

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）

科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム

研究開発プロジェクト（通常枠）

「イノベーション実現のための情報工学を用いた
アクションリサーチ」

(英語表記 Action research for realizing innovation with infometric approach)

研究開発実施終了報告書

研究開発期間 平成 25 年 10 月～平成 28 年 9 月

研究代表者 梶川裕矢

所属 役職 東京工業大学 准教授

目次

1. 研究開発目標	2
2. 研究開発の実施内容	2
2-1. 実施項目	2
2-2. 実施内容	3
3. 研究開発成果	36
3-1. 成果の概要	36
3-2. 各成果の詳細	36
3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等	38
3-4. 成果の発展の可能性	38
4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動	39
4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等	39
4-2. アウトリーチ活動	39
4-3. 新聞報道・投稿、受賞等	40
5. 論文、特許等	40
5-1. 論文発表	40
5-2. 学会発表	40
5-3. 特許出願	42
6. 研究開発実施体制	42
6-1. 体制	42
6-2. 研究開発実施者	43
6-3. 研究開発の協力者・関与者	43

1. 研究開発目標

本プロジェクトでは、情報工学の手法を用いて論文・特許データの分析、ならびに、ビジネスエコシステムの調査や設計を行う。これにより、革新的な研究開発テーマの設計、産業応用可能性の評価、ビジネスエコシステムや政策・制度の設計支援を行うことを目標とする。さらに、他の研究開発プログラムとの協働によりアクションリサーチとして実施することで、イノベーションの実現を目指す。

2. 研究開発の実施内容

2-1. 実施項目

実施項目 1. 研究開発動向の把握と萌芽的研究領域の抽出

論文及び特許の書誌情報を用い、対象領域における研究開発動向の把握および萌芽的研究領域の抽出を行う。分析対象とする研究開発プロジェクトにおいて実施している研究開発の方向性と分析結果を比較し、その妥当性を検討する。

実施項目 2. 複数研究領域の関連性分析による革新的研究開発課題の設計

異なる複数の研究領域の書誌情報を組み合わせて分析することで、新たな研究開発課題の設計支援手法を開発する。これにより、研究開発プロジェクトの新たな方向性を見出すことを可能とする。

実施項目 3. 産業展開可能性の評価

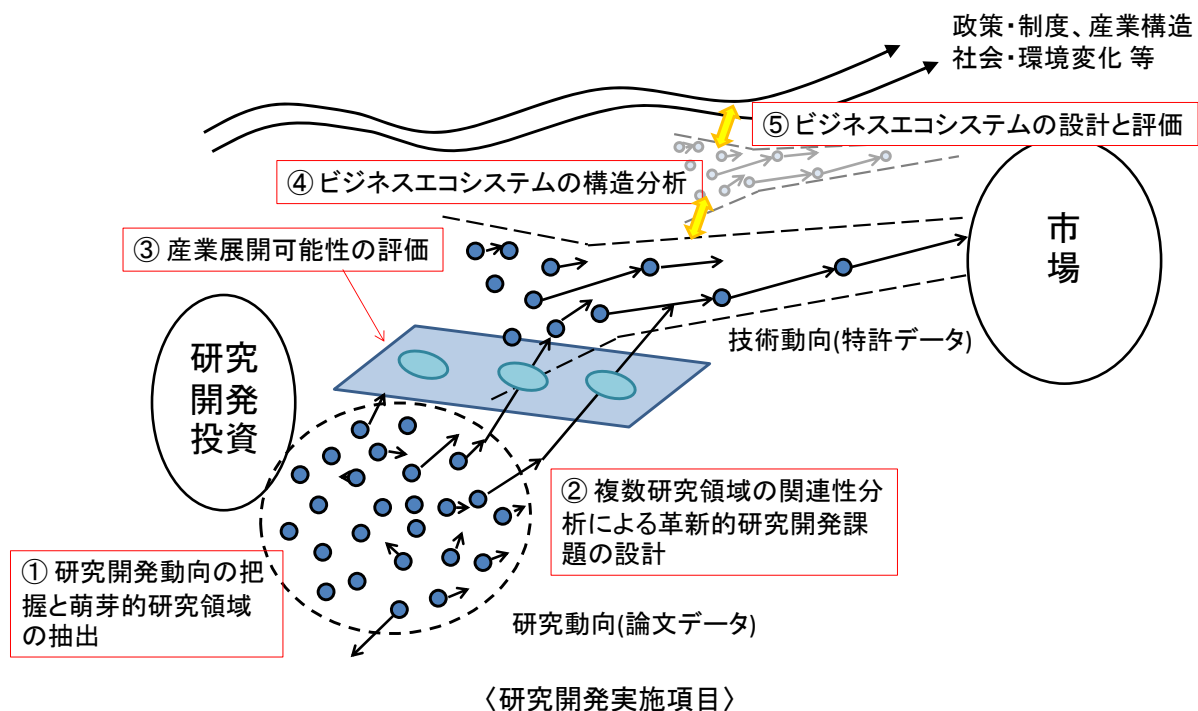
萌芽的研究領域および革新的研究開発課題の産業展開可能性を評価するために、論文動向と特許動向の比較分析を行う。時系列分析を実施することで、論文に代表される基礎研究と、特許に代表される産業技術との動的な関連性を分析する。

実施項目 4. ビジネスエコシステムの構造分析

産業技術を事業化する際に重要となる産業構造を分析する。企業等のイノベーションの担い手のみならず、企業における意思決定に影響を与える補完的な事業者や省庁等の関係性を分析することで、戦略や意思決定、行為の連鎖構造を明らかにする。また、そのようなビジネスエコシステムの構造分析を可能とするフレームワークを構築する。

実施項目 5. ビジネスエコシステムの設計と評価

ビジネスエコシステムの形成と発展の原理を理論的に解明するために、エージェントベーストシミュレーションを用いて、競争と協調のネットワークのダイナミクスをモデル化する。これにより、ビジネスエコシステムの設計と評価の方法論の開拓に貢献する。



2-2. 実施内容

2-2-1. 研究開発動向の把握と萌芽的研究領域の抽出

論文および特許情報を用いた引用ネットワーク分析により、分析対象とする個々の研究領域における研究開発動向の可視化および萌芽的研究領域の抽出を行った。データは、文部科学省「COI STREAM」ならびに、経済産業省「二酸化炭素削減技術実証試験事業」等が対象としている研究開発領域等を対象に収集した。データベースは、論文に関しては、機関ライセンスを有する論文データベース(Science Citation Index)を用いデータを収集した。特許に関しては、トムソンロイター社の特許データベース(Derwent World Patents Index)を新たにライセンス契約することで使用し、データを収集した。分析は、研究代表者が既に開発を行っている学術俯瞰システム(<http://academic-landscape.com/>)を用いて分析を行った。また、萌芽的・脱成熟的研究領域の抽出方法を開発した。

分析事例

①自動運転および運転アシスト

自動車の自動運転や運転アシストの技術への期待や発展、そして導入が日本をはじめ世界で進んでいる。例えば、我が国では1991年から国土交通省推進の元でASV(Advanced Safety Vehicle)プロジェクト¹が存在している(表1)。本分野の発展には、交通安全の向上はもとより、物流等のドライバーの代替、および移動が困難な人々へのモビリティの確保など、少子高齢化社会への貢献が期待されている。

¹ ASVとはITSの一環として、エレクトロニクス技術の応用による自動車安全運転支援の推進を目指したプロジェクトである。国内の自動車会社のほとんどが参加しており、これまでに5期行われた。

表1 ASVプロジェクトの軌跡

	第一期	第二期	第三期	第四期	第五期
期間	1991-1995年	1996-2000年	2001-2005年	2006-2010年	2011-2015年
特徴的な取り組み	安全実験車両の開発, アダプティブクルーズコントロール	車線キープ技術、CMS(追突軽減ブレーキ)、シートベルト自動引き込み等	シート内のドライバーの脈拍、呼吸を計測する生体センサー、車車間通信等	より高度な車車間通信による事故防止システム	ASV-4を引き継いだ車車間通信による事故防止システム
使用機器	ミリ波レーダー	ミリ波レーダー、 車載CMOSカメラ レーザーレーダー	無線通信機器、 圧力変化を計測する生体センサー	カーナビ、GPS、無線lan	カーナビ、GPS、各種無線通信機器

自動運転自動車技術には、いくつか技術レベル指標が提案されているが、本文では、特に断りがない限り、表2のNHTSA(米国運輸省道路交通安全局)の分類を利用する。現在、ACCや衝突軽減ブレーキ、レーンキープアシスト、車線検知機能、自動ブレーキのように、レベル1およびレベル2に一部が実用化段階まで来ている。

表2 自動運転のレベル分け

レベル0	運転者にすべての機能のコントロール権がある。
レベル1	加速、操舵、制動のいずれかの操作を自動車が行う。
レベル2	加速、操舵、制動のうち複数の操作を自動車が同時に行う。
レベル3	基本的な運転操作は自動車が行うが、緊急時の対応のみ、運転者が行う。
レベル4	運転者の存在なしに、自動車がすべての操作を行う。

本研究では、今後の研究課題とされている認識技術・協調制御について、自動車分野外から、自動車に有益な知識を抽出することを目的に分析を実施した。2015年1月にweb of scienceを利用し、論文を検索したところ、46514件該当した。学術俯瞰システムを用いてクラスタリングをおこなったところ最大連結成分は14977件、134件のクラスタが抽出された。自動車分野以外からも多くの研究分野が抽出されている(図1)。例えば協調制御について、クラスタ1で抽出されたAUV(自律型無人潜水機:水中音響測位システムとGPSを用いた誘導を特徴とし、水中でのデータ収集に主に用いられている)の分野内には群知能・協調制御に関わる研究があり(図2、表3)、これらの知識は自動車分野に適用可能だと思われる。また、AUVは、メタンハイド

レートのような海底資源の探索が注目を浴びる昨今、研究がより活発に進みそうな分野であり、動向を追う必要があるのではないかと考えられる。

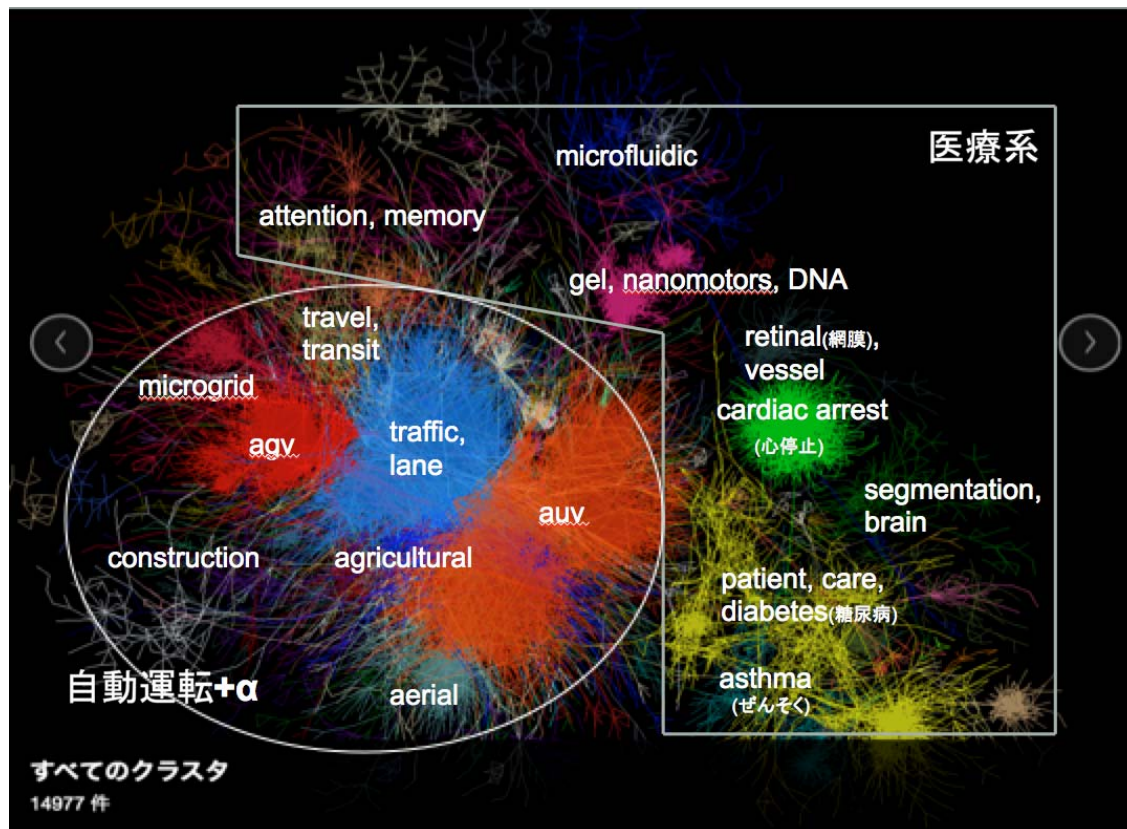


図1 自動運転技術の俯瞰図

表3 各クラスタの概要(クラスタ 1-10 までを抽出)

クラスタ番号	件数	概要
1	2,802	AUV, UAV に見られる通信技術・タスク分散・協調制御
2	2,295	高速道路走行を主とした自動運転技術
3	1,082	糖尿病患者の健康状態の自動診断システム
4	961	工場等における物資の搬送に用いられる AGV のデザイン・制御
5	555	効率性の向上を目指した農業機械の自動化
6	480	心停止時に使用する AED の技術研究
7	480	小規模電力システムの自動運転
8	454	UAV をもちいた画像認識, リモートセンシング
9	378	ネットワーク理論等を用いた移動時間の予測
10	274	自動化された無意識下の行動に関わる理論的・概念的 research

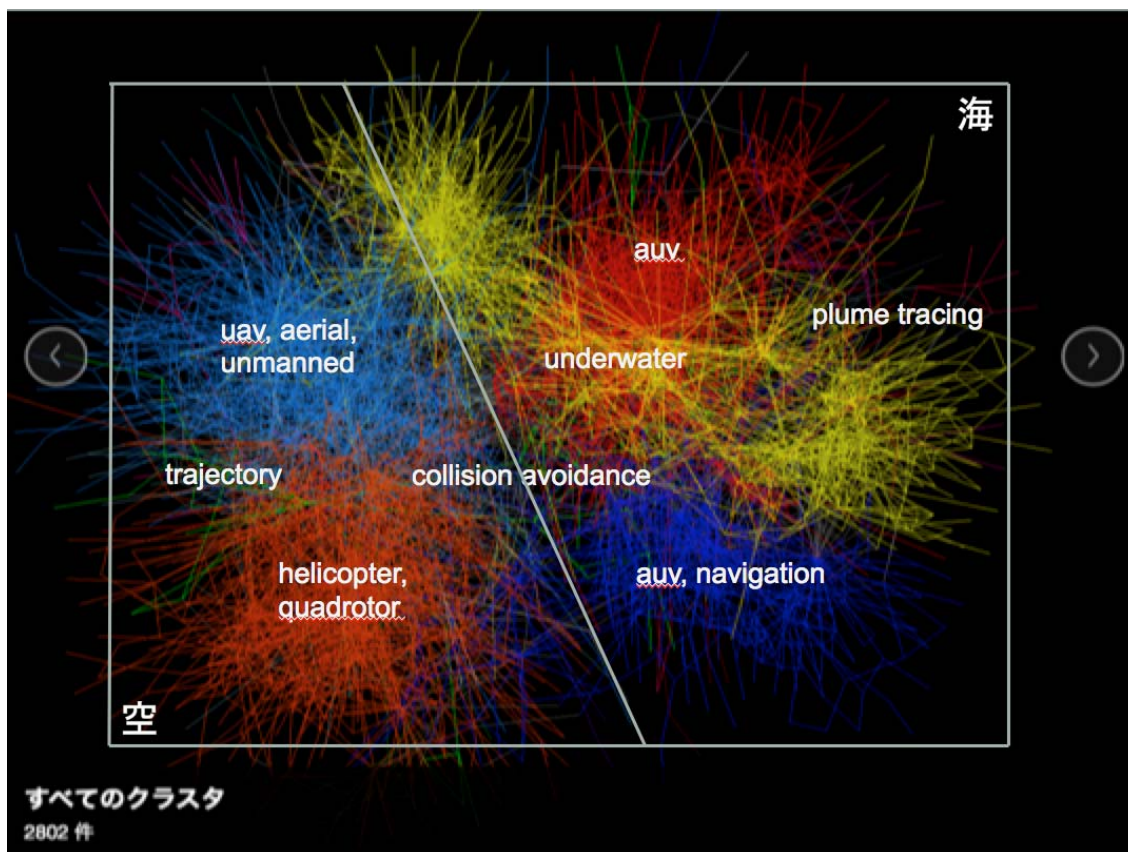


図2. クラスタ1の俯瞰図

今回用いた検索キーワードは、結果的に自動車分野外の知の俯瞰を得る事ができたが、より広く分野外の知を得るためには、キーワードの改善が期待できる。そこで本年度は、平成25年度に特許庁が自動運転自動車分野を対象に行った特許出願技術動向調査を参考に、再度検索ワードの選定を行い、論文俯瞰図を作成した。学術俯瞰システムを用いてクラスタリングを行ったところ、最大連結成分は5,572件、68件のクラスタが抽出された。図3、表4に主要な結果を示す。

クラスタ1は、自動運転に関する基礎的技術が多く含まれる。VFH (Vector Field Histogram) という衝突回避システム、SLAM (Simultaneous Localization and Maps) という自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術など、様々な技術に関する論文がこのクラスタに含まれるためクラスタ1に関しては、後ほど更に詳細な分析を加える。しかし、これらの技術は、クラスタの平均年が2007年であることから分かる通り、既に開発が進んだ分野が多く含まれると考えられる。クラスタ2には、ACC (Adaptive Cruise Control) や IVHS (Intelligent Vehicle/Highway System) など、衝突回避をメインとした技術が多く含まれる。これらの技術も既に自動運転車への搭載が進んだ技術であり、最新の技術動向とはいえない。クラスタ3には、CCA (Cooperative Collision Avoidance) や DSRC (Dedicated Short Range Communication) といった、V2V 通信に関わる研究が多く、平均年も2011年と新しい。V2V 通信をはじめとした無線を用いた通信技術は、実展開とともに今後の自動運転の課題であるともいわれており、注目したい技術動向である。クラスタ4には、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) に関する研究が多く含まれる。クラスタ9も同様に UAV に関する研究を示したクラスタであり、ともに平均年が新しく、研究が進んでいる分野であることが見てとれる。クラスタ5には、AUV (Autonomous Underwater Vehicle) と呼ばれる海中探査ロボットの技術がまとめられている。自動運転との直接的な関係はなさそうである。クラスタ6には、高齢ドライバーは自身の能力を過大に評価する

