慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	東京に価値をもたらすステーションのない大規模バイクシェアリングシステムの概念設計
Sub Title	Conceptual design of a large-scale non-station bike sharing system adding value for Tokyo
Author	陳, 漢傑(Chen, Hanjie) 西村, 秀和(Nishimura, Hidekazu)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・ マネジメント研究科
Publication year	2016
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2016年度システムデザイン・ マネジメント学 第224号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002016-0019

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文　　2016 年度

東京に価値をもたらすステーションのない大規模バイクシェアリングシステムの概念設計

陳 漢傑
（学籍番号：81434659）

指導教員　教授　西村　秀和

2017 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論　　文　　要　　旨

学籍番号	81434659	氏　名	陳　漢傑

論 文 題 目：

東京に価値をもたらすステーションのない
大規模バイクシェアリングシステムの概念設計

（内容の要旨）

近年、大規模バイクシェアリングシステムは世界で広く導入・展開されている。しかし東京では、大規模バイクシェアリングシステムの普及は順調に進まず、パリやニューヨーク、上海などの世界的都市に明らかに遅れている。

東京においての大規模バイクシェアリングシステムを促進するためには、第一に、大規模バイクシェアリングシステムの導入は東京にどのような価値をもたらせるかを明らかにすること、第二に、今後のバイクシェアリングシステムのあり方はどうあるべきかについて検討すること、この二点が重要であると考えられる。

一点目に対して、本論文では、国民健康と地球環境の観点に基づいた定量的な分析を行い、大規模バイクシェアリングシステムが東京にもたらせる価値を明確にする。まず、東京での自動車の利用実態を把握し、その中でバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待できる規模を算出する。次に、自転車の利用と生活習慣病の予防との関係性を明らかにし、バイクシェアリングシステムの普及は国民医療費の軽減に繋がることを示す。また、日本の地球温暖化に対して提出した草案に着目し、バイクシェアリングシステムの普及は CO_2排出量の削減に貢献できることを明確にする。最後に、「国民医療費の軽減効果」と「CO_2排出量の削減効果」を、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす「価値」として捉え、それを明らかにするためのシミュレーションを構築する。

二点目に対して、本論文では、モデルベースシステムズエンジニアリングの手法を用いて、ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計を行う。まず、社会（マクロ）、利用者と運営者三つの視点から、システム設計における初期要求の整理を行う。次に、開発対象を明確化するため、運用ステージでのコンテキスト分析を行い、初期要求を満たすユースケースを記述する。また、シーケンス図によりユースケースを記述することで、開発対象の機能要求を抽出する。さらに、抽出された機能要求を開発対象が持つべき機能として捉え、アクティビティ図を作成することで、機能の物理への割り当てを行う。最後に、物理の整理を実施して成果物としてのシステムアーキテクチャを構築し、システムの検証を行う。モデルベースアプローチを用いるにあたり、本論文では SysML(Systems Modeling　Language)を用いる。

キーワード（5 語）

ステーションのない大規模バイクシェアリングシステム、国民健康、地球環境、東京、モデルベースシステムズエンジニアリング

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81434659	Name	Hanjie Chen

Title

Conceptual Design of A Large-Scale Non-Station Bike Sharing System Adding Value for Tokyo

Abstract

In the past few years, as an advanced strategy to relief traffic congestion, environmental pollution and health issues, the large-scale bike sharing system has grown rapidly all over the world. Today, within many metropolitan cities, including New York, Paris and Shanghai, the system has played an irreplaceable role of the urban transportation network. On the other hand, Tokyo also has been running the bike sharing system for more than 10 years. However, compared with the systems in other cities, Tokyo's system is limited.

This research aims to figure out the value that a large-scale bike sharing system can bring to Tokyo. Firstly, it explores the potential of the large-scale bike sharing system within the central area of Tokyo, based on an analysis of Tokyo's current transportation conditions. Next, it discusses Tokyo & Japan's current issues from the following two perspectives: healthcare and environment, and points out that the large-scale bike sharing system will be a great solution for these issues. Lastly, it builds a simulation model of a large-scale bike sharing system installed in Tokyo, and shows that the system is expected to create great contribution on both the healthcare and the environment sectors of the city.

