



4章  
光学と経営学の融合によるイノベーションマネジメント事例

4-5  
“Suica”の開発・導入と市場展開  
～交通インフラから社会インフラへの進化～

椎橋章夫†

キーワード：非接触ICカード、高速処理、自律分散技術、高信頼性

1. まえがき

日本の社会は、少子高齢化、グローバル化などの激変する社会環境の影響を受け変化している。鉄道事業も同様に、従来は安全で正確な輸送を行えば良かったものが、現在は安全性、快適性、利便性などの多種多様で質の高いサービスが求められている。鉄道経営を支える重要なシステムの一つに自動出改札システム（AFC: Automatic Fare Collection system）がある。東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）が2001年11月に導入したICカード乗車券システム“Suica”はシステムアーキテクチャに自律分散技術を使い、トラブルが発生してもシステム全体へ拡大しない仕組みを開発した。この結果、システムの拡張性と信頼性による継続的な高品質サービスの提供を実現した。その後、交通機能を超えた新たなサービスの市場展開により、Suicaは人々の生活に必要な社会インフラとなった。本稿では、まずSuicaシステム開発の課題、導入した技術などを明らかにする。さらに、乗車券のIC化の意義について考察し、交通インフラから社会インフラへと発展した“Suica”インフラの本質について述べる。

2. 鉄道乗車券システムの特性

鉄道輸送は毎日、休むことなく継続してサービスを提供する必要があるため、システムの安定稼働は必須の要件である。前述のような条件下で、鉄道における乗車券システムとして必要不可欠な基本機能は第1に高速処理である。日本の鉄道の特徴は朝夕の猛烈なラッシュである。こうした高負荷トランザクションの状況において、旅客が改札機を通過する件数は約2,400万件/日（実測値）であり、自動改札機の処理においては円滑な旅客流動を確保可能なスピードが必要である。第2は高信頼性である。乗車券は金券であり、正確な運賃処理が実現可能な、信頼性の高いシステム

ムが必要である<sup>1)</sup>。

3. 乗車券としてのICカードシステムの開発

3.1 開発のコンセプト

非接触ICカードを鉄道の乗車券として導入するにあたり、磁気式の乗車券すべてを一度にICカードに置き換えることは不可能である。このため、ICカードシステムの開発にあたっては、一定期間は磁気式の乗車券も使い続けるという前提で、どのような仕様が最も適切かという、開発コンセプトを定めた。

従来の磁気式自動改札システムと比較して、非接触ICカード乗車券システムを導入する場合の条件として、以下の点を考慮することとした。

- (1) 磁気システムとの共存が可能であること
- (2) 磁気システムよりコスト低減が可能であること
- (3) 磁気システムより処理能力および信頼性が同等か、それ以上であること
- (4) 新たなサービスの付加が可能であること、等である。

3.2 ICカード乗車券の高速処理

磁気式と非接触式ICカードの改札機によるカード処理の違いを図1に示した。磁気式での、改札機の処理は、データの「読み出し」を行い、それが正規の乗車券であるかを「判定」し、必要なデータを「書き込み」それを「確認」という4段階をおよそ0.7秒（実測値）で処理している。こ

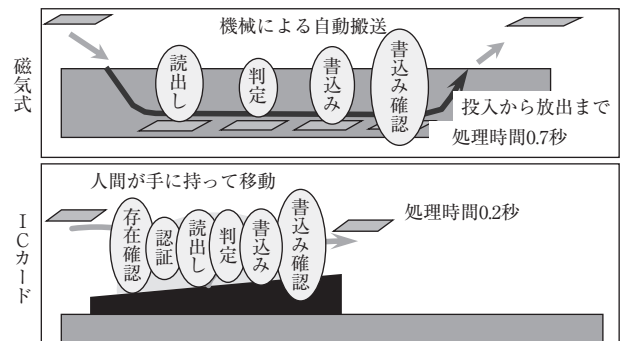


図1 自動改札機（磁気とIC）処理時間の比較

† JR東日本メカトロニクス株式会社  
"Development and Introduction of 'Suica' and Market Expansion: Suica evolved from transportation infrastructure to social infrastructure" by Akio Shiibashi (JR EAST Mechatronics Co., Ltd., Tokyo)