傾向があること、またその運転能力等に関する研究が多く含まれる。クラスタ 7 には、疲労や睡眠といった環境がいかに関与に影響を与えるか、またそこに自動運転技術がいかに関与に影響を与えることができるか、といった研究が含まれる。クラスタ 6、7 とともに、ドライバーと自動運転車の共存を考える上で非常に興味深いテーマである。クラスタ 8 には、工場などで利用される地上走行ロボットの研究が含まれる。これも自動運転とは直接関係しない。クラスタ 10 には、自動車の安定性向上などに関する研究が含まれる。

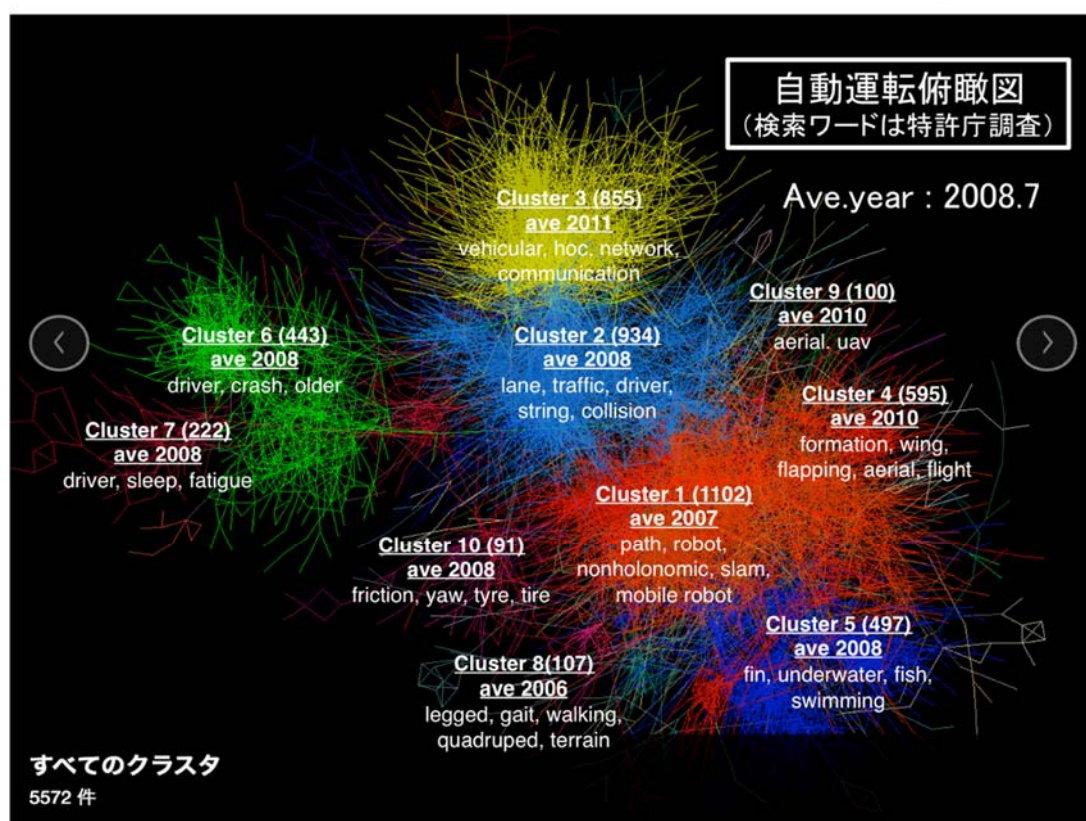


図3 自動運転俯瞰図

表4 自動運転 Top 10 クラスタの概要

No.	ノード数	平均年	内容
1	1,102	2007	衝突回避・自己位置推定・環境地図作製などの研究
2	934	2008	ACC / IVHS など衝突回避に関する研究
3	855	2011	V2V 通信 / Ad Hoc Network 等に関する研究
4	595	2010	UAV の Cooperative Control
5	497	2008	AUV の Cooperative Control
6	443	2008	高齢ドライバーの運転能力と自己認識
7	222	2008	疲労・睡眠等の環境と ACC
8	107	2006	自動地上走行ロボットに関する研究
9	100	2010	無線を用いた UAV のコントロール
10	91	2008	自動車の安定性向上に関する研究

図4、及び表5は、クラスタ1のさらなる俯瞰分析の結果である。衝突回避や軌道計画、位置推定などに関する研究が多くなされていることがわかる。興味深いのは、クラスタ2に含まれるSLAMによる自己位置推定・地図作成などの技術は、近年 UAV や AUV といった地上を離れたところで技術利用および研究がなされている点である。自動運転技術に関しても、他分野との協調が重要であることが示唆されている。また、クラスタ1としては論文の発表平均年が2007と古いですが、詳細分析により、サブクラスタ10の安定性向上・軌道計画などソフトウェアの研究のように、自動運転自動車関連技術の中でも比較的新しい分野を抽出できた。

表5 クラスタ1内 Top10 サブクラスタの概要

No.	ノード数	平均年	内容
1	250	2007	衝突回避・軌道計画に関する研究
2	168	2009	SLAMに関する研究
3	166	2004	位置推定・走行距離計測法に関する研究
4	160	2007	自動車の制御に関する研究
5	109	2009	車輪滑り・RFIDによる屋内走行車の位置推定
6	81	2005	駐車技術に関する研究
7	45	2008	横断と衝突回避に関する研究
8	32	2010	ヘリコプター、クアッドローターに関する研究
9	16	2009	AGVに関する研究
10	16	2010	安定性向上・軌道計画等に関する研究

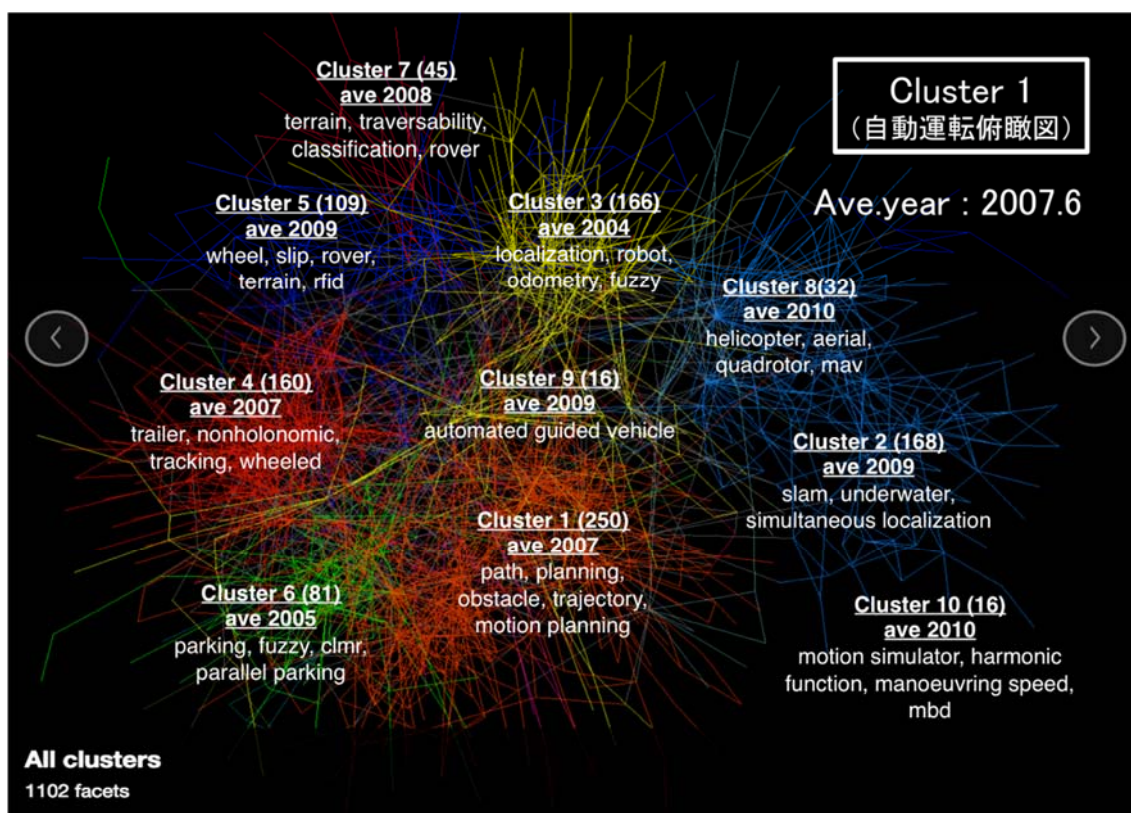


図4 クラスタ1内俯瞰図

② 原子力安全技術

原子力安全技術に関する世界の研究動向の分析を行った。図は、web of science を用いて、(Nuclear or Reactor) and Safety をクエリとして論文を収集した際の世界全体の論文数と日本の論文数シェアを示したものである。日本の論文数は 90 年以降概ね 10%前後で推移しており、国際的な原子力安全技術に関する研究に一定程度貢献していることが見て取れる（図 5）。

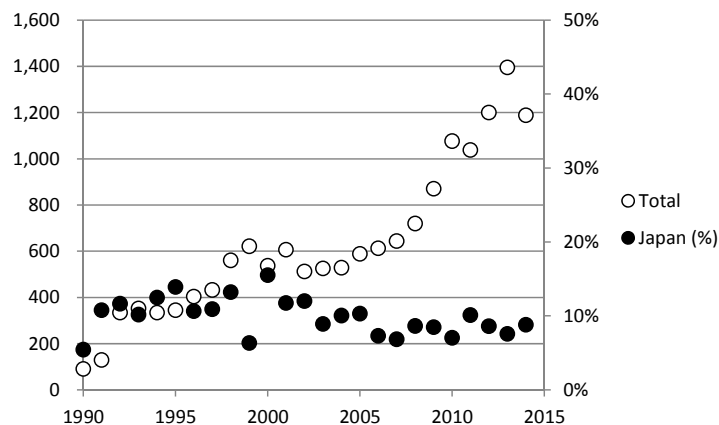


図 5 .原子力安全に関わる世界の論文数と日本の論文数シェア

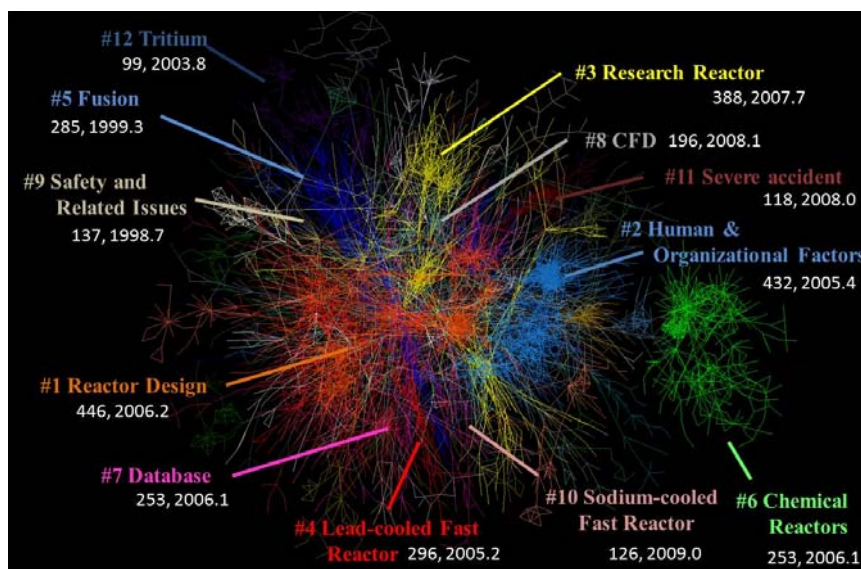


図 6 原子力安全技術俯瞰マップ

表 6 上位 3 クラスターの詳細

#	Name	Year_ave	# nodes	# links	link/node
1-1	reliability evaluation	2008.5	73	283	3.88
1-2	small modular reactors, IRIS	2008.7	73	114	1.56
1-3	passive safety systems, AP1000, LOCA	2006.2	72	129	1.79
1-4	power level control, HTR-PM	2003.3	71	133	1.87
1-5	reactor safety margin and code scaling	2002.7	69	158	2.29
1-6	high temperature reacto	2008.6	36	44	1.22
1-7	integral reactor	2007.4	30	52	1.73
1-8	accumulated reactor	2007.4	16	18	1.13

1-9	midloop operation, shutdown operation	2001.3	6	6	1.00
2-1	genetic algorithm for surveillance and maintenance	2005.6	91	350	3.85
2-2	organizational culture and factors	2004.7	83	141	1.70
2-3	task complexity and human factors	2006.1	58	148	2.55
2-4	probabilistic safety assessment and fault tolerant technique	2006.3	43	50	1.16
2-5	human reliability analysis and diagnosis failures	2003.9	39	51	1.31
2-6	management and team performance	2007.7	38	53	1.39
2-7	risk importance measures	2004.5	32	36	1.13
2-8	aging of concrete structure	2002.9	23	29	1.26
2-9	off-site power supply	2007.8	13	12	0.92
2-10	nuclear education	2004	4	3	0.75
2-11	genetic algorithm and redundancy allocation	2008.5	4	3	0.75
3-1	research reactor	2007.5	79	151	1.91
3-2	simulation of fuel-coolant interactions in disruptive accident	2007.2	72	170	2.36
3-3	supercritical water-cooled thermal reactor	2007.9	54	142	2.63
3-4	core design and fuel management optimization	2009.6	35	45	1.29
3-5	sodium-cooled fast reactor	2008.4	34	56	1.65
3-6	multi-physics modeling	2009.5	22	27	1.23
3-7	reactivity insertion	2007.6	21	25	1.19
3-8	molten-salt reactor	2004.1	12	14	1.17
3-9	uncertainty and sensitivity analysis for coupled code calculations	2006.6	9	10	1.11
3-10	debris and solid particle bed	2010	9	9	1.00
3-11	flow instability	2005.8	9	8	0.89
3-12	small fast sodium-cooled reactor	2002.6	8	17	2.13
3-13	supercritical water, CANDU	2006.6	8	8	1.00
3-14	Nigeria Research Reactor	2009	6	7	1.17
3-15	post-accident heat removal	2009.7	6	5	0.83
3-16	thermal-hydraulic phenomena	2008.8	4	4	1.00

図6は、学術俯瞰システムを用いて分析を行った結果である。また、論文数上位3クラスターを再帰的にクラスタリングした結果を表6に示す。表において、link/nodeは論文1本当たりの被引用数であり、当該研究領域の学術的な重要度または注目度を表している

分析結果から下記のことを読み取れる。原子力発電の安全に関わる研究開発課題はもちろん炉の設計(クラスター#1)に限らない。人・組織の問題(#2)、研究炉を用いた材料評価(#3)、高速炉(#4, #10)、CFD(#8)やデータベース開発(#7)、シビアアクシデント対策(#11)など多様である。論文数を国別にみると、研究炉(#3)において日本の論文数が世界で最も多く(論文数シェア24.6%)、学術知識の蓄積に国際的に貢献している。PSAや最適化アルゴリズム、人や組織の問題等を含むクラスター#2における日本の論文数シェアは1.5%(19位)と少なく、今後は情報工学や社会科学分野も含めて強化する必要がある。特に、この原子力安全に関する情報工学や社会科学分野の重要性の指摘は、本研究で行った分析を通じて、初めて客観的・定量的に指摘できたと考えている。

また、大学院で原子力を学ぶ学生が100%原子力産業に従事するわけではないこと、平均出版年が若い近年研究が活発な分野では、原子炉に関する専門的知識以外に、原子核物理、材料科学、流体反応工学、情報工学、経営学、政策学など、多様な専門性が必要とされており、研究開発においても、教育においても、人材の流動性を促進する方策に留意する必要がある。

上記の結果は、経済産業省総合資源エネルギー調査会原子力小委員会自主的安全性向上・技

術・人材ワーキンググループ第4回会合に提出しており、現在原子力学会を中心に進められている今後の原子力安全技術に関するロードマップ策定検討のための参考資料としている。技術ロードマップは、Lewis Branscombによれば“A consensus articulation of a scientifically informed vision of attractive technology futures”と定義される。すなわち、ロードマップの策定にあたっては、vision(将来のあるべき姿)を scientifically informed な形で示す必要がある。今回の分析はそのための一助と言う位置付けであり、ロードマップの策定にあたっては、現在の原子力分野の技術者や研究者だけでなく、将来を担う学生や、他分野の研究者にとっても魅力的な研究開発課題を提示することで、原子力分野に人材を惹きつけられるロードマップとすべきであろう。

萌芽的・脱成熟的研究領域の抽出

上記の自動運転や原子力に関する分析では、引用ネットワーク分析により抽出したクラスタの平均出版年に基づき、その研究領域の萌芽性を評価してきた。本研究では、研究領域の平均的な成長性だけでなく、その中でのハブ論文の位置づけに着目することで、萌芽的な研究領域のみならず脱成熟的な研究領域をも抽出する手法を提案し分析を行った。下記はアンテナ技術に関して分析を行ったものを例として示している。