This research also aims to formulate a new non-station bike sharing system for Tokyo. Based on series analysis of the existing systems across the world, this research figures out that the non-station system is an innovative schema and supposed to be suit for Tokyo's current situation. To formulate the new system, a Model-Based Systems Engineering approach is required to clarify the design details. In this thesis, to execute the Model-Based Systems Engineering approach, a system description language called SysML(Systems Modeling Language) is to be used.

Key Word (5 words)

Large-Scale Non-Station Bike Sharing System, Healthcare, Environment, Tokyo, Model-Based Systems Engineering

目次

第 1 章　序論 1
1. 1. 研究の背景 1
1.1.1. 海外においてバイクシェアリングシステムの現状 1
1.1.2. 東京においてバイクシェアリングシステムの現状 3
1.1.3. 東京への大規模バイクシェアリングシステムの導入について 5
1.1.4. 既存するバイクシェアリングシステムの問題点 8
1. 2. 研究の目的と方法 13
1.2.1. 研究の目的 13
1.2.2. 研究の方法 13
1.2.3. 本論文の構成 14
第 2 章　国民健康と地球環境の観点から東京での大規模バイクシェアリングシステムの分析 15
2. 1. 東京において自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換の分析 16
2.1.1. 東京において自動車の利用実態について 16
2.1.2. 東京においてバイクシェアリングシステムの期待できる導入規模 17
2. 2. 健康の観点に基づいた東京でのバイクシェアリングシステムの分析 20
2.2.1. 日本において国民医療費の高騰問題について 20
2.2.2. 自転車の利用と生活習慣病の予防 21
2.2.3. バイクシェアリングシステムの普及と国民医療費の軽減 22
2. 3. 環境の観点に基づいた東京でのバイクシェアリングシステムの分析 23
2.3.1. 日本の地球温暖化対策について 23
2.3.2. バイクシェアリングシステムの普及と CO_2 排出量の削減 24
2. 4. 大規模バイクシェアリングシステムの導入シミュレーション 25
2.4.1. シミュレーションの目的 25
2.4.2. シミュレーションのモデル化 25
2.4.3. シミュレーションの結果 27
第 3 章　ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計 29
3. 1. システム設計のプロセス 30
3. 2. 初期要求の整理 31
3. 3. コンテキスト分析 38
3. 4. 振る舞いのモデリングによる機能要求の抽出 40
3.4.1. シーケンス図による「バイクシェアリングシステムを利用する」のモデリング 40

3.4.2. シーケンス図による「バイクシェアリングシステムを運営する」のモデリング 51
3.4.3. 「ゾーンベースの課金制」の提案とシーケンス図による「利用料金の自動的決済」のモデリング 53
3.4.4. 機能要求の整理 57
3. 5. 振る舞いのモデリングによる機能の物理への割り当て 60
3.5.1. 機能の各サブシステムへの割り当て 60
3.5.2. モデリングによる機能のさらに細かい物理への割り当て 62
3. 6. ステーションのない新たな大規模バイクシェアシステムのアーキテクチャ 76
3. 7. システムの検証 78
第 4 章　結言 81
4.1.1. 結言 81
4.1.2. 今後の展望 82
謝辞 83
参考文献 84

第1章 序論

1.1. 研究の背景

1.1.1. 海外においてバイクシェアリングシステムの現状

近年、都市交通や地球環境、国民健康などへの貢献が期待され、バイクシェアリングシステムは世界中で広く導入・普及されている。Susan Shaheen の『Shared Mobility Trends: 2015 - 2016』[1]によれば、2015 年 12 月時点、世界で 980 を超える都市がバイクシェアリングシステムを導入しており、そのシェアバイクの台数は合わせて 125 万台を超えている。

海外でのバイクシェアリングシステムの現状を把握するため、面積と人口の視点から東京のスケール（東京 23 区部の面積：619 km^2；人口：938 万人。2016 年 [2]）に近い四つの世界的都市（パリ、ニューヨーク、ロンドンと上海）の事例を取り上げる。

（1） Velib’（フランス・パリ）

パリ（City）の面積：105 km^2；人口：223 万人。（2015 年）

パリの Velib’は 2007 年に発足したヨーロッパ最大級のバイクシェアリングシステムである。パリの都市公共交通において重要な一環として、Velib’は 300 メートル当たりに一つのステーションが設置されているといわれている。現在、Velib’は合計 1,800 箇所を超えるステーションと 23,600 台を超えるシェアバイクを稼働しており、年間契約会員数は 30 万以上といわれている [3]。

