

Title	「電気自動車」ドミノのモジュール化戦略へのインパクト
Author(s)	中田, 行彦
Citation	年次学術大会講演要旨集, 32: 613-618
Issue Date	2017-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/14937
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

「電気自動車」ドミノのモジュール化戦略へのインパクト

○中田行彦（立命館アジア太平洋大学）

1 はじめに

欧州から「電気自動車（EV）」ドミノが始まった。フランスは、2040年までにガソリン車とディーゼル車の新車販売を禁止する、つまり「脱石油燃料車」の方針を2017年7月6日に表明した（日本経済新聞2017年7月8日）。英国も同じく2040年までにガソリン車とディーゼル車の新車販売を禁止する方針を決めたことが明らかになった（日本経済新聞2017年7月26日）。中国もガソリン車とディーゼル車の新車販売を禁止する方針だ（日本経済新聞2017年9月12日）

この様に、欧州から「電気自動車」ドミノが始まり世界に拡大してきた。日本は、2030年にEV及びプラグインハイブリッド（PHV）の新車販売におけるシェアが20～30%という目標が示されている。

その背景は、大気汚染が深刻になり、原因の一つが車の排ガスだ。大気浄化の対策として、排ガスをゼロのEVと燃料電池車（FCV）へ期待が大きい、どちらになるか見えない（柴田2017）。だが、EVドミノで、プレーヤーが拡大するEVが優位になる可能性がある。また、欧州では独のフォルクスワーゲン（VW）社の排ガス不正（日本経済新聞2015年9月19日）で、ディーゼル車への不信が影響している。

一方、日本をはじめとする自動車メーカーは、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、各社は「モジュール化戦略」を取っている。

「電気自動車」へ進化すると、コア部品も変化し、車体構造も変わらざるを得ない。つまり、「モジュール化戦略」へも影響を及ぼす。

このため、急変する「電気自動車」ドミノによる「モジュール化戦略」へのインパクトを分析した。

2 自動車の「モジュール化戦略」に関する先行研究

藤本は、自動車の特性が、「擦り合わせ」て作り込む製品であることから日本の製造業が持つ組織能力向上の傾向と相性がよく、日本は強かったと指摘している（藤本2003）。

柴田（2014）は、日産のモジュール化戦略であるCMF(Common Module Family)の開発過程の事例分析から、デザイン・ルールの策定過程を明らかにした。また、自動車産業がモジュール化する理由として、電動化とデジタル化による自動車産業のシステム複雑性の低下と、組織能力の向上が同時に進展して、デザイン・ルールが以前より見出しやすくなることを上げている。更に、グローバル市場をにらんだ全体最適な製品開発を進めるため、モジュール化が有効である（柴田2015）。

目代（2014）は、日産とマツダのモジュール化戦略を比較し、その差を論じている。また、VW、日産、マツダ、トヨタのモジュール化戦略を比較分析している（目代2017a,b）

しかし「電気自動車」へのシフトが「モジュール化戦略」に与える影響を分析した研究は無かった。

3 分析の視角と方法

本研究の目的は、「電気自動車」ドミノによる「モジュール化戦略」へのインパクトを明らかにすることである。

分析方法として、新しい動きであること、種々の活動が相互依存した複雑な構成となっていることから、事例研究法を用いた。

事例としては、「電気自動車」を開発し「モジュール化戦略」を取る自動車メーカーとして、ドイツのフォルクスワーゲン（VW）、日本の日産、トヨタ、および米国のテスラの事例を取り上げる。

分析手段として、日産を訪問してインタビュー調査を行うと共に、トヨタ、テスラを訪問調査した。また、新聞、学術誌、業界誌、セミナー、インターネット情報を用いた。

4 電気自動車の現状と市場展望

2016年の世界のEV販売台数は、富士経済によると、前年比約4割増の約47万台だった（日本経済新聞2017年9月12日）。2016年の世界の自動車販売台数は約9400万台であり、EVは全体の0.5%程度にとどまるニッチな市場だ。地域別にみると、中国が前年比6割増の24万台と世界全体の半分を占めてい

