

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年9月3日現在

機関番号：37503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K03922

研究課題名(和文) 製品アーキテクチャと産業構造の変化に関する定量的実証研究

研究課題名(英文) Quantitative Empirical Research on Changes in Product Architecture and Industrial Structure

研究代表者

中田 行彦 (Nakata, Yukihiro)

立命館アジア太平洋大学・国際経営学部・教授

研究者番号：90389560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：製品アーキテクチャの変化を、液晶と自動車を事例として、定量的な分析を行った。Googleのモジュール化スマホを定量分析すると、高い技術レベルへの挑戦が失敗原因と判った。また、自動車組立メーカーの「自主開発率」を定量分析すると、安全・快適、通信制御は外部依存しモジュール調達が示唆される。それらの研究結果から、次の対応策を提言する。

1) 「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化を察知するため、デザイン・ルールの難易度、複雑性等の因子を注視する。2) モジュール化戦略といえども、現場の暗黙知を重視し、日本型の「モジュール化」と「すり合わせ」の両方を統合した日本に適した戦略を立案する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本のものづくりの競争力は急速に低下した。日本は、従来は「すり合わせ」というきめ細やかな調整能力で競争力を高めてきた。しかし、製品アーキテクチャは「すり合わせ」から「モジュール化」へ変化した。日本は「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化に対応できていない。

本研究は、製品アーキテクチャの「すり合わせ」から「モジュール化」への変化を、定量的に実証研究した学術的意義は大きい。また、この研究結果から、具体的な対応策を提言した。この提言に沿うことより、日本が「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化に対応でき、競争力を向上できる社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：The product architecture change was analyzed quantitatively taking LCD and automobiles. As the result, it is found that the failure of Google's modular smartphones caused by the high-level challenge. Additionally, the "independent development rate" of automobile assembly manufacturers was analyzed. As the result, they depend on external suppliers for safety and comfort, communication control. This suggest module procurement. Based on the research results, we propose the following counter measures. 1) In order to sense the changes in the industrial structure by "modular" architecture, it is recommended to watch the following factors, such as the difficulty level of the design rules, and complexity, competitive strategies, organizational ability, and disruptive innovations. 2) Japan need to plan a modular strategy suitable for Japan that integrates both "modular" and "integral" architectures.

研究分野：技術経営

キーワード：製品アーキテクチャ モジュール化 すり合わせ 産業構造 液晶産業 自動車産業

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究提案の背景と問題意識

日本のものづくりの競争力は急速に低下した。日本は、従来は「すり合わせ」というきめ細やかな調整能力で競争力を高めてきた。しかし、製品アーキテクチャは「すり合わせ」から「モジュール化」へ変化した。日本は「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化に対応できなかったから競争力が低下したのではないかと、との問題意識をもった。しかし、今までに製品アーキテクチャと産業構造の変化を定量的に実証分析した研究は殆ど無かった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、製品アーキテクチャの「すり合わせ」から「モジュール化」への変化と、それに伴う産業構造の変化を、定量的に実証研究することである。具体的には、近年重要性を増す液晶と自動車を事例として、定量的な分析を行う。その結果を踏まえ「モジュール化」が産業構造へ与える変化を分析し、対応できる戦略を提言する

3. 研究の方法

製品アーキテクチャの変化を、液晶ではスマートフォン、自動車では電気自動車に焦点をあてて、定量的に実証分析する。具体的には、設計構造行列 (DSM) により「相互依存度」、特許分析により「自主開発率」を定量的に算出して、製品アーキテクチャの変化を定量分析する。これらの成果を基に、対応できる戦略を提言するため、産業構造の変化との関係を分析する。

4. 研究成果

(1) 液晶の製品アーキテクチャの変化に関する定量的実証分析（中田行彦）：

①スマートフォンの製品アーキテクチャの変化に関する定量分析（中田 MOT 学会①）

液晶の製品アーキテクチャの変化を定量分析するため、グーグルのモジュール化スマホの事例を取り上げた。グーグルは、Project Ara として液晶を用いたモジュール化スマホを開発していたが、後に事業化を断念した。「すり合わせ」から「モジュール化」へ変化する一般的な傾向とは逆行する。このため製品アーキテクチャを定量分析するのに適した事例として選択した。