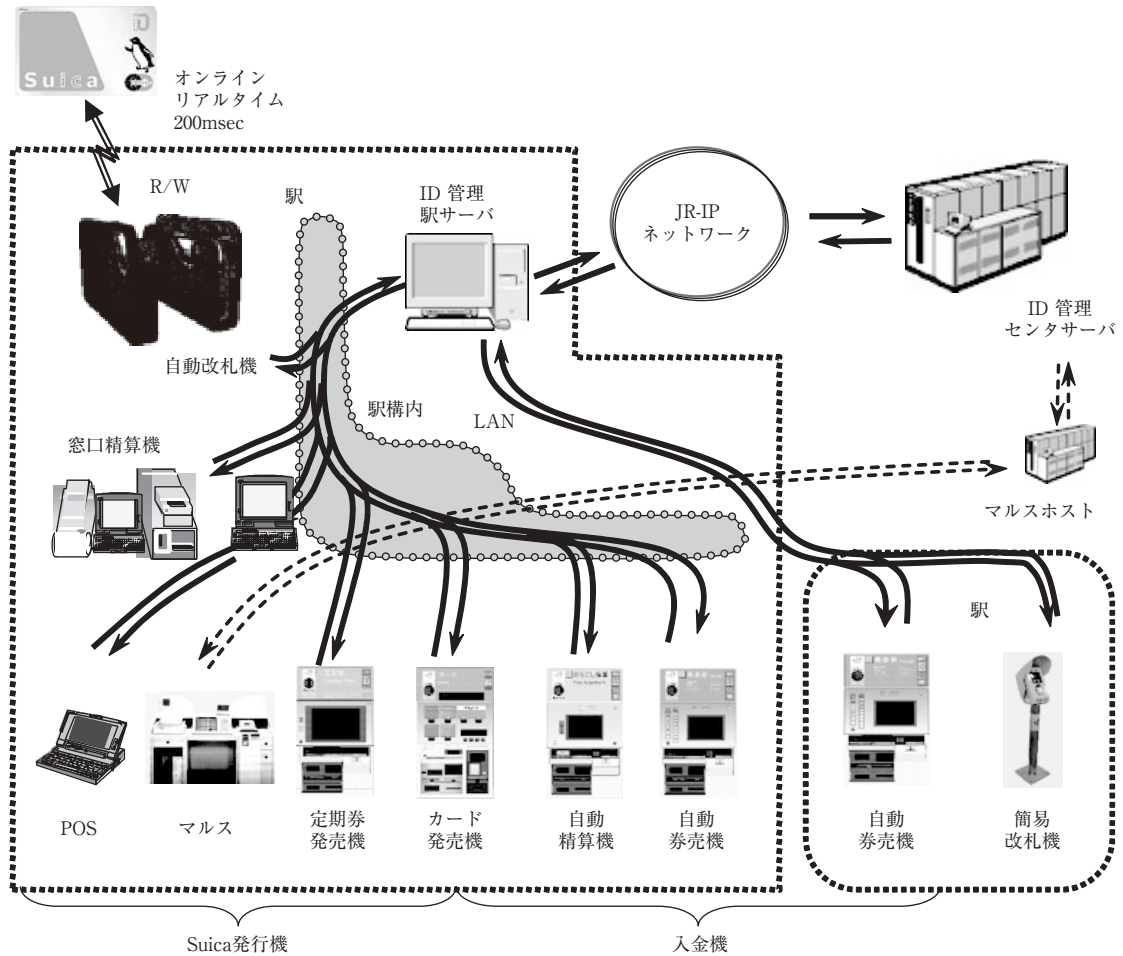


図4 Suicaシステムの構成

れている駅では、Suicaと磁気乗車券の両方を使うことができる。AFCゲートが設置されていない駅では、Suicaのみ使える簡易型AFCゲートを導入した。

各Suicaカードには固有のID番号 (Identification number) が付けられており、Suicaカードを利用するとネットワーク化された各機器により、すべての履歴を中央のSuicaセンターサーバに集約し管理する技術を導入した。これにより、全Suicaカードの情報を一元管理し、Suicaカード毎の利用データの正確で安定した集約やネットワークから不正カードの監視を行うなどが可能となった<sup>2)</sup>。

#### 4.2 自律分散技術によるSuicaシステムの高速性と高信頼性の確保

Suicaシステムは自律分散技術により、システムの高速性と信頼性を確保している。「自律分散型ICカード乗車券システム」としてモデル化したものが図5である。このシステムは時間単位の異なる三つのDF (Data Field) を持つという特異な構造をしている。

ICカード乗車券システムは端末での高速処理が必須要件である。旅客が通常、駅構内の平面を自由歩行する速度は1.4 m/秒であるが<sup>2)</sup>、改札機内の歩行速度は1.0 m/秒である<sup>3)</sup>。この速度で直径20 cmのR/W通信可能エリアを通過

