

— 学術文献にみる自動車内装および HMI 研究開発とその動向 —

VALUENEX 株式会社
〒116-0002 東京都文京区小日向 4-5-16
ツインヒルズ茗荷谷
TEL: 03-6902-9834

*弊社では大規模データ解析の ASP サービス (TechRadar および DocRadar) ならびに技術調査業務を行っております。ご関心のある方は上記連絡先までご連絡ください。

*本レポートに記載した内容および図表の全ての著作権は VALUENEX 株式会社が保有します。無断転載は禁止いたします。

1. はじめに

自動車を取り巻く環境が大きく変化している。自動車が誕生したのは今から 200 年以上前の 1769 年とされており、最初は蒸気機関で動くものであった。その後、1800 年代終盤にガソリンエンジン車が發明され、1900 年代になると自動車の量産化が進められた。そして近年ではハイブリッド自動車や燃料電池自動車、電気自動車などといったパワートレインの多様化による環境負荷低減、さらには高度交通管制システム (ITS) や車車間通信、コネクテッドカーなど、外部との情報の授受に係る技術の高度化も進んでいる。また高度運転支援システム (ADAS) や自動運転技術によって、自動車の制御が人の手を離れようとしている。

このような自動車の変革は、ユーザーにとって特に身近な自動車内装および自動車とドライバーのインターフェース (以下、内装とする) にも影響を与えるものと考えられる。自動車内装に関してはデザイン的な要素も多いが、技術的に進化すべき点も多いものと考えられる。そこで、技術的な観点から自動車内装に対し、どのような研究開発がなされており、それがどのように変化してきたかを知るために、学術文献をリソースとした分析を試みた。

自動車内装に係る学術文献の収集にはエルゼビア出版の学術文献データベース Scopus を利用した。収集対象としては、タイトル、要約あるいはキーワード中に自動車に係るキーワードを含み、かつ内装やキャビ

ンなどのキーワードが共起するものに加え、ドライバーや人とインターフェース、インタラクションやコミュニケーション、HMI、人間工学などが共起するものとした。収集対象は 2001 年以降に発表された英語で記載された Article および Conference Paper とした。該当する論文数は概ね 8000 件であった。

2. 自動車内装に関するマクロ動向

自動車内装に関する論文発表数の年次推移を Fig.1 に示す。本稿では 2001 年以降の学術文献を収集しているが、収集を開始した 2001 年時点で既に年間 200 件以上の論文が発表されている。その後論文数は増加傾向を示すが 2011 年頃から飽和する傾向にある。

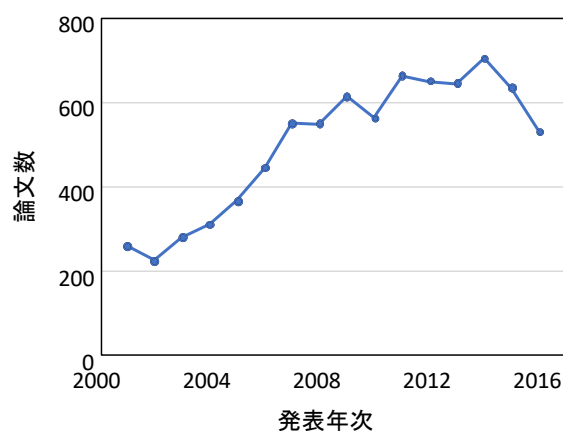


Fig.1 自動車内装関連論文数の推移

国別に見た場合の研究論文数上位 10 か国を Fig. 2 に示す。図中、2001 年から 2012 年までの論文数を青で、それ以降の論文数を赤で示した。また図中の括弧内の数字は 2013 年以降の論文比率 (%) である。

