

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23243056

研究課題名(和文) 高次システム創出のための共生的産業間技術創造メカニズムの研究

研究課題名(英文) Research on industry-to-industry technology co-creation mechanism for higher order systems

研究代表者

藤村 修三 (Fujimura, Shuzo)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：90377044

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,000,000円

研究成果の概要(和文)： 高次システムを生み出す上で鍵となる実際的な知見をいくつか獲得することができた。

異なる産業に属する企業から研究員を招き、公開データ、公開可能なデータを用いて経営課題を構造的に分析し相互に開示する研究会を主催した。これにより、企業秘密に囚われることなく企業間・産業間での知識共有が可能となること、実業に即した学術的研究課題が発見でき産学での共同研究が可能になることが確認された。また、設計理論の拡張、基礎研究の産業上の意味の明確化についても貢献ができた。

研究成果の概要(英文)： Some practical knowledge which is the key in creating higher order systems was acquired.

We invited researchers from companies belonging to different industries and organized a research group that structurally analyzes each management issues and discloses them mutually using public data and openable data. As a result, it was confirmed that knowledge sharing between companies and industries is possible without being confined by trade secrets, that academic research subjects suitable for business can be found and collaborative research in industry-academia will be possible. We also contributed to expansion of design theory and clarification of industrial meaning of basic research.

研究分野：技術経営

キーワード：高次システム 製品アーキテクチャ 課題共有 企業間での知識共有

1. 研究開始当初の背景

(1) 技術の高度化・複雑化に伴い、スマートグリッドやITSに代表されるような既存産業の枠組みを超えた高次システムが登場し次世代産業を形成しつつある。こうした高次システムの創造発展には既存産業で育成された最先端技術の集積が不可欠であるが、各既存産業には独自のビジネスモデルに基づいた収益構造があるため、高次システム創造のために自らの次世代技術を率先して他に開示することは困難である。この既存産業間既存企業間の情報開示の困難さを克服し、各企業が他企業他産業と知識を共有して協同で新たな高次システムを創造するための方法、理論の構築が望まれていた。

2. 研究の目的

(1) 既存産業の枠組みを超えた高次システムを効率良く創造するための研究開発体制・制度を明らかにすること。そのために、メタ知識の交換により企業間・産業間での知識共有の可能性を明らかにすること。

(2) 高次システムを生み出すために必要とされる技術知の属性把握と、それらを抽象化しアーキテクチャレベルでシステムを企画設計することを可能にする研究開発体制・制度のモデル化

3. 研究の方法

(1) 大別して二つのアプローチを採った。一つは、企業研究員を主メンバーとする研究会の開催である。企業の主要部署を率いる将来を嘱望されている幹部社員の方々に、公開データもしくは公開しても良いデータのみを用いて自社の課題を研究し発表して頂く「産業間協創システム研究会」を開催し、企業間・産業間での知識の交換を可能にする。

(2) 優秀であると評価されている幹部社員としたのは、先行研究で周囲が「優秀」と判断する人は物事を抽象化、構造化して理解する能力があることが判っていたからである。また、幹部社員は役職上自社ビジネスを俯瞰し外部の知見を理解する必要があり、他産業、他企業の経験や知識を学ぶことへの積極性が期待でき、同時に、学んだ内容の派遣元企業への迅速な普及が期待できたからである。

(3) もう一つは、大学が主体的に行う高次システムに対する事例研究・理論研究である。理論研究では集合論を用いて設計理論を整理し「モジュール」と言う概念の明確化を行った。海外発表(2回)やメールで海外研究者と意見交換を進めることで理論の制度向上を行った。また、事例研究は論文、特許のデータを中心にまとめた論理を関係者への聞き取り調査で補完する形で進めた。

(4) その際「産業間協創システム研究会」で

企業研究者から報告された課題や話題の中で大学が扱うのに適しており、学術的にも重要と思われる内容に関しては適宜大学側で事例研究を行った。

4. 研究成果

(1) 第一の成果は高次システム創造のための知識交換の場「産業間協創システム研究会」を立ち上げ、知識をメタ化することで秘密情報に触れることなく企業間、産業間での知識交流を継続的に行うことが可能であることが検証できたことである。

