

Part 「欧州レスポンスプロジェクト」 特別講演 4

## 高度運転支援システムにおけるヒューマンファクター

ステファン・ベッカー\*

### Advanced Driver Assistance Systems: Human Factors Issues and Product Acceptance

Stefan BECKER\*



\* フォード社電気電子システム部門技術スペシャリスト  
Technical Specialist, Human Factors, Electrical and Electronic Systems,  
Ford Werke AG, Germany  
ケルンのTUVで約10年間、安全運転支援装置のユーザー受容性等の研究に従事する。2002年  
に欧州Fordに移り、現在、電気電子システムエンジニアリング部門の技術スペシャリスト。  
ECのレスポンスプロジェクト2で、全体の取りまとめ責任者を務める。

欧州レスポンスプロジェクトのなかから、特にヒューマンファクター(人間的要因)についてご紹介いたします。

先ほど、システム及び法律の観点からADASの説明がありましたが、私の話は、対象は同じですが視点が異なります。

まず、ヒューマンファクターと製品の受容性についてですが、ADASの安全性が二つの方向に向かっていることを理解してください(Fig.1)。一つは機能面での安全性、つまり、ドライバーがその製品を使って何をするのか、製品、あるいはシステムとドライバーの間に、どのような相互作用があるのかということであり、この機能の安全性は利用の安全性と言う方向に向かっています。二つ目は、システムの安全性に向かっています。つまり技術的な分野であり、ソフト/ハードの安全性に関するものです。

使用の安全性とソフト/ハードの安全性はお互いに関連し合っています。例えば、私はエレクトロニクスの開発に携わっていますが、多くの人たちと共同で作業をしています。かれらとの話はとても興味深く、しかもソフトの担当グループとシステムの安全性に取り組んでいるグループが交流している状況があり、大変に喜ばしいことです。

そこで、私はこの講演においては、ヒューマンファクターに関連して、安全なITS製品、または安全な開発プロセスで、何が必要なのかということ論じてみたいと思います。安全なシステムは、その組織構造だけでなく、システムの開発に当たって、シ

ステムの安全性、信頼性、あるいは技術の信頼性・安全性ということについて、あらゆる要因が影響を与えているので、その要因をすべてコントロールしなければなりません。まずは、ユーザーとシステムのヒューマンファクターという側面です。欠陥製品か、あるいは安全な製品かということに関連して、ユーザーと製品のシステム要件に関してのヒューマンファクターについて紹介したいと思います。次に、第二点としては、開発プロセスにおけるヒューマンファクターの側面です。重要なのは、ヒューマンファクターという観点から見た時に、ただ単に法的な側面だけではなく、いわゆる製造した側の義務、つまり製造物責任の問題から、法的な責任をどのように理解するかということを考える必要があります。開発プロセスの要件と組織上の要件の双方についてふれてみたいと思います。どのような形でエンジニアがきちんと仕事ができるようにするか、それからもし時間があれば、製品の受容性についても少しふれて、つまりヒューマンファクターについて、

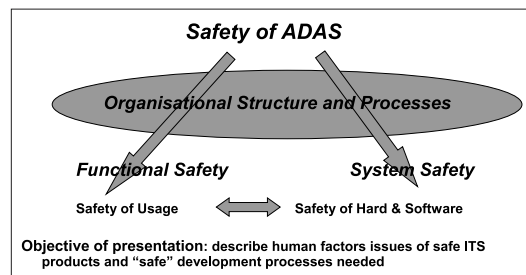


Fig. 1 Human factors issues and product acceptance

メーカー、社会、そして個人のレベルでふれたいと思います。

第一に、ユーザーに関連したヒューマンファクターの側面です。ここで、まず理解しなければならないことは、どのような異なったレベルが関わっているのかです。ユーザーは、まずシステムとのやり取りをします。そうすると、まずユーザーのシステム認知の精神的なモデル、これには心理学的要因が関与します。ユーザーが製品(システム)の機能性に関してどのような考えを持っているか。ここでは特に、ユーザーの考え方が技術モデルと一致していなければなりません。ですから、システムの機能や仕様に関して、ユーザーがその製品を使う際に、本来目的とされていたその技術的な仕様とは異なる考え方があった場合にどうするかです。次は、心理運動的な部分です。この心理運動的なパフォーマンスとしては、特にリアクションの時間がどれくらい必要なのかなどが関連してきます。これには、システムに関する知識がほとんどないユーザーが、最も危険な状況にある時(least informed and most endangered user)、どのような行動を取るかということに注目しなければなりません。

