JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	ネットワーク分析によるサプライチェーン構造定量化：プリント配線板産業をケーススタディとして
Author(s)	尾瀬, 昌久; 若林, 秀樹; 田村, 浩道
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 132-137
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19097
Rights	本著作物は研究・イノベーション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 Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

１Ｂ２２

ネットワーク分析によるサプライチェーン構造定量化
－プリント配線板産業をケーススタディとして－

○尾瀬昌久（東京理科大ＭＯＴ、所属：株式会社レゾナック）
若林秀樹，田村浩道（東京理科大ＭＯＴ）
8822212@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

近年の IoT や AI、自動運転、更には 5G、Beyond 5G といった情報通信システムの普及により、高度情報処理の進展が加速、半導体デバイスでは高機能・高性能化のため、高集積・高密度化が進んでおり、それらの実現に向けて 2.5D 実装、Chiplet など、さまざまな実装技術が提案されている。

日本におけるこうした半導体業界を考えると、近年では、国内家電製品やデジタル半導体の競争力が低下し、衰退の一途をたどっているが、装置・材料産業はグローバルでの高いシェアを維持し、そのプレゼンスを示している。プリント配線板産業もプリント配線板、その素材である銅張積層板等、常に適用技術、展開領域を変えながら、現在でもデジタル半導体パッケージ用プリント配線板として強い立ち位置を築くことが出来ている。

さらには日本国内の銅張積層板事業を運営する企業の多くは、創業以来、現在まで事業を継続していることもその特徴と言える（表１）[1]。そうした状況から、本研究では中間素材を展開する企業の視点より、筆者が提案するダブル・ファイブ・フォースを基に、サプライチェーンを分析する。それらの分析から、化学中間素材という特定機能を有していない商品形態を扱う企業として、今後の事業継続性を考える上での一助として、ネットワーク分析によるサプライチェーン構造の定量化を試みる。

表１　日本国内における銅張積層板事業に関わる企業

企業	沿革（創業開始年等）
レゾナック	1954 年日立製作所にて事業開始　1962 年日立化成工業分立 2020 年昭和電工マテリアルズ　2023 年レゾナック　と資本変更があるが、事業継続
その他企業	三菱ガス化学(1937,江戸川工業所)、パナソニック(1940,松下電工)、住友ベークライト(1941)、ニッカン工業(1961)、利昌工業(1935)　等

出所)参考文献［1］を基に筆者作成

2. 先行研究

本研究を進めるにあたり、各種先行研究より、過去の研究状況を確認した。まず、自社がそうであるように化学素材メーカーとして新製品開発、拡販に関わる文献を調査したところ、桑島による新製品の拡販戦略の研究［2］は示唆性に富んだものであり、筆者が業務を通じて感じているユーザーの先の情報に関わる内容であった。研究内容は実際のプロジェクトの成功、失敗のいずれも対象としており、対象分野も石油基礎科学、プラスチック、記録媒体や消費財まで幅広いものであった。しかしながら、分析データはアンケートによる収集を基本としており、定性的な内容に留まるものであった。

また、事業継続性を考える場合、事業多角化に関する研究は、多数存在した。自社が対象となる素材産業における新規事業創出としては、田村、大本らによる研究［3］があるが、素材産業における事業継続性のための新規事業創出に関わるものである。

また、同じ銅張積層板事業に関わる文献については、種崎による日系同業他社の分析事例［4］があるが販路獲得のためものであり、産業構造に触れられている研究はなかった。

更に、業界構造分析も多数の研究がなされている。杉山、本田、大崎、今瀬らはネットワーク分析の手法を用い、企業間の取引関係について研究を行っている［5］。研究の中ではネットワーク平均距離や次数分布の分析、媒介中心性であり、企業間の横のつながりに着目した研究であると言える。

その他、岡本による研究［6］では自動車メーカーとサプライヤーの構造をネットワーク分析により解明しようとしている。岡本はその研究の中でネットワーク密度に着目し、サプライヤーとメーカーの寡

占度、関係性を論じている。
上述のように先行研究としては、素材産業、拡販戦略、産業構造等の研究が数多くあり、また、その分析にネットワーク分析を用いているケースが確認された。しかしながら、複雑化するサプライチェーン全体を俯瞰した研究はなく、本研究ではそれらの研究内容を発展させるべく、産業構造全体を俯瞰して分析することを試み、更にその分析を基にネットワーク分析による定量化や構造変化を研究する。

