

國學院大學学術情報リポジトリ

イノベーションの停滞と製品不具合に関する一考察： 自動車用エアバッグの技術進化のケース

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-02-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 星野, 広和 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.57529/00001045

イノベーションの停滞と製品不具合に関する一考察 －自動車用エアバッグの技術進化のケース－

■ 星 野 広 和

▶ 要 約

本稿では、自動車のリコール対象台数が急増する要因のひとつとして部品や装置の共通化に着目し、タカタ製自動車用エアバッグの不具合およびリコール対応に関するケースを踏まえて、イノベーションの停滞が継続的な製品不具合に与える影響について考究する。

2004年に発生したタカタ製エアバッグ問題について、既に複数の主体による独立調査が終了し、不具合の原因やリコール対応問題の真相が明らかになっている。本稿では、不具合原因として指摘されているエアバッグのインフレーター（ガス発生装置）内のプロペラント（ガス発生剤）の異常破裂に着目し、その技術進化において一旦は競争優位性を持った製品イノベーションが実現したものの、その後のイノベーションの停滞によって不具合が継続したことを明らかにする。

結論として、Abernathy（1978）の製品・工程ライフサイクル説を踏まえて、タカタ社では製品イノベーションが停滞し、しかも非自発的学習が継続することによって製造工程管理が改善されなかった結果、製品不具合の是正が進展せず、リコール対象台数が拡大したのではないかという仮説を提示する。

▶ キーワード

製品不具合、イノベーションの停滞、相安定化硝酸アンモニウム（PSAN）、製品・工程ライフサイクル説

<目次>

- I. はじめに
- II. タカタ製エアバッグ問題のフレームワーク
- III. インフレータの技術進化：タカタのエアバッグ開発
- IV. ディスカッション
- V. おわりに

I. はじめに

近年、わが国の自動車のリコール届出件数は高止まりし、リコール対象台数は大幅に増加している。国土交通省自動車局（2017）によると、2014年度のリコール届出件数は355件、対象台数は9,557,888台であったのが、2016年度にはそれぞれ364件、15,848,401台へと増加している。特筆すべきは対象台数の伸びであり、2014年度比で2015年度は約2倍、2016年度は約1.6倍へと増加している。結果として、リコールを発生させた企業やサプライヤーの業績に対する悪影響だけでなく、製品ユーザーにとっての不利益が生じかねない。

本稿では、自動車のリコール対象台数が急増する要因のひとつとして部品や装置の共通化に着目し、タカタ製自動車用エアバッグの不具合およびリコール対応に関するケースを踏まえて、イノベーションの停滞が継続的な製品不具合に与える影響について考究する。タカタ社が経営破綻に至った原因には、コーポレート・ガバナンス、リコールマネジメント、組織文化（企業風土）、経営倫理、自動車メーカーとサプライヤー間の責任、アメリカ規制当局との関係性、説明責任の欠如など複数の要因が指摘されている（Takata, 2016; Nelson, 2016; 植木, 2018; 田口, 2018; 河野, 2019）。しかしながら、近年では、タカタ製エアバッグの不具合原因としてインフレーター（ガス発生装置）が指摘されており（『日本経済新聞』2016年2月24日付; 国土交通省自動車局, 2017）、本稿では、技術的要因に主眼を置く。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、タカタ製エアバッグ問題について、その経緯と一般的に指摘されている不具合原因を挙げるとともに、エアバッグの不具合特定やリコールが長期化した理由のひとつとして道路運送車両法改正前のリコール制度を挙げる。次に、タカタ製エアバッグ、特にインフレータの技術進化において、相安定化硝酸アンモニウム（PSAN）を使用したプロペラント（ガス発生剤）開発によって製品安全性および経済合理性を実現した技術革新の推移をみる。最後に、Abernathy（1978）の「製品・工程ライフサイクル」説を踏まえて、PSANインフレータの開発により製品イノベーションが停滞し、その後の製品不具合の継続に結びついたとする仮説を提示する。

Ⅱ. タカタ製エアバッグ問題のフレームワーク

1. タカタ製エアバッグ問題の経緯

自動車用エアバッグの不具合を起因とする一連の製品リコールやリコール対策により、タカタは2017年6月に東京地裁に民事再生法の適用を申請するに至った（『日本経済新聞』2017年6月28日付）。再建のためキー・セイフティー・システムズ社（KSS社）との間で事業譲渡に関する基本合意を締結したものの、タカタの負債総額は約3,800億円、エアバッグ納品先の各自動車メーカーがタカタに求償権をもっている市場措置の費用については、1兆円を超える額が回収困難であるとされた（『日本経済新聞』夕刊、2017年6月26日付）。

タカタ製エアバッグの不具合とは、硝酸アンモニウムを使用したタカタ製エアバッグのガス発生装置が異常破裂し、金属片が飛散したことである。国土交通省自動車局（2017）によると、2004年5月にアメリカで発生したタカタ製エアバッグの不具合を契機として、2008年以降、アメリカでは累計4,200万台以上、全世界では累計8,100万台以上がリコール対象となった。国内では、2009年以降自動車メーカー等24社から延べ134件のリコールが実施されており、2017年9月時点で累計1,833万台が対象となっている。結果として、2017年9月時点で日本国内での走行中の事故が8件（うち死者数0名、負傷者数2名）、全世界で走行中の事故約200件（うち死者数少なくとも18名）が発生した（国土交通省自動車局、2017、p.7）。

2004年5月の事故時の不具合発生について、当初タカタ製エアバッグを搭載していたホンダはその原因としてガス発生剤以外の要因を認識していたため、2005年5月にホンダからタカタに対して不具合事案の連絡が行われている。その後、2007年2月には事故時の不具合が複数発生したことを受けて、2008年11月にアメリカで完成車メーカーのホンダが最初のリコールを行った。また、2009年5月にはアメリカで死亡事故（1件目）が発生し、2009年6月にホンダがリコールを拡大した。

日本では、2008年11月にホンダがアメリカでリコールした旨の報告を受け、国土交通省において、①米国で複数の不具合が発生していることを把握、②国内に対象車両がないことを確認している。その後、アメリカでの不具合発生やリコールの実施および拡大を受けて、日本でもリコールが行われ拡大した（図表1参照）。

タカタ製エアバッグ問題に対して、国土交通省は次のようなりコール対象車両の早期改修を行った（国土交通省自動車局、2017、p.9）。具体的には、①自動車メーカーに対し、