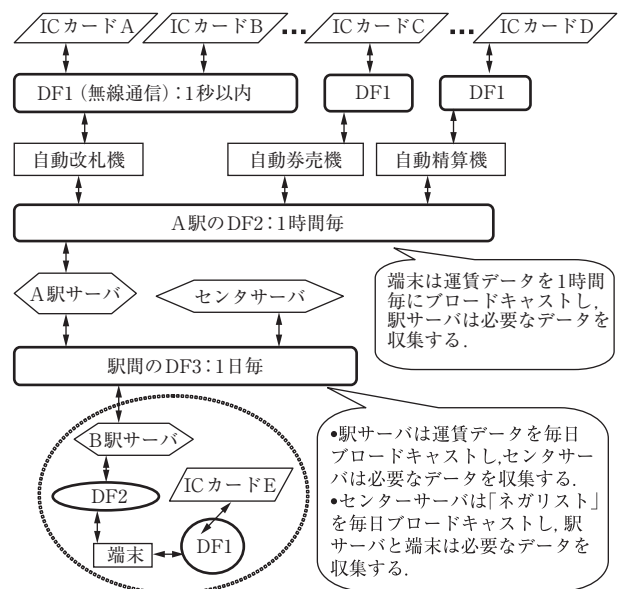


図5 自律分散型ICカード乗車券システム

すると仮定すると、ICカードがR/Wの通信可能エリアに滞在している時間、すなわち改札機とICカードが処理に費やすことのできる時間は0.2秒となる。したがって、IC

カードと端末間のDF1は0.1秒単位でデータの授受を行わなければならない。

ICカード～端末間にあるDF1において無線通信は1秒以内に行われるが、端末～駅サーバ間にあるDF2ではデータは1時間毎に流れている。駅サーバ～センタサーバ間のDF3では1日毎と1時間毎の2種類の時間単位を持っている。

このように「秒」、「時間」、「日」の3種類の異なるDF群を「異種DF」と呼ぶこととする。IC乗車券システムはシステムニーズに合わせた異種DFにより構成されているという特徴がある。これによりシステムの高速度性と信頼性の確保を可能としている。

また、各端末は自律して稼動しており、一部の端末が故障しても他の端末には、その影響を及ぼさないシステムとなっている。駅サーバが故障した場合はセンタからのデータが来ないため一部の機能が利用できないが、各端末は一定量のデータを保存可能なため、駅での出札や改札などの業務処理は継続可能である。また、各駅サーバはDF3を介してセンタサーバと結ばれており、乗客がICカードを持って駅サーバが正常な他の駅へ移動した場合はDF3よりデータを取得しており、すべての機能が利用可能である(図5)。このように自律分散型システムでは「異常が起きることが正常である」との前提でシステムが構築されている<sup>4)5)</sup>。

#### 4.3 Suicaシステムの安定化とセキュリティの確保

ここではSuicaシステムにおける必須要件である「サービスの継続性」確保のためのシステム安定稼動の技術について述べる。

一部機器が停止してもシステム全体へ影響しないために、次のようなデータ処理の分散による処理データのダム化(一定量データの蓄積)方式を考案し導入した。その方法は以下のとおりである。

- (1) ICカードの処理は各出改札機器にて独立して行い、処理の高速度性を確保する。ICカードの処理データはカード内に一定量(20件分)、端末には一定期間(3日間分)蓄積可能とした。
- (2) 上位への回線が確保されている場合は、各出改札機器端末で蓄積しているデータは一定時間毎に駅サーバに送信する。駅サーバはそのデータを蓄積する。さらに、駅サーバに蓄積されたデータはセンタサーバに一定時間毎に送信する。最終的にはセンタサーバにすべてのICカードの処理データが蓄積(26週間分)される。
- (3) これにより、障害等によりICカードの処理データがセンタサーバまで送信されない場合であっても、駅の出改札機器は一定期間(3日間)稼動可能となり、旅客サービスの継続が確保される。
- (4) 復旧後は直ちに各段階で蓄積されたデータは再送信され、データの欠落を防ぐことができる。

このように、処理したデータを蓄積して、後でデータの整

合化処理を行う方式を「自律分散整合化技術」と呼んでいる。

また、収集データから判明した不正カードに関する情報はリアルタイムで端末へ配信され、当該カードの利用を停止する。このように、ネットワークからも監視しており、セキュリティが大幅に向上した。