第二に、システム要件に関連したヒューマンファクターです。私の最初の講演で申し上げましたが、まずは理解のしやすさ、つまりシステム機能の理解、システム・ハンドリングの理解とハンドリング状況の限界について理解しやすいかどうかです。例えば、交差点における自動化されたStop&Goの状況において、そのルールはどのような形で決まっているか、ユーザーがシステムを理解できるかどうかが大切です。交差点において赤信号で止まり、信号が青に変わったところで発進する状況において、システムが赤信号・青信号しか分からないのか、それとも、ヨーロッパの交差点では右側から人が来たら、そちら側に優先権が与えられるというルールが分かっているかどうか重要です。この場合のStop&Goは、ただ単に交差点における赤信号・青信号というような単純な状況だけではありません。結論としては、簡単にこの種の機能をシステムの中に組み込むことはできなくなります。つまり、もっと複雑な機能の追加を検討しなければならぬことになり、ユーザーを使っての試行も行われました。わかりやすくするためには、システムは技術的および精神的なモデルの間の整合性を実現しなければならないし、またユーザーの支持という部分もあり、実験的にきちん

とチェックしなければなりません。それが製造者の責任でもあります。

それから、直感的に使えるようなシステムでなければなりません。つまり、マニュアルをいちいち見なくてもすむものでなければならぬということです。マニュアルを完全に熟読しないと使えないようなシステムは安全とは言えません。少なくとも安全関連ということであればシンプルでなければならず、ユーザーがマニュアルを見なくても使えるものでなければなりません。そして、最終的なチェックリストの項目としては、いろいろな例が出てきます。これはウェブサイトで公開されていますが、システム機能の理解可能性の限界として、いろいろと状況が変わる中でも理解できるようにしなければなりません。

理解のしやすさの次に、予測可能性ということがあります。予測可能性とは、ユーザーの期待とシステムの反応がいろいろな状況下で一致することです。つまり、システムが何をしているかをユーザーが理解できなければなりません。それも、2秒後、3秒後、4秒後どうなるかをユーザーが予測できなければなりません。そうでないと、ユーザーはシステムのコントロールができなくなり、システムへの介入もできなくなります。つまり、何か困った事態が起きた時の緊急介入もできなくなります。その例としては、ACC(Adaptive Cruise Control: 適応型定速走行装置)が、渋滞で停車した車に反応しない場合を考えてみましょう。ACCは例えば時速20kmで走行している車はターゲットとして捉えて停車しますが、渋滞で停車した前方の車を無視します。ここで問題となるのは、ユーザーが時速20km以上の渋滞を走行した経験があり、その時、速度が落ちてACCが前の車に反応した経験から、前の車が停車した場合もシステムが反応してくれると期待してしまう場合です。システムは停車した車に反応せず、ユーザーの期待は誤りだったこととなります。これは大変重要な問題です。ユーザーが期待しているACCの機能とACCの実際の機能が一致しなければなりません。ユーザーが学習のプロセスを積むことによって、つまり、日々の経験が積み重ねられて、段々と新たな期待が生まれてきて、時としてユーザーの経験とユーザーマニュアルとの間に矛盾が出てくるかもしれません。ユーザーが、日々の経験によって無意識のうちに誤った期待を抱くのであれば、システム設計が失敗であったということにもなります。チ