図表1 タカタ製エアバッグ問題の経緯

斜体: リコール関連, 網掛け: 不具合関連

日本での動き	米国での動き
2008年11月 ・ <u>ホンダが米国でリコールした旨の報告</u> ・ 国土交通省においては、 ①米国で複数の不具合が発生していることを把握 ②国内に対象車両がないことを確認 2009年5月～ ・ <u>解体時の不具合が発生</u> 2009年7月 ・ <u>ホンダが最初のリコール</u> ・ 原因が不十分であったため、引き続き原因究明を指示 2010年2月 ・ <u>ホンダがリコールを拡大</u> 2010年6月 ・ <u>ホンダ、トヨタ、日産がリコール</u> 2011年12月 ・ <u>ホンダがリコールを拡大</u>	2004年5月 ・ <u>事故時の不具合が発生</u> ・ 当初、ホンダは、ガス発生剤以外の原因と認識 2005年5月 ・ ホンダからタカタに不具合事案の連絡 2007年2月～ ・ <u>事故時の不具合が複数発生</u> 2008年11月 ・ <u>ホンダが最初のリコール</u> 2009年5月 ・ <u>死亡事故（1件目）が発生</u> 2009年6月 ・ <u>ホンダがリコールを拡大</u> 2009年7月～11月 ・ <u>事故時の不具合が複数発生</u> 2009年12月 ・ <u>死亡事故（2件目）発生</u> 2010年2月 ・ <u>ホンダがリコールを拡大</u> 2011年8月 ・ <u>事故時の不具合が発生</u> 2011年12月 ・ <u>ホンダがリコールを拡大</u>
2011年9月、2013年1月 ・ <u>事故時の不具合が発生</u> 2013年4、5月 ・ <u>ホンダ、トヨタ、日産、マツダ、BMWがリコール</u> 2013年5月、2014年1月 ・ <u>事故時の不具合が発生</u> 2014年6月 ・ <u>ホンダ、トヨタ、日産、マツダがリコール（拡大）</u> 2014年7月 ・ 自動車メーカーに対し、車両の廃車・解体時のインフレーター異常の報告を要請 ・ マレーシアで死亡事故発生 2014年11月 ・ <u>ホンダ、トヨタ、ダイハツがリコール</u> ・ 自動車局長を本部長とする対策推進本部を設置 ・ 全米でリコールを行う場合には、国内でも同様の措置を取るよう自動車メーカーに指示 ・ <u>トヨタから、インフレータの異常について報告</u> 2014年12月 ・ <u>トヨタ、ホンダ、日産、三菱が、予防的措置としてリコールを実施</u> ・ <u>ホンダ、マツダが、国内でのいわゆる「調査リコール」の実施の報告</u>	2013年4、5月 ・ ホンダ、トヨタ、日産、マツダ、BMWがリコール 2013年8月～ ・ <u>事故時の不具合が複数発生</u> 2014年6月 ・ <u>ホンダ、トヨタ、日産、マツダ、BMW、クライスラー、フォードが高湿度地域に限定して全数回収調査</u> 2014年11月 ・ 米国議会上院の委員会において、タカタ、ホンダ、クライスラー及びNHTSAを対象に公聴会が開催 2014年12月 ・ 米国議会下院の委員会において、タカタ、ホンダ、トヨタ、BMW及びNHTSAを対象に公聴会が開催 ・ <u>ホンダ、マツダが、運転席側インフレーターについて全米での全数回収調査の実施を報告</u>

※全ての事故、リコール等を記載しているものではない。

(出所) 国土交通省自動車局 (2014) 「タカタ製エアバッグ問題について」, pp. 4-5 より作成。

ユーザーに確実にリコール情報を伝達し、早期の改修促進策の検討・実施を指示、②タカタ及び自動車メーカーに対し、他のインフレーター製作者とも協力し、交換部品の供給を確保するよう指導、③2015年3月以降、運輸支局において、タカタ製エアバッグのリコール未改修車に対し、車検証交付時に警告文を交付し、2015年11月以降、ダイレクトメール未達のユーザー対策として、車検証交付時に住所変更を促す取組を実施、④2015年4月以降、国土交通省としても、リコール未改修車のユーザーの一部に対し、ダイレクトメールを送付するほか、職員による個別宅への訪問を実施した。

しかしながら、わが国だけでみても、2015年3月時に対象台数3,052,092台、改修率73.0%、同年9月時点で対象台数9,787,472台、改修率51.9%、2016年4月時点で対象台数12,602,088台、改修率56.4%、2017年7月時で対象台数18,820,763台、改修率78.1%とリコール対象台数の拡大は続くとともに、不具合による死傷者が発生している段階でも改修率が100%に届かない状態が続いた（国土交通省自動車局、2017、p.17）。

2. エアバッグの不具合原因

先述したように、タカタ製エアバッグの不具合原因については、複数の要因が指摘されている（Takata, 2016; Nelson, 2016; 植木, 2018; 田口, 2018; 河野, 2019）。例えば、不具合発生やリコール後の組織的対応において、製品安全に対する文化や倫理を欠いたタカタの行動が散見されている（Takata, 2016; Nelson, 2016）。タカタは2000年にインフレータの製造検証テスト中にPV（プロセス検証）仕様を満たしていないことによってインフレータの破裂を伴う失敗があったり、顧客に提供されたPVテストレポートの最終バージョンでは、これらのテストの失敗が省略されたり、テスト結果が置き換えられたり変更されたりしたとされる（Takata, 2016, p.3）。また、タカタ社と完成車メーカーとの間で、「製品の欠陥問題を解決する局面においては、最終製品メーカーと部品サプライヤ間の責任の押し付けあいのような現象」（河野, 2019, p.41）が発生していた可能性も否定できない⁽¹⁾。

しかしながら、タカタ製エアバッグ不具合の原因（真因）やそれに対する組織的対応が近年内部調査および独立レポートによって明らかにされてきた。アメリカに端を発し世界的に大量リコールを実施したタカタ製エアバッグの不具合は、自動車メーカー、米国運輸省道路交通安全局（National Highway Traffic Safety Administration; 以下NHTSA）、アメリカ下院の商工貿易小委員会など当該企業だけでなく、複数の企業、規制団体、政府から原因究明のための調査が要請され、独立調査が実施された。2016年2月にタカタ製エアバッグの不具合に関する独立委員会（日米欧自動車メーカー10社）の原因分析調査報告によると、欠陥の原因は、①火薬としての硝酸アンモニウムを乾燥剤をつけずに使用

図表 2 乾燥剤が入っていないタカタ製エアバッグ・インフレーターに係る
リコール対象範囲の拡大スケジュール

リコール届出時期	対象車両の製造年			対象車 両数
	運転席側インフ レータを搭載し た車両	国内で不具合が起きている 助手席側インフレータ (SDI 及び SPI) を搭載し た車両	国内で不具合が起きていな い助手席側インフレータを 搭載した車両	
2016 年 6 月まで	全て	～2008 年製		約 700 万台
2016 年 11 月まで		～2011 年製	～2009 年製	
2016 年度末まで		～2012 年製		
2017 年度末まで		～2013 年製		
2018 年度末まで		上記以降に製造されたもの		

※ このほか、これまでのリコール改修によって乾燥剤が入っていないインフレーターを装着された車両については、2019 年度末までに再度リコールする。

(出所) 国土交通省自動車局 (2017) 「タカタ製エアバッグ搭載車を車検で有効期間を更新しない措置の概要について」, p. 13。

し、②高温多湿下の環境に長期間さらし、③湿気を防ぐよう装置が適切に組み立てられていない、条件が複合的に絡み合うことで異常な破裂が生じたとされる⁽²⁾ (『日本経済新聞』2016 年 2 月 24 日付)。

当初はエアバッグのインフレーター製造上の問題⁽³⁾や使用状況 (耐久年数) が問題視されていたが、現在ではインフレーターの中にある火薬が湿気のある状態で長期間の温度変化にさらされると劣化することが判明しており、乾燥剤の入っていないものについてはリコール対象となっている (国土交通省, 2017)。国土交通省自動車局は、「タカタ等によるエアバッグインフレータの不具合に係る原因調査において、乾燥剤の入っていないものについては、その中にある火薬が、湿気のある状態で長期間の温度変化にさらされると劣化することが明らかになった」(国土交通省自動車局, 2017, p. 13) として、国土交通省は 2016 年 5 月、国内の自動車メーカーによるリコールの拡大スケジュール (対象約 700 万台) をとりまとめ自動車メーカー等に対し、当該スケジュールを可能な限り前倒してリコールするよう指導し、不具合の有無に関わらずリコール対象車両が拡大された (図表 2 参照)。

また、2015 年 12 月に、国土交通省は予防的措置として、硝酸アンモニウムを使用したタカタ製インフレータの使用縮小・停止に向けた方針を取りまとめ、タカタ及び自動車メーカーなどに対し、適切に対応するよう指導した (国土交通省自動車局, 2017, p. 14) (図表 3 参照)。

3. リコール対象台数増加の要因

タカタ製エアバッグの不具合問題を受けて、アメリカでは 2014 年 6 月、NHTSA がタ

図表3 硝酸アンモニウムを使用したタカタ製インフレータの取り扱い

	硝酸アンモニウムを使用したタカタ製インフレータ		
	乾燥剤なし		乾燥剤入り
	国内で不具合が起きているもの	国内で不具合が起きていないもの	
新型車	搭載しない	搭載しない	搭載しない
継続生産車	平成 28 年 6 月中に搭載を停止	運転席は平成 29 年中、助手席・サイドは平成 30 年中に搭載を停止	関連する構造変更等の機会に搭載停止を検討
交換用部品	平成 28 年 12 月中に搭載を停止	運転席は平成 29 年中、助手席・サイドは平成 30 年中に搭載を停止	平成 31 年までに行われる原因調査結果等を踏まえ対応

※ 網掛け：米国よりも期限を前倒し

(出所) 国土交通省自動車局 (2017) 「タカタ製エアバッグ搭載車を車検で有効期間を更新しない措置の概要について」, p.14.