国別に見た場合、論文数が圧倒的に多いのは米国であり、次いでドイツ、中国、日本、イギリスとなっている。近年の論文比率でみると、中国がその数を急速に伸ばしていることが分かる。また韓国やイギリスなども比率が高くなっている。なお、Scopus の集計機能による組織別ランキングでは、最も論文数が多いのは Ford Motor (2001 年以降で 127 件) となっており、ついでミュンヘン工科大学 (111 件)、General Motors (90 件)、チャルマース工科大学 (90 件)、セントラルフロリダ大学 (77 件) などとなっている。収集した論文が自動車内装ということもあるが、民間企業が上位に多く登場するケースは珍しい。日本に関しては東京大学が 42 件で最も多い。

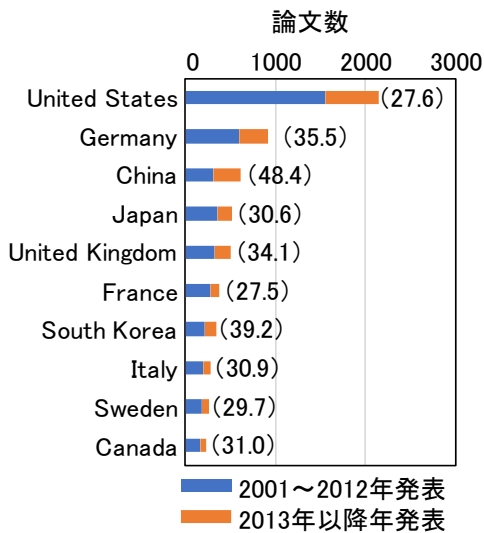


Fig. 2 自動車内装関連研究における主要国

3. 自動車内装関連論文のクラスター解析

自動車内装に関連する研究の全体像を俯瞰するため、収集した学術文献のクラスター解析を行った。クラスター解析では解析対象とする文書情報の特徴量を評価し、文書相互の類似度に基づき可視化している。類似度評価には論文のタイトルおよび要約を用いた。クラスター解析結果を Fig. 3 に示す。

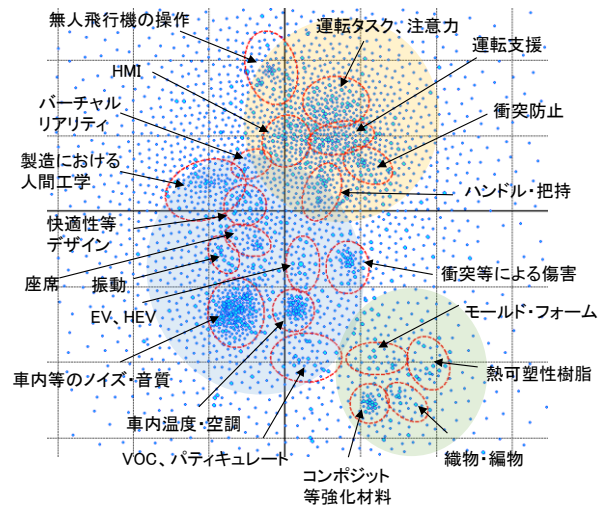


Fig. 3 自動車内装関連論文のクラスター解析結果

Fig.3 中、クラスターが密集している周囲を赤の破線で、また複数の密集領域を色つきの影で囲っているが、これはおおよその研究領域を識別するためのアイキャッチである。

クラスター解析における主要な密集領域は大別して 3 つの領域に分かれている。クラスター解析の中央より上側にはヒューマン・マシン・インターフェース (HMI) を中心とした研究が見られ、ジェスチャー認識インターフェースやシミュレータを利用した脳パターンの視覚運動負荷分類などに関する研究が含まれている。HMI と近接する研究領域としては、運転タスクやドライバーの注意力に関連する研究、運転支援や衝突防止、あるいはハンドル等の把持に係る研究などがある。

中央より下側には車内環境に係る研究が集積しており、とくに車内のノイズ・音質と空調に関連する研究が多いことが分かる。そのほか、車内における有機性揮発物質 (VOC) やパティキュレートなどに係る研究や振動に係る研究、快適性のデザインに関する研究などが見られる。

解析結果右下には内装に係る材料研究が見られ、例えば機械的強度向上を目的とした複合材料や織物・編物、熱硬化性樹脂などがある。また、関連して衝突による障害に係る研究も見られる。

