# 3 フィールド実証実験（FOT）に向けて

応用 一般

平野　清美（キーノコンサルティング）
武田　一哉（名古屋大学大学院情報科学研究科）

## フィールド実証実験とは

フィールド実証実験（Field Operational Test：FOT）とは，実際の実世界環境を用いた実証実験を指す．サイバーフィジカルシステムのように，実世界を対象とする研究領域では，研究成果の技術検証と社会受容性検証のために，FOT の実施は不可欠であり，実際に近年ではその要求も高まってきている．自動車技術や医療技術の分野では，すでに多くの FOT 実施例が報告されているが，本稿では特に自動車技術の FOT について述べる．

高度運転支援システム（ADAS）や自動走行等，人間のドライバと同等以上の運転知能を機械的に実現することで，自動車の利便性，安全性を高める研究が進められている．ドライバが人間か機械かにかかわらず，自動車の走行挙動は，自車両や周辺車両の運転者の特性，車両配置，道路環境，時刻・天候などさまざまな交通要因に適応しなくてはならない．運転知能の研究開発は，これらの多様な交通要因の下で，安定して利便性・安全性を達成する人間・機械システムの研究開発にほかならない．

しかし，それぞれの交通要因と車両挙動（車間距離 VS. 車両速度）との間に単純で確定的な機構を想定することは，少なくとも以下の 2 つの理由で，現実的ではない．第 1 に，人間の運転は，同一の交通環境にあっても一定ではない．第 2 に，ドライバの状態や交通環境は多様かつ時々刻々と変化しており，その状態ごとに行うべき最適な挙動は異なる．

たとえば図 -1 実環境下における運転行動記録の例に示す，実際の道路環境下での車両挙動には「車間距離が離れれば速度が大きくなる」といった大まかな傾向が見出せるものの，この軌跡をある種の規則から生成することは容易でないことは明らかである．

自動車技術の分野では，FOT と類似の取り組みに Naturalistic Driving Study（NDS）があり，実際の運転環境下で，交通環境・ドライバ操作・車両挙動の三者を長期間，多数の車両・運転者に跨って観測することで，運転を支援する技術や知識の有効性を統計的に検証したり（FOT），実環境下で観測されるデータの頻度分布に即してシステムの最適化を行う（NDS）新しい自動車技術の開発方法論があり，安全や環境など社会と深くかかわる自動車技術の高度化に特に重要である．

FOT や NDS と，従来から知られる位置・移動情報（プローブ情報）を集約する試みとの本質的な違いは，収集するデータの質にある．すなわち，「環境・車両・人間の三者に跨るデータ」を同時取得し，大