3. 問いと仮説

前節でも述べたが、筆者は自身の事業と対峙する中、『何故、プリント配線板産業は常にその適用技術、展開領域を変化させながら常にリフレッシュを繰り返してきたのか？』という問いを持っている。具体的には、過去は顧客との繋がりが単調であり、リフレッシュすべき適用技術が容易に探索できたのではないか、さらに近年のサプライチェーンの複雑化により、中間素材を取り扱う企業として、自社活動の行動変容が必要ではないか、という問いである。また、本研究の最終的な意義として、そうした問いに応え、自身の所属している事業の継続性を考える上で、特定機能を有していない中間素材の価値とは何かを問いたい。
それらを研究する上での仮説としては、化学中間素材という川中製品を取り扱う自社のサプライチェーンのポジションに特徴的なものがあるのではないか、また、中間素材として特定機能を有さず、汎用的な側面が事業継続性に大きく関与しているのではないかというものである。

4. 分析・検証方法

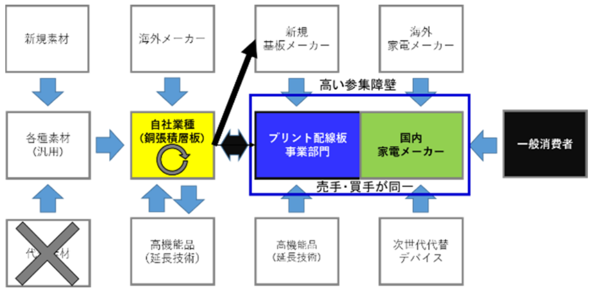
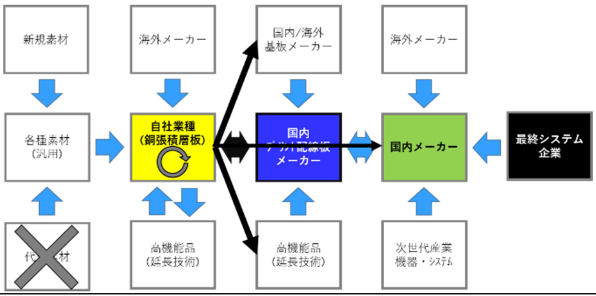
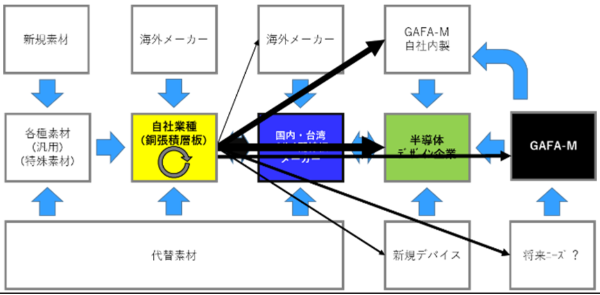
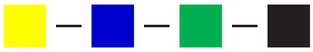
本研究ではサプライチェーン構造の分析を 2 つの手法を中心に進める。
一つは、ダブル・ファイブ・フォースと名付ける本研究にて提唱する分析手法である（図 1）。
ファイブ・フォースは、ポーターが著した『競争の戦略』の中で三つの競争戦略と並んで提唱した有名な分析フレームワークである。企業が競争を有利に展開するには、企業を取り巻く外部環境、中でも業界内の競争環境を正しく分析することが欠かせない。こうした業界の競争環境を分析するために開発されたのがファイブ・フォースである［7]。しかしながら、ファイブ・フォースでは自社業界内の競争および売手・買手・新規参入・代替脅威等、直接的に関係している存在との関係性を見ていることから、複雑化するサプライチェーン構造を分析する上ではサプライチェーンの繋がりの俯瞰が重要である。こうした考えに基づき、ダブル・ファイブ・フォースの有効性も検証する。
もう一つの分析手法としては、上記ダブル・ファイブ・フォースを用いたサプライチェーン構造を基にネットワーク分析によりそのネットワークの在り方を分析するものである。ネットワーク分析とはネットワーク科学を基に様々なものの繋がりに着目し、分析するものである。代表的な適用事例としては、Google 検索のアルゴリズムであるページランクがある。これは他の信頼できるページにリンクが貼られるほど、信頼のあるページだと判断される仕組みである。
本研究では、分析ソフトウエアとして、NodeXL 社提供の NodeXL Basic ver.1.0.1.448 を用いることとする。ネットワーク情報の取得に関しては、自身の所属している業界構造分析手法のダブル・ファイブ・フォースより抽出した。また、ネットワーク分析により求められるものとしては、一般的にはネットワーク密度(繋がりの濃さ)、次数中心性（外部との接続数)、媒介中心性（クラスター連結の重要度)、固有ベクトル中心性（他の重要なポイントとの接続状態）等の指標があるが、本研究ではサプライチェーンの複雑さをネットワーク密度にて求め、ダブル・ファイブ・フォースにて得られた各ブロックの重要性を判断する指標として、先行研究では、中心性として次数中心性や媒介中心性等が用いられているが、本研究ではサプライチェーンの中でどの位置づけが重要であるかを分析するため、上述のように Google ページランクにも引用されている重要度を評価する指標として有効な固有ベクトル中心性を用いることとする。