図7では、横軸に「基となるクラスタの平均出版年」と「基となるクラスタのをさらに分割したクラスタ (Sub-Cluster) の平均出版年」の差をとり、縦軸に「Sub-Cluster の中で最も引用数が多い論文の出版年」と「Sub-Cluster の平均出版年」の差をとり、クラスタ内の論文数をバブルも大きさで表している。なお、プロット位置はバブルの重心としている。論文の出版数の時間変化は、大きく増加と衰退に二分できる。現在出版中の論文は過去の重要な論文を引用する。重要な論文はクラスタリングにより抽出された各クラスタの中で最も引用数が多いものであり、それぞれの成長過程において、平均出版年よりも若いものと、古いものとは大きく二分される。この手法でクラスタを下記の4つに分類できる：

Change Maker (第一象限)：重要な論文が所属クラスタの平均出版年より新しく出版され、且つ所属クラスタの平均出版年が全体の論文群の平均出版年よりも新しい。

Breakthrough (第二象限)：重要な論文が所属クラスタの平均出版年より新しく出版され、且つ所属クラスタの平均出版年が全体の論文群の平均出版年よりも古い。

Incremental (第三象限)：重要な論文が所属クラスタの平均出版年より昔に出版され、且つ所属クラスタの平均出版年が全体の論文群の平均出版年よりも新しい。

Mature (第四象限)：重要な論文が所属クラスタの平均出版年より昔に出版され、且つ所属クラスタの平均出版年が全体の論文群の平均出版年よりも古い。

従来、萌芽領域を抽出するために、クラスタの平均出版年が用いられてきた。本提案手法を用いることで、この方法で抽出される **emerging research fronts (Change Maker + Incremental)** 以外にも **innovation seeds (Change Maker + Breakthrough)** として注目すべき重要分野を特定することができる。「SAR 低減を目的とした反射板付きアンテナに関する研究」が **Change Maker** にプロットされている。これは、トリリオンセンサーなどの IoT 時代におけるアンテナの重要な技術であり、アンテナを LSI チップ化することで、超小型化、省エネルギーを実現できる。また、脱成熟的な研究領域として、「マイクロストリップラインの実効幅を制御することによる位相変換」が抽出されている。これは、マイクロストリップラインという成熟期にある技術を、実効幅の制御という新たな方式により、位相変換という新たな機能を付加するという技術であり、成熟技術を脱成熟させる新たな技術であると解釈できる。本研究開発成果を政策立案者等のみならず、研究開発の実施者が活用することで、研究開発動向を俯瞰的かつ詳細に把握し、研究開発の方向性を定める際の参照点として利用できると考えている。

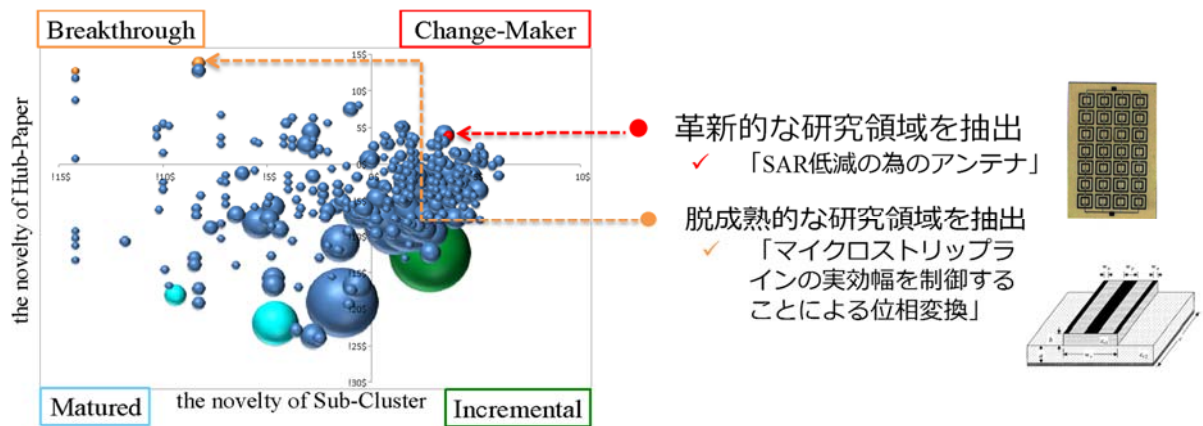


図7 アンテナ分野での萌芽的・脱成熟的研究領域の抽出結果

2-2-2. 複数研究領域の関連性分析による革新的研究開発課題の設計

分析手法

複数の異なる研究領域および技術領域の関連性を、自然言語処理を用いて分析することで、他領域に展開可能な汎用的な研究課題の抽出や、分野横断領域における革新的研究開発課題の候補の抽出を行った。これにより、論文間の、引用関係として明示的な関係性を有さない場合においても、テキスト相関を用いて潜在的な関係性を分析することを可能とする（図1）。

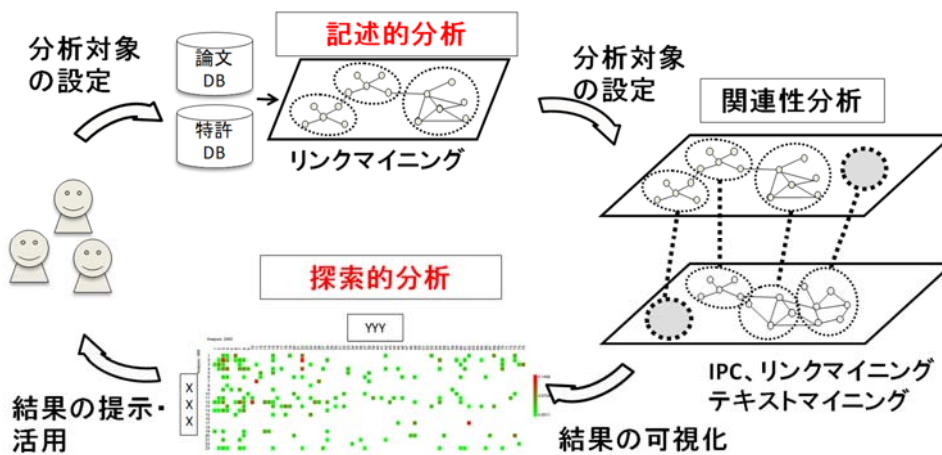


図1 関連性分析による革新的研究開発課題の探索

具体的には、図2に示すように論文データベースから異なる2つのデータセットを抽出し、それぞれ引用分析により、クラスタを抽出する。次に、各クラスタのテキスト相関性を計測することで、潜在的な関連性を抽出する。抽出した関連性の主要な論文を分析することで、各論文の技術を潜在的な関連性を有すると判定された他領域へと応用可能かどうかを検討する。

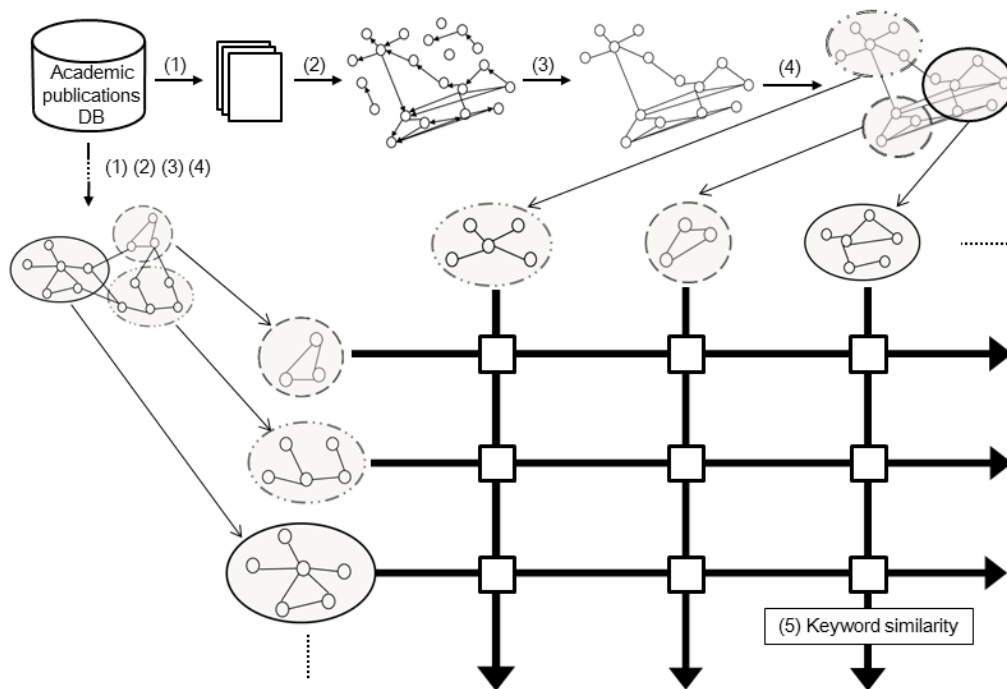


図2 複数研究領域の関連性分析のフロー

分析事例

ドラッグデリバリーとナノテクノロジー

COI STREAM 事業で川崎拠点が対象としている体内病院を実現するための研究シーズを抽出するための分析を実施し、川崎拠点の構成員と議論を行った。特に、ドラッグデリバリーと dendrimer やナノサイズのテンプレート構造、ゲート膜に関する知見を組み合わせた分析を実施した。ドラッグデリバリーに関する論文集合と、ゲート膜に関する論文集合の組み合わせを分析した結果、多孔質材料の表面に感光性ポリマー（ここでは光により、荷電と不荷電の二つの状態間に転換できるポリマー）を有し、静電相互作用で dendrimer の吸脱着をコントロールし、孔の入り口を開閉させる構造により、薬剤の徐放を制御できるとのアイデアが生まれた(図3)。今後は、技術的な可能性やアイデアの意義などについて検討していく必要がある。

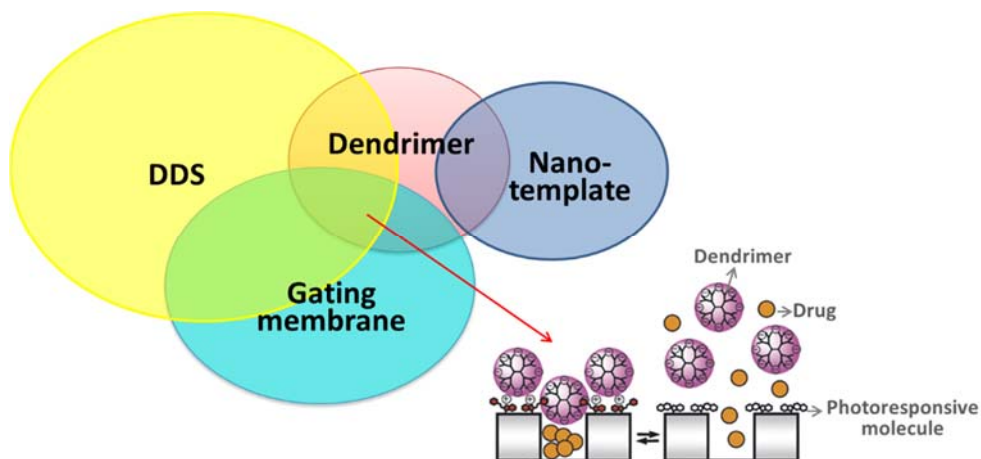


図3 革新的研究開発課題検討のための関連性分析

2-2-3. 産業展開可能性の評価

研究開発課題の産業への展開可能性を、論文と特許の「距離」を測定することで分析する。具体的な分析の流れを図1に示す。まず、特定の技術領域での論文データを収集する。次に引用ネットワークをクラスタリングすることで、研究領域(クラスタ)に分割する。次に、各研究領域の特許とのテキスト相関性を計算する。この特許相関性を用いる特許の年度を論文データセットの取得年度から、年を後方にずらすことで、その時系列分析を行う。すなわち、ある年における学術論文のネットワーク構造をスナップショットとして記録し、当該年までで固定した論文クラスタが有する当該年までに出版された特許とのテキスト相関性を計測する。その後、分析に用いる特許データの年を1年ずつ後ろにずらしていく。これにより、論文クラスタの特許相関性とその後高まったのか、それともそうでないのか、特許相関性が将来にかけて高まる論文クラスタの特徴はどのようなものであるかが判断できる。

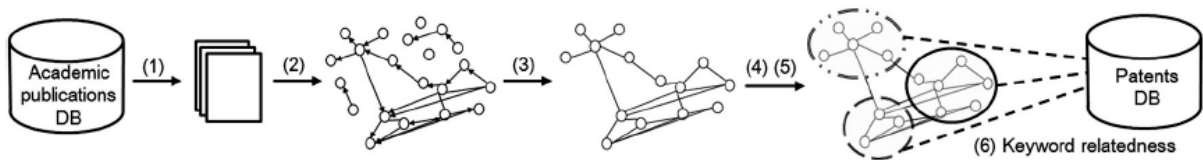


図1 特許相関性の分析フロー

本研究では、2006年までに出版された論文を用いて分析を行った。また、論文クラスタの特徴として、2006年時点での特許相関性、平均出版年、論文数を指標として取り上げ、それら指標とその後の特許相関性の増加率との相関性を分析した。その結果を図2～4に示す。

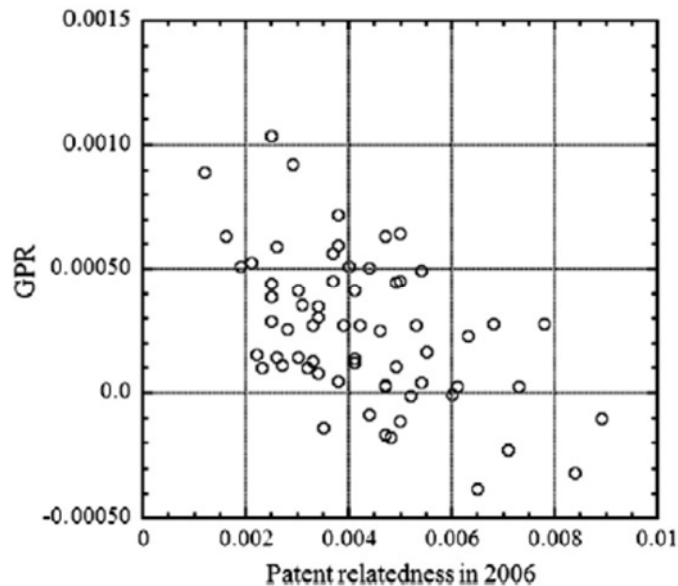


図2 2006年時点での特許相関性とその後の特許相関性の増加率

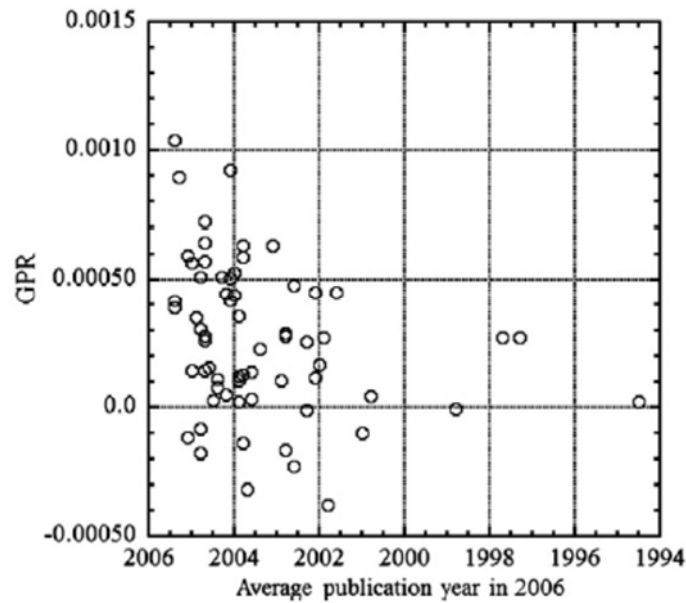


図3 2006年時点での平均出版年とその後の特許相関性の増加率

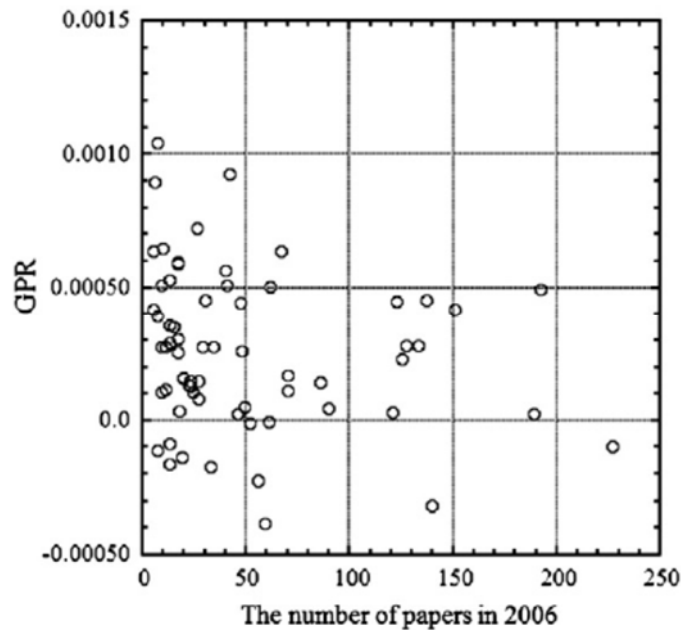


図4 2006年時点での論文数とその後の特許相関性の増加率

以上の結果から、将来の産業上の有望技術（将来特許相関性が増加することが見込まれる学術論文クラスタ）は、下記の特徴を有することが分かった。

- ・特許相関性の増加率は、その時点での特許相関性と負に相関。(cosine sim.<0.005)
- ・論文クラスタの平均出版年が若い方が特許相関性の増加率が高い(ave. year<3)
- ・論文クラスタのサイズが小さい方が特許相関性の増加率が高い(#papers<100)

以上を指針とし、産学連携プロジェクト立案等へ展開できる可能性があると考えられる。例えば、上記の特徴を有する2012年時点での燃料電池の論文クラスタを抽出すると表1となる。

表1 燃料電池分野の有望技術 (2012年)

