

# エコドライブ支援システムにおける能動的工夫の余地が 運転技能の習熟に与える影響

Effect of actively-device in eco-driving support system on proficiency of driving skill

平岡敏洋\*<sup>1</sup> 野崎敬太\*<sup>1</sup> 高田翔太\*<sup>1</sup> 塩瀬隆之\*<sup>2</sup> 川上浩司\*<sup>1</sup>  
Toshihiro Hiraoka Keita Nozaki Shota Takada Takayuki Shiore Hiroshi Kawakami

\*<sup>1</sup>京都大学大学院情報学研究科 Graduate School of Informatics, Kyoto University  
\*<sup>2</sup>京都大学総合博物館 The Kyoto University Museum

Eco-driving support systems (EDSSs) are divided into two types; a direct EDSS and an indirect EDSS. The former intervenes drivers' operation directly to improve fuel economy automatically and deprives drivers of an opportunity to try to perform eco-driving. Therefore, they could not master the eco-driving technique. The indirect EDSS provides only information about results of the driving behavior to encourage spontaneous effort to improve fuel economy. The present study performed driving simulator experiments to verify the differences of influence of the two EDSSs on proficiency of the eco-driving. We discuss the results from a viewpoint of FUBEN-EKI, proposed as a novel system design methodology, and then clarify the relationship between the degree of actively device and the proficiency of eco-driving skill.

## 1. はじめに

CO<sub>2</sub> 排出量削減の観点から、省燃費運転を支援するシステムに対する注目が年々高まっている。一部の市販車において、運転操作に介入して自動的に燃費の改善を図るシステムがすでに実装されているが、これは運転者から省燃費運転を試みる機会を奪うことになり、結果として省燃費運転の技能が向上しなくなる恐れがある。一方、情報提供のみで自発的な運転行動の改善を促すシステムもある。いずれにおいても、燃費改善効果に関する報告は多数存在するが、運転者の省燃費運転の習熟に着目した研究はほとんど行われていない。

本研究では、上記二種類のエコドライブ支援システム (EDSS: eco-driving support system) をドライビングシミュレータ上に実装し、それぞれが省燃費運転の習熟に与える影響を検証する。さらに、新しいシステム設計論の一つである「不利益」[1] の視点から能動的工夫と習熟の関係について考察する。

## 2. エコドライブ支援システム (EDSS)

### 2.1 安全運転支援システムにおける分類

安全運転支援システムは、運転者とシステムの関わり合いに基づいて、下記の二種類に分類できる [2]。

1. 直接型運転支援システム：システムが独自の基準に基づいて状況を判断して、その判断結果を警報音や警告表示で提示したり、操作介入する。
2. 間接型運転支援システム：運転者に情報提供するだけで、運転に関する判断や操作には介入せず、あくまでも運転者自身に判断を行わせて安全な操作を促す。

本稿では、上記の分類に基づいて、直接型エコドライブ支援システム (直接型 EDSS) と間接型エコドライブ支援システム (間接型 EDSS) という二種類の EDSS を定義する。

### 2.2 直接型エコドライブ支援システム (直接型 EDSS)

直接型 EDSS とは、システムが運転操作に直接介入することによって、運転者が普段通りの運転操作を行うだけで燃費を

連絡先: 平岡敏洋, 京都大学, 京都市左京区吉田本町, TEL: 075-753-5042, E-mail: hiraoka@sys.i.kyoto-u.ac.jp

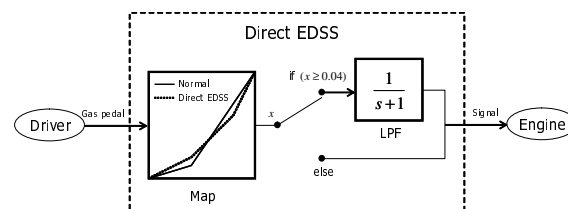


図 1: 直接型 EDSS のブロック線図

改善することができる仕組みである。代表的なものに、1) エンジンの出力と燃料消費量を抑制するモードを備えたシステム、2) アクセルペダルの反力を変化させることで燃費の良いアクセル操作を支援するシステム [3]、3) アイドリングを自動的に停止するアイドリングストップ機能、などがある。