カタ製エアバッグのインフレータの欠陥について調査を開始した。また、関係自動車メーカーとタカタも事故原因を究明する観点から、高温多湿環境下でのインフレータの火薬に係る問題に関して、フロリダ州、カリフォルニア州等南部の州・地域に限定して全数回収調査（調査リコール）が実施された（山越，2017，pp.89-90）。その後も死傷事故が発生し，NHTSA はタカタと各自動車メーカーに対し，対象となるエアバッグを搭載した車両のリコールをアメリカ南部だけでなく全米に拡大するよう要請し，ホンダは調査リコールの対象を全米に拡大して実施することを表明した。しかしながら，NHTSA は 2014 年 11 月にインフレータに使用されている火薬についての情報提供をタカタに命じたにもかかわらず，情報提供に非協力的であるとされた。

それでは，なぜリコールが進まなかったのだろうか。タカタ製エアバッグのリコールが進まなかった原因として，タカタ社のコーポレート・ガバナンス，利益（原価）重視の姿勢や製品安全を軽視する組織文化，完成車メーカーとの責任の押し付け合いなどが指摘されている（田口，2018；植木，2018；河野，2019）。もちろん，そのような要因も否定できないものの，そもそも 2015 年以前にタカタのような自動車部品・装置メーカーはリコール実施の届出義務や報告義務がなかったことも事実である。

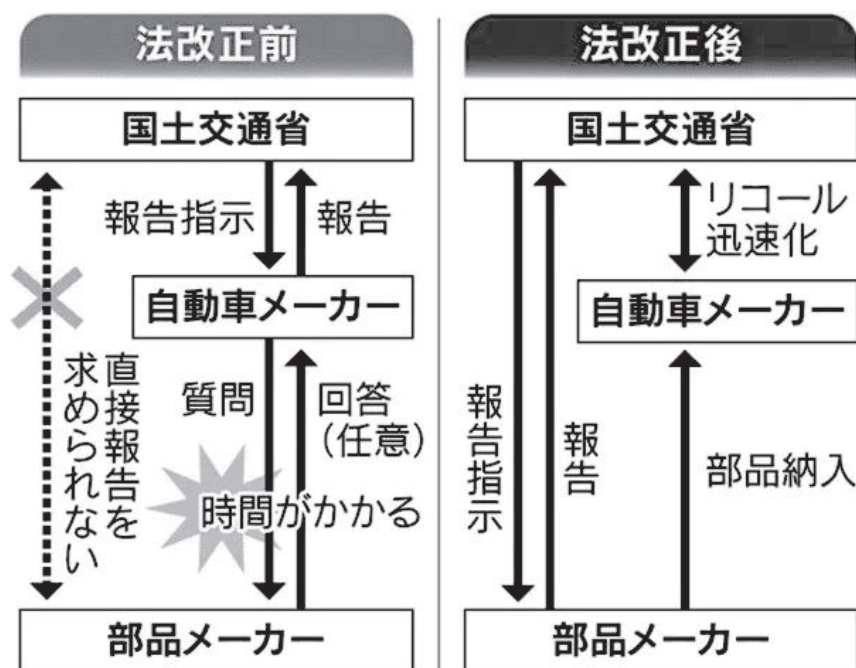
2015 年改正以前の道路運送車両法にもとづく従来の自動車に関するリコール制度では，「自動車メーカーのみが，自動車を設計・製作する当事者であること，不具合において情報をいち早く把握でき，かつ，リコールを行う場合も全国に展開する系列販売店等により迅速に対応することができることから，リコールを実施する場合の届出義務，国交省の報告徴収・立入検査及び国交省からのリコールの勧告・命令の対象として位置付けられてい

た」(山越, 2017, pp. 90-91)。そのため, 従来のリコール制度では, もしリコールの原因となった部品や装置に関する情報を国がそれら製造メーカーから入手したい場合であっても, 自動車メーカーを通さざるを得ず, その回答には時間がかかるとともに部品・装置メーカーは任意回答でも構わなかった⁽⁴⁾。

しかしながら, 自動車の製造には2万点から3万点, 電子化が進んだ現在は5万点にもおよぶ部品や装置を必要とし, それらは部品・装置メーカーや完成車関連の下請・孫請メーカーからの供給を必要とする。また, 近年の部品・装置の共通化や標準化の進展によって, 共通部品や装置の不具合の発生によってリコール対象台数が大規模化することは避けられない(吉田, 2007; 伊藤, 2012; 2013)。

そこで, タカタ製エアバッグの欠陥問題が拡大したことも背景として, 2015年「道路運送車両法及び自動車検査独立行政法人法の一部を改正する法律案」が国会に提出され, 同年6月に参議院本会議において可決・成立した。これによって, リコールに係る装置メーカーへの対策が強化され, 国土交通大臣が, 保安基準に適合していないおそれがあると認めるもの等を製作し, 又は輸入した装置メーカー等(装置メーカー, 装置の輸入業者等)に対し, 直接報告を求め, 立入検査を行うことができることとし, 装置におけるリコール発生時の国の対応の迅速化が図られた⁽⁵⁾(山越, 2017, p. 91)。(図表4参照)。

図表4 道路運送車両法改正前後のリコール対策の変化



(出所) 日本経済新聞(2015)「車部品会社にも不具合情報報告義務 改正法成立」『日本経済新聞』2015年6月17日付。

道路交通法改正後の2015年11月、NHTSAはタカタのアメリカ子会社であるTHKに対して、タカタ社が長期にわたって不具合のあるエアバッグを製造・販売してきたことを認めなかったこと、NHTSAや顧客に対して必要となる情報を完全に提供しなかったこと、また、タイムリーなリコールを実施しなかったことで多くの消費者に損害を及ぼしたとの認識が示され、NHTSAとの間でエアバッグ製品に係る一連のリコールに関し、2億ドルの罰金を科すこと及びエアバッグの膨張剤として相安定化硝酸アンモニウムを使用するインフレータの製造と販売を段階的に廃止することについての指令に従うことに合意した(NHTSA Press Release, Nov 3, 2015)。

Ⅲ. インフレータの技術進化：タカタのエアバッグ開発

1. 自動車用エアバッグのメカニズム

自動車の衝突安全に関する取り組みは1940年代頃からメルセデス・ベンツ社によって行われてきた(自動車技術研究会, 2010)。自動車用のエアバッグは交通事故の多発に伴い、1950年代にGMやFordが基礎的な開発を開始したことに始まるとされる(市野他, 2002, p. 281)。日本での自動車用エアバッグ技術は小堀保三郎により発案され、1967年にイトン社により実用化された(自動車技術会, 2008)。自動車用エアバッグは、そもそも3点式シートベルトと組み合わせたシステム、すなわち補助拘束装置として商品化されたものであり、シートベルトと併用することで効果を示す設計となっている。しかしながら、アメリカでは1984年までシートベルトの装着義務がなく、エアバッグに依存した衝突安全対策であったこともあり、1991年からエアバッグを運転席に装備することが義務づけられた(Anurag, 2012)。

自動車用エアバッグを構成する部品は、衝突を検知する加速度センサー、センサーの信号を元にエアバッグに点火信号を送るelectronic control unit (ECU)、ガスを発生させるインフレータ(ガス発生装置)、インフレータからガスを瞬間的に供給させて展開し乗員を拘束するバッグ、それを折りたたんだ状態で覆うカバーからなる(水野, 2018, p. 152)。衝突時に瞬時にバッグを展開させる時間はほんの僅か(約0.03秒)であり、展開に際して瞬間的な速度が要求されるため、ガス発生剤(プロペラント)と呼ばれる火薬を燃焼させ、その燃焼ガスにより展開するシステムがインフレータに採用されている⁽⁶⁾。バッグの生地についていえば、一般的には薄いナイロン素材で製造され、自動車のハンドルまたはダッシュボード内に折りたたまれる。なお、エアバッグが膨張した後にバッグは速