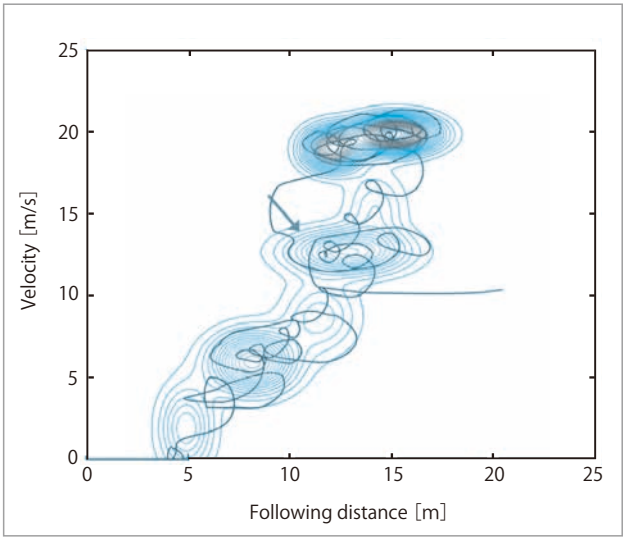



図 -1　実環境下における運転行動記録の例

| | 100-Car naturalistic driving study | SHRP2 | euroFOT | Safety Pilot |
|---|---|---|---|---|
| プロジェクトタイプ | NHTSA, VDOT(Virginia Department of Transportation), VTR, バージニア工科大学がスポンサーのナショナルプロジェクト | 米国議会が設置した第 2 次戦略的高速道路研究プログラム（SHRP2）NDS を実施 | FP7 で設定された情報通信分野における 7 つの課題の 1 つとして実施 | FHWA(Federal Highway Administration),FMCSA(Federal Motor Carrier Safety Administration), FRA(Federal Railroad Administration),FTA(Federal Transit Administration),MARAD(Maritime Administration),NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration),RITA(Research and Innovative Technology Administration) が参画 |
| パートナー数 | - | 3 | 28 | 25 |
| 主担当者の所属 | バージニア工科大学交通研究所 | SHRP2 | Ford Research & Advanced Engineering Europe（FFA）, Germany | 米国運輸省（USDOT） |
| 開始日と期間 | 開始：2001 年 8 月<br>期間：34 カ月 | 開始：2007 年※<br>終了：2015 年<br>期間：9 年 | 開始：2008 年 5 月 1 日<br>期間：50 カ月 | 30 カ月 |
| FOT/NDS の実行期間 | 12 ～ 13 カ月 | 開始：2010 年<br>終了：2012 年<br>期間：2 年 | 開始：2009 年 12 月<br>期間：1 年 | 開始：2012 年 8 月<br>期間：1 年 |
| 地理範囲 | バージニア州北部 / ワシントン D.C. の首都圏 | 米国 6 拠点：NY のエリー郡，ワシントンのシアトル，ペンシルベニア州中部，中部インディアナ州，フロリダのタンパベイ，ノースカロライナのダラム | ヨーロッパ全域 | ミシガン州アナーバー |
| 概要 | プリクラッシュとヒヤリハットの自然な運転データを収集することを主目的とした最初の大規模な計測車両の研究．事故の重大度の範囲を取り込んだ．<br>ドライバは特に指示や実験は与えられず，計装は控えめであった． | 高速道路における事故の原因と渋滞の要因を安全など 4 つの調査領域に集中して調査する．<br>SHRP2 成果物を地域，州，連邦レベルでの規格，ガイド，または推奨実施事項として適用可能となる． | FESTA を参照して実施．<br>IVS 連携テスト，性能，ドライバの振舞いやユーザ受容を調査．<br>1,000 台の ADAS を搭載した車とトラックがヨーロッパの道路を走行し，ほぼすべての右左折，加速，車線変更において，車両の動きを追跡し記録した． | 米連邦政府が支援するネット接続型の自動車（「コネクティッド・カー」）の実証実験．<br>この実験では，乗用車やバス，トラックなどに無線通信装置を取り付け，運転中のドライバの振舞いや遭遇する状況など，さまざまな情報を収集． |
| 自動車 | 100 台（ドライバが所有する車 78 台 + 22 リース車） | 3,102 台 | 979 台：自家用車，リース，社用車，トラック等 | 2,836 台の自動車，トラック，トランジットバス |

表 -1　代表的な FOT/NDS　　※プログラムは 2006 年に開始したが，実際の研究プロジェクトは 2007 年まで採択されなかった

量に蓄積することで，複雑かつ非確定的な環境･車･人の相互作用の理解に，近年発展が著しいデータ科学的手法を応用し，運転知能を飛躍的に高めることを狙うものである．

世界中で実施されている FOT や NDS，FOT に関連する方法論についてはすべてではないが，FOT-Net Wiki に登録されている．FOT-Net とは，FP7（欧州委員会第 7 次研究枠組み計画）下のプロジェクトで，FOT に興味のある人が互いに結果や作業項目について掲示，議論し，それを FOT の方法論である FESTA（Field opErational teSt supporT Action）に反映させるための情報共有プラットフォームである．この Wiki は誰でも記入することができるため，情報の信頼性は決して高くはないが，ボルボやフォード，コンチネンタルなど 32 社のパートナーが登録されており，少なくともパートナー会社に関連する情報は書き込まれていると思われる．

## FOT/NDS の事例

表 -1 に代表的な FOT/NDS を示す．

**100-Car NDS**：北米では，2001 年に，NHTSA（National Highway Transportation Safety Agency）などの資金を得て，VTTI（Virginia-Tech Transportation Institute；バージニア工科大学交通研究所）が，241 人のドライバの自動車に環境・ドライバカメラと運転信号の取得装置を設置し，延べ 42,300 時間の運転動作を

記録，80 件あまりの事故課程を精密に記録することに成功した．このプロジェクトは 100-car NDS として知られている．収集したデータから，事故に至るさまざまな交通・運転状況の出現頻度が明らかになり，交通・運転環境の危険度を定量的に評価することが可能であることが示された．この結果を元に，NHTSA は 2013 年に運転阻害を防止するためのガイドラインを定めた．ガイドラインには，100-car NDS のデータから計算された，運転行動の危険度を定量化した指標が参照されている [1]．

**SHRP2**：同じく北米では米国議会が高速道路における事故の原因と渋滞の要因調査を集中した短期間のプログラムで行うために 2006 年に SHRP2（Strategic Highway Research Program；第 2 次戦略的高速道路研究プログラム）を設置した．SHRP2 は連邦道路庁（米国運輸省）と米国全州道路交通運輸行政官協会との覚書の下で，TRB（Transportation Research Board；全米アカデミーの米国交通輸送調査委員会）によって運営されている．その調査を行うために，SHRP2 は以下の 4 つの関連する領域を定めている．

