応用. 俯瞰工学研究所, 2011.
- [10] Y. Kajikawa, F. Tacao, and K. Yamaguchi, “Sustainability science: the changing landscape of sustainability research,” *Sustain. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 431–438, Oct. 2014.

- [11] K. Fujita, Y. Kajikawa, J. Mori, and I. Sakata, “Detecting Research Fronts Using Different Types of Combinational Citation,” in *17th International Conference on Science and Technology Indicators (STI 2012)*, 2012.
- [12] M. Newman, “Fast algorithm for detecting community structure in networks,” *Phys. Rev. E*, vol. 69, no. 6, p. 066133, Jun. 2004.
- [13] 日本科学未来館, “ヘビ型レスキューロボット.” [Online]. Available: [https://www.miraikan.jst.go.jp/sp/deep\\_science/topics/05/02.html](https://www.miraikan.jst.go.jp/sp/deep_science/topics/05/02.html). [Accessed: 31-Aug-2015].
- [14] M. Sitti and R. S. Fearing, “Synthetic gecko foot-hair micro/nano-structures as dry adhesives,” *J. Adhes. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 8, pp. 1055–1073, 2003.
- [15] F. L. Roubieu, J. R. Serres, F. Colonnier, N. Franceschini, S. Viollet, and F. Ruffier, “A biomimetic vision-based hovercraft accounts for bees’ complex behaviour in various corridors,” *Bioinspir. Biomim.*, vol. 9, no. 3, 2014.
- [16] Q. Huang, K. Tanie, and S. Sugano, “Stability compensation of a mobile manipulator by manipulator motion: feasibility and planning,” *Adv. Robot.*, vol. 13, no. 1, pp. 25–40, 1999.
- [17] E. T. Esfahani and M. H. Elahinia, “Stable walking pattern for an SMA-actuated biped,” *IEEE-ASME Trans. MECHATRONICS*, vol. 12, no. 5, pp. 534–541, 2007.
- [18] D. Navarro, M. Couturier, G. G. D. da Silva, J.-G. Berrin, X. Rouau, M. Asther, and C. Bignon, “Automated assay for screening the enzymatic release of reducing sugars from micronized biomass,” *Microb. Cell Fact.*, vol. 9, 2010.
- [19] T. Lanio, A. Jeltsch, and A. Pingoud, “Automated purification of His(6)-tagged proteins allows exhaustive screening of libraries generated by random mutagenesis,” *Biotechniques*, vol. 29, no. 2, pp. 338–342, 2000.