やかに収縮することも窒息を回避する安全性において重要である。

2. エアバッグ用プロペラントの技術進化

自動車用エアバッグのインフレーターにおけるガス発生剤（プロペラント）の原料として、初期にはアジ化ナトリウム（Sodium Azide； NaN_3 ）が用いられてきた（火薬学会，1999）。燃焼ガスは主に窒素であり，燃焼ガスがクリーンであることからガス発生剤として広く普及したものの，アジ化ナトリウム自体に毒性があることに加え，銅と反応して鋭敏な爆発物（アジ化銅）を発生させるなどの課題を有していたため，次世代のガス発生剤の研究が進められた（中原他，2014）。また，従来のインフレータの課題として，小型軽量化の限界，エアバッグによる加害性⁽⁷⁾，原価低減の限界があり，ガス発生剤の危険性を含めた4点からもエアバッグ用インフレータの開発・改良が進められた（市野他，2002）。

次世代型のガス発生剤の原料には，アミノテトラゾール等のテトラゾール類，トリアゾール類，グアニジン誘導体がある（永山，2016）。これらの物質は構造中に炭素を含むため，金属硝酸塩類や硝酸ストロンチウムを酸化剤として点火することにより，完全酸化させている。また，酸化剤として硝酸アンモニウム（Ammonium Nitrate； NH_4NO_3 ）が用いられている。硝酸アンモニウムは白色の酸化剤であり，硝酸とアンモニアの中和反応により製造される。硝酸アンモニウムは構造中に酸素を多く含むため，酸素バランスが高く，全てがガス化することから残渣が発生せずガス発生量も多い。何より，欧米では窒素源として肥料に用いられてきたように，コスト面で利点があるだけでなく，燃焼ガスがクリーンであることも利点の一つである。

しかしながら，硝酸アンモニウムを自動車用エアバッグのガス発生剤として用いる場合には，いくつかの問題点を抱えている⁽⁸⁾（永山，2016）。第1に，火薬・爆薬の原料として利用できる性質を有している点である。記憶に新しいところでは，2020年8月に起こったレバノン・ベイルートでの爆発事故のように，貯蔵時に爆発事故を起こしたケースが多い⁽⁹⁾。また，硝酸アンモニウムによる爆発事故をヒントにこれを主材とした爆薬が工業的に数多く開発されているように，窒素肥料と産業用爆薬にデュアルユース（軍民両用）可能な原料でもある（中村，2017）。

第2の問題点は，硝酸アンモニウムが高い吸湿性を有している点である。そもそも硝酸アンモニウムは常温で放置した際には表面が吸湿し固化し，相対湿度65%以上の条件下に放置しておくと徐々に潮解する。自動車用エアバッグのガス発生剤として使用する場合にはペレット成型して用いられるが，ガス発生剤成型後に潮解および乾燥が繰り返し起これば硝酸アンモニウムが他の組成物と分離し粉状化する可能性がある（永山，2016，p. 4）。

第3の問題点は、相転移と呼ばれる現象である。硝酸アンモニウムは、 -18.0°C 、 32°C 、 84°C 、 125°C 付近で固相間相転移を起こし、結晶構造が変化し体積が変化する（Brown and McLaren, 1962）。特に、相転移を起こす 32°C 付近の温度は夏季の自然環境下において結晶構造が常に変化していると考えられ、相転移による体積変化が生じた結果、ペレットのひび割れや粉状化が発生する可能性がある。

このように、吸湿や相転移によって粉状化した場合、ガス発生剤の表面積が大幅に増加するため、燃焼時の時間あたり発生ガス量が増加し、インフレーター内圧が過度に上昇する。内圧の上昇は更なる燃焼速度の増加（正のフィードバック）を引き起こすため、エアバッグ装置全体の破損にも繋がりかねない。タカタ製エアバッグの大規模リコールの原因の一つが吸湿によるガス発生剤の粉状化に由来すると指摘されていた（『日本経済新聞』2016年2月24日付）。

3. タカタ製インフレータの競争優位性

タカタは1933（昭和8）年に高田武三氏が滋賀県彦根市で創業した企業であり、元々は繊維メーカーであった。琵琶湖の豊かな水でもともと紡績業が盛んな地でパラシュートの材料などを製造し、第2次大戦中には日本軍へ供給していた。エアバッグの生地をコンパクトに折り畳みかつ瞬時に展開する技術のルーツはここにある。シートベルト（自動車部品）を造るきっかけは武三氏が米国で視察した空軍基地でパイロットが乗る車のシートベルトを目にしたことである⁽¹⁰⁾。2代目の高田重一郎氏はホンダ創業者の本田宗一郎氏に直談判し、設計段階から参加してシートベルトを搭載したホンダ車が発売となった⁽¹¹⁾。その後、チャイルドシート、エアバッグ関連、エアベルトなどを先行して開発（多角化）し、同業も買収してタカタのエアバッグとシートベルトの世界シェアは約2割を占め「世界規模での調達に欠かせない優良サプライヤー」になった（以上『日本経済新聞』2017年5月22日付朝刊より）。

タカタのインフレーター製造は、1980年代後半に設立された2つの合弁会社から始まった。ひとつはドイツのバイエルン・ケミー社と契約した合弁会社であり、ジョージア州ラグランジュで運転席側インフレータの製造を担当した。もうひとつは、ワシントン州モーゼスレイクにあるRocket Researchという組織で、乗客用インフレータの設計と製造を担当した。その後、2つの合弁会社はタカタが完全に所有および運営するようになった（Takata, 2016, p. 2）。

前述のように、従来アジ化ナトリウムがインフレーターに用いられていたもののその危険性が指摘されており、タカタをはじめ競合他社も代替する化学物質を探索し始めた。1994年にタカタの科学者である Paresh Khandhandia が、中毒性がなく喘息に苦しめられるこ

図表5 硝酸アンモニウムとPSANの違い

化合物	硝酸アンモニウム	相安定化硝酸アンモニウム (PSAN)
主な用途	硝酸油剤爆薬 (ANFO)、ロケット用固体推進剤の酸化剤、窒素肥料	インフレーターへのガス発生剤
製造法	硝酸とアンモニアの化学反応	硝酸アンモニウムと硝酸カリウムの混合液から造る共結晶を再結晶
相転移	-18, 32, 84, 125℃で相転移し、結晶構造が変わる	119℃以下では結晶相が安定する
吸湿性	高い	高い

(出所) 清水直茂 (2015)「吸湿後の破裂は「分からなかった」」『Automotive Report』。

ともない物質を用いた革新的なテトラゾールによるインフレーターを発明し、1995年に1998年モデルの車種からこの新型インフレータの搭載が企画された (Baheti et al., 2019, p. 8)。その後、1999年頃にエアバッグを膨らませるインフレータの火薬原料としてタカタは硝酸アンモニウムを使い始めた。タカタのスポークスマンであった Alby Berman によると「このブレークスルーは我々が利用できる最小でかつ最軽量のインフレーターであると同時に、製造上の安全性を著しく改善することを可能にする」(Tabuchi, 2014) とされた。コスト削減の理由というよりはむしろ、爆発力が強く、エアバッグ部品を小型にしやすく、作動しないリスクも小さいとの理由である。