Category	Cluster name	Average publication year	Number of papers	Patent relatedness	Dominant country
Catalyst	PtPd-based catalyst on carbon for methanol and ethanol oxidation	2009.3	53	0.0034	P.R. China
	Catalytic properties of tantalum-carbide-nitride	2009.6	49	0.0034	Japan
	Pt-based catalysts for direct ethylene glycol fuel cell	2009.8	64	0.0031	USA, Brazil, PR China, France, Italy
	PtRu catalyst on functionalized multi-walled carbon nanotube for direct methanol fuel cell	2010.0	36	0.0026	PR China
	Catalytic properties of nanoparticles of ternary Pt based catalysts (PtNiCo, PtVFe, etc.)	2010.0	42	0.0032	PR China
	Catalytic properties of manganese oxides on carbon for the oxygen reduction reaction in alkaline media	2010.1	39	0.0032	PR China, USA, Brazil, England, France
	Pt nanoparticles on carbon nanotube by a plasma treatment	2010.3	26	0.0024	PR China
	Catalytic properties of Ag nanoparticles on carbon for oxygen reduction reaction in alkaline media	2010.8	25	0.0025	PR China
	Co-based catalyst on graphene for oxygen reduction reaction in alkaline media	2011.0	20	0.0024	PR China, USA
	Electrolyte	Multiblock copolymer with sulfonated pendant as polyelectrolyte membranes	2009.1	47	0.0036
Proton conductivity of sulfonic acid or imidazole functionalized mesoporous material (mainly Si-MCM-41)		2009.2	31	0.0024	Germany
Nafion + functionalized montmorillonite composite as polyelectrolyte membranes for direct methanol fuel cell		2009.3	24	0.0029	Iran, USA
Proton-conducting membranes containing ionic liquid as polyelectrolyte membranes		2009.7	65	0.0036	PR China, Japan
Proton conductivity of polybenzimidazole + inorganic particles for high temperature PEFC		2010.2	19	0.0030	England, PR China
Others		Degradation study of elastomeric gasket materials	2009.3	24	0.0024
	Hydrogen generation from aluminum for fuel cell application	2009.5	59	0.0039	PR China, USA

本研究開発成果を政策立案者やファンディングエージェンシー等の担当者が用いることで、社会実装やイノベーション創出を目標とするプログラムのプロジェクトの企画・立案や評価に活用可能であると考えている。

2-2-4. ビジネスエコシステムの構造分析

1. 実施項目

社会科学グループの実施項目は、エコシステムの構造分析である。エコシステムの構造分析は次のような段階を経て行った。

第一に既存研究のレビューである。本報告書では概要を記載するが、詳細は発表論文 (tsujimoto.et al.,2015) を参照いただきたい。

第二に、レビューに基づくエコシステムの独自の定義とフレームワークの構築である。既存研究ではエコシステムの定義とフレームワークについての合意がないことが確認されたため、先行研究、関連理論を参照し、独自の定義とフレームワークを構築した。さらに、このモデルを基盤としてエコシステムのリサーチプロセスおよび設計・評価のプロセスを提示した。

第三に、リサーチプロセスおよび設計・評価のプロセスを具体的な対象に適用した。

CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)、燃料電池自動車、電気自動車、自動運転、そして医療情報システムである。これらの具体的事例分析から、エコシステムの動態的変化のメカニズムを個別事象レベルおよびメゾ・マクロレベルの抽象度でそれぞれ提示した。特に、メゾ・マクロレベルにおいては、エコシステムの二面性という概念を提示した。すなわちエコシステムには政策を顧客とする側面と市場および消費者を顧客とする側面の二面があり、このハイブリッド構造がエコシステムのパフォーマンス評価をつうじて、エコシステムの動態的変化に影響を及ぼしているというメカニズムである。このハイブリッド構造をどのようにマネジメントするかによ

って、エコシステムの持続的成長性および頑健性が左右されるのである。

2. 実施内容

2.1. 既存研究のレビュー

エコシステム分析の基盤となるレビューを行い、国際学会発表論文を執筆した。レビューを行うにあたって、まず **Strategic Management** 分野における Q1 に位置する上位のジャーナルリストを作成し、それぞれのジャーナルに対して「Ecosystem」というキーワードを用いて **Topics** フィールドにおいて検索した。そこからマネジメント上の用語として「Ecosystem」を用いている論文を抽出した結果、90本の論文がレビュー対象となった。

これらの時系列推移を図1に、掲載ジャーナルのリストと論文数を表1に示す。

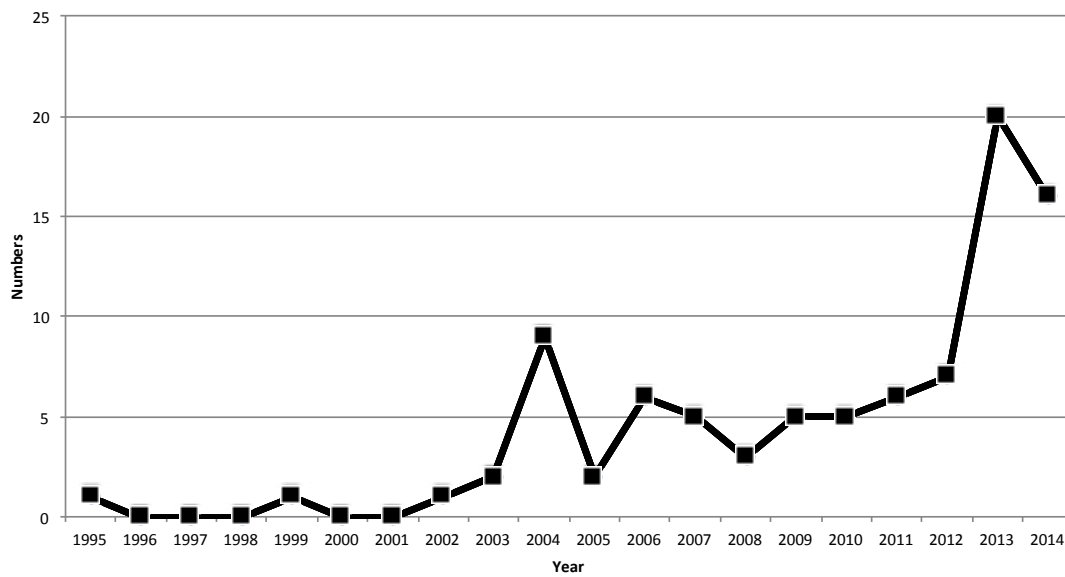


図1 エコシステムに関する論文数の推移

表1 掲載ジャーナルと論文数

Journal	No. of papers
Journal of Cleaner Production	25
Research Policy	8
Technological Forecasting and Social Change	7
Journal of Information Technology	6
Strategic Management Journal	5
California Management Review	5
Technovation	5
Journal of Product Innovation Management	4
MIT Sloan Management Review	4
Organization Science	4
R & D Management	4
Academy of Management Review	2
Management Science	2
Academy of Management Perspectives	1
Business Strategy and the Environment	1
International Entrepreneurship and Management Journal	1
International Journal of Production Research	1
Journal of Business Venturing	1
Journal of International Management	1
Journal of Management Studies	1
Strategic Organization	1
Tourism Management	1
Total	90

レビューの結果、これらの論文は背景とする理論から4つのパースペクティブに分類できることがわかった。第一は **Industrial Ecology**、第二は **Business Ecosystem**、第三は **Platform Management**、第四は **Multi-actor Network management** である。

これらのレビューからリサーチマップを作成した結果、マルチレイヤーモデルにより研究の全体が統合できることが明らかになった。(図 2)

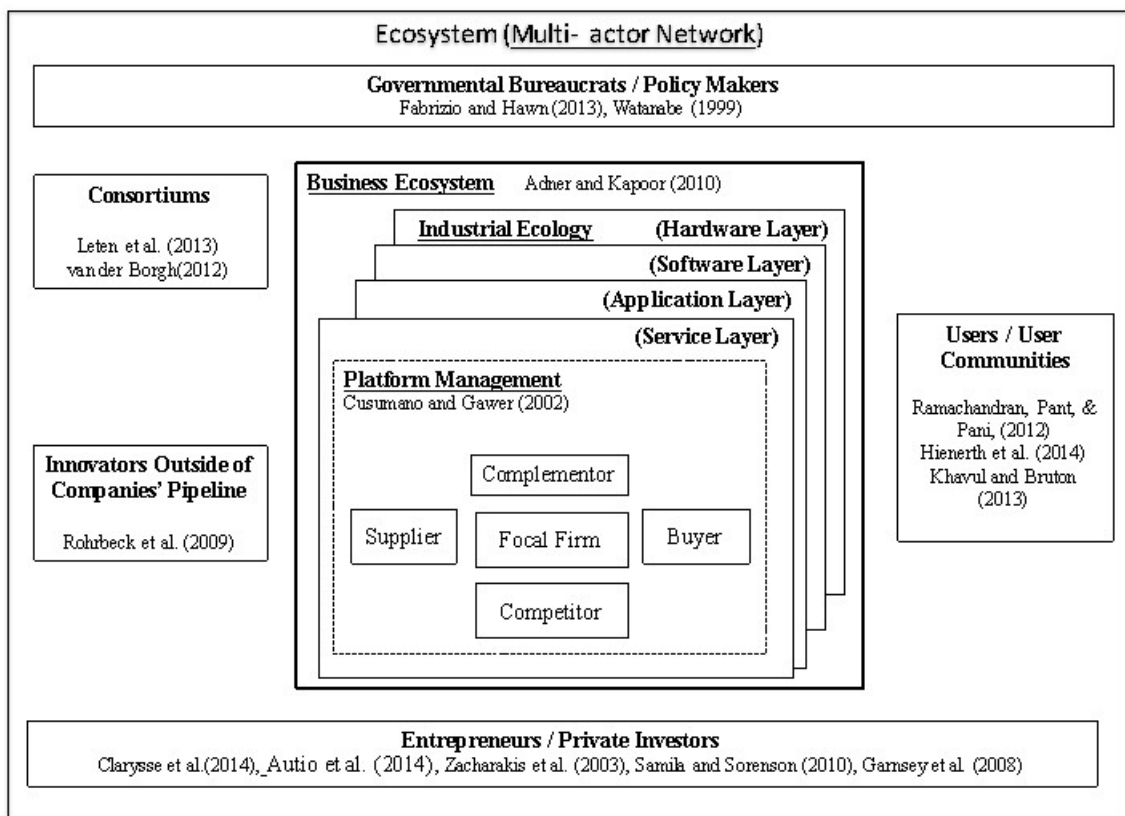


図2 既存研究のリサーチマップ

2.2. 独自の定義とフレームワークの構築

既存研究ではエコシステムの定義とフレームワークについての合意がないことが確認されたため、関連理論を参照し、独自の定義とフレームワークを構築した。

関連理論としては次の3つの理論体系が関連する。第一は社会ネットワーク理論である。特に、アクターネットワーク理論 (Law and Hassard,1999;Latour,2005) は多様な主体、技術がネットワークを構成し、それらの相互作用によって動的に変化するという概念的基盤であり、関連理論として重要である。次に、新制度派組織論 (Dimaggio and Powell,1983) である。社会的組み込み (Embeddedness) や同形化 (isomorphism) による意図せざる結果

(Unintended Result) の発生過程といった、エコシステムの動態の理解に有用な概念が多く提示されている。最後に、公理的設計 (Suh,2001) の考え方である。エコシステムの設計の枠組みは既存の設計理論を援用することで構築した。

これらの理論的基盤および先行研究レビューから提示した独自の定義は次の通りである。

“Historically self-organized, sometimes designed, multi-layer social network consisting of actors that have different attributes, decision principles, and beliefs.”

この定義をもとに、エコシステム研究のフレームワークとして、ダイナミックマルチアクターネットワークをモデルとして提示する。図2に示したようなアクターネットワークは時間とともにダイナミックに変化する。各アクターはそれぞれ異なる属性 (政府、自治体、大学、大企業、中小企業、ベンチャー企業、投資家、消費者、消費者コミュニティ、コンソーシアムなど) を持っている。異なる属性は異なる意思決定構造を持っている。何らかの判断を行うときに、何を判断基準とするかの優先順位づけが大きく異なっているのである。同じ問題に直面してもアクター間で全く異なる解を「合理的」と考えて選択する可能性があるのである。

それに加えて、あるアクターの行動が別のアクターの行動に影響を及ぼすことも重要な点であ

る。模倣、追従、反発など、状況とアクターの属性によって取る行動は異なっているが、各アクターの意思決定関数には他のアクターの行動が内生化されているのである。

このようにダイナミックに変化する意思決定関数のパラメータと、そもそも異なる意思決定関数を異なる属性のアクターが持っていることにより、「意図せざる結果」が生じうる。ある時点でのアクターが「合理的」と考える意思決定を行い、それが連鎖していく中で誰もが予想もしなかったような状況が形成されることがある。このような間接的な影響も考慮に入れたエコシステムの動態的変化のメカニズムの分析が必要不可欠である。

各アクターは独自の意思決定関数とプライオリティを持っている。すなわち異なる目的意識を持っているため、その目的に適合的な形でエビデンスを選択的に利用することがある。したがって、エビデンスベースのマネジメントが常にこれらの操作から独立であるとはいえ、背景としてのアクターの意思決定関数を理解し、エビデンスの選択的利用を含めた理解を行う必要がある。

さらに、このモデルを基盤としてエコシステムのリサーチプロセスおよび設計・評価のプロセスを提示した。リサーチプロセスは図3、設計・評価のプロセスは図4の通りである。

リサーチプロセスにおいては先行研究を基に次のようなプロセスを設定した。第一に新聞記事をはじめとする多種類のデータソースから情報工学的手法を援用してイベントヒストリーとアクターネットワークの可視化を行う。これらは先行研究でも用いられている手法である。第二に、フィールドリサーチによってこれらの情報の確認、補完を行う。第三に各アクターの意思決定原理の考察と定式化、エコシステム全体の構造的把握を行う。構造的把握においては図4に示される設計概念を用いる。その上でエコシステムの動態的に強い影響を及ぼす因果経路を発見する。さらにアクションリサーチによって主要なボトルネックの解消を目指す。

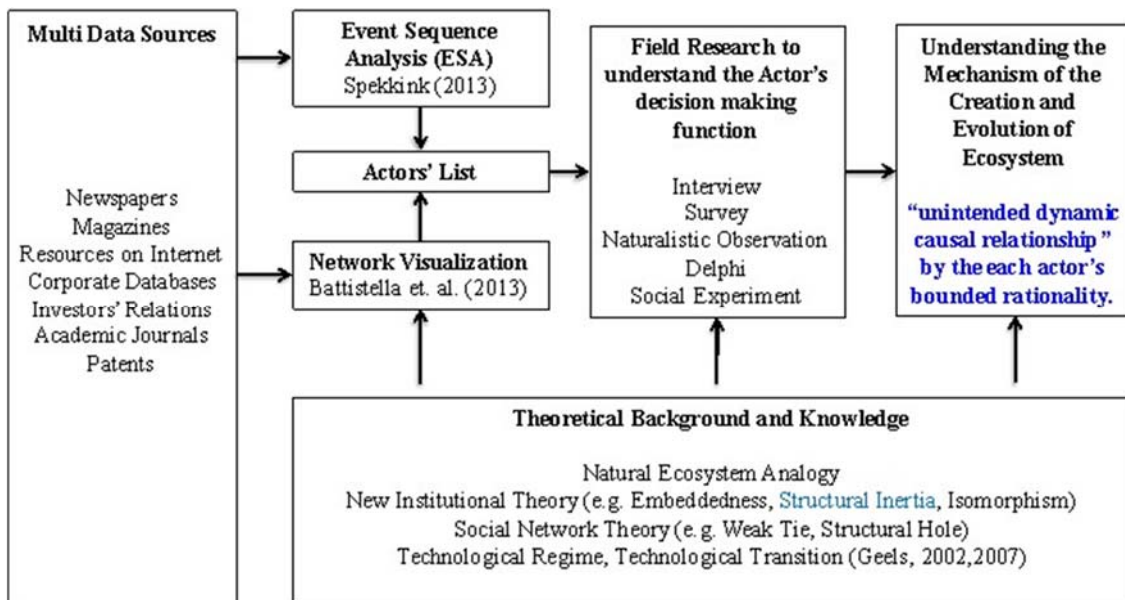


図3 調査研究プロセス

設計概念は公理的設計の考え方を援用して、それをマルチレイヤー化している。重要な点は、消費者は単独レイヤーのパフォーマンスだけで購入を行うわけではなく、マルチレイヤー全体のパフォーマンスを統合的に評価するという点である。したがって、各レイヤーのパフォーマンスを統合、調整するという意味でのエコシステムのマネジメントが必要になる。

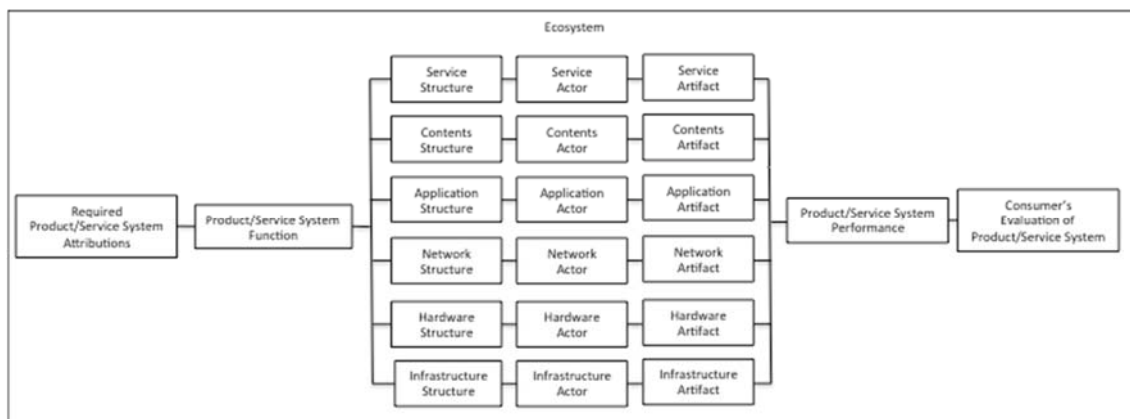


図4 エコシステム設計概念

2.3. 適用とフレームワーク・設計概念の発展

リサーチプロセスおよび設計・評価のプロセスを具体的な対象に適用した。CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)、燃料電池自動車、電気自動車、自動運転、そして医療情報システムに適用を行ったが、ここでは CCS の例を示す。その上で、複数事例への適用の中から見出されたアクターネットワーク特性としての「二面性」について議論し、エコシステム研究のフレームワークと設計概念の発展を試みた。