（2） Citi Bike（アメリカ・ニューヨーク）

ニューヨーク（Land of City）の面積：789 km^2；人口：855 万人。（2015 年）

ニューヨークの Citi Bike はアメリカ最大級のバイクシェアリングシステムである。2013 年 5 月、Citi Bike はマンハッタンとブルックリン地区で 330 箇所のステーションと 6,000 台のシェアバイクでプログラムをスタートし、2016 年 11 月時点、Citi Bike の台数は約 9,5000 台までのぼり、ステーションの数は始まった頃の二倍約 600 箇所になっている。現在、Citi Bike の年間契約会員数は約 12 万人がいるといわれている [4]。

（3） Santander Cycles（イギリス・ロンドン）

ロンドン（Greater London）の面積：1,572 km^2；人口：867 万人。（2015 年）

渋滞緩和や環境保全などの目的から、自転車利用促進政策の一つとして、2010 年、ロンドンは初めてバイクシェアリングシステムを導入した。現在、ロンドンの Santander Cycles は 839 箇所のステーションと 13,600 台のシェアバイクを稼働しており、Citi Bike

の規模を上回るシステムとなっている。そのほか、ロンドンは「自転車スーパーハイウェイ」の整備や駐輪場の拡大など、様々な自転車政策を実施している［5］。

（4） Mobike（中国・上海）

上海（中環内）の面積：664 km^2；人口：1116 万人。（2010 年）

2016 年 4 月、Mobike というステーションのないバイクシェアリングシステムは初めて上海で導入された。2016 年 12 月、上海での Mobike の台数は合わせて 10 万台までのぼり、世界最大級のステーションのないバイクシェアリングシステムとなった。Mobike は盗難や破損などの被害を対策するため、シェアバイクの車体を改善したほか、従来のない「信用ポイント制度」など様々なアイデアを次々と打ち出し、バイクシェアリングシステムの発展に新たなヒントと刺激を与えた［6］。

海外の事例をみると、バイクシェアリングシステムは世界中で広く導入・普及されていることがわかる。さらに、世界的都市のパリ、ニューヨーク、ロンドンと上海は、それぞれ 1 万台を超える大規模バイクシェアリングシステムを展開している。現在、海外での大規模バイクシェアリングシステムの普及は、空前のブームとなっていると言っても過言ではない。

バイクシェアリングシステムの定義について：

本論文においての「バイクシェアリングシステム」とは、街中に自由に利用可能な複数の自転車が設置され、利用者がどこでも借り出し・返却できる新しい都市交通システムである。

日本では、同様のシステムについて、「コミュニティサイクル」、「サイクルシェアリング」、「自転車シェアリング」などの呼び方があるが、本論文は「バイクシェアリングシステム」に統一する。また、本論文はバイクシェアリングシステムで利用される自転車のことを「シェアバイク」と呼ぶことにする。

1.1.2. 東京においてバイクシェアリングシステムの現状

本論文においての「東京」とは、特に東京区部（東京 23 区）のことを指している。2016 年 10 月時点、東京区部の面積は 619 km^2、人口は 938 万人、人口密度は 15,077 人/km^2である［2］。

まずは、東京でのバイクシェアリングシステムの発展歴史について述べる。交通総合研究所によれば、東京での最初のバイクシェアリングシステムは、2007 年に世田谷区で導入された「がやりん」という自転車シェアサービスである。「がやりん」は、ステーションが街中に設置されず、すべてのシェアバイクが特定した駐輪場で一括管理されるシステムである。利用者はその特定した駐輪場でしかシェアバイクを借り出し・返却できない ［7］。2012 年、江東区で「臨海部コミュニティサイクル実証実験」が始められ、東京での最初の IT-Based 無人管理バイクシェアリングシステムといわれている。江東区で実施されるシステムの仕組みは、パリやニューヨークなどで展開されるシステムの仕組みと非常に近いものである ［8］。それから、千代田区、港区、中央区と新宿区は次々と江東区と同じ仕組みのシステムを導入し、東京でのバイクシェアリングシステムの普及は少しつつ展開されている。そして、2016 年 10 月、本来それぞれ独立する東京都心五区（千代田区、中央区、港区、新宿区、江東区）のシステムは相互利用可能となり、東京都心でのバイクシェアリングシステムは初めて統一化・共通化を実現した［7］。