モジュール化スマホは、液晶パネルやアプリケーションプロセッサ、カメラ、電池、3G通信などの各機能を搭載した「モジュール」を、図1に示すように、「エンドスケルトン」と呼ぶ骨格をもつケースに挿すことで好みのスマホを組み立てられる。

Project Ara は、新技术をはぐくむ苗床になることを考えていた。Project Ara の開発責任者 Kaigham J. Gabriel 氏は、次のように述べている（日経エレクトロニクス 2014）。「Project Ara で導入する新しい技術は、挑戦のしがいがあるものばかりだ。その代表例がモジュールとエンドスケルトンの接続に適用した非接触型のインターフェースである」

2つの新しい技術に挑戦した。1つ目は、エンドスケルトンとモジュールの接続に、非接触型の高速インターフェース (M-PHY) という萌芽期の技術を採用した。非接触型は、接触型に比べて端子の摩耗がなくコネクタの寿命を延ばししやすい利点がある。しかし今までに殆ど利用されていなかった。この M-PHY に対応する専用 IC の開発が必要だった。2つ目の技術は、モジュールを磁石で着脱可能にした技術だ。そのために EPM (electro-permanent magnets) という部品を開発した。

Project Ara では、開発作業に手間がかかり試験販売を 2016 年に延期し、2016 年 9 月 2 日に製品化を断念したことが明らかになった。

モジュール化の失敗原因として、非常に高い技術レベルへの挑戦が、失敗のリスクを拡大したことが考えられる。

このため、高速インターフェース規格を採用することによる複雑性の増大について、DSM を用いて定量分析した。Project Ara のデータネットワークを基本として、データ、つまり情報の流れに着目し、図2に示す DSM を作成した。

DSM は、要素間の情報のやり取りから、相互依存性を図示したものだ。この DSM のマトリックスにおける X マークは、相互依存関係を示す。このため、情報の流れの数 (X マークの数) は、相互依存性の強さを示し、「相互依存度」と言える。

M-PHY を採用しない場合に比較し、M-PHY

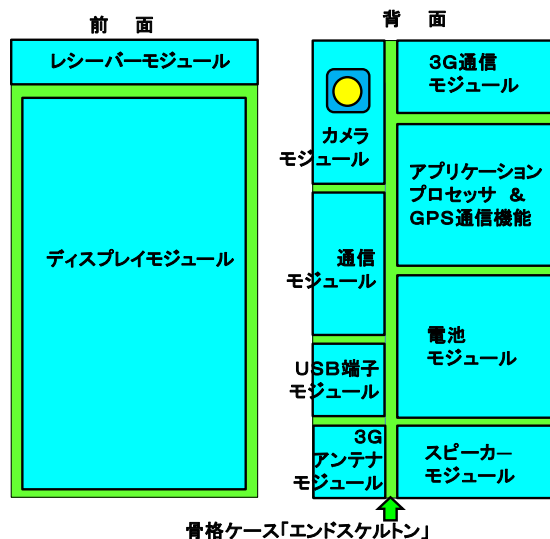


図1 Project Ara のモジュール化スマホ

を採用した場合の「情報の流れの数」、つまり「相互依存度」が16増加し、複雑性が増加したことが判った。

つまり DSM で定量分析すると、複雑性が増加しており、高い技術レベルへの挑戦が、失敗の原因であることが判った。

また、想定した使用条件が多様で広範囲にわたり、この条件を許容するために要求仕様が厳しくなったことも原因となった。

その結果、次のことが判った。

デザイン・ルール設定に必要な技術をどのように企画するのか、つまり技術の挑戦レベルをどのように企画するかが、モジュール化を成功させるのに重要である。

このグーグルのモジュール化スマートフォン の失敗事例から、製品アーキテクチャの方向を決める因子は、後述するように多くあるが、「デザイン・ルール」の難易度が一つであることを見出した。