自動車内装に係る研究開発トレンドを、クラスター解析結果を用いて可視化した結果を Fig.4 に示す。な

お、Fig.4では学術文献の密度が高い領域を赤で示し、順次黄色、緑、青の順に低くなっている。また各年次区間の比較を行いやすくするため、最大値を統一している。

自動車内装に関連する研究推移をみると、2000年代前半では車内のノイズや音響に関する研究が多く行われていたことが分かる。その後2000年代後半になると、HMIを中心としたインターフェース関連研究も活発になってくる。さらに2009年以降ではADASやステアリングに関連した研究も多くなっている。なお、ノイズや空調といった車内環境の研究については継続して論文発表がなされており、快適性とインターフェースの両面で研究が進められていることになる。

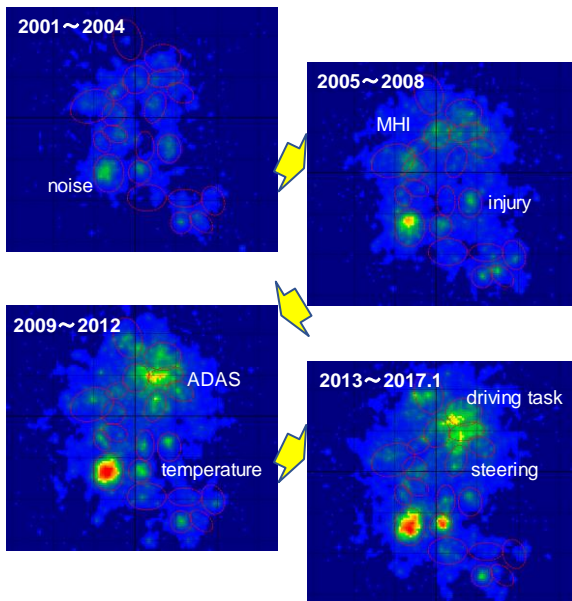


Fig.4 クラスタ解析による研究トレンドの可視化

自動車内装に係る研究領域中、継続的な研究がなされているノイズや音響領域での年次による質的な違いを明らかにするため、2012年までとそれ以降のキーワードの出現頻度の違いを確認した。その結果、当該領域では electric vehicle や NVH (Noise, Vibration, Harshness)、ANC (Active Noise Control) などのキーワードが2013年以降順位を急激に上げており、パワートレインの多様化や快適な車内空間のための研究が行われていることが分かった。

同様に空調領域についてキーワードの変化を確認すると、fuel consumption や electric vehicle、solar radiation などのキーワードが順位を上げており、パワートレインの変化への対応に加え、空調によるエネルギー消費の抑制に係る研究が行われていることが分かった。

HMI 領域におけるキーワード変化に着目すると、近年では gesture recognition や mobile device、graphical user interface などが上昇している。スマートフォンの普及などにより、自動車の HMI にも変化が訪れるものと考えられる。