次に、東京でのバイクシェアリングシステムの現状について論じる。2016年10月時点、都心五区（千代田区、中央区、港区、新宿区、江東区）で展開されるシステムのステーション数は 181 にのぼった ［9］。一方、システム全体において、シェアバイクの台数が公表されていない。海外の事例を参照してみれば、通常、ステーション一箇所あたりのシェアバイク数は 10～15 台と考えられる。したがって、現在、東京都心五区で展開されるシステムのシェアバイク台数は、合わせて 1800～2700 台であると推定できる。以上のことから、ここ数年、東京でのバイクシェアリングシステムの普及は確実に進んでいるということがわかる。

しかしながら、前節で述べたように、面積と人口の視点からスケールは東京に近い世界的都市のパリ、ニューヨーク、ロンドンと上海では、それぞれ 1 万台を超える大規模バイクシェアリングシステムが導入されている。それらと比べれば、東京でのシステムは規模が非常に限られている。

以上のことから、東京でのバイクシェアリングシステムの普及は確実に進んでいることがわかる。しかし一方で、東京は大規模システムの導入において、もうはやほかの世界的都市に遅れているということが明らかになった。

表１　世界での代表的なバイクシェアリングシステム実施事例

都市名	パリ	ニューヨーク	ロンドン	上海 （中環内）	東京 （23 区）
面積	105 km^2	789 km^2	1572 km^2	664 km^2	619 km^2
人口	223 万人	855 万人	867 万人	1116 万人	938 万人
システム名	Velib’	Citi Bike	Santander Cycles	Mobike	コミュニティサイクル
開始時間	2007 年	2013 年	2010 年	2016 年	2012 年
システム方式	ステーションあり	ステーションあり	ステーションあり	ステーションなし	ステーションあり
運営期間	24 時間	24 時間	24 時間	24 時間	24 時間
ステーション数	1,800	600	839	なし	181
シェアバイク台数	23,600 台	10,000 台	13,600 台	100,000 台	1,800~2,700 台（推定）
１万人あたりのシェアバイク台数	105.83 台	11.70 台	15.69 台	89.60 台	1.92~2.88 台（推定）
料金収受	クレジットカード、デビットカード	クレジットカード、デビットカード	クレジットカード、デビットカード	WeChat Pay、AliPay（電子マネー決済のみ）	クレジットカード、現金、Suica/Pasmo
１日パス料金	1.7 ユーロ（200 円）：30 分乗り放題	12 ドル（1,400 円）：30 分乗り放題	五時間以内の使用は 30 分あたり：1 ポンド（140 円）	1,500 円：1 日乗り放題	30 分あたり：1 元（17 円）；利用保証金：299 元（5,000 円）
年間パス料金	29 ユーロ（3,500 円）：30 分乗り放題；39 ユーロ（4,800 円）：45 分は乗り放題	155 ドル（18,000 円）：45 分乗り放題	60 ポンド（8,400 円）：30 分乗り放題	月間料金：2,000 円（年間 12,000 円）；30 分乗り放題	30 分あたり：1 元（17 円）；利用保証金：299 元（5,000 円）
ファイナンス	JCDecaux：140 万ドル	Citi：7,000 万ドル；Goldman Sachs：1,500 万ドル	Barclays：5,000 万ポンド；ロンドン市：約 700 億円	D-Round：2.15 億ドル；いままでの総融資額は披露されていない	不明；運営者は NTT ドコモ

1.1.3. 東京への大規模バイクシェアリングシステムの導入について

前節で述べたように、東京での大規模バイクシェアリングシステムの導入は、ほかの世界的都市に遅れたことが明らかである。そこで、以下で示すような三つの疑問が自然と浮かんでくる。

- 東京はなぜ大規模バイクシェアリングシステムの導入に遅れたのか
- 東京は大規模バイクシェアリングシステムにふさわしいのか
- 大規模バイクシェアリングシステムの導入は東京にどのような価値をもたらせるのか