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		エンジン 制御	プロセッサ	ディスプレイ	カメラ	通信	機器IF	無線LAN	音声	GPS	スイッチIO	プロセッサ	ディスプレイ	カメラ	通信	機器IF	無線LAN	音声	GPS
		スイッチIO	プロセッサ	ディスプレイ	カメラ	通信	機器IF	無線LAN	音声	GPS	スイッチIO	プロセッサ	ディスプレイ	カメラ	通信	機器IF	無線LAN	音声	GPS
1	エンジン制御																		
2	プロセッサ																		
3	ディスプレイ																		
4	カメラ																		
5	通信																		
6	機器IF																		
7	無線LAN																		
8	音声																		
9	GPS																		
10	スイッチIO																		
11	プロセッサ																		
12	ディスプレイ																		
13	カメラ																		
14	通信																		
15	機器IF																		
16	無線LAN																		
17	音声																		
18	GPS																		

図2 Project Ara のモジュール化スマホの DSM

(2) 自動車の製品アーキテクチャの変化に関する定量的実証分析 (中田行彦、柴田友厚) :

①自動車のモジュール化の進展の定量分析

自動車産業におけるモジュール化の進展の定量的な評価を、自動車組立メーカーの「自主開発率」により評価した。自主開発率は、研究協力者の柴田友厚(2002)が提唱した考え方で、自動車部品に関する全特許出願数に対する組立メーカーによる出願数の割合を示す。自主開発率が小さいと、組立メーカーの寄与は小さく、技術開発の主導権は、組立メーカーから部品メーカーに移行したと考えられる。つまりモジュール化が進展したことが示唆される。

柴田等(2002)は1995年まで分析していた為、1995年から2015年の日本の自動車メーカーの特許を分析し、結果を図3に示す。「エンジン制御」の自主開発比率が高くなってきており、自動車組立メーカーは開発費を負担しても自社開発を優先し競争力を高めようとしている。「シャシー制御」も近年増加傾向である。一方、「安全・快適」と「通信制御」は、自主開発率は相対的に低くなっており、外部からのモジュール調達が見られる。

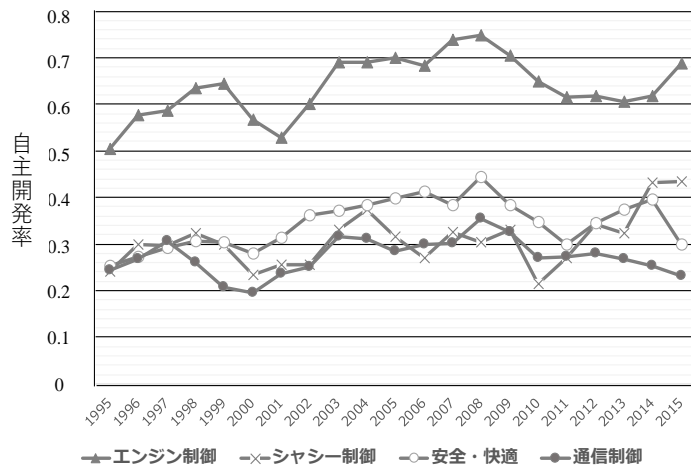


図3 自動車組立メーカーの自主開発率(著者作成)

②自動車における日本型と西洋型「モジュール化戦略」(中田 組織学会④)

日本を含む世界の自動車メーカーは、設計コストの削減、部品共通化による材料コスト削減、生産コストの削減のため、「モジュール化戦略」を取ってきている。この「モジュール化戦略」の欧州と日本のアプローチの違いを、フォルクスワーゲン (VW) と日産の事例で分析した。

VW が2012年2月に公表したMQB(独語 Modularer Querbaukasten)は、エンジンを横向きに搭載する前輪駆動車の開発に適用される設計基盤、つまりモジュール化戦略である(目代, 2017)。大きく3つの階層からなる。最上位階層のピークルアーキテクチャー、第2階層はモジュール、第3階層は個別の車種開発である。第2階層は、更に階層に分かれて、上位階層から5つのモジュール・クラスター、約30のモジュール・グループ、約90のモジュール・ファミリー、約500のベーシック・モジュールに分かれている。VW MQBでは、車両システムを、多くの細かなモジュールに切り分け、多数の明確なデザイン・ルールを定義すると共に、デザイン・ルールの遵守を徹底することで、共通化と柔軟性を両立しようとしている。