4. 主要な自動車メーカーの研究領域

自動車内装に関連する論文を発表している主要な自動車メーカーを Fig.5 に、またその研究領域を Fig.6 に示す。

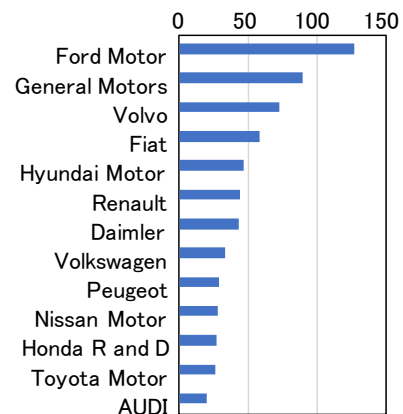


Fig.5 自動車内装論文における主要な自動車メーカー

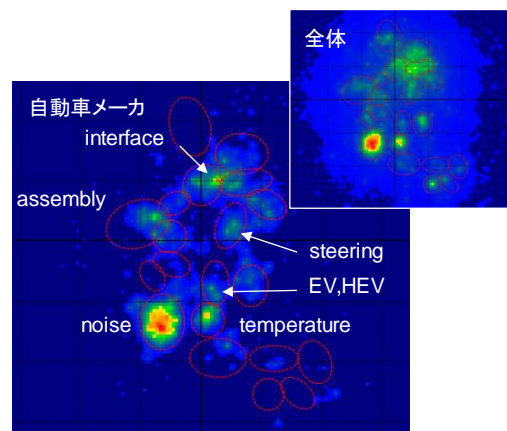


Fig.6 自動車メーカーによる研究領域

学術文献数で見た場合の主要な自動車メーカーでは Ford、GM と米国の企業が上位 2 社を占めており、これに続くのは Volvo、Fiat、Renault などの欧州系メーカーである。アジア勢では現代自動車や日産や本田技研、トヨタなど日本企業より上位に登場している。

自動車メーカーによる研究領域で特徴的であるのは、材料系の研究（クラスター解析結果右下）が少なく、ノイズや空調などの快適性に関する研究が多くなっていることである。またマシンインターフェースに関する研究も盛んである。上位 3 社の研究領域について以下に概説する。

(1) Ford Motor

自動車メーカー中、最も論文数が多いのが Ford である。Ford の研究はノイズ・音質に関わる領域と、衝突による障害に関連した領域で多くなっている。

(2) GM

GM の研究領域も Ford と同様、ノイズ・音質関係と空調関連が多くなっている。そのほかではステアリングに関する研究なども見られる。

(3) Volvo

Volvo に関しては上位 2 社とは異なり、HMI や衝突警告などの領域が多くなっている。HMI 研究に関しては、Fiat や BMW、Robert Bosch などとの共著論文が複数見られる。HMI 領域では Adaptive Integrate Driver Vehicle Interface (AIDE) などのキーワードが見られるが、これは欧州第 6 次フレームワーク (FP6) のプロジェクトであり、複数の企業・研究機関からなる先進的なドライバーアシスタンスシステム研究開発を目標としたものであった。

5. 自動車における変革と研究開発

自動車で生じている変革と内装の関連について明らかにするため、以下のキーワードに着目した。

- Electric Vehicle
- Infotainment/ Entertainment
- Augment/Virtual Reality
- Autonomous Vechile/Drive

今回収集した論文中、各キーワードと共起する論文数推移を Fig 7 に示す。

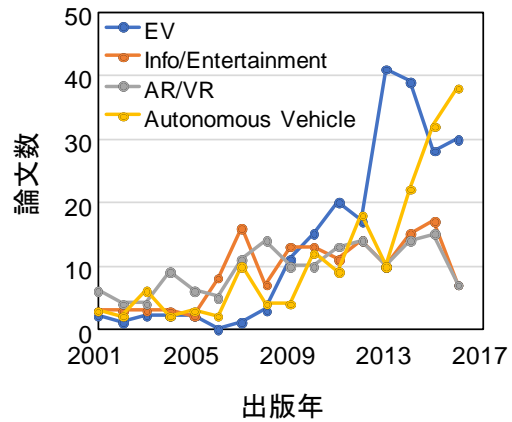


Fig.7 各キーワードと共起する論文数の推移

いずれのキーワードも増加傾向にあるが、自動運転はとくに 2013 年以降、急速に増加している。EV に関しては、それよりもやや早く 2009 年頃から論文数が増加している。Infotainment/Entertainment や AR/VR に関しては徐々に件数が増加している状況にある。以下に各キーワードを含む研究について概説する。

