

## UCRインテリシェア : UCRの インテリジェントEVカーシェアリングシステム社会実験

マシュー J・バース\*      マイケル・トッド\*\*

1992年にカリフォルニア大学リバーサイド校(UCR)工学部は環境研究技術センター(CE CERT)を設置した。CE CERTには大きく三つの研究室があり、(1)排気ガスと燃料の研究、(2)環境政策、大気プロセス、大気質モデル化、(3)交通システムと車両技術の研究に取り組んでいる。本論文では、それぞれの研究室の概要を紹介する。また、交通システム研究プログラムの代表例として、インテリシェアと呼ばれるインテリジェントEVカーシェアリングプログラムの展開と運用に重点を置いて説明を行う。このプログラムは運用を開始して3年近くになり、運用戦略、自動車共同利用技術、ユーザーの行動、この種のシステムが社会全体にもたらし得る影響など、自動車共同利用システムのさまざまな側面に関して膨大なデータを提供してきた。本論文では、当該システムの運用について詳説すると同時に、最新の成果を紹介する。

### UCR IntelliShare: An Intelligent Shared Electric Vehicle Testbed at the University of California, Riverside

Matthew J. BARTH\*      Michael TODD\*\*

In 1992, the University of California, Riverside, College of Engineering established a Center for Environmental Research and Technology (CE-CERT). There are three primary laboratories at CE-CERT dealing with: (1) emissions and fuels research; (2) environmental policy, atmospheric processes, and air quality modeling; and (3) transportation systems and vehicle technology research. This paper provides a brief background on these research laboratories. In addition, focus is placed on a particular transportation systems research program at CE-CERT: the development and operation of an intelligent shared electric vehicle, called UCR IntelliShare. This program has been operational for nearly three years and has provided a wealth of data on various aspects of shared vehicle systems such as operational strategies, carsharing technology, user behavior, and how these type of systems can impact society as a whole. In this paper, the operation of the system is described in detail, along with a description of the latest results.

\* カリフォルニア大学リバーサイド校工学部電気工学科助教授・同工学部環境研究技術センターアソシエイトディレクター  
Associate Professor, Electrical Engineering, Associate Director, College of Engineering- Center for Environmental Research and Technology, University of California, Riverside

\*\* 同工学部環境研究技術センターシニアディベロプメントエンジニア  
Senior Development Engineer, College of Engineering Center for Environmental Research and Technology, University of California, Riverside  
原稿受理 2002年5月13日

## 1. 序論

1992年に、カリフォルニア大学リバーサイド校(UCR)工学部は、環境研究技術センター(CE CERT)を設置した。

CE CERTの主な目標の一つは、産官学提携モデルの役割を果たすことにある。CE CERTの使命は、多岐にわたるが、以下の項目が含まれる。

- (1)環境教育分野での自他とも認めるリーダーとなること
- (2)産官と共同研究を進めて、規制や政策の技術基礎を改善すること
- (3)新しい技術を産み出す創造的なソースとなること
- (4)環境に対する理解促進に貢献すること

こうした使命を達成するために、CE CERTは、工学や物理学分野の他、関連分野から研究者を集めて多様性に富むチームを形成した。フルタイムの常勤スタッフとして研究者(学位を有する実験責任者から技師までを含む)を擁し、研究プロジェクトに取り組むと同時に研究室の運営にあたる。これらのエンジニアや科学者が工学部の全部門、他校や他学部、世界中の他機関出身のエンジニアや科学者と共同で研究を進める。彼等は工学部や他学部の大学院生や学部在生による研究の指導にもあたる。

こうした幅広い専門知識をもとにCE CERTは、環境問題の解決に「システム方式のアプローチ」を導入し、現代社会が直面する最も難しい問題の幾つかを解決するための新しい創造的な方法の開拓に取り組んでいる。

交通と大気質との関係を研究することがCE CERTが掲げる最大の研究テーマである。都市部の大気汚染の半分以上は、交通に原因があり、米国内の全エネルギー消費量の約3分の1を占めるのも交通である。数十年にわたる研究開発によって交通がもたらす排気ガスは、大幅に浄化されたが、エネルギーの選択、排気ガス、環境に対する影響といった重要問題についてはさらなる研究を要する。上記の問題解決に貢献するために、CE CERTは、先進的車両・エネルギー技術、燃料、排気ガス測定、制御技術、大気プロセスといった分野でプログラムを設置した。これらの中核分野から派生する形で、大気汚染の静止源や点源、水質、土地利用と計画といった分野でも研究を進めている。

研究は、基本研究から高度研究まで多岐にわたる。当センターの学術的信頼性を保護する為に取り組み

の一環として、CE CERTは諮問委員会を設置した。この諮問委員会は、環境技術、科学、政策の主要部門を代表するものである。同委員会は、年一回召集され、CE CERTのプログラムを審査し、研究テーマや優先課題に関するコメントや提言を行う。教授、スタッフ、学生によるプロジェクトを支援する基金枠を拡大してCE CERTが内部出資する研究についても、同委員会がその審査や指導にあたる。最後に、同委員会は、UCRの学生が人脈を確立し、キャリアアップに利用できる専門家ネットワークを提供する。

本論文では、3研究室で進行中のCE CERTの研究プログラムを概説する。それに続き、EVカーシェアリングに関する典型的な交通システム研究プログラムに焦点をあてて説明する。また、同システムの運用の詳説と並行して、最新の成果と同システムが社会全体にどのような潜在的影響をもたらし得るかを紹介する。