(2) 東京工業大学出身の企業経営者の協力を得て、十数社の経営者に2012年の研究成果の紹介を通じて本プロジェクトの必要性を訴え、研究会への参加を呼びかけた。結果、4社の参加を得て「産業間協創システム研究会」第1期を2013年4月1日に発足することができた。参加研究者は全日空(株)整備センター部品事業室事業推進部長、富士ゼロックス(株)R&D企画管理部リーダー職、帝人(株)経営戦略部部長、千代田化工建設(株)経営企画ユニット課長の4名であった。

(3) 「産業間協創システム研究会」は2015年3月に第1期が終了し2015年4月から第2期となった。第2期参加研究員は当初ANAエンジンテクニクス(株)総務部長、富士ゼロックス(株)マーケティング技術研究所マネージャー職の2名であったが半年遅れの2015年10月に日産自動車(株)EVシステム研究所主任研究員、三菱ガス化学(株)東京研究所所長の2名が、更に2016年4月よりJFE鋼板(株)企画部長兼経営企画室長が参加し5社から5人の研究員を迎える形となった。第2期は2017年3月に終了し、2017年4月から第3期が開始された。第2期中参加の3社からの研究員がそのまま第3期に参加(三菱ガス化学株は2016年4月より機能化学品カンパニー企画開発部部長に交代)している他、全日空(株)からは整備センター機体事業室機体技術部部長が、富士ゼロックス(株)からは新成長事業創出部VCSEL応用プロジェクトグループ生態センサプロジェクトチームチーム長が新たに参加した。

(4) 「産業間協創システム研究会」が第3期に入り、かつ全日空(株)や富士ゼロックス(株)が継続的に参加していることから他産業、他企業と知識を交換する場の必要性和有用性については明らかになったものと考えられる。2017年6月時点で2017年10月からの参加を検討している企業が少なくとも2社あり、高次システム創造へ向けての産業間連携の場の必要性はますます高まっていると考えられる。

(5) 「産業間協創システム研究会」第1期に参加した企業研究員4名の研究成果は帝人

(株)からの研究員のものを除いて東京工業大学イノベーションマネジメント研究科(現環境・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)のワーキング・ペーパーとして2015年に公開されている。全日空(株)と千代田化工建設(株)の研究成果はその後企業内の教育に使用され、富士ゼロックス(株)の研究成果はそのまま事業化された。帝人(株)では研究成果を基に8つの新事業プロジェクトが検討された。(その内一つは全日空と協同するものである。)終了した第2期の全日空(株)、富士ゼロックス(株)の研究員の研究成果もワーキング・ペーパーとして公開される予定であるが、共に社内で業務に適用されており、意図した他企業、他産業との交流の有用性が確認された。

(6) 第二の成果としては、企業の課題を構造化することで、学術的な課題として研究対象とすることができ、理工系と同様の産学連携研究の実施可能性を確認できたことである。第1期の企業研究員の研究成果の中で全日空(株)の研究員の研究から大学での研究に発展したものがあるので紹介する。

(7) 全日空(株)の研究員が行った研究「航空会社の整備生産体制が顧客獲得に与える影響」は日本の航空会社の顧客が航空会社を選択する場合に何を重視するのかを明らかにし、航空会社の整備部門が顧客獲得に貢献するために、どのような整備生産体制を構築すべきかを検証することを目的としたものであった。〔雑誌論文〕④

(8) 2005年1月以降、日本航空(JAL)グループでは安全に関するトラブルが連続して発生したことから、同年3月に国土交通省はJALグループに対して事業改善命令を出した。これを契機にJALの利用客数は激減し収益が低下し、状況が改善しないまま2010年1月に会社更生法を申請する事態となった。しかし、2004年度、2005年度の安全上のトラブル数は表1に示すように、全日空(ANA)と大差のないものであった。