CCS について日経テレコンによりキーワード検索を行い、記事抽出を行った。これらの記事を目視し、アクターの抽出、アクターの行動の抽出、アクター間関係の抽出を行った。アクター数は 74 であった。

年毎の出来事の概要

2008 年

CCS 設備の実現に向けて、各アクターが共同研究、共同開発等に着手し始める。このときにアクターとして多く掲載されたのが三菱重工業、IHI、J パワーである。また、日本政府と EU の提携や神戸大学とルネッサンス・エナジー・リサーチの共同開発など、企業以外に政府と大学も CCS に関係していた。

2008 年の記事には、他アクターとの関係は報道されていないが、「日本 CCS 調査」という CCS 専門の企業が、CCS 各分野の専門技術を有する企業 24 社の出資により設立されている。

(内訳：電力会社 11 社、石油元売り会社 5 社、エンジニアリング会社 4 社、石油開発会社 2 社、鉄鋼会社 1 社、化学会社 1 社)

2009 年

9 月まで共同研究、CCS 設備の設計の受注等が決定したことが報道されている。2009 年 10 月 22 日に独シーメンスと独エーオンが CCS の実験プラントを新設したと報道されるなど、現実のものになり始めた。2009 年も三菱重工業の活動が目をつけた。ペトロベトナム化学肥料総公社、米サザンカンパニー、米電力研究所 (E P R I)、独エーオン、豪ゼロジェンという海外勢との提携または受注があった。

2010 年

経済産業省が日本 CCS 調査に、苫小牧で、海底に広がる地層が CO₂ を圧入するのに適しているかの調査を依頼した。経済産業省からの委託は 2009 年 1 月より受けており、2011 年に大きく報道されることになった。(ソース：<http://www.japanccs.com/corporate/history.php>)

2011 年

提携や実証実験スタートの記事が並んだ。多くの提携が日本企業と海外企業の組み合わせであ

り、日本企業としては三菱重工業、IHI、東芝、日立製作所が中心となっている。また、新日本製鉄をはじめとする製鉄企業6社で「COURSE50」という製鉄におけるCO₂の分離・回収技術の開発、実用化を目指すプロジェクトが発足した。

2012年

東芝、米エネルギー会社のネットパワー、米総合重機会社のショー・グループ、米電力・ガス会社のエクセロンがCO₂の分離・回収を同時にできる新たな火力発電システムを共同で開発すると発表した。CCSを設けなくても高純度で高圧のCO₂を回収できるのが特徴とあり、CCS技術以外にもCO₂を回収する技術の開発も見られた。また、オーストラリア政府がアメリカ政府との共同研究を行うことを発表し、スイスの鉱山会社のエクストラタ、Jパワー、IHI、三井物産、豪電力会社のCSエナジー、豪州石炭協会の6者が共同でオーストラリアのピロエラでCCSの実験を開始するなど、2012年はオーストラリアでの動きが目立った。

2013年（～12/26）

経済産業省が日本 CCS 調査に苫小牧でCO₂貯留実験を委託。施設を15年度までに整備し、16年度から実際の貯留を開始する予定。また、米ローレンス・バークレー国立研究所とRITE（地球環境産業技術研究機構）が地層水の排出や地熱利用が可能な次世代CCSを共同研究することを発表した。依然として、実用化の段階にはなく、共同研究、実証実験の開始等の報道が多い。

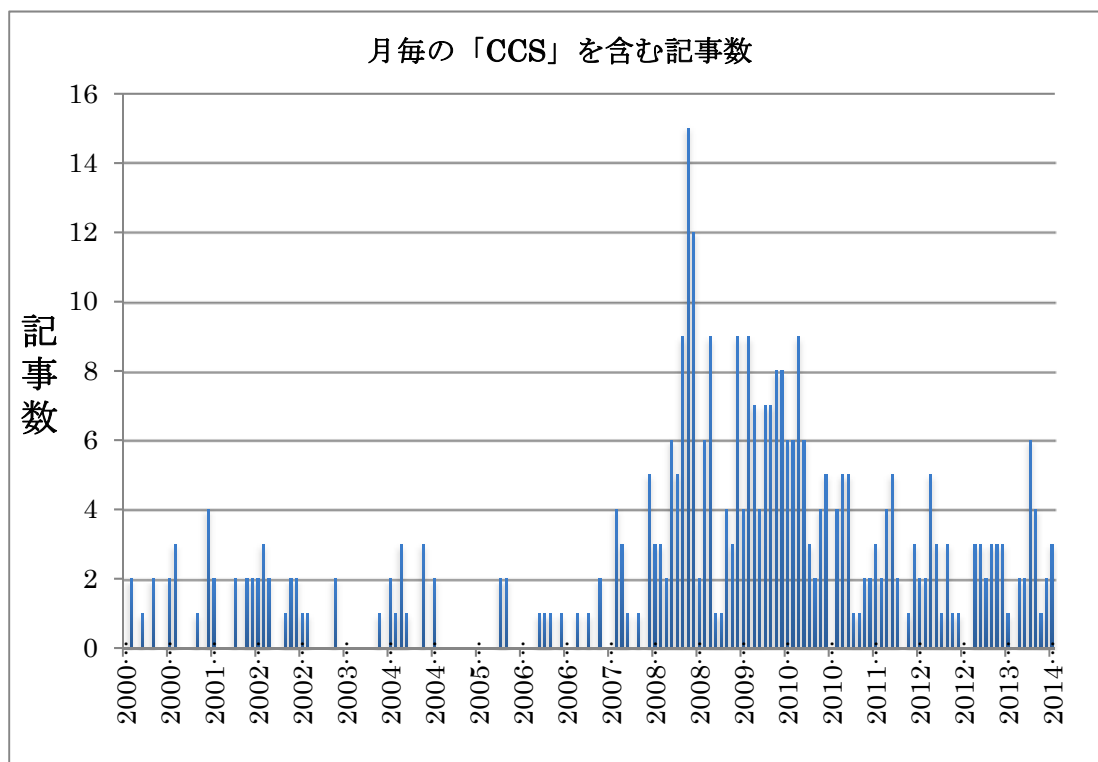


図5 「CCS」を含む記事数

ネットワーク図の描画

2004～2013年のすべてのイベントに対して、有向のネットワーク図を描画した。片側の矢印は、

1. 委託：委託元 --> 委託先
2. 技術供与：技術提供者 --> 提供された側
3. 受注：発注者 --> 受注者

の関係に対して適用した。また、両側の矢印の「複合」に関しては、アクター間で2回以上の関係があり、かつ関係性が2つ以上の区分に属する場合に付けた。図の番号は、付表Aに示したアクターのIDである。

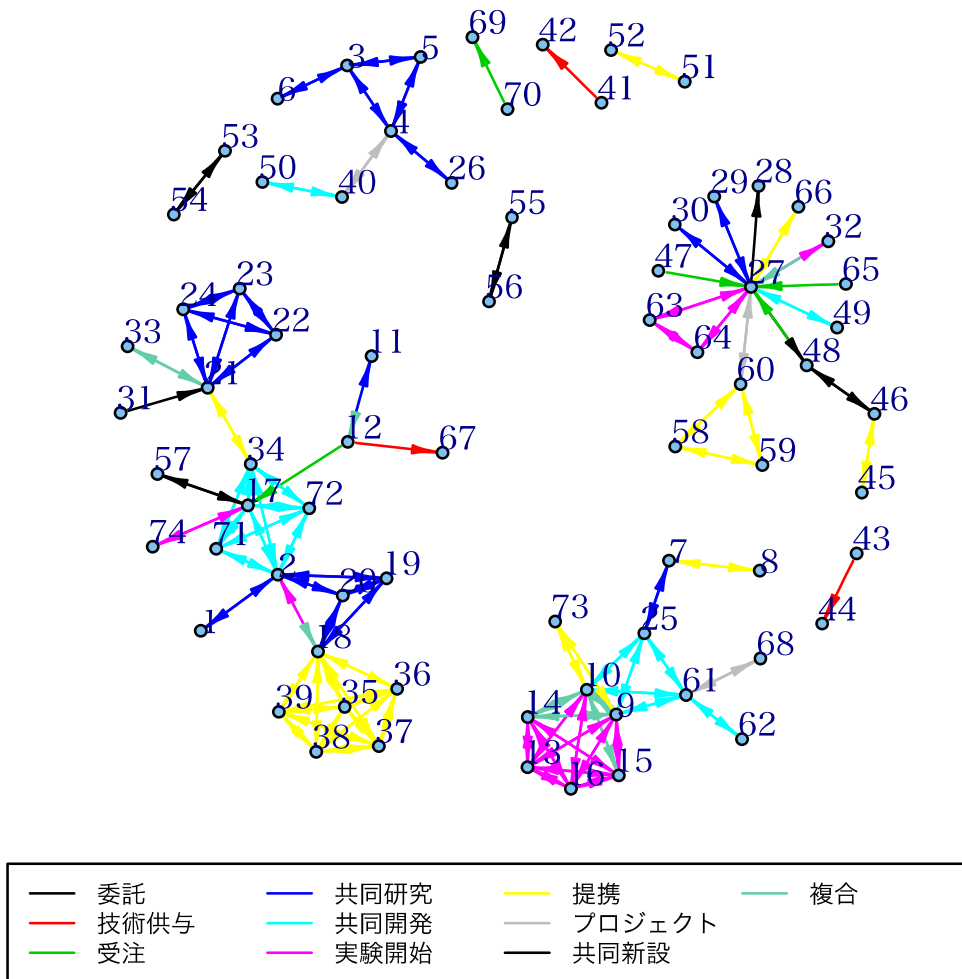
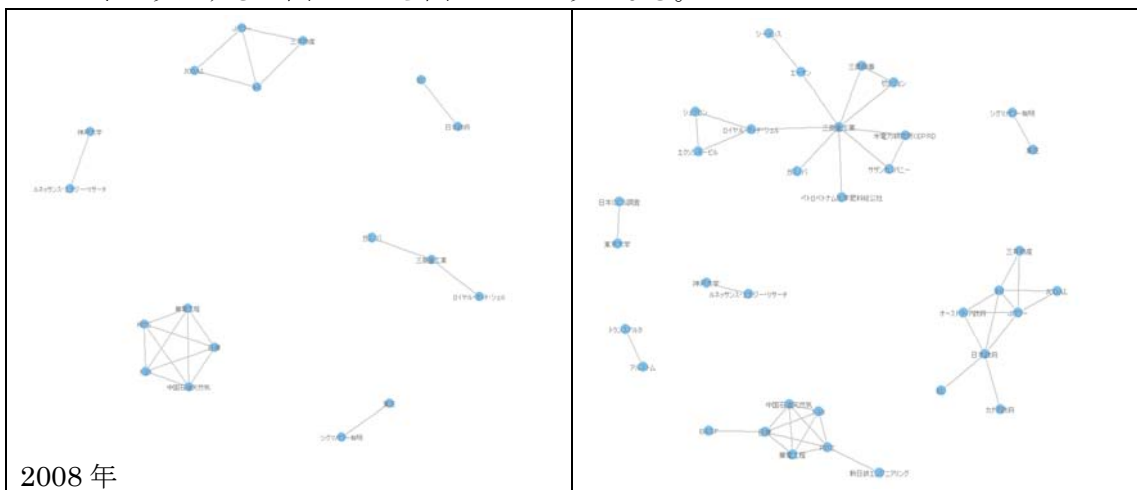


図6 CCSのアクターのネットワーク図

図6は調査期間2008年から2013年をまとめて表示している。これを一年ごとに徐々に付加していくようにすると図7-1から図7-6ようになる。



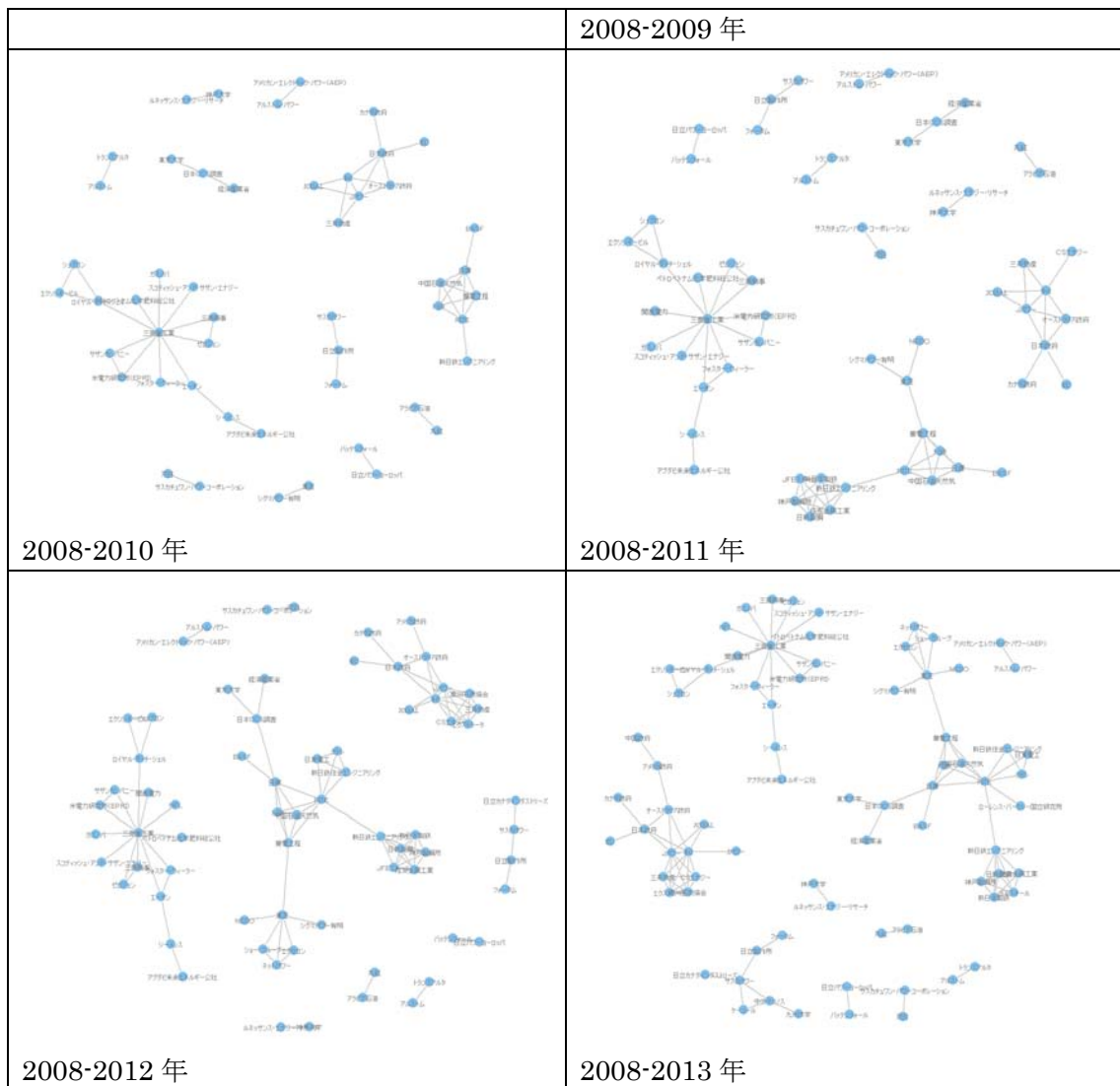


図 7-1 から図 7-6 CCS のアクターネットワーク

このアクターネットワークの変化を見つ、関係者へのインタビューを行った。その結果、CCSのアクターネットワークには大別2種のネットワークが形成されていることがわかった。第一ネットワークは三菱重工を中心とする企業のグローバルネットワークであり、第二ネットワークは日本 CCS 調査を中心とする政府系ネットワークである。

具体的事例分析から、エコシステムの動態的変化のメカニズムを個別事象レベルおよびメゾ・マクロレベルの抽象度でそれぞれ提示したが、ここでは特に、メゾ・マクロレベルにおける、エコシステムの二面性という概念を提示する。

政策が関与するような大規模な技術開発、社会インフラ開発において形成されるエコシステムには政策を顧客とする側面と市場および消費者を顧客とする側面の二面性がある。このハイブリッド構造がエコシステムのパフォーマンス評価をつうじて、エコシステムの動態的変化に影響を及ぼしている。第一ネットワークと第二ネットワークはそれぞれ政府を顧客とするものと、企業集団による市場をつうじた取引を行おうとするものに象徴的に特徴付けられる。CCSの場合には企業集団としての第二ネットワークが発生し、エコシステム全体として二面性のマネージを行っていることになっていると考えられる。どのようなときに第二ネットワークが発生するのか、その本質をゲーム理論的アプローチも踏まえて明らかにする必要がある。