## 2. CE CERTの研究プログラム

CE CERTのプログラムは、大きく五つの研究分野に分かれる。これらの分野間の境界は、わざと狭くしている。研究は各分野にまたがることから、CE CERTの研究者から特定の人材を動員して各種の独自のプロジェクトを実施することが可能である。一般的研究分野は、以下のとおりである。

### 先進的車両・交通技術とシステム

この研究分野は、効率を改善し排気ガス量を低減する車両技術に重点を置く。その中には、交通渋滞の緩和や代替移動法の強化だけでなくエネルギー消費や大気汚染の低減も同時に図れる交通技術・システムの研究と実証も含まれる。

### 大気測定とモデル化

この研究分野では大気や排煙中の特定汚染物質測定技術の開発と応用などをカバーする。また、排気ガスをオゾンや微粒物質などの汚染物質に変えてしまう大気プロセスの研究分野で蓄積した、世界に名高い専門技術もこの中に含まれる。こうした研究では、大気中に排出された化学汚染物質の特徴解明、化学汚染物質の排出後の変化に関する研究、実験時や大気中での排気ガスの特徴解明を行う。

### 排気ガスの測定・分析・制御

この広範な研究分野では制御運転や「現実」の運転条件下での自動車排気ガス測定能力について、実験的に、あるいは現場での研究を行う。高度な排気ガ



Fig. 1 CE CERTの新築施設:左側は管理棟で、右側は研究棟

ス制御技術や改良/代替燃料が、エネルギー消費や環境に与える影響に関する研究が主な優先課題である。研究の一環として、現在や未来の車両が排出する排気ガスの特徴を解明し、その環境影響も把握する。CE CERTのこの分野の研究者が、静止源や点源からの排気ガスの低減を可能にする新規の技術、プロセス、制御方法の開発にあたる。

#### 環境分析と環境政策

CE CERTは、交通、排気ガス、大気質モデル化の分野で豊富な専門技術を有する。研究者は、現在と未来の環境の質・技術評価用の分析ツールの開発、応用に取り組む。研究段階では、都市、地方、地球規模での環境規制の評価を行う。

#### 再生可能エネルギー

この分野の研究者は、再生可能資源から電気や燃料を生成する技術の開発研究プロジェクトに取り組む。研究優先課題には、埋め立て地の廃棄物を転用する技術や、現在廃棄物として処理されている原料からコスト競争力のある良質の燃料やエネルギーを生成する技術の開発が含まれる。内訳としては、再生可能水素の生成、太陽エネルギー、内燃機関用の生物燃料、バイオマスの液体燃料への変換に関する研究がある。

CE CERT本部と研究施設は、UCRキャンパスに近く、新興ハイテク地域のはずれに位置する。研究施設と事務所スペース合わせてほぼ4万平方フィート、2001年にはこれらの施設を統合してそれぞれ近接する3棟を設けた。そのうち2棟は、Fig.1に示すように特別の目的のために設けた新築施設である。この複合施設は、エンジンダイナモメータ研究室、最新シャーシダイナモメータ施設、化学研究室、大気室、排気ガス専門の分析研究室、電子・コンピュータ研究室、車両改良・開発施設から成る。再生可能エネルギー研究には屋上施設および近接する屋外施設を使用する。電気自動車の共同利用に関連する斬新な研究プロジェクト(第3章で言及)では、CE

CERTとUCRキャンパス間のアクセスを簡単に行えるようにし、同キャンパス内でCE CERTの研究者が他の専門設備やリソースを自由に利用できるようにしている。

また、CE CERTは、約12マイル離れたフォントナのカリフォルニアスピードウェイでも研究施設を運営している。このスピードウェイは、全米第二の規模の駐車場(端から端まで約4マイル)を有し、制御条件下での運転を要する研究に必要な素晴らしいリソースを提供する。このスピードウェイには三つのトンネルもあり、排気ガスに関する専門研究に役立っている。CE CERTは、東方でもコーチェラバレーのパームスプリングス近くでデザート大学と共同で大型自動車試験・分析施設を運営している。

カリフォルニア大学は、公共トラストであり、その主な目的の一つは、最先端科学技術の開拓、教育への貢献、生活の質改善を目指した研究を実施することにある。CE CERTのモデルの趣旨は、環境に対する理解促進や大気質・エネルギー効率を確保する技術の開発・評価を目指した多様な共同プログラムを提供することによってこれらの目的を追求することである。

CE CERTの研究プログラムは、①排気ガス・燃料研究室、②環境政策・大気プロセス・モデル化研究室、③交通システム・車両技術研究室で進められている。各研究室およびそこで進行中の研究プログラムを以下に紹介する

#### 2-1 排気ガス・燃料研究室

この分野の研究では、太陽エネルギーなどの再生可能エネルギーや燃料および生物燃料変換に関連する高度技術の開発と評価などを行う。

静止源研究グループは、調理から製造までのプロセスおよび塗料から工業用薬品までの材料に重点を置いた研究を行う。このグループの主な目的は、企業や産業の競争力や健全性の維持に貢献しながら排気ガスを低減できる新しい技術、プロセス、制御方法を開発することにある。また、最新の車両排気ガス研究施設は、現在および未来の技術を駆使した車両からの規制排出物や非規制排出物の測定に使用されている。