ただ、上述したように、硝酸アンモニウムには吸湿性や相転移といった問題点があり、実際にタカタも1990年代末から硝酸アンモニウムに何らかの添加剤を加えたり成型に工夫したりすることによって、吸湿性や相転移を抑える技術革新を行った。その成果のひとつが2004年に開発された「相安定化硝酸アンモニウム」(phase-stabilized ammonium nitrate; 以下 PSAN) プロペラントである (図表5参照)。タカタは硝酸カリウム (KNO_3)、硝酸ストロンチウム (SN)、5,5bi-1H テトラゾールジアンモニウム塩 (BHT) などを添加剤として用いることで、硝酸アンモニウムの相転移第3フェーズ (32℃-84℃) 内に安定化させることを高めることができた (Takata, 2016, p. 9)。これによって、「タカタの PSAN 推進剤は毒性が低く、製造が安全で、ガス効率が高いため、製造と乗員の安全性を高めながら、小型で燃料効率の高い車両や車内設計に簡単に統合できる小型軽量のインフレーターが可能になった」(Takata, 2016, p. 3) ののである⁽¹²⁾。

4. PSAN 系インフレータの普及

アメリカでは、GM やホンダを含め自動車メーカーがエアバッグを搭載するようになり、

タカタを含め自動車の安全装置を製造するサプライヤーはエアバッグビジネスへ参入することになる。1988年には50万個だったエアバッグの生産が1995年までには1,300万個にまで拡大した(Rechtin et al., 1995)。そして、タカタのPSAN技術が有する競争優位性の結果として、世界の自動車メーカーは2000年以来、タカタおよびその関連会社から数億個のPSAN含有エアバッグインフレーターを購入することになった(Takata, 2016, p. 3)。

タカタは硝酸アンモニウムインフレーターのエアバッグを2000年モデルのBMW社の3車種に搭載して市場へ投入し、翌2001年にはホンダがこれらのエアバッグを全米で最も売れた2車種(アコードとシビック)合わせて746,000台以上に搭載し始めた(Baheti et al., 2019, p. 8)。同時に、タカタはGM社に行き、硝酸アンモニウムインフレーターを購入してもらうようにした。GM社のエアバッグサプライヤーであるAutoliv社の上級科学者であったLinda Rinkによると、タカタ製のインフレーターは自社製品より約30%も安価であり競争上勝てないと思ったという。

なお、エアバッグ問題が本格化する直前の2015年3月期決算では、タカタ製エアバッグの年間売上高は2,448億円、2014年の世界シェアは22%であり、当時世界1位のAutoliv社(スウェーデン)に次ぐ自動車安全部品メーカーであった(THOMSON REUTERS, Feb 2016)。

Ⅳ. ディスカッション

1. PSAN系と硝酸グアニジン系インフレーター

燃焼ガスにおける有害ガスの発生を抑制するために、アジ化ナトリウムではなく硝酸アンモニウムや硝酸グアニジンおよび酸化剤として塩基性硝酸銅を混合したガス発生剤が開発され、現在多く使用されている(中島他, 2018)。タカタは自動車用エアバッグのプロペラント開発や技術進化の過程において、有害性や中毒性といった製品安全性を高めることを考慮に入れ、硝酸アンモニウムを用いたインフレーター開発を行なった。しかしながら、タカタはPSANを開発した以降、より安全性の高い硝酸グアニジン系インフレーターの開発へ移行しなかった。

硝酸グアニジンは、PSANと同様に相転移はしないものの、その安定性は高く、現在Autoliv社(スウェーデン)やダイセル社(日本)など競合メーカーが採用している。ただし、PSANと比較して次の点において不利な点がある。第1に、PSAN系よりガス化

図表6 PSAN系と硝酸グアニジン系インフレータの比較

ガス発生剤		PSAN系	硝酸グアニジン系
主な採用メーカー		タカタ	Autoliv社、ダイセルなど
主な化合物	酸化剤	PSAN	塩基性硝酸銅、硝酸ストロンチウム
	還元剤	C ₂ H ₈ N ₁₀ のビステトラゾールアンモニウム塩などの窒素高含有アゾール系化合物	硝酸グアニジン、ニトログアニジン
特性	ガス化率	高い	普通
	燃焼速度	高い	低い
	生成ガス	主として窒素と水	主として窒素と水と二酸化炭素

(出所) 清水直茂 (2015)「吸湿後の破裂は「分からなかった」」『Automotive Report』。

率が低いことである。ガス化率とは個体のガス発生剤を化学反応させたときに気体になる比率のことであり、これが高いと少ないガス発生剤で多くの気体を作れるようになり、インフレーターを小型化しやすい。第2に、着火して化学反応後に生じる気体に二酸化炭素が出ることである(PSAN系は窒素と水のみである)(図表6参照)。

競合他社は硝酸アンモニウムインフレーターを継続的に使用することはなかった。例えば、Autoliv社の主任科学者は完全破壊実験を行った際に、「ダメだ。[硝酸アンモニウムを]用いることはできないし、今後用いるつもりもない。」(括弧内筆者注)と決定したとされる(Tabuchi, 2016)。また、タカタのライバル社であるTRW社は、硝酸アンモニウムを数年間使用し続け、もともとのリスクに対して製造上および設計上の優位性の高い技術を採用したものの、2006年にTRW社は硝酸アンモニウムを段階的に廃止し、Autoliv社が使用しているのと同じ推進剤である硝酸グアニジン(GN)を採用した(Baheti et al., 2019, p. 9)。

それでは、なぜタカタ社はPSAN系インフレーターに固執したのだろうか。これまで見てきたように、ガス発生剤の開発において、製品安全性だけでなく経済的合理性の観点から技術の深化も要請されていたのも事実である。すなわち、有害ガスの削減と同時に、エアバッグモジュールとして自動車のデザインやレイアウトの自由度を高めるための小型軽量化、そして企業のコスト競争力を高めるための原価低減の両立を図ることである。タカタの前上級副社長であったMark Lillieによると「テトラゾールは限られた量しか生産できずかつ高価であるため、この転換[硝酸アンモニウムの使用]はまさに財務的業績によって推進されたものであった。」(Tabuchi, 2014)(括弧内筆者注)とされる。

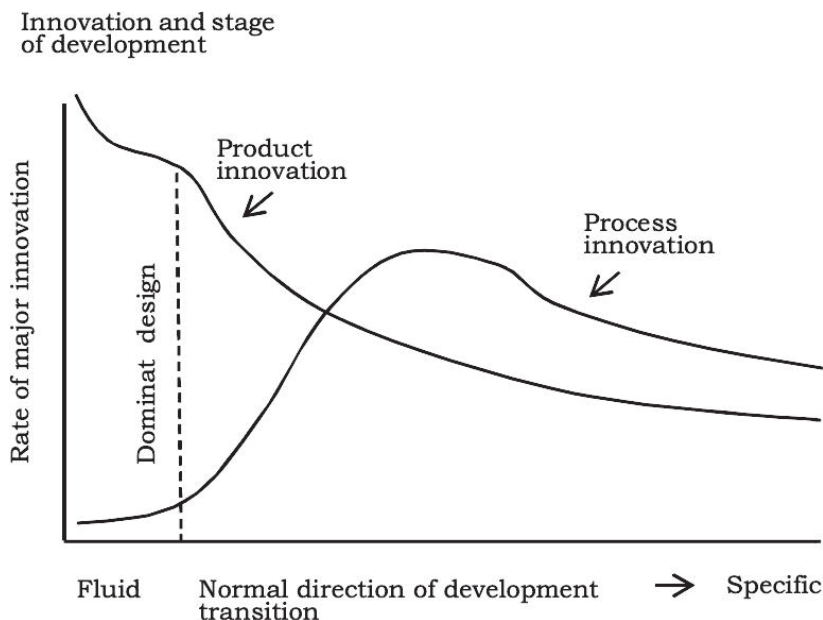
誤解を恐れずにいえば、タカタはアジ化ナトリウムの危険性(有害性、中毒性)を踏まえて、もともとテトラゾール系プロペラントを開発し、より経済性の高い硝酸アンモニウ