る。今後の世界のEV市場の見通しは、英国のプライスウオーターハウスクーパーズ（PwC）によると2016年の年産66万台から357万台と5倍強に成長すると予測している（白石2017）。

5. 電気自動車関連企業の戦略の事例研究

5.1 日産自動車の事例研究

柴田友厚は、日産自動車のモジュール化戦略（CMF）のデザイン・ルールの策定過程について分析している（柴田2014、2016）。また目代（2017a, b）は、部品システムをどれだけ細かくサブシステム「モジュール」に分割するか、つまりモジュールの粒度が細かいか粗いかの違いがある。

日産のCMFは、VWと比較してモジュールの粒度が粗くモジュールが大きくなっており、「ビッグモジュール化」しているといえる。

これらの研究を踏まえ、モジュール化戦略と電気自動車の視点でインタビュー調査した。

(1) 日産のCMFとは

CMF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（日産2013）。

「競争力の強化とシナジー効果の拡大のために、CMFは共有化を推進し、アライアンスが開発する車両の台数がかつてないレベルへと引き上げる。

1モデルあたりのエントリーコストを平均30～40%削減し、アライアンス全体の部品コストを20～30%削減。2020年までに5大陸に渡り、10カ国以上で展開。コンパクトとラージセグメントから適用し、年間160万台、14モデル（ルノーグループ:11モデル + 日産:3モデル）をカバー

コモン・モジュール・ファミリー(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・アーキテクチャーだ

(2) 日産のCMFとマネジメント

日産のCMFとマネジメントについて、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、日産自動車厚木テクニカルセンターで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Modulare Quer Baukasten (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ーを「+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、57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、プレーキアクチュエーター、…、空調ユニット、ステアリングメンバ、シートフレーム、…、エグゾーストマフラー、燃料タンク、リアサスペンションビーム、…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57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。」

これは、「CMF」により開発コストや部品コストの削減を図ると共に、「Parts commodities」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、「CMF」による「モジュール化」と、「Parts commodities」の「すり合わせ」の好いところ取りした統合型戦略と解釈できるのではないかと。

柴田（2016）は、モジュール化戦略におけるシニアマネージャーの役割として、デザイン・ルールの策定時には、デザイン・ルールの策定と技術者の説得を上げている。しかし、モジュール化戦略の運営時には、部品サプライヤーとのすり合わせによる「Parts commodities」の創造と、「CMF」と「Parts commodities」のすり合わせの役割が必要になると考えられる。

また、電気自動車へのCMF適用に関して、山本氏からは、「電気自動車もこのやり方で開発していく」との回答を得た。「ビッグモジュール」の+1として「電気/電子アーキテクチャー」があるためと考えられる。

(3) 日産の電気自動車への対応

自動車の電動化に関して、日産自動車(株)総合研究所 研究企画部 主任研究員長谷川卓也氏に、2017年9月1日に日産グローバル本社でインタビュー調査した。

「電気自動車とガソリン車は対比可能な構造を持つ。エンジンに対してバッテリーや発電機、トランスミッションに対してモーターがそれぞれ対応する。重くかさばるバッテリーパックの取り付けには工夫が必要だが、ほぼ現在の生産工程の延長で対応できる。」

日産グローバル本社には展示場が併設されており、図1に示す様な、電気自動車用パワートレイン (E-パワートレイン：高電圧ユニット一体型) が展示してあった。これは、駆動用のモーターと減速機に、高電圧インバータと、パワー・デリバリー・モジュール (電圧変換や分配を行う)、およびこれまで荷室にあった車載普通充電器を一体化したものだ。