	JALグループ		(参考)ANAグループ	
	2004年度	2005年度	2004年度	2005年度
航空事故	2	0	1	1
重大インシデント	1	4	2	1

表1

(9) ANA、JALを分けた大きな要因は報道であり、事業改善命令後新聞でJALの安全性に関する記事が増加、特に8月には事故後20年目と言うことで御巢鷹山事故と関連づける報道が複数見られた。技術的には安全性とは無関係な事象も安全懸念材料であるかのように報道された例もあった。

(10) 一方、事故に繋がる可能性があるため国への報告が義務づけられているシステム障害の航空会社別の発生状況は図1のように



図1 (出典)エアライン各社のHPの「安全報告書」のデータより算出

なっており、整備の外注比率が低い航空会社の方が発生率は低かった。図中外注比率・高とされているC.D.E社は離陸前に行うライン整備を除いては全て外注しており、この図1は機材の取り外しを伴う本格的な整備を自社もしくは自社グループで行う能力の有無の影響を示している。

(11) このことから

① 報道機関、一般消費者は技術的な知識が十分与えられていないためにイメージで安全性を評価することが多く、イメージの毀損が経営に与えるリスクが大きいこと。

② 高品質の整備(低システム障害発生率)を実現するためには整備に関わる現場全体からの情報を得ることが重要であることが確認された。前述したが、この研究成果は全日空(株)の社内教育に用いられている。

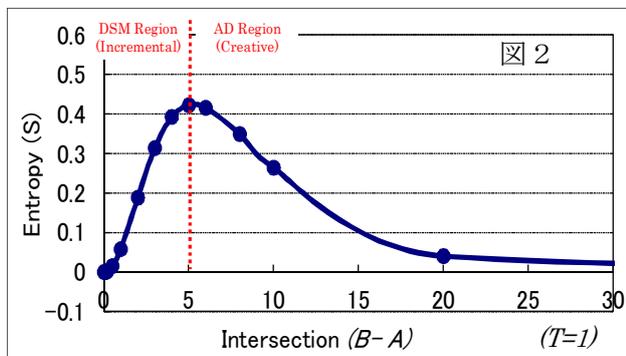
(12) この研究から大学として調査すべき課題としたのは消費者に対して危険に関する技術情報を与えることの影響である。具体的にはシステム障害発生率が消費者の航空会社選択に与える影響をWilling-To-Pay(WTP)を用いて調査した。〔学会発表〕②はその結果を報告したものである。

(13) システム障害が1件発生しただけでは危険な状況にはならない。多数のシステム障害が同時発生した場合に危険な状況となる可能性が生じるが、実際の発生は最多発のC社でも1000便当たり2件であり、一般の利用者がシステム障害起因の危険事態に遭遇することはほとんどない。事実、日本では過去30年間システム障害による墜落事故は発生していない。しかし、2000人に対して行ったアンケートの結果では、システム障害発生率1/1000で3万円の基準点に対し、システム障害発生率10/1000~0.01/1000に対してWTPは約1.5万円から約4万円となった。また、利用者数はシステム障害発生率10/1000の航空会社は0.01/1000の40%程度となった。この結果はシステム障害発生率が知らされた場合、ANA、JALは標準価格3万円の路線においてC社より2万円程度高額であっても利用者が多いことを示している。また、この研究では、システム障害が単独では墜落事故にならないこと、過去30年システム障害による墜落事故が起こっていないことをアンケートの前後で知らせる二つのグループを作っ

たが、事前に知らせたグループの利用率は事後に知らせたグループよりも若干高かった。すなわち、正しい安全情報の供与が重要であることが分かる。さらに、この研究では航空会社に対する拒否権を行使（いずれかの航空会社は利用しない）しなかった人（全ての航空会社に値付けした人）の WTP は完全にプロスペクト理論に従ったが、そうでない人の WTP はより合理的な判断となった。これは今後より詳細に追求すべき研究テーマである。