本研究でドライビングシミュレータに実装した直接型 EDSS は以下の三機能を有する。

#### D-1) アクセル操作に対する燃料噴射量を抑制

図 1 に示すように、アクセル操作量が小さい領域において通常時よりも出力を抑えるマップを用意し、さらに出力信号が 0.04 以上のときに時定数 1[s] の 1 次 LPF (Low-Pass Filter) を通す。この機能により、エンジン制御信号の変化が滑らかになり、無駄な燃料消費に繋がる急な加速を抑制する。

#### D-2) 自動アイドリングストップ

ブレーキを踏み込んで停車している場合にエンジンを停止し、アイドリングによる燃料消費を防ぐ。

#### D-3) EDSS 作動を示すインジケータの点灯

EDSS が正常に作動していることを運転者に通知するために、メータ画面中央にインジケータが点灯する。

### 2.3 間接型エコドライブ支援システム (間接型 EDSS)

間接型 EDSS とは、情報提供のみを行い、エコドライブに対する運転者の意識や技能を高めて、間接的に省燃費運転を促すシステムである。代表的なものに、1) 運転行動のエコドライブ度に応じてポイントを付与するシステム [4]、2) ランプやメータ画面の色によって燃費に良い運転状態かどうかを知らせてエコドライブについてのアドバイスを行うシステム [5]、3)

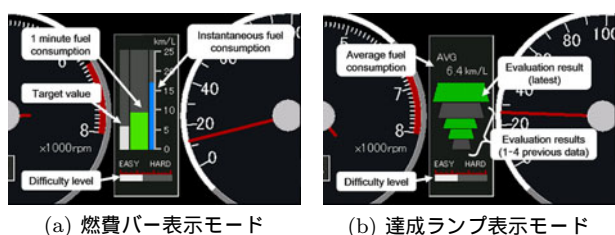


図 2: 間接型 EDSS における二つの表示モード

カーナビゲーションシステムの通信機能を利用した燃費のランキングなどがある。しかしながら、これらのシステムでは、すべての運転者に対して、システム設計者が定めた画一的な基準に基づいて評価を行うために、運転技術の高い運転者は良い評価を得て動機づけが高まるが、技術の劣る運転者は努力しても評価が低いままであるために挫折してしまう恐れがある。すなわち、運転技能の違いによって動機づけに与える影響が異なると考えられる。

そこで先行研究 [6] では、動機づけに関する心理学の知見に基づいて、下記に示す特徴を有し、運転者に自発的なエコドライブを促す間接型 EDSS を提案した。次章に示すシミュレータ実験ではこのシステムを用いた。

#### I-1) 1 分間隔ごとの燃費評価

結果期待<sup>\*1</sup>を高めるためには具体的な目標値を提示することが有効であり、図 2(a) に示すように、左側のバーに目標燃費値を表示する。中央のバーはその時点を起点とする過去 1 分間の平均燃費、右側のバーは瞬間燃費を示す。行動評価を長い間隔で行うと効力期待<sup>\*2</sup>が低下する。また、走行距離が伸びるほどに燃費変化率は必然的に下がるので燃費改善は困難になる。そこで、1 分燃費と目標値の比較を 1 分ごとに行い、1 分燃費が目標値を上回れば目標達成と判定し、図 2(b) の達成ランプ（最上段）が点灯する。

#### I-2) 運転技能や走行環境に見合った目標値の提示

走行開始から 1 分間ごとの平均燃費データを用意し、現在から過去に遡るにつれて影響が弱くなるように重み付けて、高さが燃費、幅が重みとなる長方形を高い順に並べる。燃費の良いデータの端から全体の横幅  $\times S\%$  上にある長方形の高さを現在時刻の目標値とすることで、重みをつけた過去のデータの  $S\%$ tile 値が目標値となる。

#### I-3) 目標値の難易度設定

運転者はロータリースイッチを操作して、目標燃費の難易度を示す達成可能性  $S\%$  を 10% から 100% まで 10% 刻みの中から設定できる。

#### I-4) 表示内容の切替え

運転者がボタンを押す度に「燃費バー表示モード」(図 2(a)) と「達成ランプ表示モード」(図 2(b)) が切り替わる。

### 3. 不利益の視点からみた二種類の EDSS

#### 3.1 不利益の定義

不利益 (FUBEN-EKI: FURther BENEfit of a Kind of Inconvenience) とは、「不便」の「益」、すなわち不便であることによってもたらされる効用を積極的に評価して、新しいシステムの設計指針として取り入れようという考え方 [1] である。