研究活動では、車両からの排気ガスや粒子状排出物の測定と特徴解明に重点を置いており、それに基づき、排気ガスインベントリの改善、代替燃料が車の排気ガスや反応度と与える影響の評価、新規排気ガス制御技術の評価を行う。

小型自動車が出す排気ガスに関する最新研究実績として、最大規模のNH<sub>3</sub>排気量データベースが構築された。NH<sub>3</sub>排出量は現在規制されていないが、トンネル内調査でNH<sub>3</sub>排出量が比較的多いことが証明されている。NH<sub>3</sub>排出量は、二次的な粒子状物質形成段階で潜在的に重要な役割を果たす。自動車排気ガス分野で最近実施された他の研究の中には、燃料中の硫黄が排気ガスに与える影響の数量化が含まれている。また、最近開始された大規模な超低排気ガス車(SELEV)プログラム研究の一環として超低排気ガス車用の測定方法・技術の開発を進めている。

この研究室が取り組む別の重要な研究分野として大型ディーゼル車が出す排気ガス測定がある。これまでは計測設備の不備により、大型車からの排気ガス測定は、困難でしかもコスト高であった。CE CERTは3年を費やしてトレーラ型の移動実験室を整備した(Fig.2)。そこでは、実際の運転条件下で大型トラックが出す排気ガスの実験室レベルの測定が可能である。この移動実験室内部には、ダイリユーション・トンネル、排気ガス分析装置、粒子状物質測定ポートを装備している。システムの大半は、特別設計であるが、同実験室は米国連邦規制法に定める排気ガス/粒子状排出物測定規定を極力遵守して設計されており、道路上(あるいは、閉塞コース上を循環走行)でクラス8トラクターで牽引して運用するもので、路傍で試験を行うタイプの実験室ではない。また、パイプラインポンプや予備発電機などの大容量出力定置エンジンを実負荷状態で運転した時に発生する排気ガスの測定用としても使用する。

この実験室内では、他にも燃料効果や処理後の改善状況の研究、レクリエーション車(オートバイ、自家用ボートなど)が出す排気ガスや、予備発電機などの静止源から出る排気ガスの測定、再生可能エネルギーの研究を行う。CE CERTの再生可能エネルギー研究では、主に、廃棄物および/または再生可能物質を燃料、動力、熱に変換する方法の研究に重点を置いている。

## 2-2 環境政策・大気プロセス・モデル化研究室

この研究室が重点を置くのは以下の主要プログラムである。

### [環境政策分析]

この分野では、環境、エネルギー、社会、経済の観点から、大気質規制の実質的意味を検証する。主



Fig. 2 CE CERTの移動排気ガス実験室トレーラ。トラックが道路上を移動する時にトラクターから出る排気ガスをトレーラ内で測定する



Fig. 3 スモッグ室で実験を行い反応度係数を確認して、オゾンや粒子状物質の形成をモデル化する

な目的は、環境計画政策ツールの開発、効果的な規制政策や技術政策の特質の識別などである。

### [大気プロセス]

この分野では、環境影響の決定因子である大気中での排気ガスの反応形態を調べる。研究者は、大気測定、スモッグ室シミュレーション、そしてモデル化を用いて、大気中での排気ガスの反応や排気ガスの副産物を調べている(Fig.3)。提供する分析サービスには、燃料、汚染物質、他物質の現場での化学分析や実験的化学分析が含まれる。

### [大気質モデル化]

この分野では、現在および未来の都市部や地方での大気質の理論的評価を行う。その中には、地域別光化学大気室のモデル化、ソース受容体のモデル化、排気ガスインベントリの開発、数値法の改善が含まれる。この研究では、大気質予測や環境規制の影響評価に役立つ分析ツールを開発する。

過去数年間に行った大気プロセス分野の研究実績としては、世界最大の屋内反応度測定室の開発、短距離拡散モデル化プロセスの改善、LIDAR(光検出とレンジング)手法を使ったPM10(10ミクロンより小さい粒子状物質)沈着の分析、舗装道路からのPM10排出量の測定、スクールバス内部の大気汚染物質の検査がある。



大気質モデル化分野の研究実績としては、米国西部を対象とした地方煙霧モデル化センターの設置、新技術を駆使したガソリン車が都市部の大気質に与える影響の分析、大気質モデルの研究開発がある。

環境政策についての最近の実績には、新技術を駆使したガソリン車が都市部の大気質に与える影響の分析、政策分析に役立つ国際的自動車排気ガスモデルの開発、非常時に通常発電用として予備発電機を使用した場合の影響の評価、分散型発電が都市部や地球規模での大気質に与える影響の評価、多分野に渡る環境研究プログラムの開発が含まれる。

### 2 - 3 交通システム・車両技術研究室

交通システム・車両技術研究室はさまざまな分野の研究を担当するが、システムレベルのマルチモード交通の問題に重点を置く。このグループの主な目標の一つは、交通モデルが大気質に与える影響を予測することにある。そのためには、最新の自動車排気ガスモデルとさまざまな交通モデルを組み合わせて、その両方をミクロスケール(狭い通路、交差点など)とマクロスケール(幹線道路網など)で運用する。