(1) Electric Vehicle

今後普及が進む可能性があるパワートレインとしての EV (含む HEV、PHEV) が関与する研究は Fig.8 に示すようになっている。

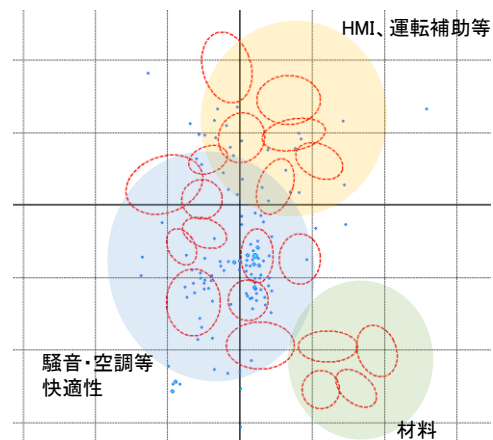


Fig.8 EV(含む HEV、PHEV)に係る研究

自動車内装に係る EV 関連研究は、空調やノイズなどの快適性に係る研究領域に多く見られる。ノイズに関連する研究では **sound design** や **interior noise** など取り上げられている。EV 化に伴う静粛性の向上に対応するための車内外の音の設計の必要性や、寄与するノイズや振動の変化に関連する研究である。また空調に関連する研究では、**drive range** や **electric power** などのキーワードとの共起が見られる。これは EV 化による廃熱の減少や空調による電力消費影響などに関連する研究となっている。

(2) Infotainment/ Entertainment

自動車と通信技術の融合（自動車の情報化）は、車内での情報量増大につながると考えられる。これと関連する上記キーワードと内装の共起を可視化した結果を Fig.9 に示す。

関連する論文がとくに集中しているのは HMI に関連する研究領域であり、そのほか、運転タスクや注意力、あるいは運転支援といった研究領域に見られる。

HMI との共起においては、**mobile device** や **driver distraction** といったキーワードとの共起が見られる。車内に搭載したタブレット PC などを経たジェスチャー等によるインタラクション、モバイルデバイスの普及による新たな車内タスクと将来的なインフォメーションシステム検討、あるいは車内への新しい機能の追加による運転手の注意散漫を避けるためのガイドライン等が研究されている。

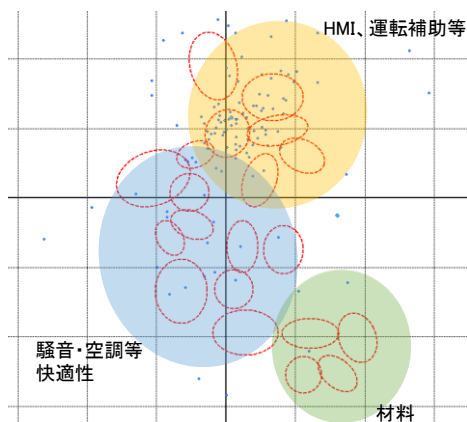


Fig.9 Infotainment/Entertainment に係る研究

(3) Augment/Virtual Reality

人とのインターフェースとして今後重要度を増すと考えられる技術が拡張現実あるいは仮想現実である。これらのキーワードが自動車内装と共起する研究を Fig.10 に示す。

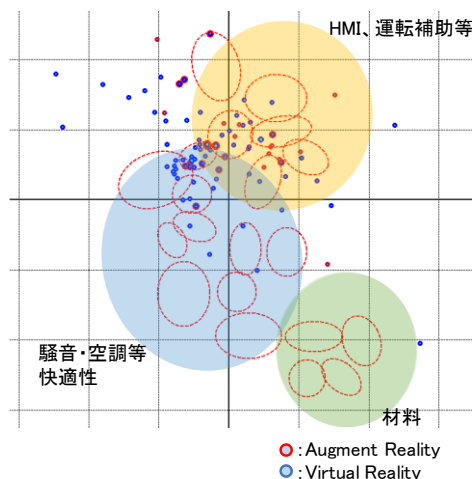


Fig.10 AR/VRに係る研究

AR/VR に関する研究は HMI 関連領域、およびそれと快適性の交わるような領域に多く登場している。これらの研究で見られる主要なキーワードとしては、**HMI** や **virtual object** あるいは **assembly** などとなっている。具体的な研究としては、例えば車載用 AR ヘッドアップディスプレイやそれを用いた情報の複合化など、情報の多様化への対応とそれに対する評価に係る研究が見られる。そのほか、AR/VR を用いたデザイン開発やシミュレータなど、設計や開発時の応用に関する研究も見られる。