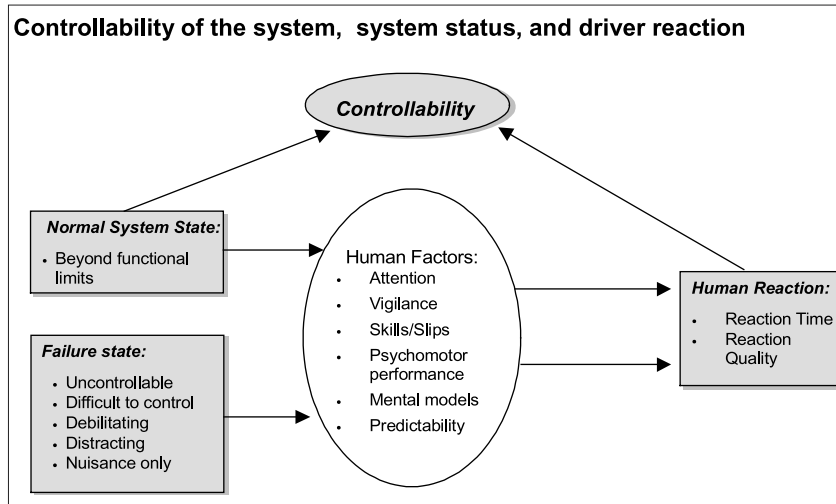


Fig. 2 Human factors aspects of user and system : Safe or defective product

ェックリストとしては、システムの反応がユーザーの今までに学んだ体験と一致すること、すなわち同じようなシステムを使ってユーザーが学んできた経験とシステムの反応が一致することが重要です。

次は制御性の問題です (Fig.2)。制御性とは、概念上あるいは実行、実務上、システムをユーザーがオーバーライドできるか、あるいはシステムを切り離すことができるかであり、それは法的な責任とも関連しています。ユーザーの操作によってシステムが制御できなくなれば、完全にメーカーに責任があります。メーカーは制御性を保証しなければなりません。それができないのなら責任を認める必要があります。例えば、自律的な衝突回避操作中にユーザーがシステムを切る可能性に関しては、平均的なドライバーの反応時間、精神運動のパフォーマンス、さらにユーザーによる反射的なシステム切り離しなどが関係してきます。今まで学習してきたスキルと使っているものが合わなくて、何かの操作で典型的な失敗が起きることもあります。

開発プロセス上の要件の一つに、ヒューマンファクターがあります。メーカーやサプライヤーとして何をしなければならないのかを考えた時、まず、通常に理解できるようなシステムでなければなりません。そこで、Fig.3を参照してください。システムの要件があり、その定義があって、システム要件の仕様が作成されます。そして、ソフトウェアを作り、システムを検証し、システムの有効性の確認が行われて、安全な製品が製造されます。ここで重要なことは、これらの全てのプロセスにおいて、ヒューマ

ンファクターという視点を入れることです。では最初のヒューマンファクターとして、どのような要件があるのでしょうか。人間は何をするのか、このシステムを理解できるのかなどをシステムに反映させなくてはなりませんし、システム要件の定義の中に入れなくてはなりません。それから、運転支援システムは技術だけで作るのではなく、人間的な要素を組み合わせることが大切であり、既に私たちはその方向でスタートしています。システムの検証や有効性確認の過程においては、技術的な側面だけに限るのではなく、起こり得るリスクを同時に想定し、その評価を行って検証しなくてはなりません。そうすることによって初めて、製品がユーザーの観点からみても安全となります。

そして、私の専門分野でもありますが、ソフトウェアやハードウェアを安全に生産することです。ここでも、ヒューマンファクターが必要です。製品の開発だけではなく、生産においても特にヒューマンファクターへの注意が必要であり、リスクを特定することが必要です。それらは条件定義の中に入らなくてはなりません。まずは要件の仕様があって、その中でリスクを明確にすることです。リスクの明確化は機能の仕様や製品の仕様の中に組み込まれる場合もあると思います。去年、私はチームのリーダーとして、ドイツを中心にヨーロッパ全土においてリスクの特定と検証の手続きを定義付けてきましたが、その過程でもヒューマンファクターが重要でした。