## 5. Suicaの市場展開

### 5.1 「乗車券」のIC化の意義

「乗車券」のIC化の意義について考察する(図6)。日本で最初に鉄道が開通したのは1872年である。当時、鉄道事業は極めて稀な第3次産業であった。基本的なビジネスモデルはA地点からB地点まで旅客や貨物を運送することにより対価を得るものである。「乗車券」はその対価の証票である。

しかし、「乗車券」がIC化することによって、取扱い可能な情報量が飛躍的に増えた。この結果、交通乗車券としての機能だけでなく、電子的にバリュー(価値)を付加した電子バリュー機能による電子マネー事業等の決済ビジネスへの活用が可能である。また、複数のカード機能の一体化や、他の媒体にIC機能を付加(例：携帯電話とSuicaを一体化した「モバイルSuica」など)した媒体を多機能化するビジネスも可能である。さらにはIC化により、セキュリティも大幅に向上した。このため、個別認証が可能となり、この機能を利用した、認証ビジネス(例：ビルやマンションの入出場時の鍵など)への活用やマーケティング(買い物ポイント会員などの会員認証)などでの活用も可能である。

さらには、メモリーの拡張領域を利用した、新しいビジネスの展開や各事業エリア間の拡張や連携による新しいビジネスの展開、ネットワークと連携したビジネスの展開などが可能となる。乗車券のIC化はビジネス全体に「拡張性」をもたらしたと言える。

### 5.2 “Suica”の市場展開への取り組み

ここでは、鉄道事業へのSuica導入から、電子マネーの展開、モバイルSuicaサービスの開始という、主な「Suicaの市場展開」への取り組みについて述べ、その後、「首都圏ICカード相互利用サービス」を経て、Suicaが「社会インフラ」へと進化する過程について考察する。

鉄道会社であるJR東日本は、約1700の駅と約7,500 km(日本の鉄道の27%)の営業路線、そして、毎日約1,700万人のお客様にご利用いただいている。いわば、鉄道インフラは社会の重要な基盤インフラである。この鉄道インフラのうち、特に重要な事業拠点である駅にICカードSuica(鉄道乗車券としての利用)を導入した。Suicaは、ICカードの「大容量」、「高セキュリティ」という特徴を活かし、継続的な技術改良を加え、これまでさまざまなサービス(機能)を市場に提供し、事業を展開してきた。

2001年11月のSuica導入にあたっては、センタシステムは新規に構築したが、出改札機器は既存設備の有効活用とユーザインタフェースの観点から、既存の機器にICカード