また、日産の電気自動車リーフのリチウムイオン電池も展示されていた。床下全体に設置する形状ではなく、座席部が凸で足置き部が凹と、凹凸のある形状になっている。

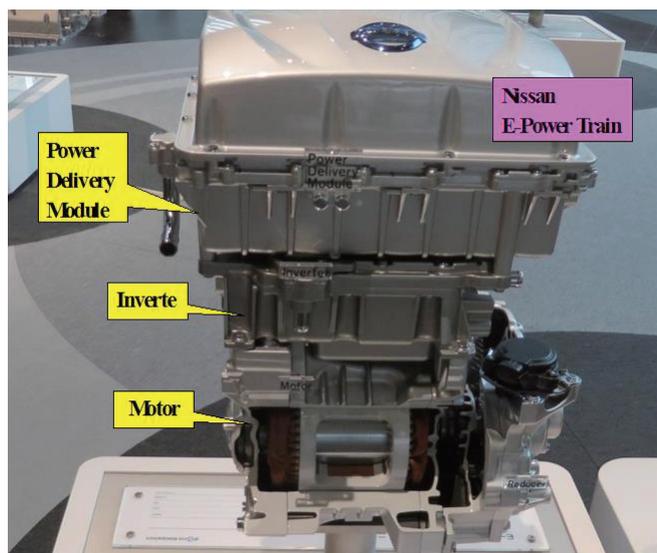


図1 日産電気自動車用パワートレイン (著者撮影) 図2 日産リーフのリチウムイオン電池 (著者撮影)

自動車の生産ラインは、1つの生産ラインで多品種を生産することを追及してきている。このガソリン車を生産するラインで、電気自動車を生産する場合も、現在の生産システムがほとんど使える。バッテリーパックを下から取り付ける工程が追加になるが、電気自動車用パワートレインは、通常はガソリンエンジンを搬送する搬送ラインで運ばれ、現在の生産システムをほとんど使用できる。

(3) 新型リーフの発売

日産自動車は、EV「リーフ」の新型を2017年10月2日に日本で発売すると、9月6日に発表した(日本経済新聞2017年9月7日)。日産は2010年のリーフ発売から累計28万台を販売し、最も売れたEVとして市場を切り開いてきた。価格は約315万円からで、補助金の分を引くと実質275万円からとEV普及を促進する。

1回の充電で走れる距離は、先代の4割増の400kmに伸びた。電池の形状は、先代リーフと全く同じである。他の部材への影響と、生産設備の変更を避けている。つまり、電池特性の改善により走行距離を、先代の4割増の400kmに伸ばした。この電池価格が、EVの価格を左右する。日産がリーフを発売した2010年当時は1kW時当りの単価は10万~20万円だった。今は2万~3万円に下がった(日経産業新聞2017年9月7日)。一方、リチウムをはじめとした電池の原料価格は上昇傾向にあり、電池の価格低下に影響を及ぼすと予測される。また、電池のエネルギー密度を上げて走行距離を伸ばすことと、電池寿命を伸ばすこととの両立が課題となっている。

5. 2 トヨタ自動車の事例研究

(1) トヨタのHV、PHV戦略

トヨタは、1997年にハイブリッド車(HV)「プリウス」を発売して以降、環境対応車で世界の先頭を走ってきた。米国カリフォルニア州などの10州がZero Emission Vehicle(ZEN)規制を採用している。2017年末に発売する「2018年モデル」から、HVはZEN規制の対象車種から完全に外れる。このため、

プラグインハイブリッド車 (PHV) に力を入れている。2017年2月に日本で発売した2代目のPHVを、日本における販売価格約326万円から、米国では装備が少し違うが、27,100ドル(約300万円)と戦略的価格で発売した(日経産業新聞2017年5月22日)。補助金を引くと米国の実質価格は約22,600ドル(約250万円)と、24,700ドル(約274万円)のHVよりPHVの方が安く買える。日本では、補助金を考慮しても、PHVはHVに比べて約70万円高い。新型PHVは、電池容量を現行モデルの2倍(8.8kw時)に高め走行距離を60kmに伸ばした。この走行距離は新型リーフ400kmの15%に相当する。

トヨタは、水素を燃料とし二酸化炭素を出さない燃料電池自動車(FHV)「MIRAI」を世界で初めて発売し販売に力を入れている。しかしEVドミノで、プレーヤーが拡大するEVが優位になる可能性がある。

(2) トヨタのモジュール化戦略とPHV

トヨタは、モジュール化戦略 Toyota New Global Architecture (TNGA)を、プリウスから採用してきた。しかし、TANGAの主演はガソリン車とHVであり、PHVに対応ができていない。リチウムイオン電池の容量は、PHVの場合はHVの10倍に設定している。この電池を、後席下部から荷室にかけて搭載し、荷室を犠牲にした。トヨタ自動車本社に併設される展示場で、PHVと電池が展示されていた(図3)。つまりTANGAは、現状ではPHVに対応できていない。