\*1 結果期待 (Outcome expectation) とは『自分がこういう行動を起こせばこういう結果が得られるだろう』という期待である。

\*2 効力期待 (Efficacy expectation) とは『自分にはある行動をうまくやり遂げることができる』という一種の自信である。

川上は、「便利」とは「特定のタスク達成に省労力であること」と定義し、「不便」とは「便利でないこと」と定義している [1]。ここで「特定のタスク達成に」という部分はタスク達成という結果ではなくその過程に注目していることを含意しており、「省労力」とは労力を質的または量的に低減することを表す。また、「労力」とは一般に手間と呼ばれる身体的労力と、心的負荷を含めた特定のスキルを要求するという心理的労力の二つの意味で用いる。

#### 3.2 不利益システムの特徴

不利益システムはユーザに手間をかけさせることが多い。しかし、その過程でさまざまな使い方を試みつつ、行為の結果をフィードバックされることによって、対象系を理解し、使い方に関する技能を習熟する。そして、その習熟を通じて自己肯定感といった主観的な益を得ることができる。

不利益のシステム設計論とは、いわゆる一般的な利便性を若干失うことになろうとも、システム使用の過程を通じて、ユーザが主観的な益を得ることを重視する考え方である。換言するならば、あえて不便さという「仕掛け」[7] を導入することによって、ユーザの動機づけに働きかけ、主観的な益が得られるように行動変容を促すシステムの設計論といえる。

#### 3.3 EDSS における不利益

2.2 節で説明した直接型 EDSS は、システムが介入することによって容易に燃費が向上する。しかしながら、システムがどのように制御しているのか理解することは容易ではない上に、運転者自身が運転操作を工夫する必要はなく、省燃費運転の習熟や自己肯定感の醸成を妨げてしまう恐れがある。すなわち、不利益の視点からは望ましくないシステムと考えられる。

一方、2.3 節で述べた間接型 EDSS は、システムから提供された情報を受けた運転者自身が意識的に運転操作を工夫する手間がかかる。これは一見すると不便であるが、受け取った情報を手掛かりに、様々な運転操作を試すという能動的工夫を通じて、燃費に良い運転操作を見つけることができる。さらに、省燃費運転を習熟することで、運転者は自己肯定感のような主観的な益を得ることができる。つまり、間接型 EDSS は不利益的なシステムであるといえよう。

### 4. ドライビングシミュレータ実験

2 章で述べた二種類の EDSS について、それぞれが省燃費運転の習熟に与える影響をシミュレータ実験により検証する。

#### 4.1 実験概要

##### 4.1.1 実験条件

本実験では先行研究 [6] と同じドライビングシミュレータを用いた。アクセル操作量とエンジン回転数に基づいて燃料消費量 [kg/s] を求めることで燃費を計算する。ただし、本実験ではエンジン回転数が 1600[rpm] 以上でアクセル操作量が 0.04 未満のときに燃料噴射をオフにする機能を追加している。

本実験の実験参加者は、インフォームドコンセントを得た普通自動車免許を保有する男性 12 名 (平均: 22.6 歳, 標準偏差: 0.6 歳) である。実験コースは全長 9[km], 幅員 7[m] の二車線の一方通行の直線路である。自車両前方に JC-08 モードの速度パターンを 4 分割して並べ替えたパターン (走行時間 1204[s], 平均速度 24.4[km/h]) で走行する先行車両が存在する。また、右車線上で先行車のやや後方を並走車が走行する。先行車に衝突すると警告が表示される。

実験参加者に対しては、1) 先行車に追従すること、2) 衝突や並走車の割り込みが発生した場合には走行開始地点からやり直

表 1: 実験スケジュール

1 日目	2 日目	3 日目
実験全体の説明 慣熟走行 練習走行 通常走行 1 (休憩) 説明 練習走行 システム利用走行 1 システム利用走行 2 アンケート	説明 練習走行 システム利用走行 3 システム利用走行 4 (休憩) システム利用走行 5 アンケート	説明 練習走行 システム利用走行 6 システム利用走行 7 (休憩) 説明 練習走行 通常走行 2 アンケート
計: 2 時間	計: 1 時間 30 分	計: 2 時間