5. 分析・検証結果

5-1. ダブル・ファイブ・フォースによるサプライチェーン複雑化の見える化

前節にて筆者が提案したダブル・ファイブ・フォースにて表 1 に示す展開分野、年代別の産業構造分析を進めることとした。区分としては 1970 年代の民生家電用途、1990 年代の産業機器用途および 2010 年以降の半導体用途とする。ダブル・ファイブ・フォースを用いたサプライチェーン構造分析について、表 2 に示す。

表 2　ダブル・ファイブ・フォースによる業界構造分析　　出所)筆者作成

項目	ダブル・ファイブ・フォース分析	サプライチェーン連結数
1970 年代 ［民生家電］		1 階層 (直接のみ) (1, 2 階層が同一企業)
1990 年代 ［産業機器］		2 階層
2010 年以降 ［半導体］		3 階層 

ダブル・ファイブ・フォースによる産業構造分析にてサプライチェーンの連結状態が過去よりどのような変化があるか、可視化することが可能となった。

従来、国内家電分野では非常に単純な構造であったものから、近年では半導体分野、特にデジタル半導体においては海外デザインメーカーや大手 IT 企業のようなユーザーとの連結が必要であり、上述のような変化が起こっている。また、各年代別、用途別の状況を分析すると展開当初は価値が認められ日本での展開が容易であったが、コモディティ化の進行により時間軸での価値の低下が起こり、最終的にはその分野から撤退をしてきている事実がある。こうしたことから当初の価値から時間軸による価値の変化、競合加速による価値の低下の促進が起こっていることが分かる。

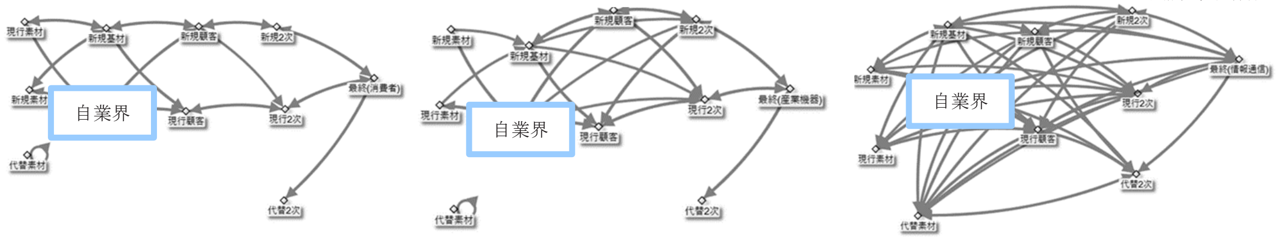
また、ダブル・ファイブ・フォースではファイブ・フォースで論じられる隣接関係だけでなく、サプライチェーン内での離れたユーザーへのアプローチも可視化することができた。更に、従来は代替脅威となる新規技術を自身の技術開発で連続的に創出することが出来たが、近年、半導体分野においては技術の進歩により代替脅威が素材から自社競合、更には自社ユーザーにも及んでいることがダブル・ファイブ・フォースの図示による可視化にて明確に理解することが出来る。しかしながら、ここまでの分析では、従来、事業に携わっている筆者の肌感覚で理解していることを可視化し、共有可能な状況を試みたに過ぎず、これら定性的な分析から定量化可能な分析を以降の節にて実施する。