日産のCMF(Common Module Family)は、ルノーと日産のアライアンスによる新たな開発手法として発表している。CMFは、エンジンコンパートメント、コックピット、フロントアンダーボディ、リアアンダーボディ、電気/電子アーキテクチャーといった、互換性のある4+1「ビッグモジュール」のかたまりをベースに、ルノー/日産アライアンスの車両で1つまたは複数のセグメントをカバーするエンジニアリング・アーキテクチャーである。

日産の CMF について、プラットフォーム・車両要素技術開発本部 プラットフォーム計画・開発部部長山本浩義氏に、2017 年 8 月 23 日にインタビュー調査した。

「CMF は、2013 年から大型車へ CMF-C/D、小型車へ CMF-A、中型車へ CMF-B と順次市場投入していく。VW のモジュール化戦略 MQB が細かくモジュールを分割しているのに対して、

日産 CMF は 4 + 1 の「ビッグモジュール」をベースにしている。電気/電子アーキテクチャを「+ 1」として戦略に組み込み系列化している。

この「ビッグモジュール」で構造上のキーポイントを定め、部品共通化をサポートしている。このキーポイントが「Parts commodities」として、5 7 コモディティ(パワーステアリング、フロントサスペンションメンバ、ブレーキアクチュエーター等)を設けている。

つまり、4 + 1 の「ビッグモジュール」の階層と、その下位の 5 7 コモディティからなる「Parts commodities」の階層で、その間のインターフェイス、位置、スペースを、マネージャーがマネージしている。」

この「ビッグモジュール」と「Parts commodities」の各階層を図 4 に示す。

日産は、CMF の 4 + 1 の「ビッグモジュール」の階層のみを、公式には広報してきた。今回のインタビュー調査で、下位の階層である「Parts commodities」があることを明らかにすると共に、その間をマネージャーがマネージしていることを明らかにした。

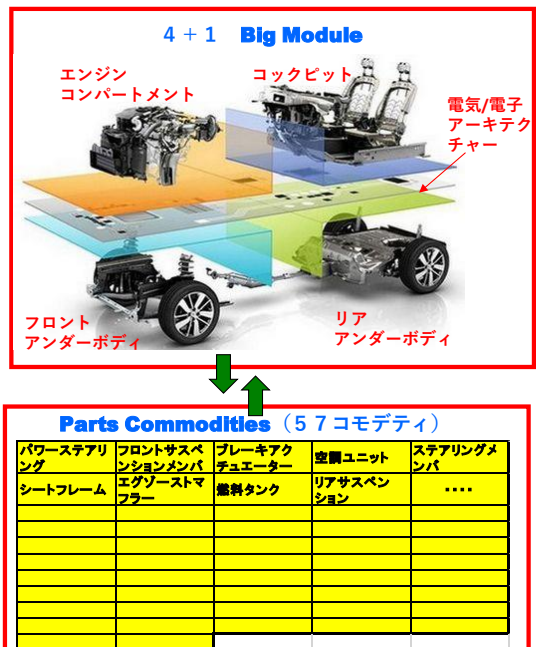


図 4 日産 CMF の階層構造 (著者作成)

(3) 製品アーキテクチャと産業構造の関係分析と提言 (中田行彦)

① 製品アーキテクチャの決定因子の分析 (中田 日本 MOT 学会⑫)

製品アーキテクチャと産業構造の複雑な関係进行分析するため、まずは製品アーキテクチャの方向を決定する因子を検討し、図 5 に表す。

柴田 (2015) は、自動車産業のモジュール化の分析から、モジュール化のプロセスは、システムの「複雑性」と、これを制御しデザイン・ルールを見出す「組織能力」の 2 つの因子で規定されるとしている。

中田は、既に述べた様に本研究により、グーグルのモジュール化スマートフォンの失敗事例から、製品アーキテクチャの方向を決める因子として、「デザイン・ルール」の難易度を見出した (中田 日本 MOT 学会⑬)。