しになる、と教示した。なお、燃費を上げさせるような指示は一切行っていない。

#### 4.1.2 実験手順

疲労による影響を抑制するために、実験は三日間に分けて実施した。表 1 に実験スケジュールを示す。分析対象となる走行は、通常走行 1 (N1) → システム利用走行 1 ~ 7 (S1 ~ S7) → 通常走行 2 (N2) の 9 走行である。

実験では 12 名の実験参加者を、7 回のシステム利用走行時に直接型 EDSS を使う I 群 (実験参加者 1~6) と間接型 EDSS を使う II 群 (実験参加者 7~12) に分けた。

### 4.2 実験結果と考察

#### 4.2.1 平均燃費

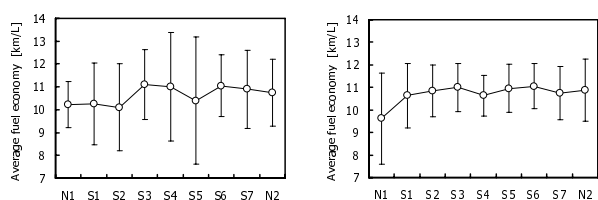
各走行条件ごとの平均燃費の推移を図 3 に、各群の通常走行 1 回目 (システム利用前) と 2 回目 (システム利用後) の平均燃費を比較した結果を図 4 に示す。

I 群において、各走行条件での平均燃費の推移について分散分析を行った結果、統計的な有意差は認められなかった。各実験参加者ごとの推移を確認すると、システム利用走行 1~7 において燃費が改善した実験参加者も、むしろ悪化した実験参加者もともに 3 名であった。図 4(a) に示す通常走行 1 回目と 2 回目の比較においても、3 名の実験参加者において燃費が改善していたが、残る 3 名はほとんど変化しておらず、全体平均の比較においても同様に統計的有意差は認められなかった。したがって、直接型 EDSS を利用した一部の運転者は省燃費運転を習熟しなかったのではないかと推察される。

II 群において走行条件を要因とする分散分析を行った結果、主効果が有意であった ( $F(8, 40) = 4.19, p < .01$ ) が、多重比較では各走行条件間に有意な差は認められなかった。図 4(b) に示す通常走行 1 と 2 の比較においては、6 名全員の燃費が改善しており、5%水準で通常走行 2 の平均燃費が増加した。つまり、間接型 EDSS は運転者に対して省燃費運転の習熟を促すことが示唆される。

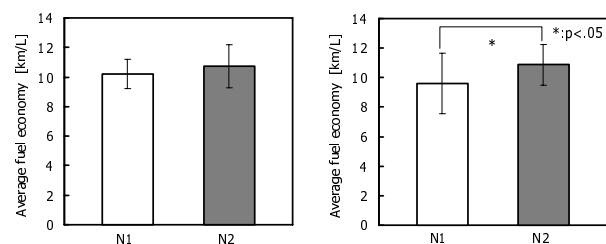
#### 4.2.2 惰性走行率

アクセルとブレーキの操作がなく加速度が負である走行状態を惰性走行、総走行時間に対する惰性走行時間の割合を惰性



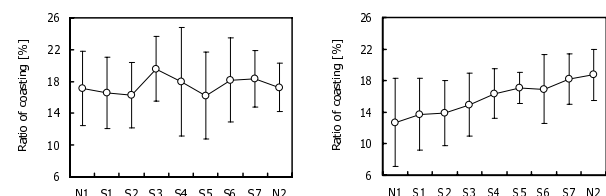
(a) I 群 (直接型 EDSS 利用群) (b) II 群 (間接型 EDSS 利用群)

図 3: 平均燃費 [km/L] の推移



(a) I 群 (直接型 EDSS 利用群) (b) II 群 (間接型 EDSS 利用群)

図 4: EDSS 利用前後の通常走行時平均燃費の比較



(a) I 群 (直接型 EDSS 利用群) (b) II 群 (間接型 EDSS 利用群)