5-2. ネットワーク分析によるサプライチェーン複雑化の定量化と中心性に見るサプライチェーン変化

ダブル・ファイブ・フォースにより自社の属するサプライチェーン構造の分析を試みた。しかしながら、可視化は可能となったものの定量的な分析やそれぞれの年代・分野でどういった変化が起こっているかの分析は不足している。本研究ではその点をより明確にするため、ダブル・ファイブ・フォースによる産業構造分析から得られた情報を基にネットワーク分析を実施した。図 2 に各年代のネットワーク分析を図示する。ネットワーク分析図よりサプライチェーンの繋がりが複雑していることが見て取れる。それらの繋がりの複雑化を定量化するため、ネットワーク分析によるネットワーク密度を求めた。

その数値を表 3 に示す。ネットワーク密度とは、ネットワーク分析において、出現するノード（接続の起点となるブロック）のすべてがエッジ（ノードを接続する線）を介して繋がる状態を『1』として求められる指標である。

出所)筆者作成



(1)1970 年代・民生家電　　(2)1990 年代・産業機器　　(3)2010 年以降、半導体

図 2　各年代・分野別ネットワーク分析図

表 3　ネットワーク密度

項目	1970 年代・民生機器	1990 年代・産業機器	2010 年以降・半導体
ネットワーク密度	0.245	0.291	0.691
複雑度合(倍)	1	1.2	2.8

出所)筆者作成

今回求めたネットワーク密度は従来、肌感覚で理解していたサプライチェーンの複雑化を定量化できたものであると考える。1970 年代の民生機器から 1990 年代の産業機器分野の変化でも当事者としてはかなり複雑化が進んだ感覚を持っていたが、その数値は約 1.2 倍程度であった。一方、現在の半導体産業における複雑さはネットワーク密度として約 0.7 であり、1970 年代から比較すると約 2.8 倍の複雑さとなっていることが確認できた。このようにネットワークの複雑化を定量化することでそこに必要とするリソースをどのように考えるか、サプライチェーン対応のために必要な組織をどのようにデザインすべきかの指標として、重要な指標となり得ると考える。