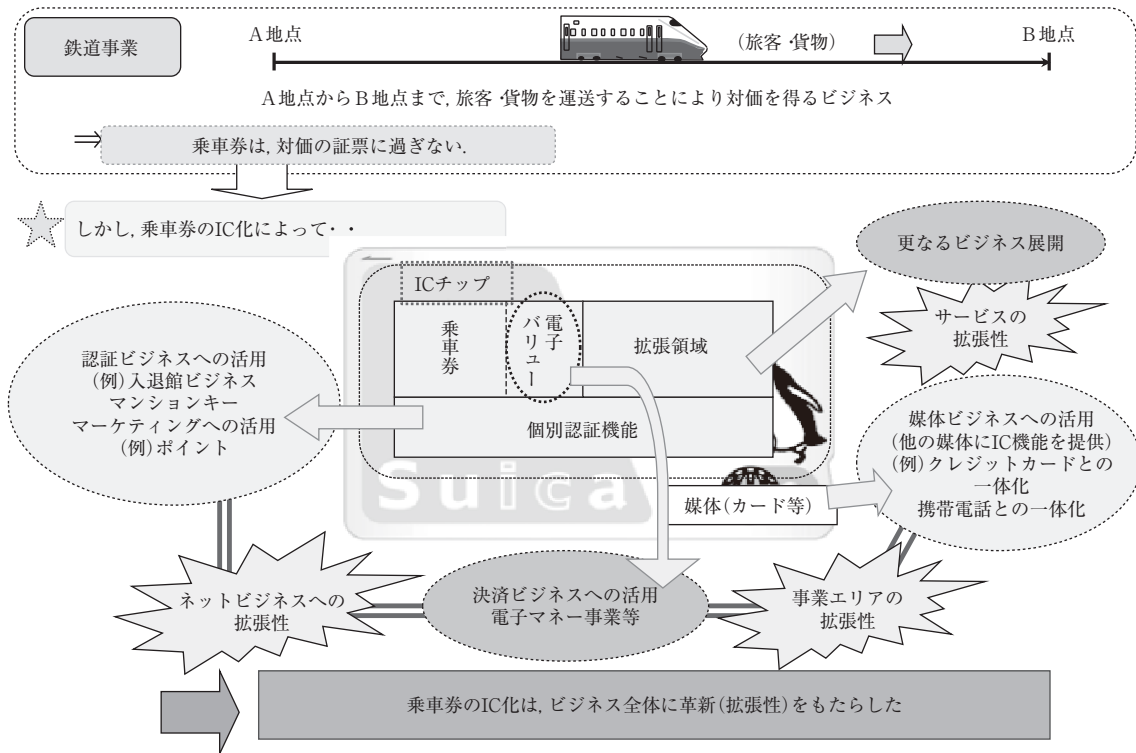


図6 乗車券のIC化の意義

乗車券機能を追加する形でシステムを設計した。このため、既存機器との相性やICカード特有の仕様（運賃計算や不正チェックなど）付加に課題はあったが、一つ一つの機能試験を計画的に順序良く、着実に行うことで、導入時の大きなトラブルをなくした。Suica導入後も鉄道利用の面では、デジタル化したグリーン券をSuicaカード上に発券することで、チケットレスでグリーン車を利用可能なシステム、新幹線に乗り可能システムなどを実現した。鉄道事業におけるサービスアップは現在も続いている。

JR東日本の事業ドメインに変革を起こすエポックメイキングなSuica機能の「進化」が、2004年3月に開始された「電子マネー」サービスである。システムの基本は鉄道のSF機能を利用している。鉄道事業者の管理下で駅の機器は主に運賃計算や不正チェックを行っているが、電子マネーサービスでは運賃計算が不要になる一方でJR東日本の鉄道エリア（駅）から離れた街中で金券としての使用を考慮する必要がある。このため、セキュリティの確保と決済機能に特化したセンタシステムと端末を開発し対応した。

### 5.3 交通インフラから社会インフラへの進化

Suicaのもう一つの大きな進化が、2006年1月にサービスを開始した「モバイルSuica」である。モバイルSuicaのサービスでは、JR東日本が管理していない媒体（＝携帯電話）にサービスを提供する必要がある。このため、すでに稼動しているシステムや機器の改修なしに利用できるよう、この携帯電話があたかもカードであるかのように取り扱える仕組みを構築した。モバイルSuicaは、Suicaが外部

ネットワークと結合した初めての事例であり、Suicaインフラがこれまでの交通インフラからオープンな社会インフラへと進化した。

2007年3月18日、PASMOとSuicaは「首都圏ICカード相互利用サービス」を開始した。その約4年半前には、PASMO各社と相互利用実現に向けた協議を開始していた。まず、大規模センターシステムと多数の端末機器の開発においては、「品質の確保」、「工期の短縮」、「コストの低減」を実現するため、徹底してシステムの「共通化」、「標準化」を進めた。しかし、各社には歴史的な背景を持つ運賃ルールがあり、共通のシステムに統合していく、という仕様確定作業は困難を極めた。膨大な回数の打ち合わせ会議を通して、ユーザオリエンテッドなシステムが各社にとって最適であるとの共通認識が生まれ、関係者の熱意もあり、何とか確定した。

また、各社の役員クラスによる工程管理体制を構築し、開発や試験の進捗管理を事業者の経営幹部が直接、責任を持って取り組める仕組みとした。この「工程管理会議」の導入と管理の徹底が本プロジェクト成功の要因であると考えている。

システムの試験期間だけでも約1年3ヶ月に渡り、40万件を超える機器類相互間の動作確認試験を実施した。また、首都圏エリアを乗車する経路パターンとその運賃の種類は天文学的数字となるが、最終的には「12億3千万通り」の経路パターンと運賃を検証した。愚直に試験することで、巨大システムの完成度を高めていった。