図 5: 惰性走行率 [%] の推移

走行率という [6]。この値はエコドライブ 10 のすすめにおける「早めのアクセルオフ」の実施状況を表す。

各走行条件ごとの惰性走行率の推移を図 5 に示す。群ごとに走行条件を要因とする分散分析を行った結果、II 群において主効果が有意であった ( $F(8, 40) = 4.03, p < .01$ ) が、多重比較では有意差は認められなかった。

図 5(a) に示すように、I 群における惰性走行率の平均値は走行を重ねてもほとんど変化していない。直接型 EDSS 利用前後の 1 回目と 2 回目の通常走行の値を比較すると、3 名の実験参加者は惰性走行率が増加したが、残る 3 名は減少した。つまり、直接型 EDSS 利用時に一部の実験参加者は惰性走行を習熟しなかったといえよう。

それに対して、II 群では走行を重ねるごとに惰性走行率が増加しており、1 回目と 2 回目の通常走行時の惰性走行率を比較したところ、全員の値が増加していた。この結果は、間接型 EDSS を利用することで惰性走行の習熟が促されたことを示すものである。

#### 4.2.3 アクセル操作

エコドライブ 10 のすすめに「ふんわりアクセル」という項目があるように、省燃費運転を遂行する上で滑らかなアクセル操作は重要である。本研究では、過去 3 点のアクセル操作量 (サンプリングレート: 100[ms]) に基づいて 2 次の Taylor 展開から算出される次の時刻の予測値  $\tilde{\theta}(n)$  と実際の値  $\theta(n)$  の誤差二乗和  $\sum(\theta(n) - \tilde{\theta}(n))^2$  を、アクセル操作の滑らかさを示す指標とした。ただし、踏込み操作のみを対象とし、踏抜き操作は対象としない。

図 6 にアクセル操作の滑らかさの推移を示す。群ごとに分散分析を行った結果、両群ともに主効果は有意ではなかったが、直接型 EDSS の利用を繰り返すとアクセル操作は乱雑になる傾向にあることが示されている。間接型 EDSS を利用すると、通常走行 1 よりもアクセル操作が滑らかになり、システム利用後の通常走行 2 においても同程度の値を維持している。すなわち、間接型 EDSS を利用することで、省燃費に効果的な滑らかなアクセル操作を習熟したと考えられる。

#### 4.2.4 主観評価

不便益の考え方では、運転者が燃費を上げるために試行錯誤できる EDSS が望ましい。そこで、毎日の実験終了後に「運転支援システムの利用により運転に工夫したか?」(1: 全く工夫

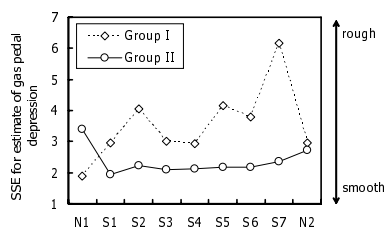
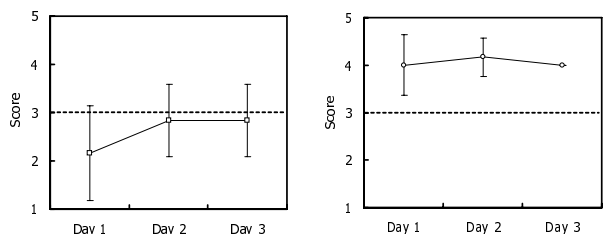


図 6: アクセルペダル操作の滑らかさの推移



(a) I 群 (直接型 EDSS 利用群) (b) II 群 (間接型 EDSS 利用群)

図 7: 運転に対する能動的工夫の推移

していない～5:とても工夫した)という能動的工夫の度合いに関する質問を行った。各群ごとの能動的工夫の推移を図7に、最終日の結果について群間比較した結果を図8に示す。

各群において実験日ごとの有意差は認められないが、直接型 EDSS を利用した I 群の平均値は 3 未満、間接型 EDSS を利用した II 群の平均値は 4 程度で推移している。また、最終日の結果では、間接型 EDSS を利用した場合に 1%水準で有意に大きい値となっている。以上より、直接型 EDSS を利用した場合には、自ら積極的に省燃費運転をしようとはしないが、間接型 EDSS 利用時には自発的に省燃費運転に取り組んだことがわかる。