しかし、このPHVでは、2017年7月に仏英で始まった「脱石油燃料車」の動きに対応できず、EVへの対応が急務だ。



図3 トヨタPHVの電池配置(著者撮影)

5. 3 フォルクスワーゲン社の事例研究

(1) 排ガス不正とEV戦略

VWの排ガス規制への不正が、2014年に発覚した。米国ウェストバージニア大学が実際の路上で実施した排ガス試験がきっかけだ。同大学は、基準値の最大35倍の窒化酸化物(NOx)を検出し、不審に思い米環境保護局(EPA)に連絡した(日本経済新聞2015年9月25日)。自動車から排出される汚染物質の量を測定するために試験車両をローラーに乗せて走らせることを検知し、排ガスを減らすように装置を調整する。しかし通常の走行時には、排ガス処理装置を作動させず、粒子フィルターをするという排ガス不正である(ユーイング2017)。低燃費と排ガス浄化、コストを満たすことができなかった為に行った悪質な不正である。また、VWは米国だけでなく欧州でも排ガス不正を行っていた(日本経済新聞2015年9月25日)

VWのブランドイメージは、排ガス規制不正により地に落ちた。この最悪のイメージを払拭するためにも、VWはEVを従来計画から大幅に上積みすることを表明した。VWは、2025年までにEV50機種投入すると、2017年9月11日に発表した(日本経済新聞2017年9月12日)。2030年までに200億ユーロ(約2兆6千万円)を投資する。2025年に中国で150万台のEVを販売する(日本経済新聞2017年9月14日)。全世界のEV販売目標とする3000万台の半分を中国で販売する計画だ。

ただ、ドイツ政府は、雇用を優先し、現在主力のディーゼル車の改良とEV投資の両方を追う政策だ。

(2) VWのモジュール化戦略

VWが2012年2月に公表したMQB(独語Modularer Querbaukasten;英語Modular Transverse Matrix)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2017a, b)。大きく3つの階層からなる。最上位階層のビ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(目代2017b)。これは典型的なモジュラー設計といえる。日産のCMFは、これとは異なっている。

(4) VWのEV戦略

先にも述べたように、VWはEVに大きく舵を切っている。このEVに対するモジュール化戦略を見てみる。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（Volkswagen Magazine、2017）。その電池配置は、図4に示すように、床一面配置となっている。ガソリン車と異なり、EV車専用の設計思想となっている。電池を床一面配置にすることにより、電池容量を増やせ、走行距離を伸ばせる。

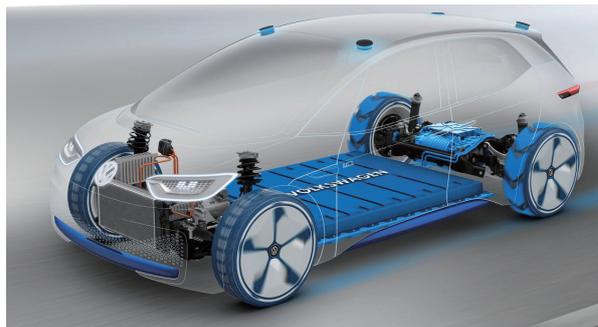


図4 VW MEBの電池配置 (Volkswagen Magazine、2017)

5. 4 テスラ・モーターズ社の事例研究

テスラは、EV量産車種「モデル3」の出荷を、2017年7月28日に始めた（日本経済新聞2017年7月30日）。テスラは、米国カリフォルニア州のフリーモント工場でEV「モデル3」の出荷式を開いた。2015年2月18日には、テスラのフリーモント工場を調査した。

モデル3は、高級車を手掛けてきたテスラにとって初めての中価格帯車種となる。価格は35,000ドル（約388万円）で、フル充電時の走行距離は354kmである。「モデル3」は、2016年3月の予約開始から1か月で約40万台を受注した。日産リーフを2010年の発売から7年累計で28万台を販売したことと比較し、テスラは非常に人気が高く、米国において2年連続でEVシェア1位である。