このグループは、七つの特定研究分野に分かれる。当該分野とは、交通・排気ガスの総合的モデル化、車両活動分析、インテリジェント交通システム、電気自動車/ハイブリッド電気自動車の研究、車両技術、車両誘導・制御、環境マテリアル・燃料電池・改質装置である。

この数年をかけてCE CERTは、小型自動車、中型自動車、大型自動車の瞬間排気ガス量を予測できるモード別排気ガスモデル(CMEM)を開発した。CMEMは、車両のさまざまな物理的パラメータを使用した負荷ベースのモデル化法で、各種交通シミュレーションモデルと簡単に組み合わせることができる。最近の実績としては、道路形状や交通流が車両の排気ガス量に与える影響を分析した幾つかの研究がある。モデル化と並行して、南部カリフォルニアで大規模な車両活動研究プログラムを実施し、さまざまなタイプの道路上で交通流と平均速度を分析すると同時に、全車両の特徴解明を行った。

その他、ハイブリッド電気自動車のエネルギー管理戦略や水素を燃料とする内燃機関の分野では進展が得られた。インテリジェント交通システムの分野で最近実施した研究では、自動車共同利用システムに重点を置いた通信管理アーキテクチャを開発した。次章では、CE CERTの自動車共同利用システム研究プログラムについて詳説する。

## 3 . UCRインテリジェア

### 3 - 1 カーシェアリングシステムの背景

今日の陸上交通は、大幅な需要増加に伴う非常に難しい問題に直面している。例えば、多くの大都市では、自家用車の使用が将来的には難しくなると予想される。交通渋滞は、ますます悪化し、ドライバーが道路上で費やす時間は長くなり、駐車場料金も値上がりしている。交通渋滞そのものが、大きな生産性喪失を意味するだけでなく燃料消費量や排気ガス量の増加につながる。自家用車の代替手段として存在する公共交通は、一般に、鉄道、地下鉄、路面電車、バスという形態を取る。これらの交通手段は自家用車と比べると非常に経済的ではあるが、自家用車のような柔軟性と、いつでも使えるという利便性に欠ける。

このギャップを埋めるために、最近では、代替交通パラダイムとしてカーシェアリングシステムが提案されている。このシステムは自家用車のように柔軟性に優れ、しかも費用対効果や効率の点では乗用車よりもはるかに優れた交通サービスである。カーシェアリングシステムは、将来の長期的な陸上交通ニーズを満たすことを目指した重要な革新的試みと見られている<sup>1)</sup>。

カーシェアリングシステムにはいくつかのタイプが存在する<sup>2,3)</sup>。カーシェアリングシステムの基本前提は、もっぱら個人による自動車所有という慣行を止め、代わりに、自動車群を一日に数回異なるユーザーが交代で利用できるようにして、移動手段としての新たなオプションを設けることにある。カーシェアリングシステムには以下をはじめとする多くの潜在的な利点がある。

- (1)全移動需要を満たすために必要な(自家用)車の数を減らして交通効率を改善できる。結果的に、車両の駐車場での遊休時間が大幅に短縮され、複数のユーザーによる利用度が増す。
- (2)自動車に要する費用(購入費、保険、保守費など)をシステムを利用するほとんどのユーザー間で分担することになるため、ユーザーは、潜在的に交通費を節約できる(多くの共同利用組合によれば、一般に、相応する自家用車の年間走行距離が1万km以下であれば、大幅なコスト節約につながる)。
- (3)カーシェアリングシステムで低公害車(電気自動車など: 事実、共同利用車の移動範囲は、通常短中距離であり、電気自動車には待機場所での遊休

時に充電できるという利点があるため、一般にカーシェアリングシステムに非常に適している)を使用する場合は、エネルギー消費量/排気ガスの両面で有利である。

- (4)カーシェアリングシステムにより、直接・間接に公共交通機関に接続する場合、車をシェアリングするため、ユーザーは自身の移動にかかわる決定をこれまで以上に意識する。その結果、公共交通機関の利用者数が増加する。

全てのカーシェアリングシステムの主な特徴は、資源共用の概念である。即ち、一台の車を一日に何回も異なるユーザーが使用するという点である。全ての資源共用の問題に言えることであるが、資源を効果的に管理し、しかも資源のユーザーを満足させるメカニズムが整備されていなければならない。そこでカーシェアリングシステムに情報通信技術を導入する必要がある。これらの技術としては、車両とシステム間の通信、車両追跡・予約・発送システム、搭載ナビゲーションと移動情報、スマートカード技術を挙げることができる。

最も人気のあるタイプのカーシェアリングシステムは、会員制カーシェアリング(CSO。概観については参考文献3)を参照)である。CSOは、車両群を所有し、ユーザーは、全日それを利用できる。ユーザーは、事前に車両を予約するか、あるいは直接行って空いている車両を使用する。キーは通常、共通キーボックスを通して入手する仕組みで、車両を一定時間利用できる。利用後に、車両を元の場所に返却し、走行距離と時間を記録する。月の最後に各ユーザーには少額の使用料の他に走行距離に基づく料金を請求する。別のタイプのカーシェアリングシステムにステーションカーがあるが、これは通常、鉄道などの長距離交通手段と連携する。この場合、ユーザーは通勤距離の両終端でステーションカーを利用できる。より一般的なカーシェアリングシステムは、ある活動の中心点から別の活動の中心点までの移動手段としてのシステムで、シェアリング車を複数のステーション間あるいは連結点間で使用する。当該システムは、リゾート地、レクリエーション地域、大学キャンパスなどで運用できる。一例として、ユーザーは鉄道または航空機で到着した後に、シェアリング車を借りて駅あるいは空港からホテルまで移動することができる。その後、さらにユーザーは、ホテルからショッピングモールあるいは観光地に移動できる。この場合、移動は毎回片道の可能性