(14) この拒否権の問題は「産業間協創システム研究会」第2期参加の日産自動車(株)の研究者の研究にも反映されている。

(15) アーキテクチャの理論研究での第一の成果は〔雑誌論文〕③に示したもので、モジュール化を基礎とした設計理論 Design Structure Matrix (DSM: 設計構造行列)と Axiomatic Design (AD: 公理設計)が数学的に等価であることを示したことである。



(16) 異なる設計が全て同じ結果をもたらすことはない（意図した機能は同じでも意図しなかった性質はどこか必ず異なる）ので、個々の設計は異なる状態（パフォーマンス）を示すことになり、設計はフェルミディラック統計に従うはずである。このときのエントロピーを計算すると、エントロピーの式は Baldwin 等が示したオプションバリュー^①、Suh の情報公理^②の逆数と等価となる。DSM を基礎とした Baldwin 等の理論ではオプションバリュー最大が、AD を基礎とした Suh の理論では情報公理最小がそれぞれ設計価値最大を与えることになっている。

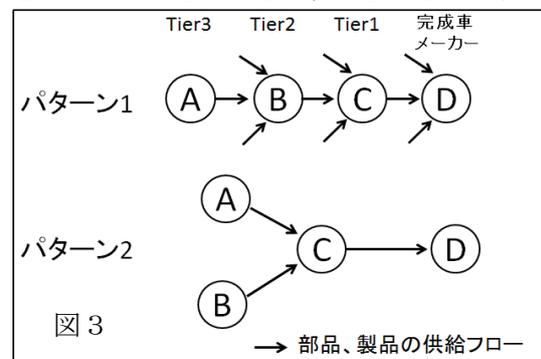
(17) 図2の横軸は設計が求める機能を満たす制約の範囲を示している。T は技術のレベルと考えてよい。横軸0は現状を示しており、現状以上にもたらす価値は生じないのでエントロピーは0である。DSM では現状を変更することを前提としているので、0 から右に向かって、制約を緩め改良できる余裕を与えることによって何らかの価値が生じ、エントロピーが増大することを示している。一方右端 (∞) は制約が全くないこと、すなわち要求される機能が無いことを意味するのでエントロピーは0である。図2はエントロピー

最大をもたらす設計が存在することを示している。エントロピー最大とは意図した要求機能を満たしかつ市場適用可能性の高い設計を意味する。この研究は現在効用最大と設計価値最大の関係論を論じる所まで進んでおり、現在投稿準備中である。

(18) 本研究プロジェクトに関連する事例研究の主なものは〔図書〕に示した学位論文5件と〔雑誌論文〕①、〔学会発表〕①、③～⑦である。ここでは〔雑誌論文〕①とそれに関連した研究内容について報告する。

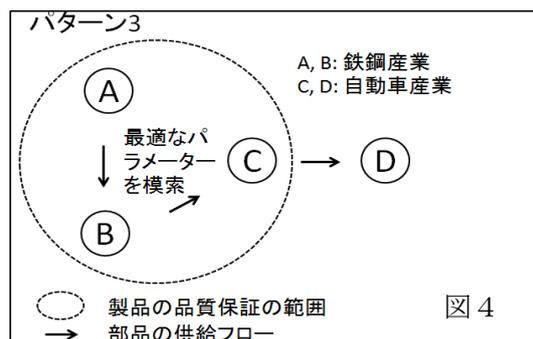
(19) 日本の2大産業である自動車産業と鉄鋼産業を結ぶ自動車用弁ばね（エンジンの吸気・排気バルブの開閉に用いられているばね）を対象にサプライチェーンを調べた。弁ばねは最も高品質の鋼材を要求する自動車部品で、少なくとも日本メーカーの自動車の90%以上に日本製の弁ばねが使用されている。