ムを用いたプロペラントを開発した。さらに、硝酸アンモニウムの物理的・化学的特性である吸湿性や相転移そして爆発力の累進性といった危険性を抑止するために、相安定化硝酸アンモニウム（PSAN）を開発した（Takata, 2016）。そして、PSAN 推進剤を使用したインフレータ（エアバッグモジュール）が技術的特性だけでなく、小型軽量化やコスト削減といった経済的効果を持ち合わせた結果として、2000 年以降世界の自動車メーカーが次々に導入していった。つまり、少なくとも、製品安全と競争優位性のジレンマを克服することで、PSAN 系プロペラントの開発は技術的イノベーションにおけるひとつの「ドミナントデザイン」（本命製品）になったといえなくもない。

2. 製品-工程ライフサイクル仮説

この点に関して、技術的イノベーション論の知見を踏まえると、急進的な製品イノベーションが生じる期間または技術の揺籃期は技術のドミナントデザインが起こったときに終了するといわれる（Abernathy, 1978; Anderson and Tushman, 1990; Tushman and Rosenkopf, 1992）。Abernathy (1978) によれば、製品イノベーションの発生率はドミナントデザインの出現によって不連続的に減少するとともに、それとともにプロセス（工程）イノベーションの発生率が急増するものの、イノベーションの進化段階が流動状態（fluid state）から特化状態（specific state）へ移行することによって、製品イノベーションはもとよりプロセス（工程）イノベーションも減退する（図表 7 参照）。

図表 7 Abernathy (1978) のイノベーションのダイナミクス概念図



(出所) Abernathy, W.J. (1978). *The productivity dilemma*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, p. 72.

つまり、①大きな製品イノベーションが起こる流動的段階において、②ドミナント・デザインをきっかけに工程イノベーションへと移行し、③特化状態において製品・工程ともに標準化・効率化が進む反面、技術革新が減少するという意味でシステムが硬直化していく、という「製品・工程ライフサイクル」仮説である。Abernathy (1978) の議論は、一企業レベルのイノベーションの発生率やダイナミクスを扱ったものではないものの、その理論的貢献は製品イノベーションとプロセスイノベーションがドミナントデザインの出現とその後のイノベーションの進化段階によって停滞する可能性があることを示唆した点にある。

タカタはアジ化ナトリウムに代替する技術として硝酸アンモニウムを用いた推進剤を発明し、さらに相安定化硝酸アンモニウム (PSAN) の技術革新を生み出した。しかしながら、その後は乾燥剤をつけた PSAN インフレータの開発や製造プロセスにおける不具合の低減を目指した漸進的かつ深化的なイノベーションへと移行したものの、爆発時の安全性 (金属片の飛散が少ない) が比較的高いとされる硝酸グアニジンの開発は見送られた。なるほど、ドミナントデザインが確立された後に、技術的イノベーションの性質は製品イノベーションから比較的長期間の工程イノベーションや選択された技術の漸進的な改良へとシフトするのである (Abernathy and Utterback, 1978; Ettlie and Reza, 1992; Utterback, 1994)。

それでは、タカタ社はコストや利益を重視して安全性を軽くみたのだろうか。清水 (2015) によると、タカタ社インフレータグローバルオペレーション本部顧問であった福田大蔵氏は次のように指摘したという。

「硝酸アンモニウム自体は硝酸グアニジンに比べて安いですが、PSAN にする過程で「手間がかかる」… (中略) …「コストを重視して安全性を軽く見た」とする風潮には、異論を唱えた。… (中略) …PSAN は、硝酸アンモニウムを水に溶かし、硝酸カリウムなどと混ぜて造る。均一になるように混ぜる工程や、温度や湿度などを厳密に管理するのに多くのコストが掛かる。」 (清水, 2015)

ひとつの仮説ではあるが、おそらくタカタは、PSAN がドミナントデザインとなり、その後の漸進的イノベーションや規模の経済性の追求によって、さらなるコスト削減へと結びつけようとしたのではないだろうか。しかしながら、タカタの PSAN 系インフレータの製造プロセスにおいて、インフレータのシール (密閉) やプレスの不具合、そして高温多湿下での製造など不具合を引き起こす問題点も指摘されていた (Takata, 2016; 田口, 2018)。また、タカタ社の品質保証に関する独立委員会報告によると、①品質関連の

懸念への対処, ②タカタの設計及び製造プロセスの品質確保, ③改善された管理慣行を通じた品質の促進, においてタカタ側に改善が必要であったと指摘されている⁽¹³⁾ (Ensuring Quality Across the Board, 2016, p. 9)。加えて, 安全性テストのデータ操作や製品の安全性を優先する文化を欠いていたという (Nelson, 2016)。

要するに, タカタはPSAN 開発において, 一時的には急進的な製品イノベーションを実現し競争優位性のあるドミナントデザインを確立したと認識したものの, その後の漸進的な工程イノベーションを生み出すプロセスマネジメントが不十分であった結果, 製品安全の進化もまた停滞したといっても過言ではない。

3. 自発的学習と強制学習

自動車用エアバッグに限らず, シートベルト, チャイルドシート, ABS などの安全装置(装備)に関わる歴史は, 製品安全が多様な主体に加え, 多様な制度, また代替的な物的存在の間で繰り返される社会的相互作用の反映であることを示している (Lemov, 2015; 原, 2016)。そもそも, アメリカ合衆国において, 自動車用安全装置の設置義務化に対して自動車業界の抵抗が大きかったとされ, 自動車産業における製品安全や安全規制は製造企業のイニシアチブによって始められたとはいえず, 自動車産業外の多様な主体の動きが製品安全の制度化に寄与したといえる⁽¹⁴⁾ (原, 2016, pp. 95-96)。

自動車用エアバッグ技術はそれが使用される国の規制によって制限され, アメリカではNHTSA による大きな関与, 規制, 監視が自動車メーカーに対して行われる。エアバッグ(インフレーター)に関する製品安全仕様も広範な品質テストを受けているものの, その大部分はタカタ(サプライヤー)自体ではなく, 自動車メーカー, 規制当局および業界団体によって提供された仕様によって推進されている (Ensuring Quality Across the Board, 2016, p. 10)。

ただし, エアバッグ技術の仕様が, 当該製造企業の主体的な活動よりはむしろ外部環境によって規定される側面が大きいとしても, サプライヤーの自主的かつ持続的な製品安全や製品品質に対する改善活動は否定されるものではない。Haunschild and Rhee (2004) は, 自発的意志が非自発的行動よりも組織学習に正の効果があり, 自発的な学習が非自発的学習よりも将来のエラーが少ないことを示した (Haunschild and Rhee, 2004, p. 1556)。たしかに, 道路運送車両法の改正以前は, 自動車部品・装置メーカーはリコール届出義務・報告義務がなく, 立入検査などへの受け入れ義務もなかった。しかしながら, タカタがNHTSA から強制リコールを勧告されたことは必ずしもその後のリコールやエラーの減少をもたらさなかった。非自発的学習は組織に対してより浅い学習とより防御的な反応(規制志向的態度)をもたらす可能性があるのである (Marcus, 1998)。

また、自動車用エアバッグの製品特性として、交通事故等による衝撃がなければ作動しないこと、製品が作動するまでの期間が不確定であること、製品が保管される状況がユーザーの使用状況や自然環境によって左右すること、製品不具合の判断をするにも作動後に破壊されて回収されること（再現性が困難）、使用期限がなく定期点検や期限後の回収などが行われないことなどが挙げられる。つまり、自動車用エアバッグの使用や作動における予測可能性は低いのであり、それはエアバッグ（インフレーター）開発や製造プロセスにおける不確実性を高めることになる。この点からも、自発的な学習にもとづいた製品の安全性の作り込み活動は支持されるといえる。

V. おわりに

本稿では、部品や装置の共通化によって、自動車のリコール対象台数が大幅に増加していることに着目し、タカタ製エアバッグ問題の不具合発生と大量リコールのケースを踏まえて、なぜリコールが拡大し不具合対応が進まなかったかについて考究した。本稿の結論として、エアバッグ用インフレータの技術進化において、競争優位性を持ったドミナントデザインの出現および製品・工程ライフサイクル説によって製品イノベーションが停滞し、しかも非自発的学習が継続することによって製造工程管理が改善されなかった結果、製品不具合の是正が進展せず、リコール対象台数が拡大したのではないかという仮説を提示する。もちろん、取り上げたケースの特異性、すなわち自動車装置メーカーの不具合は部品や装置の共通化が進展している自動車業界でのリコール対象台数の大幅な拡大に関係すること、を考慮すべきであり、その点は本研究の大きな限界といえる。