では次にタスク分析について説明しましょう (グラフィックP.2, Fig.4)。一番目の手法はあらゆる可能

性を考えるということです。ユーザーがシステムを使用する時に何が起こり得るかについて、あらゆることを考えなくてはなりません。それから、状況分析があり、操作が人によってどれだけ異なるか、個人差がどれだけあるかを考慮します。そして、さまざまな専門家の評価が必要です。例えば、交通事故の専門家や運転指導教官などに依頼して、起こり得る事態を考えてもらうことです。ユーザーが何をし得るか、またどのような事故が起こり得るかであり、交通事故分析の経験をベースにします。

FMEA( Failure Mode and Effect Analysis )は故障モード影響解析というエンジニアリングでよく使われているツールですが、技術的な故障を見出す方法であり、DaimlerChryslerをはじめ、BMWやFordなどの自動車メーカーで使われています。FMEAのような工学的なアプローチにもヒューマンファクターを導入します。明日の講演でこの話題にふれることができるかもしれません。調査を目的とした運転クリニックを開催する方法もあります。つまり、システム機能のプロトタイプを使って20~30人ぐらいにシステムを実際に使ってもらって、結果を見るのです。その際、ISOやDIS12100 - 1などの標準を尊重します。そうすることによってリスクを明確にすることができます。

次は、検証の中で行うリスクと便益の評価です( グラビアP.3, Fig.5,6 )。リスクの特定が一つの作業ですが、もう一つ、どれだけのリスクがあるのか、

つまりどのくらいの頻度でリスクが発生するかを考えなくてはなりません。そのリスク評価には、システムに関する知識がほとんどなく、最も危険な状況にあると思われるユーザーによるテストが必要です。いわゆる普通の平均的なユーザーではなくて、特別なユーザーグループを対象に試験をする必要があるわけです。評価の際には、何が許容できて何が許容できないのかに関する明確な基準が必要です。例えば、典型的に使われる二つの基準があります。まず、ロックアウトクライテリアであり、これはもう受け入れられなくて、完全に打ち切りになる限界基準です。そしてクオリティ・オブ・ドライビング( 運転の質 )に関わる基準があり、これはシステムの使用によって運転の質の向上あるいは劣化を見る統計学的分析です。

次にヒューマンファクターの分野から、開発組織の要件を考えてみたいと思います( Fig.7 )。私見ではありますが、これは非常に重要性を増しているトピックです。製品開発組織の要件として、まず製造部門やサプライヤーに充分なリソースが必要になります。リソースとは時間や人材です。開発時間は非常に重要です。ソフト開発をしたら生産ラインの最終工程に持って行って、すでにタイヤなどのハードウェアが揃った車体に載せればよいのだという考えは誤りです。安全な開発のプロセスが必要であり、そのためには、ソフトの開発にも充分な時間をかけなくてはなりません。

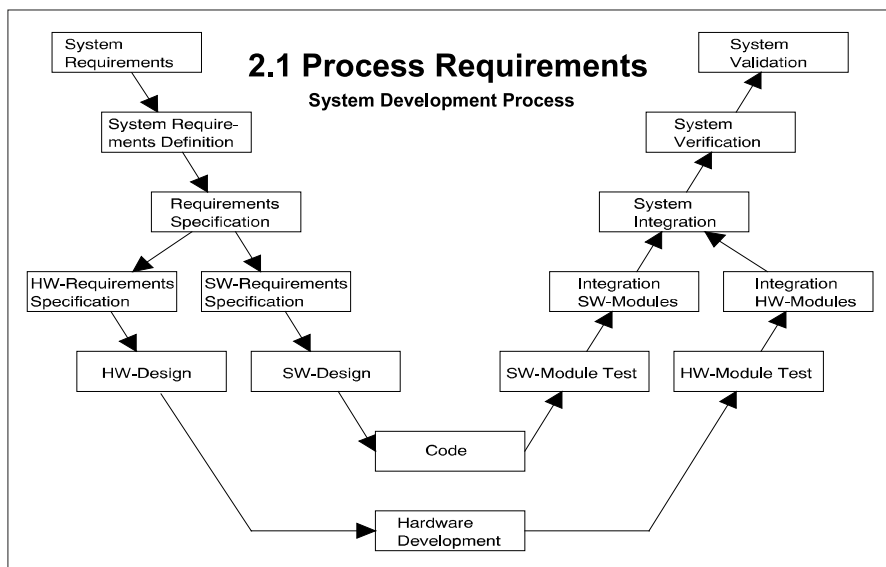


Fig. 3 Human factors aspects of the development process : "Duty of Care "