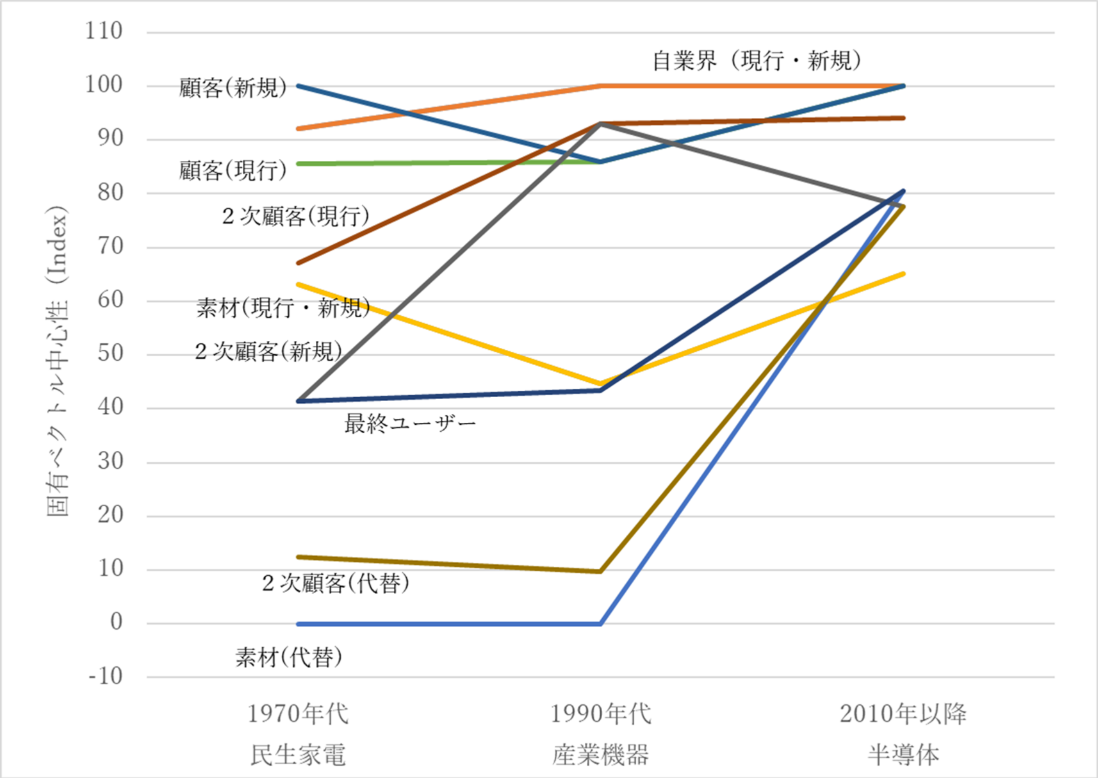


図 3　固有ベクトル中心性推移　　出所)筆者作成

更に複雑度合だけでなく、ネットワークにおける重要なノードがどうなっているのかを考察するためにネットワーク分析における固有ベクトル中心性に着目し、分析を行った。固有ベクトル中心性とは、4 項で述べたように重要なポイントの接続状態を示す指標であり、Google のページランクのアルゴリズムにも引用されている。今回、サプライチェーンのどのノード（ポジション）が重要な役割を占めているかを考察するために、指標して選定することとした。その分析による固有ベクトル中心性の数値、推移について図 3 に示す。尚、固有ベクトル中心性の数値はその状態により絶対値では比較が困難であることから各世代・分野での分析結果において、最大数値を示したものを Index100 として表す。

固有ベクトル中心性の推移を確認すると、以下の点が特徴的なこととして確認することができた。

1)自社業界は中間素材として産業構造の川中に位置するポジションであり、従来から比較的中心性が高い。

2)ネットワーク密度の増加とともに 2 次顧客の中心性が変化し、高い数値を示している。

3)現在の状況では、急速な技術進歩により代替脅威が素材、顧客ともに高い数値に変化している。

このように、自社は中間素材を扱っており、素材および顧客のサプライチェーンの上下との繋がりを有しており、サプライチェーンの重要なポジションについていることを数値として認識することができた。

また、先行研究にて述べた桑嶋による『顧客の顧客』戦略についての結論は非常に示唆性に富んだものであるが、その内容は定性的なものであった。本研究における、固有ベクトル中心性という定量的な指標を導入することでその重要性を更に確たるものとして検証することが出来たと考える。更に近年ではサプライチェーンの複雑化により先のユーザーとの連携・共創が重要だと言われているが、それを裏付ける数値が検証できたと判断する。

一方､代替脅威となる素材や 2 次顧客の中心性も現在､急激に固有ベクトル中心性が高くなっており、自社としては、現状のサプライチェーンに対する新しい脅威の存在が急速に成長する可能性があることを示唆するものであり、この先の業界構造分析・設計において考慮すべき重要なポイントを理解することができた。

6. 考察

本研究にてサプライチェーンの複雑化、先の顧客の重要性の定量化をダブル・ファイブ・フォースおよびネットワーク分析におけるネットワーク密度、固有ベクトル中心性にて論じてきた。

その結果、ファイブ・フォースでは隣接関係の議論であったのに対し、ダブル・ファイブ・フォースでは､業界全体を俯瞰するため､業界構造全体に着眼することでより多くの視点が導入できたと考える。

その上で、今回得られた各指標は今後の行動変容を考える上で、重要な示唆があったものと考える。サプライチェーンのすべてのノードの固有ベクトル中心性が高く変化しており、これらを繋ぐ活動が重要になる。ダブル・ファイブ・フォース分析では、その切り口として年代別に分析をしてきたが、過去のものはいずれもその分野から撤退しており、価値の低下が存在したことが分かる。

一方、筆者としては中間化学素材事業に従事する立場として、事業継続性に必要な要件を考えていきたい。今回のサプライチェーン構造定量化はそうした事業継続性を検討する上で可視化、数値化を可能とし、示唆を得ることが出来たと考える。但し、サプライチェーン構造定量化だけでは、その方向性を検討することは不可能であり、化学中間素材に特有の価値とは何かを考える必要がある。

そこで筆者は、図 4 に示すような機能-特性軸と事業に関わる事業領域、応用可能性、狙うべきターゲット等のバランスを考える必要があると考える。機能-特性軸について触れておくと、縦軸上方は、特性を求める汎用的な素材・モノの位置づけを示し、縦軸下方は機能を求める特殊なデバイス・コトの位置づけを示すものである。モノとコト、それぞれで事業領域の広さやターゲットの明確性は異なる。例えば、汎用的な石油化学品であれば、その利用場面、いわゆる事業領域は非常に広い、一方でその事業領域のすべての要求事項、要求特性を把握することが困難である。また、サービスのようなコトであれば、解決する課題に応じ、カスタマイズした特殊な価値を提供することが可能であるが、汎用性に欠け、応用可能性が低い傾向があると考えた。