自動車による交通事故の被害を抑制するために開発されたエアバッグは、これまで世界上で多くの人命を救ってきた⁽¹⁵⁾。その一方で、ガス発生剤の設計や製造での不具合あるいは保管状況いかにによって人命が失われることもあるのは皮肉な結果である。Druckerは、企業の目的を社会との関係から「顧客の創造」とであると定義し、その手段としてマーケティングとイノベーションを位置づけた（Drucker, 1954）。イノベーションは経営目標の一つ（手段）であって企業（事業）の目的ではないにもかかわらず、近事の経営理論において、乱気流の環境変化に対応するためにそれは重視され、特に急進的イノベーションそして企業業績向上の観点から強調されている。しかしながら、技術的イノベーションが進展する一方で、製品開発に向けた組織プロセスや環境との相互作用において顧客からのグッドウィルを喪失させかねない事象が発生していることは肝に銘じるべきであろう。

最後に、本稿で十分取り上げられなかった課題として1点指摘しておきたい。それは、環境変化への対応が製品開発に影響を与える可能性である。例えば、自動車業界における構造変化、エアバッグ業界の成熟化が指摘されており、アメリカの自動車メーカーは今後数年間で垂直統合（内製化）が進展すると現在のエアバッグメーカーの収益と市場シェアの低下につながる可能性がある（Baheti et al., 2019, pp. 9-10）。加えて、テクノロジーの進化により、現在自動車業界において電子制御による安全システムや自動衝突回避装置等が発展しており、電子式安定制御装置に対して自動車製造各社は自発的に取り入れている（Lemov, 2015, pp. 208-210）。現時点では、その安全性能の限界から交通死亡事故発生率がゼロではないものの、技術の進展により交通事故自体を回避することが可能になれば、エアバッグ技術そのものが駆逐されることにもつながる。つまり、イノベーションのジレンマが示唆するように（Christensen, 1998）、破壊的技術（自動運転技術）の台頭に対する組織的対応の観点からすると、エアバッグに固執しブランド維持のために不具合は正やりコール対応が後手後手に回ったという可能性も考えられるのである。

[謝辞] 本稿は、平成 29～令和 2 年度科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）基盤研究（C）（一般）（課題番号：17K03892）による助成を受けた研究成果の一部である。

注

- (1) この点について、田口（2018）は、タカタ社の大株主であるホンダとのつながり（ガバナンス）の観点から影響があったのではないかと指摘している。
- (2) 独立委員会は、トヨタ自動車の呼びかけで 2014 年 12 月に発足しており、ホンダや日産自動車のほか、アメリカのゼネラルモーターズやドイツの BMW などがメンバーになっており、ロケット開発を手がけ、火薬に詳しいアメリカのオービタル ATK 社に調査を依頼しており、NHTSA のデビッド・ケリー元長官代理を責任者においていた。
- (3) Baheti et al.（2019）によると、タカタは 2008 年 9 月にワシントン州モーゼズレイク工場での製造上の問題により、2000 年から 2002 年にかけて欠陥のある推進剤が生産されたと判断している。
- (4) 日本のリコール制度は保安基準を満たさない恐れがあり、原因がはっきりした段階でメーカーが届け出る仕組みであるが、米国では安全基準を満たさない場合は原因が不明でもすべてリコールとして処理される。『日本経済新聞』2014 年 12 月 4 日付。
- (5) 拒否や虚偽報告をした場合、企業には最高 2 億円の罰金、個人には 1 年以下の懲役か 300 万円以下の罰金を科されるようになった。『日本経済新聞』2015 年 6 月 17 日付。
- (6) インフレーターの種類は複数あり、ディスク型の容器内で個体のガス発生剤を燃焼させるパイロ式、高圧ガスを耐圧容器に充填したストアードアガス式、シリンダ型の容器を用いガス発生剤と圧縮剤の両方を組み合わせたハイブリッド式がある。
- (7) 米国 NHTSA の集計では、1987 年から 2017 年までに 50,457 名の人名がエアバッグによって助かったが、191 名（内 67 名が運転席で 124 名が助手席）がエアバッグによって死亡されたとされている。
- (8) 硝酸アンモニウムはロケットの推進薬にも一部用いられる高エネルギー物質でもある。酸化性物質であり、可燃物と混合すると爆発性を示すために、輸送や保存に関しては、国連勧告や船舶安全法、

消防法などによる酸化性物質としての規制がある。中村 (2107), p. 20.

- (9) このほかにも、硝酸アンモニウムによる爆発事故の事例は数多く検出される。例えば、1921年9月にドイツ・オッパウにある化学工場で硝酸と硫酸アンモニウムの混合物の吸湿固化したものを粉碎するために、ダイナマイトにより爆破したところ、4,500tが爆発し、死者・行方不明者約700名の大事故が発生している。中村順 (2017)「硝酸アンモニウムの爆発事故」『セイフティ・エンジニアリング』第44巻(3)188号。
- (10) 当時の米空軍は朝鮮戦争で亡くなる戦闘機のパイロットよりも自動車事故で命を失うパイロットが多く、シートベルトを装着するようになっていたという。
- (11) 1987年にホンダ車におけるエアバッグの開発、量産に成功したのは当時本田技術研究所の小林三郎である。ホンダでもエアバッグの開発(イノベーション)は反対派が圧倒的に強かったといわれる。小林三郎 (2012)『ホンダ イノベーションの神髄』, 日経 BP 社。
- (12) 2004年式 PSAN プロペラントは、化合物のガス効率が92%で、タカタのアジ化ナトリウムベースの推進剤よりも130%向上した。また、一酸化炭素、一酸化窒素、二酸化窒素などのガス状排出物の排出量が少なかった。Takata (2016) p. 9.
- (13) タカタのデザインレビュープロセスでの「条件付き承認」が多かったことが指摘されており、特定の設計レビューにおいてマイルストーンの一部である問題の一部が完全に対処されていなかったとされる。Ensuring Quality Across the Board (2016) p. 10.
- (14) 最近では自動運転車走行システムも発展しており、そもそも自動車の製品安全(安全責任)に関して自動運転車走行システムの要素を提供する諸主体(企業や行政組織)で分担しなければならない。つまり、誰がどのように安全を形成するのか、事故の責任を誰がどの程度担うのかについての問題である。その際、「ギャランティ体制」と「ベストエフォート体制」という2つの考え方がある。前者は特定の主体がシステム全体に責任を持ち、機能を保証するという体制であり、後者は関係者がそれぞれの担当する部分とシステムの機能維持にできるだけ努力をするが誰もシステム全体の機能を保証はしないという体制である。自動車という製品の安全だけに限れば、機能間分業や組織間分業の下で開発・生産・販売されているものの、自動車製造企業がその安全品質を保証してきた。問題があればリコールを自動車製造企業が実施し、場合によっては自動車製造企業に対して罰金などが科せられるという「ギャランティ体制」であった。原 (2016) p. 100.
- (15) 内閣府が発行している『交通安全白書』によると、2014年度には国内の交通事故による致死率が0.29%となっており、2004年から減少しているものの、近年ではその低下率は横ばいとなっている。エアバッグ装着車率は2005年までにほぼ100%、ABS装着車率は2013年に98.1まで上昇したが、シートベルト着用者率は近年90%台前半で横ばい状態にある。これまで、シートベルト着用者率やエアバッグ装着車率等の向上が自動車乗車中の死者数減少に大きく寄与していたが、シートベルト着用者率がかつてに比べ伸び悩んでいることのほか、エアバッグ等装着車率が頭打ちとなっていることが死者数の減少幅が縮小している一因となっていると考えられている。

参考文献

- Abernathy, W. J. (1978). *The Productivity Dilemma*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Abernathy, W. J., and Utterback, J. M. (1978). Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 80(7): 40-47.
- Anderson, P., and Tushman, M. L. (1990). Technological discontinuities and dominant designs: A cyclical model of technological change. *Administrative Science Quarterly*, 35: 604-633.
- Anurag, P. (2012). 「米国における交通安全政策と規制の変遷 (1950年~2010年)」『7ヶ国における交通安全政策と規制の変遷 (1950年~2010年)』.