中田 (2009) は、プロセス日数で表される「複雑性」が大きい程モジュール型の程度を拡大する方向に動くと見出した。プロセス日数が 30~60 日と長い半導体産業では、この「複雑性」を単純化したいとのニーズが高い。このため、シリコンウエハサイズをデザイン・ルールとして受け入れると、装置を標準化でき安価で納期短縮のメリットがあり、分業も可能になる。他社との「競争戦略」では、デザイン・ルールであるシリコンウエハサイズと関係ない「微細化」で差異化できる (中田 2009)。しかしプロセス日数が 4~7 日と短い液晶は、モジュール化しなくても生産できる。またガラス基板サイズが大きい程大きな液晶パネルが生産でき多くの液晶パネルを取り出すと安価で良品率も向上する (中田 2009)。つまり、液晶産業では、「競争戦略」を重視して、ガラス基板サイズをデザイン・ルールと受け入れずに競争する。

また、中田 (経営情報学会⑭) は、シャープが中国スマホの変化を察知できず対応が遅れた事例から、シャープはすり合わせが「持続的技術」として継続すると予測していたが、中国で発生した「オープン・推奨モジュール型」の「破壊的技術」を察知・対応できなかった。

このことから、イノベーションにおいて、新しく起こってくる「破壊的技術」は、モジュールがすでに完成していても、改善を迫り「すり合わせ」が必要になってくる。

自動車では電動化、自動運転や AI (人工知能)、ディスプレイでは有機 EL と、絶えずの「破壊的技術」が誕生し、「すり合わせ」が必要となっている。

製品アーキテクチャの方向を決定する因子として、デザイン・ルールの難易度、複雑性、競争戦略、組織能力、破壊的イノベーションがあることを明らかにした。また、本モデルは、モジュール化への因子を明らかにした「モジュール化産業構造モデル」と言える。

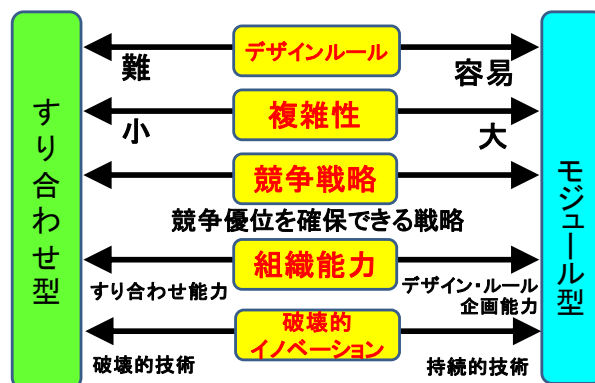


図 5 製品アーキテクチャ決定因子 (著者作成)

②「モジュール化」へのアプローチとマネジメントスタイルの関係分析

先に述べたように、VW MQB では、多くの細かなモジュールに切り分け、多数のデザイン・ルールを定義すると共に、デザイン・ルールの遵守を徹底することで、共通化と柔軟性を両立しようとしている。これは基本に忠実な教科書通りのモジュラー設計といえ、デザイン・ルールという形式知を重視する志向で、形式知志向の西洋型の「組織的知識創造」と言える。マネジメントは、「トップダウン型」マネジメントである(中田 組織学会④)。

一方、日産の「CMF」は、4+1の「ビッグモジュール」の階層との下位の階層「Parts commodities」があることが明らかになった。この階層では、部品サプライヤーとやり取りにより創りあげていく。つまり、「モジュール化」と、「Parts commodities」の「すり合わせ」の両方を統合した戦略と解釈できる。これは現場の暗黙知を重視し、デザイン・ルールという形式知と合わせこもうという志向であり、グループ中心で暗黙知志向という典型的な日本型の「組織的知識創造」である。マネジメントは、経営陣が決めた「モジュール化戦略を」を尊重するとともに、現場のシニアマネージャーからのイノベーションを取り込む「ボトムアップ型」のマネジメントを、マネージャーが「すり合わせ」という、「トップダウン型」と「ボトムアップ型」の特長を統合したハイブリッド型のマネジメントである。