(20) 弁ばねは鉄鋼メーカーで作られた線材を二次加工メーカーがオイルテンパー線に加工し、ばねメーカーがショットピーニングなどの改質処理を行ってばねを製造する。このとき、鉄鋼メーカー、二次加工メーカー、ばねメーカーは一体となって自動車メーカーの要求する品質の弁ばねを開発し製造するが、三者の関係は資本関係や取引関係を含め、既存のサプライチェーン理論では説明できない。既存サプライチェーンは個々の企業間の関係は資本関係、や取引関係、人的交流などいくつか形態があるが、大きく図に示すパ



先行研究における伝統的な取引形態

ターン1、パターン2の形式に書くことができる。しかし、弁ばねの場合はパターン3のように三社があたかも一つの企業のように



弁ばねのケース

振る舞う。

(21) これは、鉄鋼という素材が、熱処理や冷間加工を経て製品化されるまでの製造プロセスにおいて、その物性の物理的生成メカニズムが原理的に解明されていない部分が存在することや、製品の属性に影響を与える因子の組み合わせが無数に存在することから、製品の属性を決定する最適パラメーターを、各サプライヤーが単独では持つことができないためである。言い換えれば、自動車メーカーからの品質要求を満たす弁ばね開発が三社の協業経験に依存しているということである。このことは、物性研究など基礎的な研究結果により、弁ばねの品質を反映するより鋭敏な指標が発見されると、このサプライチェーンが一気に解消される可能性があることを意味する。なぜなら、そのような指標を基に三社は独立に自らのプロセスを最適化できるようになるからである。

(22) この研究は〔雑誌論文〕②の研究と同じく、いわゆる基礎研究の必要性を証明するものである。すなわち、基礎研究により得られた知識が新たな製造技術の発明や製品の開発を経ることなく産業構造を変化させる場合があることを示している。

(23) 以上本研究プロジェクトにより高次システムを生み出す上で必要となる基礎的な知識をいくつか生み出すことができた。ここに述べた「産業間協創システム研究会」、アーキテクチャ理論研究、技術による企業間・産業間関係の研究は現在も継続しており、例えば〔学会発表〕の①に示したレベルの高い国際学会に採択されていることからわかるように、国際的にも注目される成果に結びつつある。

<引用文献>

- ① Baldwin, C. Y., K. B. Clark. 2000. Design Rules: The Power of Modularity. MIT Press, Cambridge, MA.
- ② Suh, N. P. 2001. Axiomatic Design: Advances and Applications. Oxford University Press, New York.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 11 件)

- ① Seichi Nishio and Shuzo Fujimura, *øInfluence of Traditional Business Practice on Firm Boundaries Evidence from the Japanese Automotive and Steel Industries*, *International Journal of Marketing and Social Policy* (2017) accepted. 査読有
<http://tiikm.com/journals/ijmsp.html>

- ② 佐藤治、藤村修三「製品アーキテクチャーが内包する原理的な可能性や制約が競争戦略に及ぼす影響」、*組織科学*, Vol. 50 No. 1, pp. 70-85, (2016). 査読有
<http://www.hakutou.co.jp/book/b251269.html>

- ③ Tatsuya Tokunaga and Shuzo Fujimura, *øA Unified Theory of Design Structure Matrix and Axiomatic Design for Product Architecture*, *Journal of Modern Project Management*, Xol.3, No. 3, pp. 114-122, (2015). 査読有
<http://www.journalmodernpm.com/index.php/jmpm/issue/view/JMPM%20%239/showToc>

- ④ 大森正勝「航空会社の整備生産体制が顧客獲得に与える影響」*東工大イノベーションマネジメント研究科ワーキング・ペーパー*, S-2015-R1, (2015) 査読無
<http://www.mot.titech.ac.jp/im-wp/>

- ⑤ 羽鳥徹「産業間協創システム研究会報告論文 お客様との価値共創活動を成果に結びつけるためには」*東工大イノベーションマネジメント研究科ワーキング・ペーパー*, S-2015-R2, (2015) 査読無
<http://www.mot.titech.ac.jp/im-wp/>