—安全：前例のない規模でドライバの振舞いを研究することで高速道路の安全性を大きく改善する
—再建設：老朽化した高速道路を長期利用できるものに再建設するための設計および建設手法の開発
—信頼性：事故の管理，応答，防止により渋滞を削減し移動時間の信頼性を向上させる
—キャパシティ：新しい移動キャパシティのデザインと計画にモビリティ，経済，環境，そして地域のニーズを統合する

SHRP2 では狙いを定めた短期間の結果重視の研究により，プログラムが定める重点領域において米国の高速道路システムを進化させる推奨手順，実践的慣習，そして応用を開発する．SHRP をモデルとして，多くの SHRP2 成果物を地域，州，連邦レベルでの規格，ガイド，または推奨実施事項として適用可能とすることを目的としている．つまり SHRP2 は道路の改良（土木）や，DOT（Department of Transport；運輸省）向けの結果を出すことを目的とした NDS となっている．

**euroFOT**：EU の科学技術開発支援の枠組みである FP7 において 2008 年から 2011 年にかけて行われた euroFOT 事業では，欧州 10 カ国 28 機関が参加し，8 種類の高度運転支援技術の FOT が行われた．実際の交通における通常のドライバによる IVS（Intelligent Vehicle System；高度運転支援システムを備えた知能化車両システム）の連携テストを行い，性能，ドライバの振舞い，ユーザの受容について調査を行った．また，安全，効率，環境へのインパクトを走行データを用いて評価すること，ヨーロッパの FOT の共通アプローチとして方法論の FESTA を適用すること，社会の認知形成と社会的 / 経済的受容を形成を行うことも目的としている．

そこで取り上げられた検証仮説の一例 [2] から，高度運転支援技術が具体的にどのように使われ，それが運転と交通にどのような影響を与え，最終的に安全にどのように寄与するかを定量的に明らかにする手段として FOT が設計されていることが見て取れる．このような総合的な性能評価は，カーメーカーやサプライヤが共通の実験方法と指標を用いて実施する必要があることは言うにおよばず，実験シナリオの設定には社会の広い範囲のコンセンサスを得ることが重要である．

**Safety Pilot**：米連邦政府が支援する実証実験としてネット接続型の自動車（いわゆる「コネクティッド・カー」）の実証実験が，2012 年 8 月から 1 年間，ミシガン州アナーバーで実施された．この実験では 2,836 台の乗用車やバス，トラックなどに無線通信装置を取り付け，運転中のドライバの振舞いや彼らが遭遇する状況など，さまざまな情報を収集していく．米運輸省が進める「ネット接続自動車安全試験プログラム（Connected Vehicle Safety Pilot Program）」の一環で，UMTRI（University of Michigan Transportation Research Institute；ミシガン大学の交通研究所）が実験を進めた．この実験を通じて集められた大量のデータを使って，米運輸省はコネクティッド・カーの安全面でのメリットなどを評価する予定．また自動車業界では，このデータを活用して，安全性が高く環境への負担が少ないモバ

イルアプリケーションの開発を進めることになる．

## FOT の方法論

EU のさまざまな分野の専門家によるコンソーシアムによって作成された FOT を実現するためのベストプラクティス集として FESTA がある．EU の FP7 プロジェクトとして 2007 年 11 月から 2008 年 5 月まで実行された．予算 211 万ユーロ，EU からは 2/3 程度拠出されている．このベストプラクティス集はハンドブックとして公開されており，さらにその後のプロジェクトで Wiki（FOT-Net）でもブラッシュアップされ公開されている．ハンドブックは 120 ページ，詳細な実施計画サンプルなどが別冊として 100 ページ程もある．EU のみならず米国を含む各国の FOT ならびに NDS でリファレンスとして利用されている．