この「モジュール化戦略」における、西洋型と日本型の「組織的知識創造」の違いが電気自動車(EV)開発にも影響している。

VWはEV向けプラットフォーム「Modular Electrification Toolkit (MEB)」の開発を2016年から行っている。MEBを用いたEVコンセプトカー「I.D. BUZZ」を東京モーターショー2017に展示した。電池・モーターを床下に設置し厚さ約25cmと非常に厚い。EV向けMEBを優先した「組織的知識創造」の西洋型アプローチと解釈される。

日産は、リーフと新型リーフは、同じ形の蓄電池を採用し車体の下から取り付ける。現有の生産ラインで多品種生産する「混流生産」を行うため、グループ中心の現場の暗黙知を基にした「混流生産」を重視する日本型の「組織的知識創造」を示していると言える。

③製品アーキテクチャと産業構造の関係分析と提言

本研究成果として、前に述べた液晶等の製品アーキテクチャの変化の分析から、製品アーキテクチャの方向を決定する因子として、デザイン・ルールの難易度、複雑性、競争戦略、組織能力、破壊的イノベーションがあることを明らかにした。また、本モデルを「モジュール化産業構造モデル」として、提案した。

「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化は、広範囲な多数の因子の影響を受けるため、察知、分析を行いにくい。しかし、上記のようにモジュール化への因子を見出したことにより、デザイン・ルールの難易度、複雑性、競争戦略、組織能力、破壊的イノベーションという因子を注視することで、「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化を察知、分析しやすくなった。

提言①「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化を察知、分析するため、デザイン・ルールの難易度、複雑性、競争戦略、組織能力、破壊的イノベーションという因子を注視する。」

一方、自動車のモジュール化に、日本型と西洋型のアプローチがあることを見出した。

VWは、多くの細かなモジュールに切り分け、多数のデザイン・ルールを定義すると共に、デザイン・ルールの遵守を徹底する基本に忠実なモジュラー設計といえ、デザイン・ルールという形式知を重視する志向で、形式知志向の西洋型の「組織的知識創造」と言える。

日産は、「モジュール化」と、「Parts commodities」の「すり合わせ」の両方を統合した戦略と解釈できる。これは現場の暗黙知を重視し、デザイン・ルールという形式知と合わせこむ志向であり、グループ中心で暗黙知志向という典型的な日本型の「組織的知識創造」である。

このことから、モジュール化戦略といえども、現場の暗黙知を重視し、日本型の「モジュール化」と「すり合わせ」の両方を統合した戦略もあり得ることを見出した。

提言②「モジュール化戦略といえども、現場の暗黙知を重視し、日本型の「モジュール化」と「すり合わせ」の両方を統合した日本に適した戦略を立案する」

以上の様に、本研究の成果として、「モジュール化」の進展に伴う産業構造の変化の察知、分析方法の提言、および対応する戦略の立案指針の提言を行うことができた。

(参考文献)

- 目代武史 (2017) 「自動車開発における製品バリエーションの創出と共通化の戦略 VW MQB
- 中田行彦 (2009) 「なにがビジネス・アーキテクチャの方向を決めるのか」 「マネジメント・ジャーナル」、創刊号、神奈川大学国際経営研究所、2009年3月31日、p5-18.
- 日経エレクトロニクス (2014) 「Project Ara でスマホ超越」 2014年7月7日、日経BP社
- 柴田友厚、玄場公規、児玉文雄 (2002) 『製品アーキテクチャの進化論』 白桃書房
- 柴田友厚 (2015) 「理論が予見したモジュール型へ向かう自動車産業」 研究 技術 計画 Vol.30, No.3, p142-151.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① 中田行彦、アジアにおける「ものづくりネットワーク」の新段階：一日韓台中における液晶事業の発展過程の研究から－、アジア経営研究、招待論文、第24号、2018、15-28
DOI: https://doi.org/10.20784/jamsjsaam.24.0_15
- ② 中田行彦、日本最了解夏普的人、商業周刊(台湾)、1482期、2016、94-96
- ③ 中田行彦、「シャープ敗戦」が示した日本企業への教訓、潮、5月号、2016、120-123