が高い。これに対し従来の通勤ステーションカーシステムや非通勤ベースのCSOでは、一般に移動は往復である。多ステーションシナリオでは、片道移動がさらに多くなるため、ステーション間のシェアリング車の配置がすぐに不均等となる恐れがある<sup>4,5)</sup>。一日のうちの時間帯によって、車両が余るステーションもあれば不足するステーションもある。そのため、システムを効率的に運用し、ユーザーの要求を満たすためには毎日定期的な車両の移動が必要となる場合もある。

カーシェアリングシステムは、この数年間で全世界に普及した。これらのシステムの多くは、形態と目的が異なるが、車両を共同利用するという点は共通している。この急成長を遂げる分野では、専門家、研究者、支持者が集まる会議やワークショップが複数生まれ、カーシェアリングに関連したさまざまな問題を協議している(例：2001年3月にジョージア州アトランタで開催された第一回北米カーシェアリング会議や2001年7月にカリフォルニア州アーバインで開催された共用ステーションカーサミット)。最近では、これらのさまざまなタイプの自動車共同利用システムを分類する試みがなされている<sup>2)</sup>。

### 3 - 2 UCRインテリシエア運用の概観

CE CERTでは、自動車共同利用システムの各種コンピュータシミュレーションツールを使い、ステーションカーシェアリングシステムについて幅広い研究・分析を行ってきた<sup>5)</sup>。シミュレーション分析の結果、カーシェアリングの概念は、実行可能性があるだけでなく、経済的にも潜在的に有利であることが判明した。しかし、シミュレートできる対象には常に限界があり、特に人々が当該システムにどのように反応し利用するかをシミュレートする場合にそれが言える。また、高度に自動化されたEVカーシェアリングシステムを実際にどのように実用化、運用するかについて詳細な知識を要する。CE CERTは、カリフォルニア大学リバーサイド校キャンパスとその近くでUCRインテリシエアと呼ばれる小規模自動化EVカーシェアリングシステムの社会実験を企画、実用化した。プロジェクト目標は複数あるが、UCRインテリシエアシステムは、主に以下の三点を目的とする。

- (1)カーシェアリングシステムの先進システムアーキテクチャーと新しい運用手法を開発する。
- (2)システムから収集した運用データを使用して、カーシェアリングシステム・シミュレーションモデ

ルの再現性を改善する。

(3)カリフォルニア大学リバーサイド校キャンパスに便利で環境に優しい効率的交通システムを整備する。

UCRインテリシエシステムでは、同校キャンパスとその近くの以下の3か所にステーションを設置して、そこにまず15台(現在では25台)のホンダEVプラス電気自動車を配置し、同校の教授陣、スタッフ、学生、職員がそれらを利用できるようにしている( Fig.4 )。

UCRインテリシエシステムは最新ITS技術を駆使して、管理しやすく、かつユーザーが利用しやすいシステムになっている。

UCRインテリシエはキーレスシステムで、ユーザーは、スマートカードを携帯し、それを使ってステーションキオスク、ステーション建物、車両自体にアクセスできる。このシステムでは従来のようなキーは使用しない。またシステムの各ステーションは、車両利用登録所としてキオスクを使用する。これらのキオスクにはタッチスクリーンディスプレイを設ける。それにより、ユーザーは、カードを通し、2、3のボタンを押すだけで、車両を利用できる。

システム管理手順としては、CE CERTオペレータが先進車両監視技術を使って各車両の位置や運転状況(バッテリーの充電状況、積算計など)を監視する。これらのデータに基づき、システムは、空き車

両の有無をインテリジェント方式で確認できる。

ユーザーは、各ステーションにある自動キオスクで電子機器を操作して車両を迅速かつ簡単に確保できる。車両は、どのステーションでも返却でき、そこで他ユーザーに割り当てられる。現在の実施方法では、UCRインテリシエシステムは、予約を必要としない。代わりに、タッチスクリーン型コンピュータやスマートカードを使って希望する利用内容情報を入力した登録ユーザーに、待機車両群の中から特定のホンダEVプラス車を割り当てる。車両にアクセスする場合、ドライバーは、スマートカードを使ってドライバー側のドアを解錠してイグニッションキーを始動させる。走行時には、車両状態が30秒ごとにシステム管理センターに送信される。ドライバーは各車両に設置した小型のキーパッドを使ってメッセージを送受信することもできる。例えば、車のタイヤがパンクした場合、ドライバーは、そのことをシステム管理センターに通報できる。ステーション(必ずしも当初指定した終点ステーションである必要はない)に到着し、ユーザーが駐車・降車すると、システムが自動的に、ユーザーの降車を記録し車両をロックして他ユーザーへの割り当て待機状態にする。買物などの用務で利用する場合、ユーザーがステーション以外の場所で駐車・降車しても、システムは車両をロックするがユーザーのアクセス権を取り消すことはしない。この場合、ユーザーは