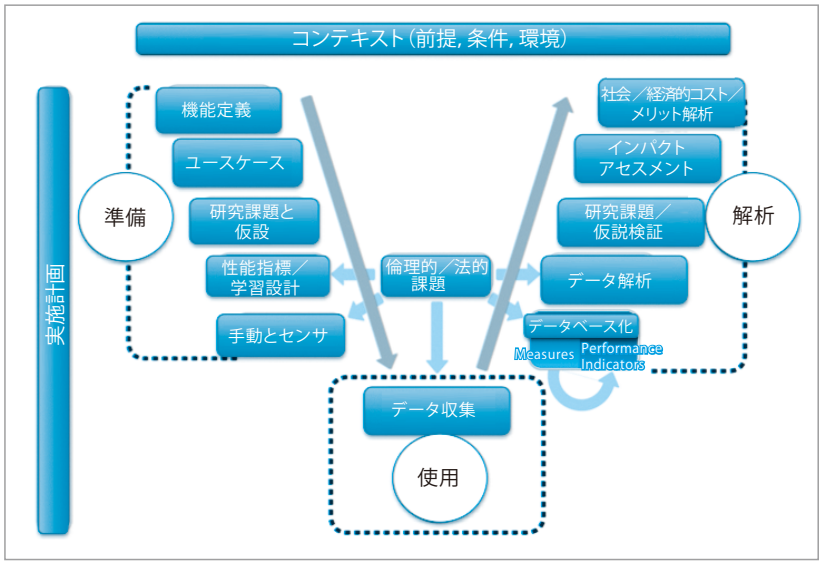


図 -2　FESTA のプロセス

FESTA の全体的なプロセスは図 -2 で表される．必ずしもウォーターフォールということではなく，特に準備フェーズでは繰り返すことが推奨されている．

改めて FOT と NDS について定義すると，NDS は比較的新しく，ドライバをできる限り自然な状態に置きデータ収集を行う研究手法であり，FOT は特定の IVS 機能の効果を測定することが元々の目的である．つまり NDS は機能は特定せず，事故などに繋がるドライバの運転，振舞いを理解することが目的である．よって，たとえば FOT では走行するコースが指定されていたり，通常の車両ではなく，室内含めカメラや機器などが，ドライバが認識できる状態で設置されていたりするが，NDS では通常の車で，走るコースもドライバが通常通り自由に決めることになる．

しかし，FOT と NDS の目的は異なるものの，実際にデータを集めるという点においては同じである．そのため，FESTA が規定する V 字型の FOT プロセスの両肩の上の工程を除けば FESTA も NDS に適用できる．また，近年では N-FOT（Naturalistic FOT）といった，FOT と NDS を組み合わせた研究手法（Victor, T., et al 2010 ☆1）もある．これは FOT の制御を弱くし，ドライバに対して極力自然（Natural）な状態でデータを収集し，IVS の機能検証とドライバの振舞い解析の両方を行う．N-FOT では，環境認識（センシング）とビデオが重要と考えられている．

## 知見

以下に実施済みの代表的な FOT/NDS からの知見を項目ごとにまとめる．項目の最後に括弧書きで，FOT/NDS の名前を付記した．

### ▶事前シミュレーション

―平均よりも事故かヒヤリハットのリスクが高い被験者を選択することで事故とヒヤリハットを記録する可能性を最大化した．被験者は 25 歳以下で，平均よりも長距離を運転するドライバの多数サンプル

☆1 http://wiki.fot-net.eu/index.php?title=FESTA_handbook_References

から選ばれた．追突事故の一因となるドライバの要因をまとめた文献をレビューし，理想的な年齢や性別の分布を以下のように決定している．

—年齢 18-20 歳：ドライバ＝男性 18 名，女性 12 名
—年齢 21-24 歳：ドライバ＝男性 18 名，女性 12 名
—年齢 25-34 歳：ドライバ＝男性 6 名，女性 4 名
—年齢 35-44 歳：ドライバ＝男性 6 名，女性 4 名
—年齢 45-54 歳：ドライバ＝男性 6 名，女性 4 名
—年齢 55-64 歳：ドライバ＝男性 6 名，女性 4 名
—プロジェクトは，性別分布の目標（60％の男性と 40% の女性）の達成に成功した．しかし，年齢別グループの採用目標は満たされなかった．参加者の 25 歳以下を 60% とするのが目標であったが，わずか 34％であった．これは主に，（通勤による）年間長距離を運転する参加者を募集しようとしていたためであった．通勤者は年齢が高めになる傾向があり，若い人々は長距離を運転しない傾向がある．応募した若い参加者は，キャンパスの近くに住む大学生が多かった．（100-Car NDS）

## ▶被験者の募集

—今後の研究では研究から除外されたドライバの代わりのために，短時間で呼び出しに応じることのできる少数の「予約された」参加者を常に用意すべきである．このように参加者の募集と最初の選抜は予定の数を超えても継続するべきである．（100-Car NDS）
—一部のドライバはさまざまな理由で研究から脱落したため，109 の優先者が選ばれた．全体で 241 のドライバ（主要＋補欠を含め）となった．（100-Car NDS）
—研究はさまざまな年齢層や社会経済層，異なる米国内の地域，異なる軽車両を運転している男女で行われた．ボランティアのドライバはナショナルコールセンタや各カテゴリ内のドライバを誘致するための地方の奉仕活動からなど，さまざまな方法で採用された．ボランティアは彼らの視覚認識，運転知識，反応速度，下肢の強さ，およびそのほかの通常の運転条件下での振舞いに関連した要因によって評価された．（SHRP2）