〔学会発表〕(計 14 件)

- ① 中田行彦、スマホの製品アーキテクチャ定量分析：グーグルのモジュール化スマホの失敗原因は？、日本MOT学会 第10回年次研究発表会、長岡技術科学大学、2019年3月16日
- ② 中田行彦、スマートフォンにおける製品アーキテクチャの変化 グーグルのモジュール化スマホは何故失敗したのか？、研究・イノベーション学会 第33回年次学術大会、東京大学、2018年10月27、28日
- ③ 中田行彦、破壊的技術としての有機ELの出口戦略 九大安達千波矢教授とKyuluxの事例研究から、経営情報学会2018年秋季全国研究発表大会、近畿大学、2018年10月20日、21日
- ④ 中田行彦、日本型と西洋型の組織的知識創造：日産とフォルクスワーゲンの「モジュール化戦略」比較研究、組織学会2018年度研究発表大会、東京大学(本郷キャンパス)、2018年6月9日、10日
- ⑤ 中田行彦、自動車の「モジュール化戦略」にみる組織的知識創造の日本型と西洋型の比較、日本MOT学会 第9回(2017年度)年次研究発表会、山口大学常盤キャンパス(工学部)、2018年3月17日
- ⑥ 中田行彦、シャープと鴻海の提携を契機とするアジアの「共創」バリュー・チェーン、日本MOT学会 第9回(2017年度)年次研究発表会、山口大学常盤キャンパス(工学部)、2018年3月17日
- ⑦ Yukihiro Nakata, Transformation of Manufacturing Network in Asia triggered by Sharp-Foxconn Alliance, The ISPIM Innovation Summit, Melbourne, Australia on 10-13 December 2017
- ⑧ Yukihiro Nakata, Transformation of Manufacturing Network to “Co-creation Value Chain” in Asia: Triggered by Sharp and Hon Hai Alliance, 15th ASIA PACIFIC CONFERENCE (AY2017), Ritsumeikan Asia Pacific University. 2017, Nov. 11.12,
- ⑨ 中田行彦、「電気自動車」ドミノのモジュール化戦略へのインパクト、研究・イノベーション学会 第32回年次学術大会、京都大学吉田キャンパス、2017年10月28日、29日
- ⑩ 中田行彦(招待講演)「アジアにおける液晶事業の創出・発展と新段階一日韓台中の戦略比較－」アジア経営学会 第24回全国大会 東北大学、は2017年9月9日、10日
- ⑪ Yukihiro NAKATA, Impact of Product Architecture on Disruptive Innovation: Case study of Sharp Corporation and its Acquisition by Hon Hai, PICMET17 (Portland International Center for Management of Engineering and Technology), Portland Marriott Downtown Waterfront, Portland, OR-USA, July 9-13, 2017
- ⑫ 中田行彦、なにがビジネス・アーキテクチャを決めるのか? : グーグルのモジュール化スマートフォンの事例から、日本MOT学会第8回(2016年度)年次研究発表会、日本工業大学神田キャンパス、2017年3月25日、
- ⑬ 中田行彦、モジュール化の衝撃：シャープ「企業敗戦」の深層、日本MOT学会第1回「モジュール化」対「すり合わせ」研究会、学校法人立命館東京キャンパス、2016年9月13日
- ⑭ 中田行彦、スマートフォンの「モジュール化」に対する競争戦略(2) シャープとジャパンディスプレイの比較事例分析、経営情報学会2016年秋季研究発表大会、立命館大学 大阪いばらきキャンパス、2016年9月15日～16日

〔図書〕(計 2 件)

- ① 中田行彦、啓文社、シャープ再建 鴻海流 スピード経営と日本型リーダーシップ、2019、296
- ② 中田行彦、商業周刊(台湾)、鴻海為什麼贏得夏普(シャープ「企業敗戦」の深層の翻訳本)、2016、315

6. 研究組織

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：柴田友厚

ローマ字氏名：Shibata Tomoatsu