このような知見をエコシステム研究のフレームワークにフィードバックした場合、マルチレイ

ヤーモデルと設計・評価プロセスはそれぞれ図 8、図 9 のように発展させることができる。

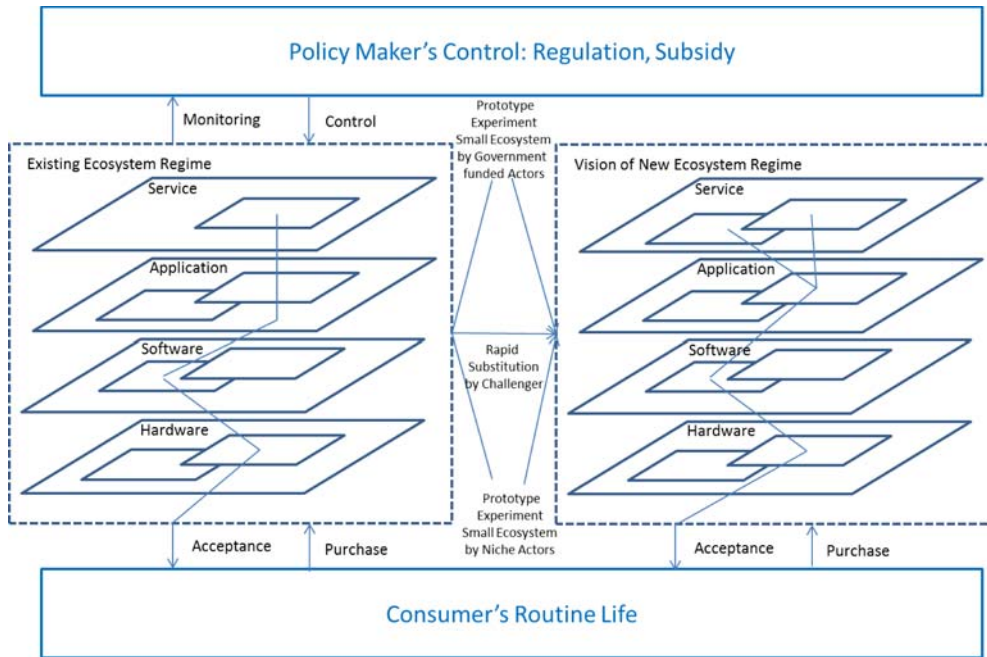


図 8 マルチレイヤーモデル (改定)

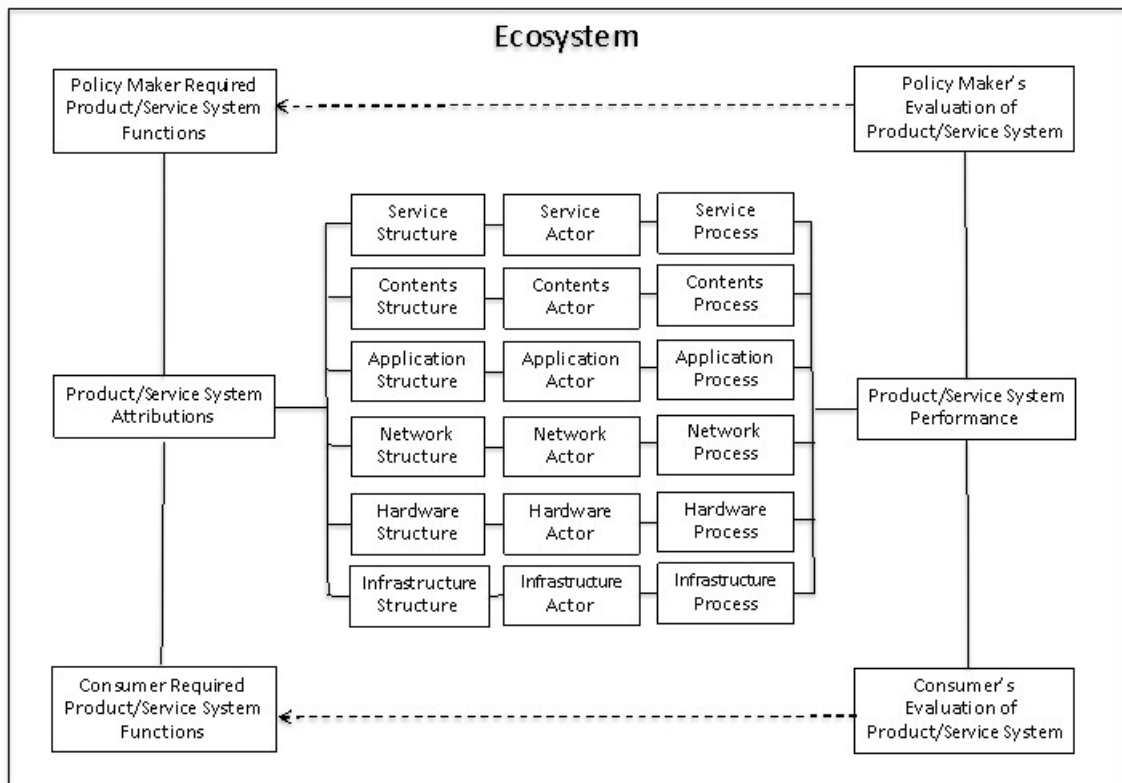


図 9 エコシステム設計・評価プロセス (改定)

すなわち、政府顧客と一般顧客の両方の異なる要求に対してエコシステムがどのように答えていくのかが、エコシステムの成長・衰退に影響を及ぼすということである。この観点からすると、いかに第二ネットワークを形成するか、という問題と、そうではない場合にハイブリッドな

エコシステムをどのようにマネジメントするかという問題が次の課題となる。先に述べた通り、アクターは自らの意思決定関数に基づいてエビデンスを選択的に使用する可能性が高いため、アクターごとに異なる意思決定関数を分析に入れた上でマネジメントする必要があるだろう。

付表 A CCS のアクターの一覧

ID	アクター名	区分	業種	国
1	ローレンス・バークレー国立研究所	研究所		アメリカ
2	R I T E	財団法人		日本
3	中外テクノス	企業	エンジニアリング	日本
4	サスクパワー	企業	電力	カナダ
5	ケーコール	企業	エンジニアリング	韓国
6	九州大学	大学		日本
7	アメリカ政府	政府		アメリカ
8	中国政府	政府		中国
9	J パワー	企業	電力供給サービス	日本
10	I H I	企業	総合重機	日本
11	経済産業省	政府		日本
12	日本 C C S 調査	企業	リサーチ・調査	日本
13	エクストラータ	企業	鉱山	スイス
14	日揮	企業	プラント設計・工事	日本
15	新日鉄住金エンジニアリング[1]	企業	プラント設計・工事	日本
16	クラレ	企業	原料樹脂	日本
17	三井物産	企業	総合商社	日本
18	C S エナジー	企業	電力供給サービス	オーストラリア
19	豪州石炭協会	団体		オーストラリア
20	東芝	企業	総合電機	日本
21	ネットパワー	企業	エネルギー	アメリカ
22	ショー・グループ	企業	総合重機	アメリカ
23	オーストラリア政府	政府		オーストラリア
24	日東電工	企業	電気機能材料	日本
25	日立カナダインダストリーズ	企業	発電機器製造	カナダ
26	エクセロン	企業	電力・ガス	アメリカ
27	ガスノバ	企業	CCS	ノルウェー
28	三菱重工業	企業	総合重機	日本

29	関西電力	企業	電力	日本
30	NEDO	政府		日本
31	サザンカンパニー	企業	電力	アメリカ
32	シグマパワー有明	企業	発電	日本
33	華電工程	企業	発電所向け機器・設備メーカー	中国
34	日立製作所	企業	総合電機	日本
35	日立パワーヨーロッパ	企業	火力発電プラント用機器	ドイツ
36	バッテンフォール	企業	電力	スウェーデン
37	新日本製鉄[2]	企業	高炉製鉄	日本
38	JFEスチール	企業	高炉製鉄	日本
39	住友金属工業	企業	高炉製鉄	日本
40	NFL	企業	肥料	インド
41	丸紅	企業	総合商社	日本
42	アラビア石油	企業	石油開発・精製・販売	日本
43	神戸製鋼所	企業	高炉製鉄	日本
44	日新製鋼	企業	高炉製鉄	日本
45	アブダビ未来エネルギー公社	企業	再生可能エネルギー・不動産	アラブ首長国連邦
46	シーメンス	企業	製造業	ドイツ
47	フォスター・ウィーラー	企業	総合重機	スイス
48	エーオン	企業	エネルギー	ドイツ
49	スコティッシュ・アンド・サザン・エナジー	企業	電力	イギリス
50	フォータム	企業	電力	フィンランド
51	双日	企業	総合商社	日本
52	サスカチュワン・パワーコーポレーション	企業	電力	カナダ
53	アルストム・パワー	企業	重電	フランス
54	アメリカン・エレクトリック・パワー (AEP)	企業	電力	アメリカ
55	トランスアルタ	企業	電力	カナダ
56	KBR	企業	プラント	アメリカ
57	BASF	企業	化学	ドイツ
58	シェブロン	企業	石油	アメリカ
59	エクソンモービル	企業	総合エネルギー	アメリカ

60	ロイヤル・ダッチ・シェル	企業	石油	オランダ
61	日本政府	政府		日本
62	カナダ政府	政府		カナダ
63	ゼロジェン	企業	CCS	オーストラリア
64	三菱商事	企業	総合商社	日本
65	米電力研究所 (EPRI)	財団法人		アメリカ
66	ペトロベトナム化学肥料総公社	企業	製造業	ベトナム
67	東京大学	大学		日本
68	三井物産	企業	総合商社	日本
69	EU	政府		
70	神戸大学	大学		日本
71	ルネッサンス・エナジー・リサーチ	企業	エンジニアリング	日本
72	トヨタ	企業	自動車	日本
73	JCOAL	財団法人		日本
74	中国石油天然気	企業	石油	中国

備考

[1]新日鉄エンジニアリングから 2011 年に社名変更

[2]現在の新日鉄住金

アクター間のイベント

次にアクター間のイベントを抽出した。

付表 B

CCS のアクター間のイベント一覧

イベント年	アクター	イベント区分	イベント詳細
2013	ローレンス・バークレー国立研究所, RITE	共同研究	地層水の排出や地熱利用が可能な次世代 CCS を共同研究する
2013	中外テクノス, サスクパワー, ケーコー	共同研究	CCS の実証実験に参画する
2013	中外テクノス, 九州大学	共同研究	大学の協力を得て地表の CO ₂ を測定し、データを無線で送信・分析するシステムを開発した
2013	アメリカ政府, 中国	提携	CCS や自動車の排ガス対策などの協力で合意した
2013	J パワー, IHI	実験開始	オーストラリアのカライドで CCS の実験を開始

2013	経済産業省, 日本 CCS 調査	委託	経済産業省が日本 CCS 調査に苫小牧でCO ₂ 貯留実験を委託。施設を15年度までに整備し、16年度から実際の貯留を開始。年10万トン以上を貯留し、19、20年度にCO ₂ の状態を観察する。
2012	エクストラータ, J パワー, IHI, 三井物 産, CS エナジー, 豪 州石炭協会	実験開始	オーストラリアのピロエラで CCS の実験を開始
2012	日揮, 日本 CCS 調査	受注	日本CCS調査からCO ₂ を回収して圧縮するための地上設備を受注
2012	RITE, 新日鉄住金エ ンジニアリング, ク ラレ, 日東電工	共同研究	独自開発の膜にCO ₂ を吸着させる新たな手法の実験
2012	東芝, ネットパワー, ショー・グループ, エクセロン	共同研究	二酸化炭素 (CO ₂) の分離・回収を同時にできる新たな火力発電システムを共同で開発すると発表した。CO ₂ を分離・回収する設備「CCS」を設けなくても高純度で高圧のCO ₂ を回収できるのが特徴。
2012	オーストラリア政府, アメリカ政府	共同研究	西オーストラリア州北西沖のゴルゴン鉱区に年産1500万トンのLNG基地を建設中。14年に完成の予定で、併せてCCS設備の稼働を目指す。米政府と共同研究
2012	日立カナダインダス トリーズ, サスクパ ワー	共同研究	CCS の技術開発で提携する
2010	経済産業省, 日本 CCS 調査	委託	苫小牧で、海底に広がる地層がCO ₂ を圧入するのに適しているかの調査を依頼
2011	三菱重工業, ガスノ バ	受注	発電所から出る二酸化炭素 (CO ₂) を回収する大規模設備について、設計や施工法などを提案する初期計画業務を受注した
2011	三菱重工業, 関西電 力	共同研究	CO ₂ 回収技術を共同開発
2011	NEDO, 東芝	委託	ブルガリアで高効率の石炭火力発電所と、二酸化炭素 (CO ₂) 分離回収 (CCS) 設備の導入に関する案件形成調査 (FS) を委託した
2011	三菱重工業, サザン カンパニー	実験開始	アラバマ州のバリー石炭火力発電所で1日500トンのCO ₂ を回収する実証試験をスタート
2011	東芝, シグマパワー 有明	実験開始	三川発電所のパイロットプラントで1日10トンのCO ₂ の回収実験を行う
2011	東芝, 華電工程	提携	CCS 技術の協力覚書を締結

2011	IHI, CS エナジー	プロジェクト	「酸素燃焼法」を使ったCCSプロジェクトに乗り出した
2010	日立製作所, サスク パワー	提携	CO2回収技術の協力協定を締結
2010	日立パワーヨーロッ パ, バッテンフォー ル	共同研究	シュワルツプンペ石炭火力発電所で10年 4月から酸素燃焼バーナーの試験を実施す るなど技術開発を進めている
2011	新日本製鉄, JFE ス チール, 住友金属工 業, 神戸製鋼所, 日 新製鋼, 新日鉄エン 지니어リング	プロジェク ト	「COURSE 50」プロジェクトを共同 で行う
2012	三菱重工業, NFL	技術供与	尿素肥料工場向けに二酸化炭素 (CO2) の回収技術を供与する。今後 CCS と組み合 わせていく予定
2010	丸紅, アラビア石油	技術供与	アラビア石油の技術を使って、CO2削減 事業の調査にインドネシアで取り組む
2010	アブダビ未来エネル ギー公社, シーメン ス	提携	CCS を含む戦略提携を発表
2010	三菱重工業, フォス ター・ウィラー, エーオン	受注	フォスター・ウィラーと共同でオーエンか ら CCS 装置の設計を受注した
2010	三菱重工業, スコテ イッシュ・アンド・ サザン・エナジー	共同開発	低炭素エネルギーの開発で協力する (CCS も含まれる)
2010	日立製作所, フォー タム	共同開発	二酸化炭素 (CO2) の回収技術を共同開 発
2010	双日, サスカチュワ ン・パワーコーポレ ーション	提携	技術提携を結んだ
2010	アルストム・パワー, アメリカン・エレク トリック・パワー	共同新設	共同でつくった実証プラントが昨年10月 に完成した
2009	新日鉄エンジニアリ ング, RITE	実験開始	共同で、石炭ガス化炉から出るガスを高分 子膜で二酸化炭素 (CO2) と水素に分離 する試験を北九州市で始めた
2009	アルストム, トラン スアルタ	共同新設	共同で、同国エドモントン近くにある石炭 火力発電所にCO2回収プラントを新設す る
2009	シーメンス, エーオ ン	共同新設	フランクフルト近郊のシュタウディンガー 石炭火力発電所にCO2回収の実験プラント を新設する

2004	日揮, KBR	共同新設	CCS 設備を稼働
2009	日揮, BASF	提携	CO ₂ の分離に必要な吸収溶剤の開発で提携
2009	シェブロン, エクソンモービル, ロイヤル・ダッチ・シェル	共同開発	オーストラリア北西部沖の海底ガス田「ゴーゴン」事業で発生する二酸化炭素 (CO ₂) の回収・貯留 (CCS) 技術の事業化に取り組む
2009	日本政府, カナダ政府	共同開発	オイルサンドにCO ₂ を封入する技術の共同開発に着手
2009	オーストラリア政府, 日本政府, J パワー, IHI	実験開始	石炭火力発電所での大規模実証実験に着手
2009	ゼロジェン, 三菱重工業, 三菱商事	委託	CO ₂ の排出を従来より最大で90%削減する次世代型火力発電所をオーストラリアに建設するプロジェクトの事業化調査を依頼 (ゼロジェンから三菱重工、三菱商事へ)
2009	三菱重工業, エーオン	受注	エーオンの英国法人から、石炭火力発電所から出るCO ₂ を回収する装置 (CCS) の基本設計を受注した
2009	三菱重工業, サザンカンパニー, 米電力研究所 (ERPI)	提携	CCS の実証実験を米国で始めると発表した
2009	三菱重工業, ペトロベトナム化学肥料総公社	技術供与	CO ₂ の回収技術を供与することを決めた
2009	日本 CCS 調査, 東京大学	共同研究	CCS の共同研究をすると発表
2008	東芝, シグマパワー有明	共同新設	シグマパワー有明 (東京・港) の三川発電所 (福岡県大牟田市) に石炭火力発電所から発生する二酸化炭素 (CO ₂) を分離・回収する実証プラントを建設する
2008	J パワー, IHI, 三井物産	プロジェクト	オーストラリアのクイーンズランド州の石炭火力発電所でCCSの大規模プロジェクトに着手した
2008	三菱重工業, ロイヤル・ダッチ・シェル	プロジェクト	中東でCCSの共同プロジェクトを手掛ける
2008	日本政府, EU	共同研究	政府間協議を開催。CCS の共同研究も
2008	三菱重工業, ガスノバ	受注	CCS 設備の初期設計業務を受注した
2008	神戸大学, ルネッサンス・エナジー・リサーチ	共同開発	二酸化炭素 (CO ₂) だけを効率よく分離する高分子膜を開発

2008	トヨタ, 日揮, RITE, 提携 中国石油天然気, 華 電工程		火力発電所から排出される二酸化炭素 (CO ₂) を油田に注入、封じ込めて原油を取り出しやすくする事業で協力する
2008	Jパワー, IHI, JCOAL	実験開始	実証実験に着手する

2-2-5. ビジネスエコシステムの設計と評価

製品属性とエコシステムの構造の理論化

革新的技術の社会実装後の普及過程をモデル化するために、product attribute model と消費者選好の非均質性に基づく理論化を行った。基本的なフレームワークは、製品が複数の特性を含み、消費者はそれぞれの製品特性に関して異なるテイスト（あるいは重要度）を持つ故に複数の市場セグメントに分かれることである。先行研究では消費者の非均質性が定式化され、その破壊的イノベーションのプロセスにおける役割が論じられたが、生産者の非均質性とその役割は研究されていない。本研究は生産者の技術の非均質性の経済モデルを提案し、それを既存の消費者の選好の非均質性のモデルと統合し、コンピュータシミュレーションにより分析を行った。