蓄電池は、図5に示すように、前のモデルSのように、床下にフラットに配置されている。エネルギー密度が改善された2880個のセルを用いており、足の置き場には蓄電池を避けて4インチ下げて居住性を良くしている（Carlson 2017）。テスラは、EV専門メーカーであり、EVのみを生産しているので、設計と生産に自由度が高く、対応しやすい状況にある。

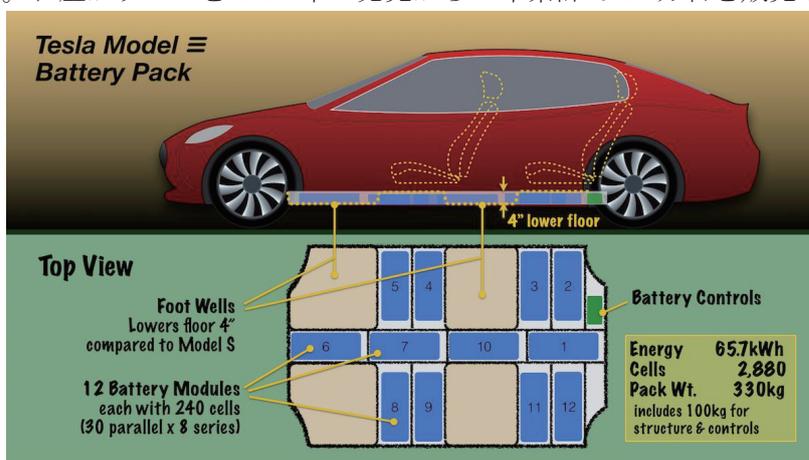


図5 テスラモデル3の電池配置 (Carlson 2017)

なお、テスラはパナソニックと共同で「ギガファクトリー」で電池の量産を始めた。（日本経済新聞2017年1月5日）。2018年にテスラのEV50万台にあたる35GW時を見込む。

6 考察

「電気自動車」ドミノによる「モジュール化戦略」へのインパクトを訪問調査と2次資料で分析した。

日産、トヨタ、VWの事例を比較すると、共通点は、モジュール化戦略を用いて、開発コストの削減、部品共通化による部材コストの削減、生産コストの削減を図ろうとしていることである。

しかし、モジュール化戦略に、ドイツのVWと、日本の日産、トヨタには違いがある。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、典型的なモジュール化戦略をとる。これに対し、日本の日産、トヨタは、粗いモジュールに切り分ける（目代2017a）。マネージャーの調整部分、つまりすり合わせとの統合型戦略となっている。

このモジュール化戦略の相違が、EVへの対応に影響している。

VWは、EV向けプラットフォームMEBを採用しよう、デザイン・ルールの策定に取り組んでいる。

日産は、CMFで「ビッグモジュール」の+1として、「電気/電子アーキテクチャー」を取り入れているが、現状の生産ラインをEV生産に共用するという、生産上の影響を受けている。

トヨタは、HVへの対応を優先した為、PHVでのEVでもモジュール化戦略との対応が十分ではない。

FCVの販売へも力をいれる。しかしEVドミノで、プレーヤーが拡大するEVが優位になる可能性がある。

テスラは、テスラは、EV専門メーカーであり、EVのみを生産しているので、設計と生産に自由度が高く、対応しやすい状況にある。

7 おわりに

「電気自動車」ドミノによる「モジュール化戦略」へのインパクトを分析した。

日産、トヨタ、VWの事例を比較すると、共通点は、モジュール化戦略を用いている。しかし、ドイツは、細かなモジュールに切り分け、多数の明確なデザイン・ルールを策定しようとする。これに対し、日本は粗いモジュールに切り分け、マネージャーの調整部分、つまりすり合わせとの統合となっている。