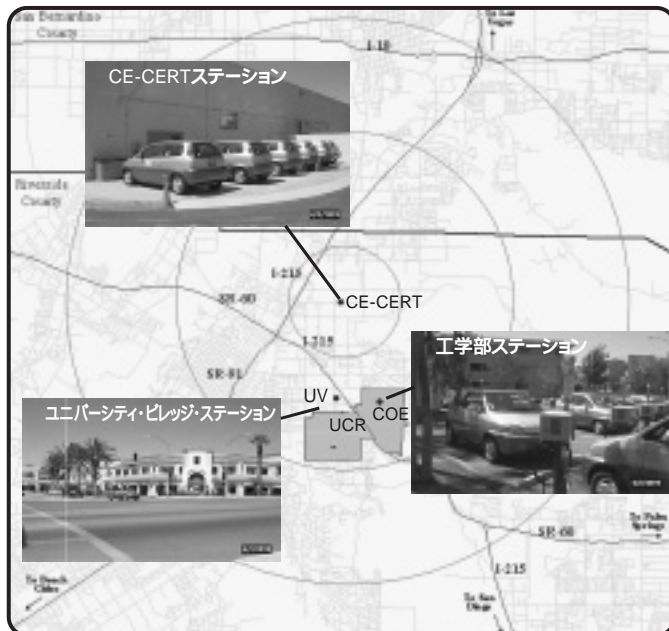


Fig. 4 CE CERTステーション

キャンパスから約3マイルの地点にあるCE CERT。この施設は、工学部の校外研究室としても使用されている。キャンパス中心部に位置する工学部本館。メインキャンパスから約1マイル離れたユニバーシティ・ビレッジ。この施設は、売店、映画館、レストラン、複数の大学関連オフィスから成る。

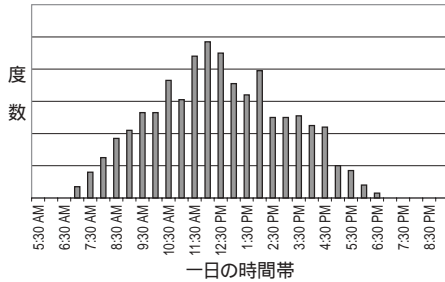


Fig. 5 平均的な日の一日の利用状況プロフィール

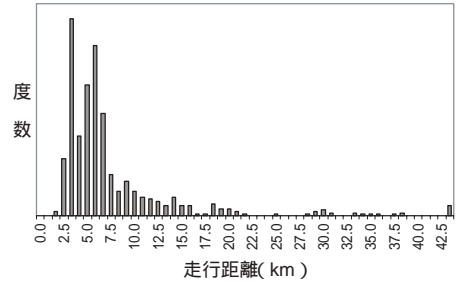


Fig. 6 走行距離分布

車両に戻り、スマートカードを再度使用してアクセスできる。車両をステーションに返却した場合にのみ、ユーザーの降車を記録する。

現在の実施方法では、使用時間15分までは無料である。15分を超えた場合は、料金を徴収する。料金は利用時間に単純に比例せず、例えば、1時間の使用料は1ドル強で、2時間では3ドルを超える。2、3時間以上借りると使用料は、極端に高くなる。このシステムの当初のユーザー層は、カリフォルニア大学リバーサイド校の約350名のスタッフと教授陣から成る。

ホンダEVプラス4人乗りセダンは、ニッケル水素電池を使った電気自動車である。約30マイルまでは再充電が必要ない。UCRインテリシエアの全3ステーションに再充電ドックを設置している。受信したユーザーの利用内容や車両に関する情報を使って、システム管理センタースタッフは、遊休車両を3ステーションにできるだけほぼ均等に分配する。必要ならば、システム内の別の場所への車両の移動も行う。

UCRインテリシエアシステムは、多くのソースから資金援助を受けている。主要スポンサーであり研究パートナーでもあるのが本田技研工業株式会社である。他スポンサーとしては、カリフォルニア大学デジタル・メディア・イニシアティブ・プログラム、リバーサイド市、サウスコースト大気質管理区域が名を連ねる。

### 3-3 最近の成果

UCRインテリシエアシステムは1999年4月に運用を開始した。同システム利用者は、まずCE CERT研究所職員から工学部関係者に広がり、ユニバーシティ・ビルダーステーション近くの大学オフィス職員へと次第に拡大していった。2002年初頭時点ではUCR職員の間での当システム利用者数は、約350名に上る。一日平均約110件の利用があり、1999年4月

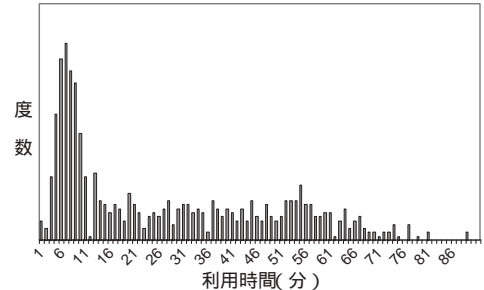


Fig. 7 利用時間分布

～2002年2月までの利用件数は、47,000件を超える。

これらの各利用内容は、当センターのデータベースに記録されており、当システムの効果、ユーザー行動、車両運転の分析に役立つ豊富なデータベースを提供する。このデータベースに基づき、システム運用の漸進的改善を成し遂げることができた。また、当該データベースをもとに、当センターは、システム運用に関する各種「実験」を行う能力を有する。