## 2.2 Organizational Requirements

- **Resources**
  - Sufficient time, Sufficient staff
- **Competencies**
  - Certified / Verified Supplier Qualification
  - Integration competence at vehicle manufacturer
    - From component FMEA to system integration FMEA
  - Experts in System Safety & Human Factors at OEM & Supplier
- **Tools**
  - Checklists (e.g. RESPONSE Checklist)
  - Future: Auto-coding of Software to avoid human errors in programming ?
  - Future: Expert-Systems incorporating use cases and "lessons learnt" for FMEA ?
  - Product Monitoring: Alert System
- **Responsibilities**
  - Clear Sign off responsibility for system safety and safety of usage
  - Independent / split up responsibilities for development and validation

Fig. 7 Human factors aspects of the development process : " Duty of Care "

### 3.1 Manufacturer level

- Manufacturers need a business case on the background of
  - High investments in new technologies
  - Low take rates for a certain time
  - Increased probability for warranty & customer non-satisfaction
  - Increased risk of call-back campaigns

### 3.2 Society level

- Political framework / visions needed (e.g. EU e-safety action plan)
  - Understand and describe societal benefits
  - Support individual benefits for buying safety systems (e.g. tax reduction)
- Media support needed
- Effective education needed: In future integrated in driving lessons

Fig. 8 Product acceptance

組織の要件として次に必要なのは、確かな能力を証明されたサプライヤーで、サプライヤーの資格認定制度も必要です。

またメーカーの統合能力では、部品単位のFMEAからシステム統合のFMEAへの移行が必要になり、システム自体が非常に複雑になります。そこで必要なのは、全ての部品の複雑性を理解することです。またシステム安全性として、ヒューマンファクターに関わるOEM(Original Equipment Manufacturer : 相手先商標で部品を供給する企業) サプライヤーの専門家が必要があります。さらに十分な作業ができたかどうかを管理するために、レスポンスプロジェクト1で作ったチェックリストなどのツールが必要になります。将来的にはプログラミング上のヒューマンエラーを避けるために、ソフトウェアの自動開発プログラムを使う可能性があります。オートコーディングは、高度な仕様から直接C言語コードを生成するもので、これがうまく行けば、多くのヒューマンエラーを回避することができます。さらに、これまでに学んだことを織り込んだエキスパートシステ

ムができて、故障モード分析に使うことができるようになるでしょう。それによってエンジニアが、可能性のあるリスクを理解することが可能となります。またそれだけでなく、製造物責任の関連もありますが、企業の中で製品のモニタリングをすることが必要です。そして、ディーラーやユーザーから故障やトラブルの報告があった時に、メーカーがそれらを十分に尊重して、早急に対応を取ることが必要であり、開発プロセスにフィードバックして製品を改善しなければなりません。

明確な責任分担が必要であり、それは簡単に思えるかもしれませんが、現実には非常に困難なことなのです。明確な責任を決めることは、実際に署名をして、だれが責任者であるかを明確にすることであり、社内のこのような責任体制によって、これは適切な製品であると認める責任

者がいなくてはなりません。さらに単独責任なのか、開発検証自体で分担責任とするのかの問題があります。開発担当の人が同時に製品の検証をすることはなく、一つのチームが開発をして、別のチームがシステムの安全性を検証するのですから、責任を分担するシステムが必要になります。

最後に、製品の受容の問題です。どのレベルで、どの要素が製品の受容に影響を与えているのでしょうか。それをメーカーレベルと社会レベル、そしてユーザーレベルで見たいと思います(Fig.8)。まずメーカーのレベルですが、メーカーは採算性を確保しなくてはなりません。レーダー技術やレーザー技術などの開発投資の背景として、採算性がなければなりません。もちろん利益率が低いこともあり得るわけです。例えば、車間距離制御システムなどは最初のうちはそうでした。また、ユーザーの製品に対する不満が高まる可能性があり、コールバックのリスクも高まります。Fordの最量販車を例にとれば、100万台以上が今世界で走っていますが、その電気系統システムに欠陥がありリコールすること