このモジュール化戦略の相違が、考察でも述べた様に、電気自動車への対応に影響している。

VWは、EV向けプラットフォームMEBを採用しよう、デザイン・ルールの策定に取り組んでいる。

日産は、CMFで「ビッグモジュール」の+1として、「電気/電子アーキテクチャー」を取り入れているが、現状の生産ラインをEV生産に共用することの影響を受けている。

トヨタは、HVへの対応を優先した為、PHVでのEVでもモジュール化戦略との対応が十分ではない。

テスラは、テスラは、EV専門メーカーであり、設計と生産に自由度が高く、対応しやすい状況にある。

自動車市場でEVが大きなシェアを持つまでに少し時間を要するが、日本もEVに対応したモジュール化戦略の策定を早急に行うことが必要である。

本研究に残された課題は、本研究が始まったばかりであるため更に掘り下げた研究が必要になる。また、日本とドイツとのモジュール化戦略の対応に相違ができる原因を検討する必要がある。

【謝辞】本研究に、日本学術振興会から科研費 JP16K03922 の助成を受けたことに感謝する。

【参考文献】

- Carlson, Randy (2017) “Tesla Model 3 Wins On Innovative Simplicity” (2017年9月17日アクセス <https://seekingalpha.com/article/3975416-tesla-model-3-wins-innovative-simplicity>)
- 藤本隆宏 (2003) 「能力構築競争日本の自動車産業はなぜ強いのか」中央公論新社 2003年6月25日
- 目代武史 (2015) 「ルノー＝日産コモンモジュールファミリーとマツダ・コモンアーキテクチャーの設計思想」研究 技術 計画 Vol.30, No. 3, p179-191.
- 目代武史 (2017a) 「自動車産業におけるモジュール化第2の波～VW, 日産、マツダ、トヨタの比較分析～」日本MOT学会「モジュール化」対「すり合わせ」研究会 2017年1月20日
- 目代武史 (2017b) 「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 とマツダ・コモンアーキテクチャー」日本MOT学会 第8回年次研究発表会 日本工業大学
- 日経産業新聞 (2017) 「米環境規制 トヨタ雪辱戦」2017年5月22日
- 日経産業新聞 (2017) 「EV普及の扉 リーフ開くか」2017年9月7日
- 日本経済新聞 (2015) 「VW 48万台に違法ソフト」2015年9月19日
- 日本経済新聞 (2015) 「VW、欧州でも不正」2015年9月25日
- 日本経済新聞 (2017) 「テスラ共同運営工場で量産開始」2017年1月5日
- 日本経済新聞 (2017) 「米環境規制 トヨタ雪辱戦」2017年5月22日
- 日本経済新聞 (2017) 「電気自動車普及へ仏決断」2017年7月8日
- 日本経済新聞 (2017) 「英も40年までに禁止」 2017年7月26日
- 日本経済新聞 (2017) 「テスラ、初の量産車出荷」2017年7月30日
- 日本経済新聞 (2017) 「世界のEV市場」2017年9月12日
- 日本経済新聞 (2017) 「中国、ガソリン車禁止へ」2017年9月12日
- 日本経済新聞 (2017) 「VW, EV50車種投入」2017年9月12日
- 日本経済新聞 (2017) 「VW25年にEV300万台」2017年9月14日
- 日産自動車 (2013) 「コモン・モジュール・ファミリー(CMF):ルノー・日産アライアンスの新たな開発手法」ニュースリリース 2013年6月19日
- 柴田友厚 (2014) 「モジュール化の開発プロセスの構築-日産CMFでのデザイン・ルールの策定過程-」赤門マネジメント・レビュー13巻12号 (2014年12月)
- 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.
- 柴田友厚 (2016) 「モジュール化戦略の神髄 日産・ルノーの「CMF」に学ぶ成功の条件」Nikkei Automotive, 2016年1月, p64-70.
- 柴田友厚 (2017) 「EVの先を見据えた戦略を」日本経済新聞 2017年9月25日
- 白石章二 (2017) 「EV革命100兆円 車体構造」週刊エコノミスト 2017年9月12日
- Volkswagen Magazine “The e-mobility module” (2017年9月17日アクセス) <http://magazine.volkswagen.com/What-is-the-Modular-Electrification-Toolkit.html>
- ユーイング, ジャック (2017) 「フォルクスワーゲンの闇」日経BP社 2017年7月31日