- Baheti, S., Moffitt, B., Prunchnik, W., and O'Rourke, J S., IV. (2019). Honda motor company: Communication and the Takata Airbag Crisis(A), " *Journal of Organizational Behavior Education*, 12.
- Brown, R. N., and McLaren, A. C. (1962). On the mechanism of the thermal transformations in solid ammonium nitrate, *Proceedings of The Royal Society of London A*, Vol. 266, No. 1326: 329-343.
- Christensen, C. M. (1998). *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Boston: Harvard Business School Press.
- Drucker, P. F. (1954). *The Practice of Management*, HarperCollins Publishers.
- Ensuring Quality Across the Board (2016). *The Report of The Independent Takata Corporation Quality Assurance Panel*, pp. 1-49.
- Ettlie, J. E., and Reza, E. M. (1992). Organizational integration and process innovation, *Academy of Management Journal*, 35: 795-827.
- 藤本隆宏 (2001) 『生産マネジメント入門 I』 日本経済新聞出版社。
- 原拓志 (2016) 「安全と製品開発に関する試論」『国民経済雑誌』 214(1): 93-110.
- Haunschild, P. R., and M. Rhee (2004). The role of volition in organizational learning: the case of automotive product recalls, *Management Science*, Vol. 50, No. 11: 1545-1560.
- 市野昌彬・横山拓志・小田慎吾・岩井保範 (2002) 「新規運転席エアバッグ (自動車) 用インフレーター (98 パイロ) の開発」『日本化学会誌』 No. 3, pp. 281-288.
- Independent Monitor of Takata and the Coordinated Remedy Program, *Update on the State of the Takata Airbag Recalls*, January 23, 2020, p. 31.
 〈<http://www.takatamonitor.org/>〉 (最終アクセス: 2020 年 11 月 30 日)
- 伊藤進 (2012) 「自動車大量リコール問題に関する考察: 米国でのトヨタ自動車大量リコール問題に焦点をあてて」『京都マネジメント・レビュー』 第 20 号: 17-33.
- 伊藤進 (2013) 「リコール問題大型化と利益の影響 - 米国トヨタ自動車の 2009 年 11 月～2010 年 2 月に至る大量リコールに焦点を当てて -」『京都マネジメント・レビュー』 第 22 号: 1-17.
- 自動車技術会 (2008) 『自動車技術ハンドブック』 第 2 版, 精興社。
- 自動車技術研究会 (2010) 『自動車の百科事典』 第 1 版, 丸善。
- 火薬学会 (1999) 『エネルギー物質ハンドブック』 共立出版。
- 小林三郎 (2012) 『ホンダ イノベーションの神髄』, 日経 BP 社。
- 河野義昭 (2019) 「複合技術製品のサプライヤの製造物責任についての考察」『新 PL 研究』 第 4 巻。
- 国土交通省自動車局 (2014) 「タカタ製エアバッグ問題について」 Press Release.
- 国土交通省自動車局 (2016) 「タカタ製エアバッグ・インフレーターに係わるリコールの拡大スケジュールについて」 Press Release.
- 国土交通省自動車局 (2017) 「タカタ製エアバッグ搭載車を車検で有効期間を更新しない措置の概要について」 Press Release.
- Lemov, M. R. (2015). *Car Safety Wars: One Hundred Years of Technology, Politics, and Death*, Madison and Teaneck: Fairleigh Dickinson University Press.
- Marcus, A. A. (1988). Implementing externally induced innovations: A comparison of rule-bound and autonomous approaches. *Academy of Management Journal*, 31: 235-256.
- 水野幸治 (2018) 『自動車の衝突安全 基礎論』 名古屋大学出版会。
- 内閣府 (2015) 『平成 27 年版交通安全白書』。
- 中原正二・蓮江和夫・甲賀誠・伊達新吾 (2014) 『新編火薬学概論』 第 1 版, 産業図書。

- 中村順 (2017) 「硝酸アンモニウムの爆発事故」『セイフティ・エンジニアリング』第44巻(3)188号。
- 永山清一郎 (2016) 「ガス発生剤用ポリマー含有相安定化硝酸アンモニウム粒子の創製」『福岡大学博士論文』。
- Nelson, B. (2016). Total Recall: Internal Documents Detail Takata's Broken Safety Culture and the Need for a More Effective Recall Process APPENDUM, " *OFFICE OF OVERSIGHT AND INVESTIGATIONS MINORITY STAFF REPORT*.
- NHTSA Press Releases, November 3, 2015. <<https://www.nhtsa.gov/press-releases/us-dot-imposes-largest-civil-penalty-nhtsa-history-takata-violating-motor-vehicle>> (最終アクセス: 2020年11月30日)
- 『日本経済新聞』朝刊, 2015年6月17日付。
- 『日本経済新聞』朝刊, 2016年2月24日付。
- 『日本経済新聞』朝刊, 2017年5月22日付。
- 『日本経済新聞』夕刊, 2017年6月26日付。
- 『日本経済新聞』朝刊, 2017年6月28日付。
- Rechtin, Mark. (1995). Risky Business: As Demand Rises, TRW Struggles to Make Airbags Safely. *Automotive News*, Published: 22 May 1995.
- <<http://www.autonews.com/article/19950522/ANA/505220707/risky-business:as-demand-rises-trw-struggles-to-make-airbags-safely>> (最終アクセス: 2020年11月30日)
- 清水直茂 (2015) 「吸湿後の破裂は「分からなかった」」『Automotive Report』。
- Tabuchi, Hiroko. (2014). Takata's Switch to Cheaper Airbag Propellant Is at Center of Crisis. *The New York Times*, Published 19 November 2014.
- <<https://www.nytimes.com/2014/11/20/business/takatas-switch-to-cheaper-airbag-propellant-is-at-center-of-crisis.html>> (最終アクセス: 2020年11月30日)
- Tabuchi, Hiroko. (2016). A Cheaper Airbag, and Takata's Road to a Deadly Crisis. *The New York Times*, Published: 26 August 2016.
- <<https://www.nytimes.com/2016/08/27/business/takata-airbag-recallcrisis.html?mcubz=3>> (最終アクセス: 2020年11月30日)
- 田口敏行 (2018) 「エアバッグのタカタの破綻問題と教訓: ガバナンス体制とサプライチェーンを対象の中心にして」『静岡産業大学情報学部研究紀要』No. 20.
- Takata (2016). *Report of TK Holdings Inc. pursuant to paragraph 33. a of the November 3, 2015 consent order*.
- THOMSON REUTERS (2016). Takata's air bag market share, THOMSON REUTERS. Published 2 Feb 2016. <<https://blogs.thomsonreuters.com/answeron/takatas-air-bag-market-share/>> (最終アクセス: 2020年11月30日)
- Tushman, M. L., and Rosenkopf, L. (1992). Organizational determinants of technological change: Toward a sociology of technological evolution. *Research in Organizational Behavior*, 14: 311-347.
- 植木裕佳里 (2018) 「タカタ製エアバッグのリコール問題に関する考察」『技術倫理研究』第15巻: 61-68.
- Utterback, J. (1994). *Mastering The Dynamics of Innovation*. Boston: Harvard Business School Press.
- 山越伸浩 (2017) 「自動車メーカー等の不祥事に対応した道路運送車両法の改正 - 不正行為等の再発防止に向けた取組 - 」『立法と調査』No. 391.

吉田栄介（2007）「高品質と低コストのジレンマ：自動車リコール原因分析による考察」『三田商学研究』 Vol. 49, No. 7: 47-61.