ユーザーがこの種のカーシェアリングシステムにどのように反応し対応するかについて膨大な量の情報と知識を得ることができる。平均的な日で、車両1台あたりの利用件数は、約7～8件、利用例の約45%が、ステーション間の移動、55%が用務移動(即ち、始点と終点のステーションが同じ)を目的としている。Fig.5に、一日の平均利用状況プロフィールを示す。この図から分かるように、車両利用件数は、一日を通して均等ではない。UCRインテリシエアシステムの利用件数は、午前9時前が最も少なく、正午にかけて着実に増加する。昼食時間帯にシステム利用件数が最大となった後、午後5時にかけて次第に減少する。午後5時以降、システム利用件数は、再び最小となる。一日のパターンの変化を検証して、参考文献6)にまとめた。

Fig.6には総走行距離の度数を示す。ここでも、利用例の45%は、2ステーション間の片道移動で、



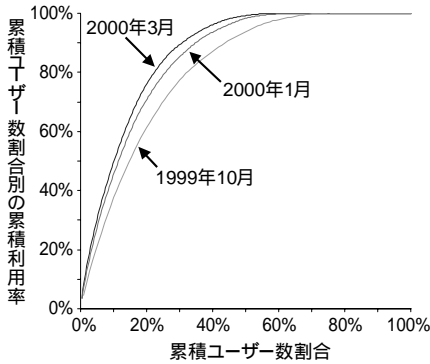


Fig. 8 累積利用率

距離および利用時間ともに非常に短い。用務移動(中間に目的地がある)の多くも距離と利用時間ともに短い、中には距離と利用時間が非常に長い例もある。Fig.6に示すように、利用例の大半は、4~10kmの範囲内で、走行総距離が長くなるほど、利用件数(度数)も次第に減少している。UCRインテリシエシステムでは、長距離利用を控えるように促しているために、長距離利用例は非常に少ない。走行距離の場合同様に、Fig.7には利用時間の度数を示す。利用時間が15分を超えると使用料が徐々に増額される仕組みとなっているため、利用時間は、ほとんどの場合1時間以内である。車両の平均乗員数は、1回の利用あたり約1.45人である。

UCRインテリシエのユーザー層は、実に多様である。工学部在学生もいれば、教授や大学スタッフもいる。この多様性から分かるように、さまざまな人が幅広い目的に当システムを利用している。Fig. 8に、一年のさまざまな時期における累積利用分布を示す。累積分布は、利用回数が多い利用者層の割合から利用回数が少ない利用者層の割合に向けて順に表示する。従って、累積利用率が100%の時点で残っているユーザーの割合から利用者数を算定できる。1999年10月には、約30%のユーザーがシステムを利用しなかった。2000年1月と3月では、システムを利用しなかったユーザーの割合は、それぞれ約40%、45%であった。時間の経過と共に、新たな加入者の数を加算していくので、それに応じて、システムを利用しない加入者の数も増加する。1999年10月には、20%の利用者による利用件数が総利用件数の60%を占めていた。2000年中期には、総利用件数のうち約50%は、わずか10%の利用者によるものであった。この曲線がさらに外側に広がっていくと、当システムを利用しない加入者の数を減らすために、

月間加入料の徴収を開始する必要があるかもしれない。

システムの効果を確認する方法は複数あり、その中には、顧客の平均待ち時間、車両移動の必要回数、各車両の稼働率、ステーションにおける車両不在累積時間が含まれる(これらの測定の詳細については参考文献5)と7)を参照)。今までのところ、平均的車両の稼働時間の割合は約30%で、自家用車をはるかに上回る。

この社会実験によって15件の特許申請を行い、複数の研究論文を発表した。カーシェアリングシステムシミュレーション分析については参考文献5)にまとめる。カーシェアリングシステムの先進運用戦略については、参考文献8)に記載する。補助インテリジェント交通システムアーキテクチャーについては、参考文献9)に、カーシェアリングシステムユーザーの行動分析については参考文献6)に、システム効率評価については参考文献7)に、それぞれ記載する。UCRインテリシエの無線通信技術については参考文献10)に詳説する。

### 3-4 今後の普及

過去に、カーシェアリングシステムを専門に協議する重要な会議が数回開催された。これらの会議では専門家、研究者、支持者が集まり、カーシェアリングに関する数多くの問題を協議した。その重要な成果の一つとして、カーシェアリングシステムを成功させるには、ユーザーに最大限の柔軟性と選択肢を提供する必要があるという点があげられる。

特に、ユーザーによって利用目的が異なるため、必要となる車両も異なる。その結果、カーシェアリングシステムでは、さまざまな種類の車両を揃えることが重要となる。

これまで、UCRインテリシエシステムでは、ホンダEVプラス4人乗りセダン型電気自動車を使用して全需要を満たしてきた。UCRインテリシエの普及対策としては、現在以下の二方法を取っている。

- (1) キャンパスの車両ステーション数を増やしてアクセスし易いようにする
- (2) システムに別の車種を導入して柔軟性を高める

UCRキャンパスに現在新たに2ステーションの設置を進めている。そのうち一つは、キャンパスの南側奥に設置し、もう一つは、UCR管理棟本館近くに設置する。本田技研工業株式会社より最近新たに10台のEVプラス車が供給されたので、これで合計