この三つの疑問に巡り、東京への大規模バイクシェアリングシステムの導入について論じる。

まずは、「東京はなぜ大規模バイクシェアリングシステムの導入に遅れたのか」に着目し、その原因を整理する。

（1） 自転車の利用環境が良くない

ニューヨークは2002年から2013年にかけて、560キロメートルに及ぶ自転車専用走行路を新たに整備し、さらに 2014 年、93 キロメートルの整備延長を果たした。一方、ロンドンは、「自転車スーパーハイウェイ」という計画を導入し、合計 12 線路、総延長約 150km の自転車専用走行路の整備が着々と完成している [7]。

それに対して、東京建設局の統計 [10]によれば、2011 年時点、東京において自転車専用走行路の全長は 112km にすぎない。自転車専用走行路の整備など、自転車の利用環境は整っていないところが、東京での大規模バイクシェアリングシステムはうまく展開できない最も大きな理由の一つとよく指摘される。

（2） 大規模な予算

大規模バイクシェアリングシステムの導入には、大規模な事業予算が必要とされる。海外事例をみると、金融機関などがプログラムの資金提供者になることが多い。例えば、シティーバンクは2013年からCiti Bikeの最大スポンサーとなり、その出資額は五年間4,100万ドルである。また、上海の Mobike は 2017 年 1 月に、複数の金融機関から 2.15 億ドルの融資を果たした。

それに対して、日本の金融機関や大手企業などが、そこまで大規模な予算を動かしバイクシェアリングシステムを促進させようとする姿勢がなかなか見かけない。大規模な予算がない限り、大規模バイクシェアリングシステムの実施は難しいと考えられる。

（３） 自動車からの利用転換が期待されにくい

大規模バイクシェアリングシステムを導入した海外都市の交通手段分担率を参照すれば、自動車の分担率は、パリで 46%、ニューヨークで 33%、ロンドンで 50% となっている。一方、東京 23 区部では、鉄道を始めとした公共交通が 90%以上の割合を占めるのに対して、自動車の分担率はわずかの 11%に過ぎない [11]。

例えば、ロンドン、ニューヨークなどの都市は、最初から交通渋滞の緩和を最もな目的として大規模バイクシェアリングシステムを導入した。しかしながら、東京での自動車の利用率はそもそも高くない、自動車からの利用転換が期待されにくいため、大規模バイクシェアリングシステムを導入する必要がないではないかと指摘する人が多い。

（４） 気候、安全問題など

東京での大規模バイクシェアリングシステムがうまく展開しない原因として、そのほかでもいくつかがよく指摘されている。

例えば、東京は雨の日が多い（2008 年、115 日/年間）、自転車の利用にはふさわしくない気候であると指摘する人がいるようである。

また、ヘリメットを被りたくない日本人が多いため、大規模バイクシェアリングシステムの普及は難しいではないかという観点を持つ人もいるようである。

これらのことから、東京のシチュエーションには、大規模バイクシェアリングシステムの導入に不利な要素が多く存在していることがわかる。

しかしながら、海外の事例を参照してみれば、大規模バイクシェアリングシステムを導入した都市は、最初から自転車の利用環境が整っているわけではない。例えば、上海の場合、現在でも自転車の専用走行路がほとんど整備されていない。ニューヨークとロンドンでは、街中にシェアバイクのステーションが設置されてから、政府はその周辺での新たな自転車専用走行路を企画し始めるということが普通である [12]。

また、大規模な予算を得るため、海外のシステム運営者がいろんな苦労を経験していた。Citi Bike を導入しようとする際、ニューヨーク政府は二年間にわたって多くの企業にアピールを繰り返し、最終的にようやくシティーバンクに受け入れられ、大規模な投資を得た [13]。上海の Mobike も同じく、最初からいきなり大規模な予算を得たわけではなく、ある程度の実績を出し続けてから、ようやく社会に認められて大規模な融資を果たした。

したがって、前述で述べたように、東京のシチュエーションには「自転車の利用環境が良くない」や「大規模な予算」など不利な要素が存在するが、東京は必ずしも大規模バイクシェアリングシスにふさわしくないとは限らないということが言える。