「燃費を上げるために意識して運転をしたか?」(1:全く意識していない～5:とても意識した)という質問に対する三日目の結果を図9に示す。直接型 EDSS を利用した I 群、間接型 EDSS を利用した II 群ともに平均値は 3 を超えており、本実験で用いた EDSS はどちらも省燃費運転に対する意識づけに有効であったといえる。しかしながら、群間の有意差は認められなかったものの、間接型 EDSS を利用した II 群の方が平均値は高く、省燃費運転に対する意識づけがより高まったと推察される。これは実験最終日に実施した「システムの利用は燃費に役立ちそうだと感じましたか?」という質問に対して、I 群では 2 名が「システムは燃費改善に役立つとは感じなかった」と回答したのに対して、II 群では 6 名全員が「システムは燃費改善に役立つ」と回答した結果からも伺うことができる。前者の理由として「支援の利点、内容が理解できない」「システムが無い方が運転がスムーズ」という意見があった。これは直接型 EDSS の特徴であり弊害といえよう。また、II 群の回答では「燃費に対する意識づけができる」「燃費を上げるモチベーションとなりうる」などの意見が得られた。

#### 4.3 不利益の評価

本研究で用いた二種類の EDSS が不利益のシステム設計論に沿ったものであるのかどうか、本当に不便さが効用をもたらすのかどうかについて考察する。

直接型 EDSS は燃費を改善するが、省燃費運転に対する能動的工夫を必要とせず、一部の実験参加者は省燃費運転を習熟しなかった。つまり、直接型 EDSS は不利益の視点からは望ましくなく、運転者に手間をかけさせない利便さが技能を習熟

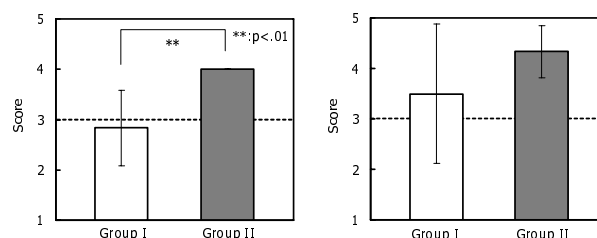


図 8: 運転に対する能動的工夫 図 9: 省燃費運転に対する意識

する機会を与えないという弊害が生じている。

一方、間接型 EDSS を利用した実験参加者のほぼ全員が省燃費運転に対する意識を高め、自発的に運転行動の改善に励み、省燃費運転を習熟することで燃費を改善した。つまり、運転者に対して試行錯誤する余地を与えるという特徴を有する間接型システムを使うことで、運転者は技能を習得し、結果的に主観的な益を得ることができる。

## 5. おわりに

本研究では支援方法が異なる 2 種類のエコドライブ支援システムを用いて、それぞれが運転者の省燃費運転の習熟に与える影響をドライビングシミュレータ実験により検証した。さらに、実験結果に対して不便益という視点からの考察を行い、運転者の能動的工夫と習熟の関係を明らかにした。

今後の課題として、1) 実験参加者数を増やすことで実験結果の信頼性を高める、2) 長期的に実験を行うことによる運転技能とモチベーションの持続性を検証する、3) 省燃費運転を習熟した運転者に対しても有効な支援方法を提案するなどが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 川上浩司: 不便の効用に着目したシステムデザインに向けて、ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.11, No.1, pp.125-133 (2009)
- [2] 平岡敏洋: 間接型運転支援システムが運転行動に与える影響に関する研究, 計測自動制御学会システム情報部門 学術講演会 2006 講演論文集, pp.241-246 (2006)
- [3] 坂口重幸, 塩見昌生, 大森将裕: エコドライブを支援する ECO ペダルシステムの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.48-10, pp.1-6 (2010)
- [4] 竹内彰次郎, 斎藤亨, 仁田原真耶, 盛合威夫, 山田武志: Harmonious Driving Navigator の開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.48-10, pp.19-21 (2010)
- [5] 藤木有司, 竹本英知, 榎本桂二: エコアシスト, 自動車技術, Vol.63, No.12, pp. 88-91 (2009)
- [6] T. Hiraoka, S. Nishikawa, H. Kawakami: Driver-assistance system to encourage spontaneous eco-driving behavior, Proceedings of 18th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM (2011)
- [7] 松村真宏: 仕掛学の試み, 第 25 回人工知能学会全国大会 (JSAI2011) 予稿集, CD-ROM (2011)