(4) Autonomous Vehicle/Drive

現在の運転支援システム、さらにその先には自動車の自動運転があるとされている。自動運転と自動車内装が共起する研究領域を Fig.11 に示す。

自動運転に係る研究は、HMI、運転補助等の領域に集中している。主要なキーワードとしては、**HMI** や **drive task**、**situation awareness** などが見られる。

HMI に関しては、自動運転車両の HMI 設計（自動から手動へと移行する際のフェーズを含む）や自動運転中のドライバーへの運転状況通知などが研究されて

いる。また自動運転中に行う他の仕事や余暇における警告等での聴覚ディスプレイの有効性などに関する研究事例も見られた。また人間の運転手がいけない場合に、歩行者や自転車が如何に自動運転車両と相互作用するかといった問題に関する検討事例も見られた。完全なる自動運転が実現するまでは、ドライバーは何らかの形で運転タスクを負うことになり、それに対応するインターフェースや仕組みが必要になるのであろう。

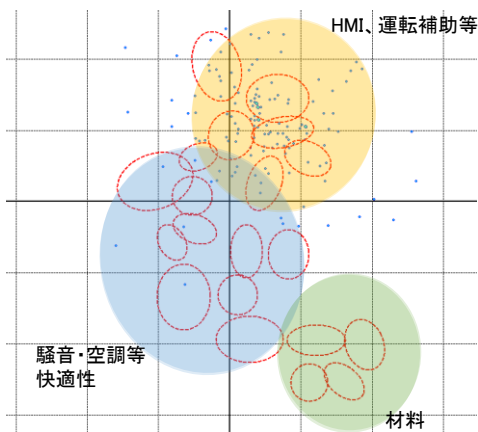


Fig.11 Autonomous Vehicle/Drive に係る研究

減少することに起因した課題解決を目的としたものと考えられる。また自動車の情報化や AR/VR では、如何に多量の情報をドライバーに効率的に提示するかといったことが一つの課題になっている。自動運転に関しては、自動運転中のドライバーへの警告や運転状況の伝達などが検討されている。

ここに示した切り口は自動車内装の将来像を見るうえでほんの一部に過ぎない。またステアリングやダッシュボード、シートなど、自動車内装の要素別に見た場合には、それぞれに課題があるものと考えられる。

日本にとって自動車産業は基幹産業の一つであり、今後も米国や欧州企業との競争が待っている。そのなかで、自動車における技術革新に対応した内装や HMI の開発は重要なセールスポイントになるものと考えられる。学術文献という切り口で見た場合、日本の公的研究機関あるいは自動車メーカーの当該領域における活性化は他国に比べて必ずしも高くないのが現状である。欧州のような公的資金の投入やコンソーシアムの形成など、今後の日本での研究開発の活性化に期待する。

6. おわりに

本稿では、HMI や運転手と自動車のインターフェースを含めた自動車内装に関する研究開発動向について、学術文献をリソースとして全体像を俯瞰するとともに、自動車メーカーの動向やいくつかの変革に係るキーワードを含む研究について概説した。

自動車内装に係る研究トレンドとしては、車内のノイズや音質、あるいは空調に関する研究が継続的に行われており、さらに HMI などの研究が増加している状況にある。とくにこれらの領域は欧米の自動車メーカーからの論文発表が集中している領域であり、高い関心を持っていることが分かる。他方、材料研究に関しては、自動車メーカーは主体とはなっていない。

また EV や自動車の情報化、AR/VR、自動運転などの切り口での自動車内装に係る研究についても触れた。

EV はノイズや空調など、自動車の快適性と関わる研究と共起している。これは EV 化による音源の変化、廃熱の減少や空調の電力消費など、内燃機関の寄与が

(著者紹介)

本多克也：研究開発本部長、博士（工学）
新技術事業団研究員、三菱総合研究所主任研究員を経て 2008 年より現職。専門領域：ナノテクノロジー・材料等の先端科学技術調査分析および海外の科学技術調査分析。