25台となり、5ステーションにそれぞれ約5台ずつ分配する予定である。

また、11台の近距離用電気自動車(NEV)をUCRインテリシエアシステムに追加導入する計画もある。これらのNEVの導入により、キャンパス内およびその周辺が移動し易くなり、システム改善につながる。4人乗りNEV、2人乗りNEV、ユーティリティNEVの三種類のNEVを導入する予定である。キャンパス内の移動を目的とした需要の多くにはNEVで対処するというのがUCRインテリシエアの総合普及戦略である。NEVの速度には限界があるので、速度制限が35マイル/時以下の道路での使用に限られている。UCRキャンパスやその近隣地域内の道路は、全て速度制限が35マイル/時以下である。従って、UCRインテリシエアでは、キャンパス周辺の移動を目的とした需要の多くにはNEVで対処する計画である。キャンパスからの遠距離移動を目的とした需要には、高速道路も走れるEVプラス車に対応する。

#### 4. 結論と今後の研究

10年でCE CERTは、交通問題や環境問題に重点的に取り組む傑出した研究室に成長した。進行中の研究プロジェクトは数多く存在し、いずれも社会に対して直接影響力がある。車両、交通システム、環境の間でよりバランスの取れた見方ができるようになるためにCE CERTで実施した研究の多くが役立っている。これらの研究プロジェクトの成果が政策や規制の決定段階で役立つことも多い。将来においても、CE CERTは、引き続き自動車排気ガス研究を重視し、大型ディーゼル車と超低排気ガス車に重点を置いた研究に取り組む。特定車両の運転から地域的な大気プロセスにいたる幅広いモデル化ツールが今後も多く開発されるだろう。当センターで行う評価の多くは、これらのモデル化ツールを基盤とする。交通システム研究室では、環境に優しいシステムの設計に重点を置いて、今後も現在や未来の交通システムの評価を続けていく。

CE CERTでは、主要な交通システム研究分野の一つとして、カーシェアリングシステムに今後も重点的に取り組む予定である。UCRインテリシエア試験台では、最終的に環境改善、エネルギー消費量削減、モビリティの向上につながるクリーンで効率的な交通技術の実用化に備えて、さまざまなカーシェアリング実験が可能である。カーシェアリングシ

ステムが未来社会の交通システムにおいて大きな役割を果たすことは明らかである。当該システムは、交通の効率改善(移動需要を満たすために必要な車両数を削減することにより)、ユーザー側のコスト削減、環境改善、公共交通機関利用者数の増大につながる可能性がある。当センターの試験台でカーシェアリングシステムの概念を評価することにより、商用システムとして本格的に実用化する前に多くのことを学ぶことができる。

[謝辞]

CE CERTの研究プログラムに関する資料は、多くのソースから提供頂いた。特にジョセフ・ノルベック(CE CERT所長)、ミッチ・ボレッツ、研究室長のウェイン・ミラーとジェームス・レンツに謝意を表す。UCRインテリシエアプログラムに関する資料については、研究チームの他メンバーであるショーン・スワインフォード、クー・リー、マイケル・マックラナハンならびに当システム開発に協力した多くの大学院や学部在学生在に厚く感謝の意を表す。また、当システム開発への後援と援助に対して、アメリカンホンダモーターカンパニー、本田技研工業株式会社、ホンダR&Dノースアメリカインコーポレイテッドに謝意を表す。UCRインテリシエアの研究は、カリフォルニア大学デジタルメディア革新プログラム(DiMI)からも一部支援を受けた。本論文内容は、あくまで著者の見解を反映したものであり、必ずしもスポンサーの容認を得たものではない。

#### 参考文献

- 1) Britton et al.: Carsharing 2000: A hammer for sustainable development, Journal of World Transport Policy and Practice, The commons Technology, Economy, Society, Paris, France, 2000
- 2) Barth, M and S Shaheen: Shared use Vehicle Systems: A Framework for Classifying Carsharing, Station Cars and Combined Approaches to appear, Transportation Research Record, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington D.C., 2000
- 3) Shaheen S., et al.: Carsharing in Europe and North America: Past, Present and Future, in Transportation Quarterly, Vol. 52, No. 3 (Sum

- mer 1998), pp 35-52
- 4) M.H. Massot et al.: Praxitele: Preliminary Results from the Saint-Quentin Experiment, presented at the 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., January, 1999
  - 5) Barth M., Todd M.: Simulation Model Performance Analysis of a Multiple Station Shared Vehicle System, Transportation Research, Part C: Emerging Technologies, Vol. 7, pp 237-259, Pergamon Press, 1999
  - 6) Barth, M., and M. Todd: User Behavior Evaluation of an Intelligent Shared Electric Vehicle System, Transportation Research Record No. 1760, pp. 145-152, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington, D.C., 2001a
  - 7) Barth, M and M. Todd: Performance Evaluation of a Multi-Station Shared Vehicle system, Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Oakland, CA, September, 2001b
  - 8) Barth, M., M. Todd and H. Hurakami: Using intelligent transportation system technology in a shared electric vehicle program, Transportation Research Record No. 1731, pp 88-95, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington D.C., 2000a
  - 9) Barth M and M. Todd: Intelligent transportation system architecture for a multi-station shared vehicle system, Proceeding of the IEEE Intelligent Transportation Systems conference, Dearborn, MI, October, 2000b
  - 10) Barth, M., L. Xue, Y. Chen and M. Todd: A Hybrid Communication Architecture for Intelligent Shared Vehicle systems, Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Paris, France, June, 2002