- ⑥ 佐藤大介「産業間協創システム研究会報告論文 エンジニアリング産業における既存ビジネスの強化、及びビジネスポートフォリオの拡大に関する研究」*東工大イノベーションマネジメント研究科ワーキング・ペーパー*, S-2015-R3, (2015) 査読無
<http://www.mot.titech.ac.jp/im-wp/>

- ⑦ S. Itoh, T. Tamiya, and S. Fujimura, Does cultural assimilation affect organizational decision-making on quality-related incidents? *øA company's post-M&A experience*, *Journal of International Management*, Vol. 18 No. 2, pp. 160-179 (2012). 査読有
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/10754253/18/2>

- ⑧ S. Fujimura, K. Takeuchi, and S. Kawabata, *øThe necessity of inter-industry mediation for harmonized industrial progress*, *øPaving the Road to Sustainable Transport* edited by Måns Nilsson, Karl Hillman, Annika Rickn, and Thomas Magnusson, Routledge NY, 2012, pp.117-135. (2012) 査読有
<https://www.routledge.com/Paving-the-Road-to-Sustainable-Transport-Governance-and-innovation-in/Nilsson-Hillman-Rickne-Magnusson/p/book/9781138241305>

〔学会発表〕(計 29 件)

- ① Seichi Nishio and Shuzo Fujimura, *øInfluence on Firm Boundaries by Physical*

Structure of Product Materials, SMS 27th Annual Conference in Houston, October 28-31, 2017, Houston, USA. Accepted.

② Toyoko Endo and Shuzo Fujimura, "Can airline customers value aircrafts safety represented by technical terms?", IAREP-SABE 2015, Sibiu, Romania, September 3-6.

③ Tomokazu Umezawa and Shuzo Fujimura, "Spiral technology progress in nanotechnology", ISPIM 2015, Budapest, HUNGARY, 14-17 June 2015.

④ Ayumu Sato and Shuzo Fujimura, "Development strategy to manage uncertainty of technology and market: A Case Study on the development of oled display", 19th International Product Development Management Conference, MANCHESTER, UK, Jun.17-19. 2016

⑤ Hideki Yoshikawa and Shuzo Fujimura, "Restraining factor of modularization in Automobile Design", 19th International Product Development Management Conference, MANCHESTER, UK, Jun.17-19.2016

⑥ Taku Hirano and Shuzo Fujimura, "The Study of function of Engineer Professional Associations and Ethical Regulation in Science- And-Technology Governance", Society for Business Ethics, Boston, MA, August 2-5. 2012.

⑦ Mamoru Uchida and Shuzo Fujimura, "Analysis on Differences between Japan and the USA on Pathway from Research and Development to Industry: Vertical Cavity Surface Emitting Laser", IEEE ITMC2012, Dallas, TX, June24-27, 2012.

〔図書〕(計 5 件)

① 平野 琢、東京工業大学、福島第一原子力発電事故におけるリスクマネジメント上の課題分析 ～津波に対するリスクマネジメント戦略の分析を通じて～、学位論文、2015、219

② 橋本 健、東京工業大学、R&D 人的資源導員の定量化に基づく企業 R&D マネジメントの研究、学位論文、2014、140

③ 佐藤 治、東京工業大学、原理が製品アーキテクチャーに与える影響 –LCD と PDP を事例として–、2013、190

④ 児玉 洋一、東京工業大学、顧客志向の新製品開発における技術伝播の構造、学位論文、2012、150

⑤ 伊藤 敏、東京工業大学、企業統合におけ

る組織再社会化の影響に関する研究、学位論文、2012、158

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

MOT Symposium: Co-creative business development mechanism on inter-industry, 22nd October 2015, Tokyo, Japan, 開催

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤村 修三 (FUJIMURA Shuzo)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号 : 90377044

(2)研究分担者

日高 一義 (HIDAKA Kazuyoshi)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号 : 50565736

(3)連携研究者

尾形 わかは (OGATA Wakaha)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号 : 90275313

(4)研究協力者

辻本 将晴 (TSUJIMOTO Masahiro)

東京工業大学・環境・社会理工学院・

准教授

研究者番号 : 60376499