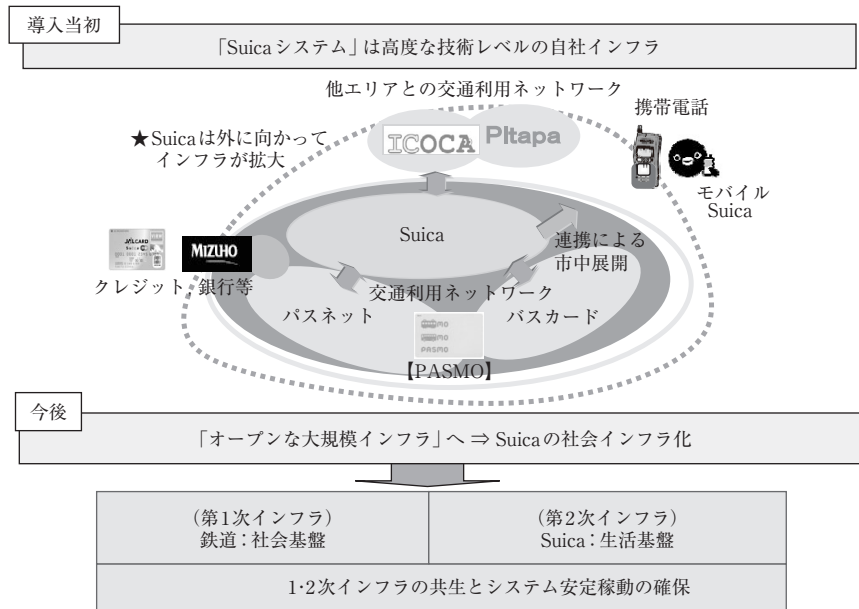


図7 Suicaの社会インフラ化

ICカード乗車券システムとしてスタートしたSuicaインフラは、移動のためのツール(乗車券)として機能する「交通インフラ」に過ぎなかったが、電子マネー機能(=決済機能)、モバイルSuica機能、相互利用機能を得て、「社会インフラ」へと進化した。

## 6. むすび

インフラとは(infrastructure)の略語であり、「人々が望む好ましい状態に至ることを目的として、生産性の向上や所得分配などに役立ち、社会の安定に資するとともに、人々の潜在能力の発現を支援し、生活の質の向上に直接・間接的に資する市場が成立しないかあるいは市場だけの取引では供給に過不足が生じる公益性の高いサービスを効率的に生み出す制度・組織・物的施設・機能・効果の総体」と定義される<sup>6)</sup>。インフラを経済面や社会面からだけでなく、潜在能力の発現や生活の質の向上という視点も包含したこの定義はIC乗車券インフラの役割を考える上で非常に適している。

これまでも述べてきたが、Suicaシステムは導入当初、JR東日本の自社インフラであったが、交通機能を超えた新たなサービスの市場展開により、Suicaは人々の生活に必要な不可欠なインフラとなった。この結果、Suicaは「オープンな大規模インフラ」となり、「Suicaの社会インフラ化」が進展したと言える。これまでの鉄道インフラを社会基盤としての第1次インフラとすれば、Suicaは生活基盤としての「第2次インフラ」と位置付けられる(図7)。

第1次インフラは生きるために必要なインフラとして、供給者の視点で、不特定多数のユーザに、単機能のサービスを提供するインフラと定義すれば、第2次インフラは生

活の質(豊かさ)の向上を目的とし、特定のコミュニティのユーザを対象とし、ユーザの視点で、統合的なサービスを提供するインフラと定義できる。今後、Suicaの市場展開で第2次インフラによる生活革命が急速に進展していくだろう。

また、2016年に開かれた世界経済フォーラムで「第4次産業革命の理解(Mastering the Fourth Industrial Revolution)」がテーマとなった。現在、世界各国でその取り組みが議論されている。2001年にサービスを開始したSuicaは、世界的動向である「第4次産業革命」に資する日本発の先駆的成果の事例とも言える。(2019年2月14日受付)

## 〔文 献〕

- 1) 椎橋章夫：“ICカード出改札システム“Suica”の開発と導入”，日本信頼性学会，25，8（2003）
- 2) 中祐一郎：“鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究”，鉄道技術研究報告，1079（1978）
- 3) A. Imai：“Examination of parameter of size of automatic fare collection gate”，Omron Technics，12，1，pp.25-40（1972）
- 4) 森欣司：“自律分散システム [I] - [VI]”，信学誌，84，6，pp.403-408/7，pp.484-490/8，pp.611-617/9，pp.663-669/10，pp.734-740（2001）
- 5) 森欣司，足達芳昭，伊藤俊彦，松本雅行，大村賢，柴尾聡，藤沢真二，星合隆成，久保田稔：“世界にはばたく技術-自律分散システム (1) (2)”，信学誌，121，2，pp.100-118/3，pp.177-189（2001）
- 6) 吉田恒昭ほか：“紛争終結国の平和構築に資するインフラ整備に関する研究”，国際協力機構報告書（2007）