モデル化においては、Product attribute model の中心的仮定を踏襲し、ある製品カテゴリーでは所与の数の製品特性（あるいは属性）が存在し、カテゴリー内のすべての製品はその特性を共通して持つものとする。X と Y という 2 つの製品特性があるとする。製品特性の客観性の仮定により、ある製品の 2 つの特性におけるパフォーマンスは数値として表され、全ての消費者はその数値を同様に認識するものとする。つまり、製品は属性 X と Y におけるパフォーマンスを表す数値 F_X および F_Y を持つ。パフォーマンスのありうる最大値は製品カテゴリーや属性によって外生的な科学技術的要因により異なるであろうが、ここではパフォーマンスの取りうる値の範囲は $[0, 1]$ の区間になるよう正規化する。つまり、ある製品のパフォーマンスは $(F_X, F_Y) \in [0, 1]^2$ と表される。

生産者 2 社が 1 つの製品のみを生産する最も簡単な場合のモデルを分析する。生産者はインデックス $i=1, 2$ で表す。製品の開発と販売を、2 つのパフォーマンス F_{iX}, F_{iY} および価格 p_i を意思決定することと解釈し、パフォーマンスと価格の意思決定は同時に行われるものとする。従って生産者 i の行動 (F_{iX}, F_{iY}, p_i) である。

伝統的な生産コストに加えて、目標のパフォーマンスを得るためにかかる製品開発コストをモデルに取り入れる。より高いパフォーマンスを実現させるにつれて製品開発コストも増加すると仮定する。線形 $(d_{iX}F_{iX} + d_{iY}F_{iY})$ および二乗 $(d_{iX}F_{iX}^2 + d_{iY}F_{iY}^2)$ の 2 つのコスト関数の形態を考え、それぞれを分析する。係数 d_{iX} と d_{iY} は生産者 i の 2 つの製品特性のパフォーマンスの開発におけるリソースやケーパビリティ、競争力を表す。製品開発コストの係数が小さいほどその生産者は当該の製品特性に関する知的財産や優秀な研究人員、組織的能力、経験を多く持っていることとなる。

生産者利益は製品開発コストとそれに対応する生産コストの和である。線形の製品開発および生産コストは

$$\pi_i = p_i q_i - c_i q_i - d_{iX} F_{iX} - d_{iY} F_{iY}$$

であり、二乗形のコスト関数は

$$\pi_i = p_i q_i - c_i q_i^2 - d_{iX} F_{iX}^2 - d_{iY} F_{iY}^2$$

と表されるものとした。 q_i は生産者の販売数量を表す。

消費者に関しては、 n 人の消費者がいる市場を考える。 $U_{\theta i} = \theta F_{iX} + (1-\theta) F_{iY} - p_i$

$U_{\theta i}$ は消費者 θ が製品 i から得る効用を指す。 θ は 0 と 1 の間で離散的かつ一様に分布するとする ($\theta = 0, 1/(n-1), 2/(n-1), \dots, (n-2)/(n-1), 1$)。ありうる消費者の便益の最大値は θ に関わらず 1 であるため、生産者のつけうる価格の最大値も 1 である。以上のことから生産者の行動空間が決定する。

$$(F_{iX}, F_{iY}, p_i) \in [0,1]^3$$

生産者 2 社の行動が所与のとき、消費者は 2 つの製品から自身が得る効用を比較し、0 以上の効用を提供しかつライバル製品よりも高い効用を提供する製品を購入する。2 つの製品が同じ正の効用を与えるときは 1/2 の確率で生産者の製品を購入する。販売数量 q_1 and q_2 はそれぞれ生産者 1 および 2 から購入した消費者の数を総人口 n で割って正規化した数値である。

以上のゲームモデルにより、生産者 2 社の戦略の組み $((F_{1X}, F_{1Y}, p_1), (F_{2X}, F_{2Y}, p_2))$ に対して利益 π_1, π_2 が決定する(表 1)。

表 1. The settings of profit and utility functions

Setting	Profit function	Utility function
A	$\pi_i = p_i q_i - c_i q_i - d_{iX} F_{iX} - d_{iY} F_{iY}$	$U_{\theta i} = \theta F_{iX} + (1-\theta) F_{iY} - p_i$
B	$\pi_i = p_i q_i - c_i q_i^2 - d_{iX} F_{iX}^2 - d_{iY} F_{iY}^2$	$U_{\theta i} = \theta F_{iX} + (1-\theta) F_{iY} - p_i$

上記のモデルをもとに下記のシミュレーションを行った(表 4)。生産者の行動空間 $[0,1]^3$ を $\{1/20, 1/10, \dots, 19/20, 1\}^3$ へと離散化し、消費者の人数は 16 人とした ($\theta = 0, 1/15, \dots, 14/15, 1$)。

15 のコスト係数のケースでは生産コスト係数は 2 社間で同じであり ($c_1 = c_2$)、製品開発コスト係数は同じ ($d_{1X} = d_{1Y} = d_{2X} = d_{2Y}$) である場合や異なるが対称的 ($d_{1X} = d_{2Y}$ and $d_{1Y} = d_{2X}$) である場合、非対称的な場合がある。15 つのケースの具体的な係数は 3 つの基準によって設定された。

1) 係数の和 ($c_i + d_{iX} + d_{iY}$)

2) 生産者の特化の度合い ($|d_{iX} - d_{iY}|$)。 $|d_{iX} - d_{iY}| = 0$ のときは 2 社の生産者は製品特性の開発において同様の技術的能力を持つ。 $|d_{iX} - d_{iY}| > 0$ のときは、生産者は同じ額のコストで片方の製品属性のパフォーマンスを他方よりも多く開発することができ、特化している。

3) 製品開発コスト係数の小さい方と、生産コスト係数との差 ($c_i - \min\{d_{iX}, d_{iY}\}$)。

シミュレーション番号 4-2, 9-2 and 12-2 では、2 社の生産者の製品開発コスト係数は相違かつ非対称的である。生産者 1 は生産者 2 と比べて両方の製品属性において相対的に小さいコスト係数を持ち、生産者 2 の属性 Y のコスト係数は X より小さい。この設定は、生産者 1 にとって特性 Y の開発が「技術的にシンプル」であるときに、 F_{1Y} よりも大きい値の F_{1X} を開発するかを見るためである。

表 2. The settings of cost coefficients and their Nash equilibrium results

NN: both producers develop and sell a product at equilibrium

Nn: only one producer develops and sells a product at equilibrium

nn: both producers sell to no consumers at equilibrium

-: no equilibrium exists

No.	c_1	d_{1X}	d_{1Y}	c_2	d_{2X}	d_{2Y}	Setting	
							A	B
1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	-	-
2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	-	-
3	0.1	0.2	0.4	0.1	0.4	0.2	NN	-
4-1	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	NN	NN
4-2	0.3	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	-	-
5	0.2	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5	nn	-
6	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	nn	NN
7	0.2	0.4	0.5	0.2	0.5	0.4	nn	-

8	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	nn	nn
9-1	0.6	0.2	0.3	0.6	0.3	0.2	nn	NN
9-2	0.6	0.2	0.2	0.6	0.3	0.2	nn	NN
10	0.2	0.3	0.6	0.2	0.6	0.3	nn	nn
11	0.4	0.2	0.5	0.4	0.5	0.2	nn	nn
12-1	0.6	0.1	0.4	0.6	0.4	0.1	nn	NN
12-2	0.6	0.1	0.1	0.6	0.4	0.1	Nn	NN

表 2 の最後の 2 列がシミュレーションにおけるナッシュ均衡の存在の有無を表している。8 つのシミュレーション(No. A3, A4-1, B4-1, B6, B9-1, B9-2, B12-1, B12-2)において 2 社ともが製品を開発して消費者に販売する均衡が確認された(図 1)。その中で B9-2 and B12-2 を除けば均衡は対称的であり、生産者は特化した製品を開発しそのパフォーマンスは対称的である(下図)。この 8 つ以外のシミュレーションではナッシュ均衡が存在しないか、あるいは均衡における製品のパフォーマンスが最小値となっている(参入しない状況を意味する)。

ナッシュ均衡の存在に関してはいくつかのパターンが見られた。利益関数が線形の場合は、コスト係数の和が相対的に小さく生産者が特化しているときのみ均衡が存在する。利益関数が二乗形の場合は、コスト係数の和が大きく、生産コスト係数が製品開発コスト係数の小さい方よりも大きいときにも均衡が存在する。

シミュレーション結果は、製品開発コスト係数が対称的であるときには生産者が常に 1 つの製品属性に特化し、同質の製品を開発することが避けられていることを表している。コスト係数が非対称的であるときは、均衡も非対称的である。

シミュレーション番号 B9-2 は Christensen により観察された現象を再現している。生産者 1 は属性 Y を開発することにおいて生産者 2 と同じコスト係数の条件を持つにも関わらず、属性 X に特化した製品を開発している。

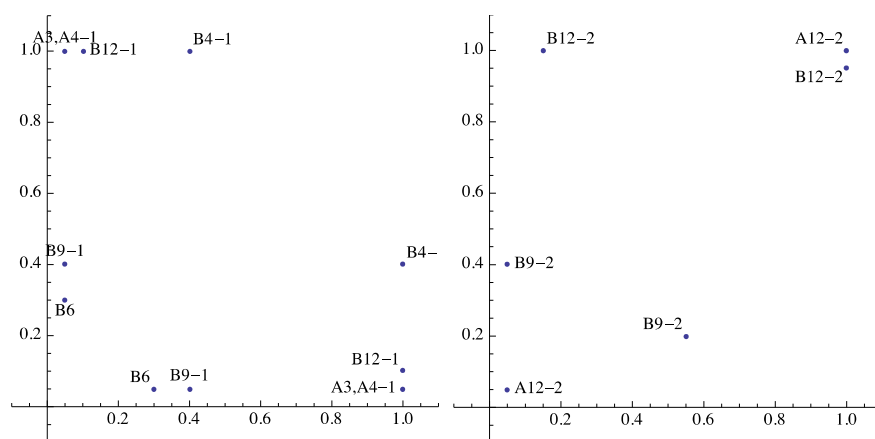


図 1(左図) The symmetric Nash equilibria . (右図) The asymmetric Nash equilibria

以上では、生産者 2 者の単純な状況下でのビジネスエコシステムの振る舞いと製品普及のシミュレーションを行ったが、下記では複数のプレイヤーが織りなすエコシステムでのダイナミクスの理論的検討を行った。

競争と協調のネットワークの進化プロセスのシミュレーション

アクター間の協働と競争によって発展するエコシステムが注目を集めているが、これまでも協力行動の創発を促す仕組みの研究が多くなされてきた。Nowak(1998)は、互恵性理論を発展させ、”image scoring”という評価の概念を導入し、「相手に協力行動をすれば、周囲からの自身に対する評価が上がり、相手以外の他の誰かからも協力行動を返してもらえる」という間接的互恵関係という仕組みによって、協力行動の進化的安定をシミュレーションによって説明した。本研究では Nowak の導入した間接的互恵関係に基づく協力関係創発モデルを基礎とした上で、より人間の心理変化に忠実なモデルとするため、Heider(1958)の認知的均衡定理との統合を行った。また人間関係に焦点を当てるために、image score を関係性として抽出しネットワークとして協力関係を記述し、またそのネットワークによる意思決定への影響及び情報の不完全性を導入した。このモデルの下、社会的ジレンマ状況における協力関係の創発過程に多様な要素、特に戦略模倣と個体差が与える影響の分析した。以下、戦略模倣と能力差の影響分析をシミュレーション A、戦略模倣の不完全性の影響分析をシミュレーション B とよぶ。

シミュレーション A、B によって得られた協力関係数の推移を次項図に示す(図 2,3)。本報告書ではシミュレーションの詳細は省くが、本年度の研究成果として下記の結果が得られた。

シミュレーション A により、戦略模倣・能力差が与える影響を分析した結果、次の事が分かった。戦略模倣による戦略パラメータ減少が同時多発的に協力関係を形成し、評価の類似化を引き起こす事で強固かつクラスター性の高い協力関係の維持を実現する。しかしその一方で戦略模倣による戦略パラメータ増加は評価の類似化が十分でないプレイヤーをネットワークから分離させる傾向も合わせ持つ。また能力差の存在によって、能力値が低いプレイヤーが協力行動を活かす事ができないため、ネットワーク外のプレイヤーから非協力行動を受けることが多くなる。その一方で能力値が 2 以上のプレイヤーはネットワーク外のプレイヤーとも協力関係を形成しうる。故に評価に偏りが生じ、能力値が低いプレイヤーはネットワークから分離していく傾向を持つ。さらに能力差と戦略模倣が同時に存在する場合、能力差によって評価の類似化する速度にばらつきがあるために、戦略模倣による戦略パラメータの増加が引き起こす同時多発的な協力関係の切断が能力値 1 のプレイヤーのみならず、評価の一致が遅れているプレイヤーもネットワークから分離させるため、能力差と戦略模倣は相乗的により多くの協力関係の切断を引き起こす。

シミュレーション B により、戦略の模倣が不完全な状態のほうがより協力関係の創発を促す事が示され、その過程に戦略変化による同時多発的な協力関係創発と模倣完全度の小ささによる低い戦略の維持、戦略変化の遅さによる評価の類似化に掛けられるターン数の増加、が重要な仕組みとして機能していることが示された。

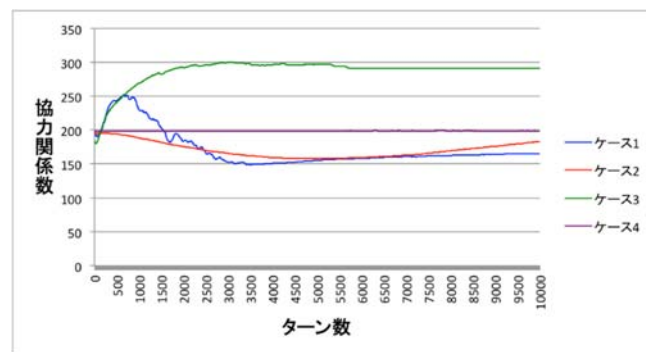


図2 シミュレーション A における協力関係数推移

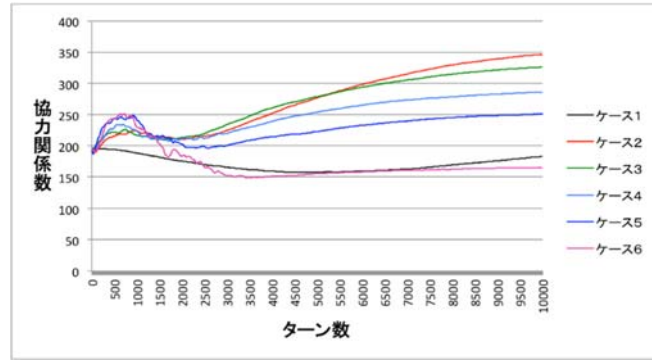


図3. シミュレーション B における協力関係数推移

上記では、間接的互惠関係を考慮する互惠性理論及び認知的均衡定理に依拠し、研究開発関係者の協力・非協力関係をモデル化、協力行動の進化プロセスをエージェントシミュレーションにより分析した。その結果、戦略的模倣性及び能力差の有無によって、エコシステムの発展過程および消滅過程が分かれることを見出した。本研究開発成果の政策実装には、そのメカニズムの解明が必要であるものの、Center of Excellence や Network of Excellence といったコンセプトで表現される拠点形成事業等における実施体制の検討に繋がるものと期待している。

参考文献)

- Martin A. Nowak & Karl Sigmund (1998) Evolution of indirect reciprocity by image scoring, Nature, Vol.393, pp.573-577, 1998.
 Heider, F.(1958) 対人関係の心理学, 誠信書房, p.19

3. 研究開発成果

3-1. 成果の概要

- (1) 萌芽的・脱成熟的研究領域の抽出方法を開発
- (2) 関連性分析による革新的研究開発の探索方法を開発
- (3) 論文・特許相関性分析により産業展開可能性の評価を実施
- (4) ビジネスエコシステムの構造分析のためフレームワークを開発
- (5) 競争と協調により発展・消滅するネットワークのダイナミクスをモデル化

3-2. 各成果の詳細

3-2-1. 萌芽的・脱成熟的研究領域の抽出方法を開発

科学技術イノベーション政策を効果的に推進するためには、社会・産業動向のみならず、世界の研究開発の現状や今後の動向を俯瞰的かつ客観的に把握し、分析、評価を行う必要がある。しかし、現在のように年間数百万本、特定の研究開発課題に限定しても数千本の論文が出版されている中で、そのような分析を行うことは容易ではない。それは政策担当者のみならず研究開発の実施者においても同様である。従来用いられている専門家や当事者によるピアレビューやワークショップでは、その客観性や俯瞰性を担保しづらく、特に、萌芽的な研究領域を見落としてしま

うリスクがある。計量書誌分析は、研究開発動向を俯瞰的・客観的に把握する有効な手段であるが、それでもなお、成熟技術領域で革新的研究が生まれた時や、領域そのものが全く新しく誕生した時には重要な領域を見落とす場合があった。そこで、本研究では、研究領域の平均的な成長性だけではなく、その中でのハブ論文の位置づけに着目することで、萌芽的な研究領域のみならず脱成熟的な研究領域をも抽出する手法を提案し分析を行った。本研究開発成果を政策立案者等のみならず、研究開発の実施者が活用することで、研究開発動向を俯瞰的かつ詳細に把握し、研究開発の方向性を定める際の参照点として利用できると考えている。

3-2-2. 関連性分析による革新的研究開発の探索方法を開発

従来のサイエンスマップや特許マップは特定の領域における研究開発の現状を記述することが目的であり、新たな研究開発課題の探索には適していない。そこで本研究では、複数の領域やデータセットを組み合わせて分析することで、潜在的な研究開発の可能性を探索し、未だ研究開発が行われていない少なくとも未成熟な領域を発見する手法の開発を行った。本研究開発成果を研究開発の実施者等が活用することで、新たな革新的な研究開発課題の提案に繋がるのが可能になるものと考えている。