化学中間素材は機能-特性軸の中間に位置するため、事業領域の広さを持ち、応用可能性が高いと筆者は考える。そこで、本研究で明確にしたサプライチェーンの構造定量化のフレームワークを用い、事業に関わるサプライチェーンを俯瞰することでターゲットとなる VOC（Voice Of Customer : 顧客の声）を理解することで事業継続性が高まるのではないかと考える。

こうした考えを基に、化学中間素材として、特定機能を有さず、汎用的な特性を有している商品形態に対して、どのようなターゲットを考えれば良いかを検討し、新製品開発の方向性や特性ターゲットを明確にすること、それにより、高性能化による価値向上や時間経過に伴う低下と価値の在り方を考えることが容易になるのではないかと考える。

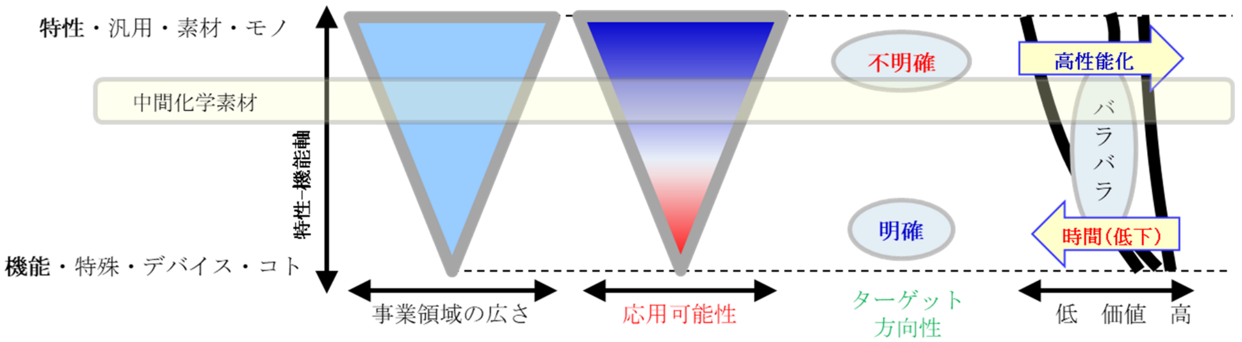


図4　化学中間素材の価値に対する一考察　　出所)筆者作成

7. おわりに

本研究では、サプライチェーンの複雑さを筆者が提案したダブル・ファイブ・フォースによりサプライチェーンの連結を可視化し、ネットワーク分析によりサプライチェーンの各ポジションの中心性やサプライチェーンの複雑さの定量化を可能とした。これにより、先行研究で示唆性は富んでいるものの定性的な議論であった様々な成果に定量化というより数理的な議論の導入の可能性を示唆することができた。

今後は、本研究で提唱したダブル・ファイブ・フォースおよびネットワーク分析を用い、異業種での分析を進め、本研究で進めてきたフレームワーク、分析の示唆性について検証を進める。その上で、自社事業の事業継続性を前節で述べた機能－価値評価軸で評価・検討を行い、活動方針の策定を予定している。

参考文献

［1］プリント回路ジャーナル,令和3年11月5日号，11月20日号および各企業HP情報参照
［2］桑島健一，新製品開発における“顧客の顧客”戦略（研究・イノベーション学会,研究技術計画 2003）
［3］田村泰一，他、素材産業における新規事業創造モデルに関する比較研究（早稲田国際経営研究 2012年,No43）
［4］種崎晃，技術優位性を持つ日系メーカーの新興国市場への販路獲得問題（国際ビジネス研究 2015,第7巻1号）
［5］杉山浩平，他，ネットワーク分析手法を用いた企業間取引関係ネットワーク分析（電子情報通信学会技術研究報告，2005）
［6］岡本哲弥，自動車メーカーとサプライヤー取引構造におけるネットワーク密度（日本経営学会第86回大会，2012）
［7］中野明，ドラッカー・ポーター・コトラー入門（朝日新聞出版，2016年9月30日）