になると、企業にとって非常に大きな打撃になります。製造物責任の賠償の問題が生じるので、リコールやコールバックが始まりますと、大きな経済的な損失になるわけです。ですから、企業としてはこのようなことが起こらないようにしなくてはなりません。次に、社会レベルにおいて、政治的な枠組みやビジョンが必要です。ヨーロッパのe Safety

行動計画などは、何故、この製品を市場に出すのかという明確なビジョンを持っています。当然、製品の社会的メリットを理解しなくてはなりませんし、この安全システムを購入する時の個人にとってのメリットも明確にしなくてはなりません。また、マスコミを味方に付けることがヨーロッパでは非常に重要ですし、おそらく日本でも同じことだと思います。また、効果的な社会教育が必要であり、高度な運転の新システムを将来的に社会に広め、最終的には運転教習の中にも組み込まれる可能性もあります。

さらに、個人のレベルにおける製品受容の要素を理解することが必要になってきます(Fig.9)。これには四つの問題があります。まず一点目は、システムの効果、利用価値、快適性を上げて、またこれが安全であるという認識を広める必要があります。効果とは機能的な付加価値を十分に受け入れてもらうことです。クルーズコントロールとStop&Goを組み合わせた製品などが例として挙げられます。二点目は、それぞれの個人ニーズにどれだけ適応できるか、パーソナル化という問題です。例えば、情報システム分野において、個人のニーズに合わせて情報を提供するとか、さまざまな情報提供の能力を個人に合わせて設定することです。初心者用と高度なドライバー用ではインターフェースを交換する必要があります。また、操作の簡便性や効率性。これは直感的にすぐ操作できる制御性と、また学習の容易さなども重要になります。三点目は、自動化の度合いと機能定義です。システム側でドライバーの意図

### 3.3 Individual level: Determinants of Product Acceptance

- **Effectiveness & Usefulness**
  - Increase in comfort and (perceived) safety
  - Higher acceptance for functional added value
  - Personalization in terms of adaptability to individual needs and status of competence
- **Easiness of Operation / Efficiency**
  - Intuitive operation, controllability & Learnability
- **Level of Automation & Functional Definition**
  - Problem of identification of driver intention: system can not always interpret correct. System actions contrary to driver's intention will drastically lower product acceptance (e.g. intervention of an anticollision system while approaching to a vehicle in front advance to an overtaking manoeuvre)
- **Perceived Reliability**
  - Comparison of perception of real quality with quality expectations:
  - If expectations higher than perceived quality → negative effect on customer satisfaction and brand loyalty

Fig. 9 Product acceptance

を理解することは難しく、システムが適切にユーザーの意図を解釈できない場合があります。数年前に行ったヨーロッパの衝突回避システムACS(Anti-Collision System)プロジェクトの実験で、ACSの働きがドライバーの意志を阻害する状況がありました。ドライバーが前の車に接近したので追いつそうとしたところ、システムがドライバーの意図を理解できずに、その意図とは反対にブレーキをかけてしまうという問題がありました。この場合、ブレーキングがドライバーの意志でないことは明確です。このようなシステムでは当然、市場は製品を受容しません。システムはドライバーの意図を理解し、それに合わせた行動を取らなければなりません。四点目は信頼性であり、ユーザーは製品をどう見ているかということです。この問題は電子的なシステムの将来に関わってきます。ここで理解しなければならないのは、実際の品質をどうユーザーが見るか、そして、どれだけ高い品質をユーザーが期待しているかの比較です。例えば、期待値が実際の感覚的な品質よりも高い場合には、マイナスの効果が出てしまいます。

私の二回目の講演は以上です。ご清聴ありがとうございました。

追記

本講演の内容は、私が関わっているレスポンスプロジェクト2の見解を述べたものです。フォード社の立場で発言しているものではないことをご了承ください。