3-2-3. 論文-特許相関性分析により産業展開可能性の評価を実施

学術的な研究成果が企業等での技術開発や産業技術にどの程度寄与したかを示す指標として従来、特許1本あたりの学術論文の引用回数であるサイエンスリンケージが用いられてきた。しかし、サイエンスリンケージでは、特許の論文引用の不十分性により学術の貢献を十分に捕捉できないことや、産業技術への貢献の事後的な評価にとどまるといった問題点があった。そこで、本研究では、論文と特許のテキスト相関性を測定することで、引用関係のみでは十分に捕捉できなかった関係性を把握すること、論文と特許の相関性の時系列での変化を分析することで学術研究の産業展開可能性を評価し、将来、産業技術として貢献する可能性の高い学術研究群を抽出する方法論の開発を行った。また、従来の特許での引用分析の欠点である捕捉率を特許ファミリーの情報を用いて改善する手法を開発した。本研究開発成果を政策立案者やファンディングエージェンシー等の担当者が用いることで、社会実装やイノベーション創出を目標とするプログラムのプロジェクトの企画・立案や評価に活用可能であると考えている。

3-2-4. ビジネスエコシステムの構造分析のためフレームワークを開発

研究開発の結果として産み出される製品やサービスの事業化や社会導入を促すためには、技術開発だけでなく、現在の技術・産業・社会システムの構造の中での実装可能性を考慮に入れる必要がある。また、エコシステムの構造を記述し、新たなシステムの設計を行うための方法論が必要である。従来の研究は、少数の事例の記述的調査、もしくは、特定の企業のサプライチェーンの定量的分析が主であった。そこで、本研究では、先行研究の体系的な調査を通じ、エコシステムを包括的に捉えるための視点を整理し、統合的なフレームワークとして提示した。また、新聞記事データを用い、企業等のステークホルダーの関係性を分析し可視化するための方法論を提案し、分析を実施した。本研究開発成果を事業実施者や政策担当者が活用することで、ステークホルダー間関係性を把握するとともに、研究開発の初期段階から技術導入を促すエコシステムの設計を行うことに繋がることが期待される。

3-2-5. 競争と協調により発展・消滅するネットワークのダイナミクスをモデル化

エコシステムに関するフィールド調査等の実態調査はステークホルダー間関係性等を把握するための有効な手法であるものの、そのダイナミクスを予測することは難しい。エコシステムにおける各ステークホルダーの構造的な行動を分析し、システム全体の振る舞いを予測するために

は、調査研究のみならず、理論研究が必要であると考えられる。そこで、本研究では、間接的互惠関係を考慮する互惠性理論及び認知的均衡定理に依拠し、協力行動の進化プロセスを数理的にモデル化し、エージェントシミュレーションにより、ビジネスエコシステムの形成・発展過程を分析した。その結果、戦略的模倣性及び能力差の有無によって、エコシステムの発展過程および消滅過程が分かれることを見出した。本研究開発成果の政策実装には、そのメカニズムの解明が必要であるものの、拠点形成事業等における実施体制の検討に繋がるものと期待している。

3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等

3-3-1. 国際的なコミュニティへの展開

本プロジェクトの取り組みおよび研究開発成果は、本分野における国際的な学術コミュニティの発展に大きく貢献し得る。情報工学グループの研究開発に関連するものでは、国際的な学術雑誌 *Frontiers in Research Metrics and Analytics(RMA)* が 2016 年に創刊し、研究代表者が Associate Editor に就任している。RMA は論文や特許データの計量書誌分析や、学術的な研究開発成果の評価手法等が主眼の学術雑誌である。また、社会科学グループの研究開発では、技術経営・科学技術イノベーション分野の主要な学術雑誌である *Technological Forecasting and Social Change* に「イノベーションエコシステムに関する特集号” Innovation Ecosystems: Theory, Evidence, Practice, and Implications” を組み、本プロジェクトの成果の国際的展開を図るとともに、ネットワークの拡大に貢献している。

3-3-2. 教育プログラムへの展開・人材育成

本研究開発の成果は政策のための科学の基盤的研究・人材育成拠点の形成事業の参画校である東京大学での人材育成および開講科目” *Quantitative Methods for Management and Policy Analysis*”、東京工業大学環境・社会理工学院技術経営専門職学位課程/イノベーション科学系での開講科目「数理・情報分析基礎」「ビジネスエコシステム論」「科学技術イノベーション政策のための科学実例」にも反映されている。また、本プロジェクトに Research Assistant(RA)として参画した学生等が、省庁ならびに科学技術振興機構に採用される等の実績もあり人材育成においても貢献している。

3-4. 成果の発展の可能性

・方法論・ツールとしての発展

本プロジェクトで研究開発を行った方法論を政策担当者等が利用可能な形で広く展開していくためには、方法論をツールとして実装し、普及・展開を図ることが必要である。そのために、本プロジェクトの研究代表者が研究を主導し開発を行ってきた学術俯瞰システム(<http://academic-landscape.com/>)に、本研究開発の成果である萌芽的・脱成熟的研究領域の抽出方法等をモジュールとして組み込むことが有効であると考えられる。

また、本プロジェクトでは、学術研究としての性質上、科学技術イノベーションに関するエビデンスの範囲を狭く捉えて研究開発を実施した。しかし、政策のための科学として創出すべきエビデンスはより広範・包括的なものであると考えられる。そのような広範なエビデンスを創出するための研究活動の一環として、本プロジェクトの実施者が一部参画し、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「水素利用等先導研究開発事業/トータルシステム導入シナリオ調査研究」を実施し、水素技術開発政策に対する包括的なエビデンスを作成しようとしている。本プロジェクトでの取り組みを様々な形で継続することで、広く科学技術イノベーション政策のための科学としての体系化に取り組んでいくことが可能であると考えている。

・政策実装のための取り組みとしての発展

本研究開発は方法論の開発やエビデンスの創出を中心的な課題とし実施した。今後、得られた研究開発成果を政策及び科学技術イノベーションの現場へと展開し、実装するためには、そのための手法や方法論の開発、ネットワークやコミュニティの構築が必要不可欠である。このうち、後者の取り組みに関しては、本プロジェクトの実施者が中心となり、日本学術振興会先導的研究開発委員会(JSPS)「未来を創造するイノベーションサイエンスの創成」を設置し、科学技術イノベーションを推進する企業、政策を推進する文部科学省や経済産業省等の行政、学術を推進する大学および研究所の各員が膝を突き合わせ、課題及び研究情報の交換等の場を構築し展開していく予定である。また、科学技術振興機構(JST)情報分析室等とも共同研究を行い、政策実装に向けた取り組みを開始している。

4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動

4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等

関与者とは日々の研究開発活動の中で協働したが、アウトリーチとして取り立てて実施した会合やワークショップはない。実施体制内では別途ミーティング等を開催している。

4-2. アウトリーチ活動

4-2-1. 主催したイベント

特になし

4-2-2. 書籍、DVD など発行者

特になし

4-2-3. ウェブサイト構築

特になし

4-2-4. 招聘講演

- (1) Y. Kajikawa, "Envisioning a path of innovation with computational intelligence", Joint MOT seminar by LS group, Sungkyunkwan University and Tokyotech (July 8, 2014).
- (2) Y. Kajikawa, " From Observation to Design Support: A Frontier of Bibliometric Study ", Seminar at National Chung Hsing University, in Taichung (March 3, 2016).
- (3) Y. Kajikawa, "Facilitating Circle of Innovation by Bibliometric Analysis", Seminar at Yuan Ze University, in Zhongli (March 2, 2016).
- (4) Y. Kajikawa, "Science of Science and Innovation Policy: Methods and Applications of Citation Network Analysis", Seminar at National Taiwan Normal University, in Taipei (March 1, 2016).
- (5) 梶川裕矢, 「イノベーションツールとしてのデータ分析最前線」, 特許庁事業戦略研修 (東京, 2015年11月6日).

4-2-5. その他

特になし

4-3. 新聞報道・投稿、受賞等

特になし

5. 論文、特許等

5-1. 論文発表

5-1-1. 査読付き (4件)

- (1) H. Nakamura, S. Suzuki, I. Sakata, and Y. Kajikawa, "Knowledge combination modeling: the measurement of knowledge similarity between different technological domains", *Technological Forecasting and Social Change* 94 (2015) 187-201.
- (2) T. Ogawa and Y. Kajikawa, "Assessing the industrial opportunity of academic research with patent relatedness: A case study on polymer electrolyte fuel cells", *Technological Forecasting and Social Change*, 90 (2015) 469-475.
- (3) Y. Takano, C. Mejia, Y. Kajikawa, "Unconnected component inclusion technique for patent network analysis: Case study of Internet of Things-related technologies", *Journal of Informetrics*, in press.
- (4) Y. Takano, Y. Kajikawa, and M. Ando, "Trends and typology of emerging antenna propagation technologies: Citation network analysis", *International Journal of Innovation and Technology Management*, in press.

5-1-2. 査読なし (0件)

5-2. 学会発表

5-2-1. 招待講演 (国内会議 2件、国際会議 0件)

- (1) 梶川裕矢、「イノベーションに向けた革新的技術の抽出と意思決定」、情報処理学会連続セミナー2014「モバイル・クラウド時代のIT新潮流を読み解く」、(東京、2014年6月9日)。
- (2) 梶川裕矢、「イノベーションマネジメントの方法論～革新的エネルギー技術の開発と普及に向けて～」、土木学会環境中間技術検討小委員会、(東京、2014年4月22日)。

5-2-2. 口頭発表 (国内会議 5件、国際会議 14件)

- (1) Y. Kajikawa, "Action research of bibliometrics in public R&D programs - Lessons learned", 2014 Annual Meeting of Institute for Operations Research and Management Sciences (INFORMS2014), in San Francisco (November 9-12, 2014).
- (2) Y. Kajikawa, "From observation, detection to design of innovative research and technology", Portland International Conference on Management Engineering and Technology 2012 (PICMET'14) in Kanazawa, Japan (July 27 - July 31, 2014).
- (3) Y. Takano, Y. Kajikawa, and M. Ando, "Trends and typology of emerging antenna propagation technologies identified by citation network analysis", Portland International Conference on Management Engineering and Technology 2012 (PICMET'14) in Kanazawa, Japan (July 27 - July 31, 2014).

- (4) Y. Kajikawa, "From observation to design support: A new direction of bibliometrics", 23rd International Conference for Management of Technology" (IAMOT2014) in Washington DC, (22-26, May, 2014).
- (5) E. Kiriyama, "Assessing carbon capture and storage as a means toward a resilient ecosystem under uncertainty," 9th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES) 2014-0345
- (6) M. Tsujimoto, Y. Kajikawa, J. Tomita and Y. Matsumoto (2015): Designing the Coherent Ecosystem: Review of the Ecosystem Concept in Strategic Management, Accepted for the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, August 2-6, 2015, Portland, USA.
- (7) M. Tsujimoto, (2015): The Inertia of Service Definition: A Comparative Analysis of the FeliCa Ecosystem, Accepted for the R&D Management Conference, June 23-26, 2015, Pisa, Italy.
- (8) K. Ohara, and M. Tsujimoto (2015): Network Structure Analysis of APIs and Mashups: Exploring the Digital Ecosystem, Accepted for the R&D Management Conference, June 23-26, 2015, Pisa, Italy.
- (9) Y. Inoue, and M. Tsujimoto (2015): Complementary Products Providers' Technological Adoption and Evolution of the Business Ecosystem: The Case Study of Nintendo's Wii in Japanese Video Game Sector, Accepted for the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, August 2-6, 2015, Portland, USA.
- (10) N. Islam and Y. Kajikawa, "Actors' Engagement in Sustainable Hydrogen Energy Innovation: A Comparative Analysis", Portland International Conference on Management Engineering and Technology 2015 (PICMET'15) in Portland (August 2-6, 2015).
- (11) M. Tsujimoto, Y. Kajikawa, J. Tomita, and Y. Matsumoto, "Designing the Coherent Ecosystem: Review of the Ecosystem Concept in Strategic Management", Portland International Conference on Management Engineering and Technology 2015 (PICMET'15) in Portland (August 2-6, 2015).
- (12) T. Hasegawa, T. Suzuki, B. Kalyanarangan, S. Ailoor, M. Tsujimoto, S. Ishida and K. Gemba, "FCEV Commercialization, Social and Economic Studies at Nissan Motor", World Hydrogen Technologies Convention in Sydney (October 12, 2015)
- (13) T. Hasegawa, T. Suzuki, B. Kalyanarangan, S. Ailoor, M. Tsujimoto, S. Ishida and K. Gemba, "FCEV Commercialization, Social and Economic Studies at Nissan Motor", APEC Fuel Cell International Forum, in Beijing (January 18, 2016)
- (14) Y. Kajikawa, "Design Support of Salient Research Project by Integrated Approach of Text and Citation Analysis", 2016 Annual Meeting of Institute for Operations Research and Management Sciences (INFORMS2016), in Nashville (November 13-16, 2016).
- (15) 李相直, 赤井研樹, 西野成昭, 「技術及び選好が非均質な状況下での製品開発戦略のゲーム理論的分析」日本 MOT 学会研究発表 2014
- (16) 長谷川卓也, 鈴木卓馬, Balaji Kalyanarangan, Subramani Ailoor, 辻本将晴, 石田修一, 玄場公規 「燃料電池自動車の商業化に向けて～技術開発・市場開発～」第3回水素社会の事業機会研究会, 2015年10月19日
- (17) 長谷川卓也, 鈴木卓馬, Balaji Kalyanarangan, Subramani Ailoor, 辻本将晴, 石田修一, 玄場公規, 「次世代自動車 FCV (燃料電池自動車) の普及と水素社会の可能性」びわ湖メッセセミナー, 2015年10月21日

(18) 長谷川卓也,鈴木卓馬,Balaji Kalyanarangan,Subramani Ailoor,辻本将晴,石田修一,玄場公規,「内燃機関自動車から学ぶ燃料電池自動車の課題と展望」2016年度自動車産業の将来像研究会,2016年2月5日

(19) 井上祐樹,辻本将晴,「プラットフォームエコシステム間の相互作用メカニズムの研究」,2015年度日本MOT学会第7回年次研究発表会,2016年3月12日

5-2-3. ポスター発表 (国内会議0件、国際会議0件)

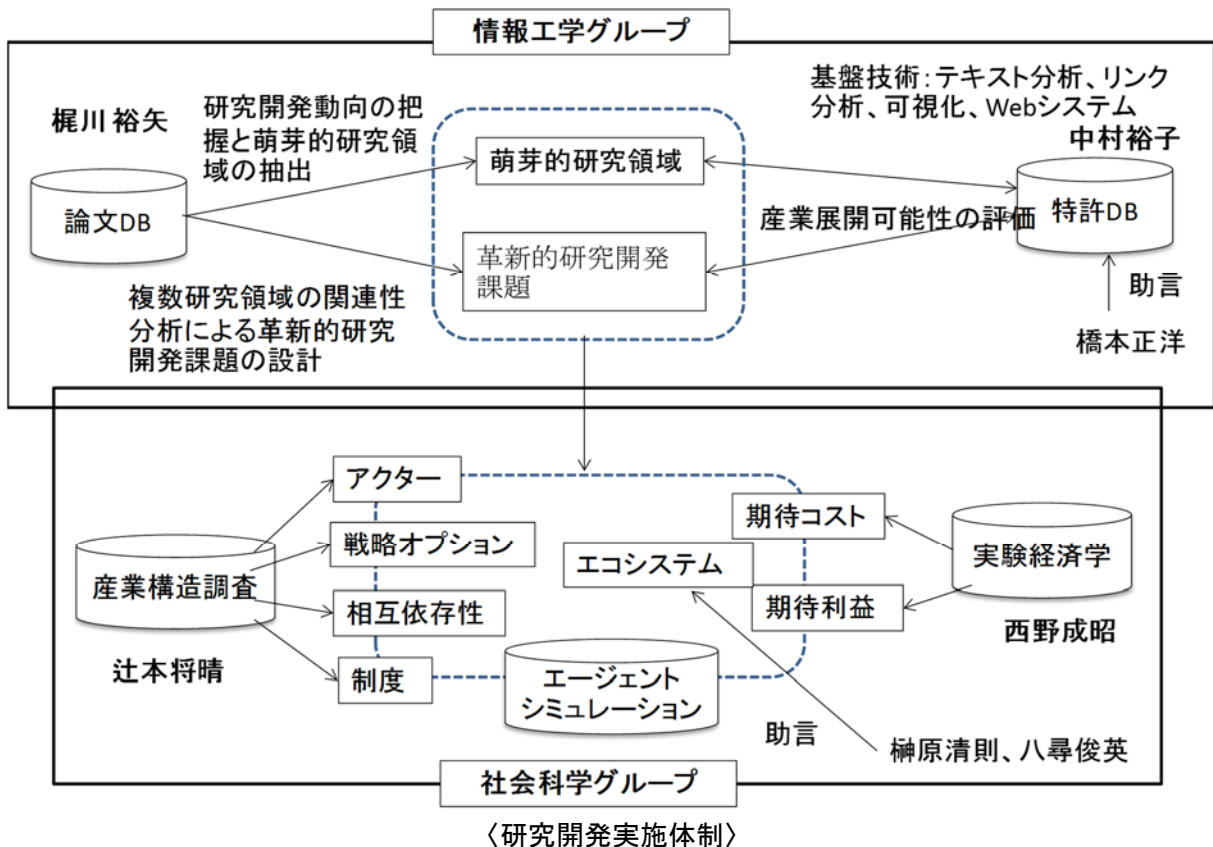
5-3. 特許出願

5-3-1. 国内出願 (0件)

5-3-2. 海外出願 (0件)

6. 研究開発実施体制

6-1. 体制



【特記事項】

論文・特許データの分析ならびにシステムの実装を担う情報工学グループと、ビジネスエコシステムの設計や制度創造のための分析フレームワークの開発を行う社会科学グループが協働する学

際的なプロジェクトとして実施した。情報工学グループにおいても、方法論の開発から、具体的な科学技術イノベーションのテーマでの具体的な分析やステークホルダーへの展開等、理論・方法論から実践まで広く取り組んだ。社会科学グループにおいても、ゲーム理論やエージェントシミュレーション、実験経済学といった理論研究から、フィールドワークによるステークホルダーへのインタビュー調査を含む包括的なプロジェクトとして実施した。

6-2. 研究開発実施者

末尾に掲載

6-3. 研究開発の協力者・関与者

末尾に掲載