## ▶FOT ドライバとの連携

—参加者と研究を行う組織との間のインタフェースとして機能し，参加者と直接接触している人物は重要である．参加者と，研究で発生する可能性がある問題の解決の取り組みに慣れている必要がある．（100-Car NDS）

## ▶法律上，倫理上の制約

—ドライバの秘密を守る上で重要ないくつかのことが明らかになった．ドライバを事故の際に守るために，NIMH（厚生省）から秘密証明書（Certificate of Confidentiality）を得ることが重要と考えた．この証明書により，収集したデータが裁判の際に利用できないことを確保することができた．しかし，この証明書の取得はこのテストに制約を与えることになった．具体的には NIMH は車両に搭乗しているすべての人のビデオ／音声データを秘匿とすべきと考えたため，ビデオカメラはドライバのみを撮影するように設置し，音声データはドライバが事故が発生したときに押すボタンによってのみ記録を開始する仕様になった．（100-Car NDS）

## ▶機器

—車両への設置，保守，修理などを委託する場合の請負業者のスキルや対応力を念入りに考慮する必要がある．また，設置や修理は誰の責任と費用で行うのか，設置の詳細な手順，そして設置に必要な期間の明示などはすべて重要である．（100-Car NDS）
—夜間走行中にもドライバの顔と手が見えるように赤外線を使用した．（100-Car NDS）
—「追跡車」を用意し，実験車両の軌跡を追い，被験者の場所へ行って実験車両からデータをダウンロードするのに使用した．追跡車のドライバは携帯電話やノートパソコンから VTTI 内部で作られたソフトウェアを用いて地図上にアイコンで追跡車と被験者の場所を表示することができた．（100-Car NDS）

—システムメンテナンスできる人が常に被験者に近い地区にいるべきである．（100-Car NDS）

### ▶データ収集と分析

—この量のデータ分析プロセスは複雑で時間がかかる．教訓は，データベース作成に十分に時間をかけることである．（100-Car NDS）

—サーバの管理者は，受信したデータと送信されたデータの詳細なログを保持．これらのログは，定期的にデータが不足していないかを確認するために比較した．また，データのバックアップ・コピーは，データ損失のリスクを最小限にするために，さまざまな場所に維持した．（100-Car NDS）

—フランス，ドイツ，イタリア，スウェーデン各国に 4 つの VMC（車両管理センタ）を設置し，VMC 間で連携をとりながら，データ管理や実施プロセスの包括的な管理を行った．さらに OC（オペレーションセンタ）を VMC の下位構成として，各国の OEM らと協調して実験車両の購入，機器のインストール，メンテナンス，ドライバとの連絡，データ品質監視などが行われた．（euroFOT）

### ▶データ再利用の課題

—同意書の制約が必要以上に厳しくならないよう，スポンサーが制約の必要性を検証することが望ましい．（Safety Pilot）

—産業機密部分は除去し，スポンサーが除去済みのデータの再利用許諾を要求することが望ましい．（Safety Pilot）

—データ再利用者のために，技術的なサポートの用意と，データベースを常時オンラインとなる環境が望ましい．（Safety Pilot）

## まとめ

本稿では，自動車技術の FOT/NDS について紹介した．NDS は自動車技術特有の取り組みであるが，FOT のようにフィールドを用いた実証実験は，今後，自動車技術の分野以外でも，医療技術や電力技術の分野で広く実施していくものと考えられる．

**参考文献**

1) Federal Register, Vol.77, No.37, Notices (24th Feb. 2012).
2) Marco, D., et al. : euroFOT : Constrains and Trade-Offs In Testing Hypotheses, Transportation Research Arena Europa, Brussels (2010).

（2014 年 5 月 31 日受付）

**平野清美**　kiyo@e23.jp

オブジェクト指向と開発プロセス標準化コンサルとして活動後，組込み業界に転身し，新規にコンサル部隊を立ち上げた．現在はフリーで FOT/NDS，IVI，OS に関するリサーチとコンサルを行う．

**武田一哉**（正会員）　kazuya.takeda@nagoya-u.jp

1985 年名古屋大学工学研究科・修士了，同年国際電信電話（株）入社．ATR 自動翻訳電話研究所出向，KDD 研究所勤務を経て，1995 年名古屋大学助教授，2003 年同教授．行動信号処理に関する研究に従事．