本論文は、東京は大規模バイクシェアリングシステムにふさわしいかどうか、又は、東京へ大規模バイクシェアリングシステムを導入する価値があるかどうか、を正しく判断するためには、「大規模バイクシェアリングシステムの導入は東京にどのような価値をもたらせるのか」を明らかにすることが重要であると考える。

ところが、現時点では、「大規模バイクシェアリングシステムの導入は東京にどのような価値をもたらせるのか」に関する研究は見られなかった。

海外では、大規模バイクシェアリングシステムが都市にどのような価値をもたらすのかを研究する際、国民健康や地球環境などの観点に基づき、その価値を定量化して分析を行うことが多い。例えば、ニューヨークの Citi Bike は毎月、システムの利用状況に基づき、利用者のカロリー消費量や CO2 の排出削減量などに関する計算を行う。また、Tomas Gotschi [14]は健康・医療の観点から、バイクシェアリングシステムへの投資費用と、今後に国民健康の向上による医療経費の節約について、計算を行った。

本論文は、「大規模バイクシェアリングシステムの導入は東京にどのような価値をもたらせるのか」を明らかにするため、定量的な分析を行って大規模システムが国民健康や地球環境などにもたらす「価値」を数字で表す、という手法を選択することが妥当であると考える。それは、定性的な論述より、定量的な数字のほうが「価値」をより分かりやすく伝えることができるからである。

ところで、日本では、定量的な分析を行って、自転車利用促進の有効性を研究する学者がいる。古倉 [15]は、『高齢者の自転車利用促進の有効性』と題した投稿で、健康の観点に基づき、自転車の利用促進と生活習慣病の予防との関係性に着目し、日本全国での自転車利用促進は国民医療費の軽減への期待される貢献を定量的に計算した。本論文は、古倉の計算仕方は、「大規模バイクシェアリングシステムの導入は東京にどのような価値をもたらせるのか」の研究に、非常に参考となっていると考える。

1.1.4. 既存するバイクシェアリングシステムの問題点

近年、IT 技術の進歩に伴い、バイクシェアリングシステムの進化が急速に進んでいる。ここでは、世界中で代表的なバイクシェアリングシステムを取り上げる。

世界中で最も知られているバイクシェアリングシステムとは、1.1.1 で紹介した「ステーション付き」のシステム、すなわち「ステーションのあるバイクシェアリングシステム」である。一般的に、「ステーションのあるシステム」は、複数の IT-Based 無人管理ステーションが街中に設置され、ステーションは全てのシェアバイクを一括に収納・管理する。利用者はシェアバイクを借り出し・返却したい時、必ずステーションに向かわなければならない。「ステーションのあるシステム」は、シェアバイクの盗難・防止やシステムの一体化管理などに特に強いため、現在では世界中で最も普及されるシステムとなっている。1.1.2 で紹介したパリ、ニューヨークとロンドン三つの都市は、このスキーム（仕組み）のバイクシェアリングシステムを採用している。

東京は、2012 年に、江東区に初めて「ステーションのあるシステム」を導入した。現在、東京都心で展開されるバイクシェアリングシステムは主に「ステーションのあるシステム」で構成されている。

しかし一方で、「ステーションのあるシステム」は、いくつかの欠点がよく指摘される。

（1） 各ステーションは収納可能なシェアバイク数が固定されている

通常、一つのステーションは収納可能なシェアバイク数が 10～20 台と固定されている。したがって、もし目的地先のステーションは駐輪状態が飽和であるのであれば、利用者はその近くにある他のステーションを探しに行くしかない。周辺施設や通勤時間などによって、ステーションの借り出し・返却需要はどちらかに偏ってしまうときが多い。その場合、ステーション間でのシェアバイクのリバランス、すなわち「再配置」が必要とされる。

（2） 利用者はシェアバイクをステーションでしか乗り捨てできない

バイクシェアリングシステムは「ファスト・アンド・ラストワンマイル」の対策として広く認識されていた。例えば、通勤者の視点からすれば、勤務先最寄り駅のすぐ隣と勤務先建物のすぐ下にステーションが設置されているのは理想的である。しかしながら、現実では、ステーションは街全体をすべてカバーすることは難しい。現在、ステーションのロケーション問題は、この仕組みのシステムにとって深刻な課題とみなされる。

（3） ステーションの値段が高い

Mineta Transportation Institute [16]のレポートによれば、アメリカのシステムでは、既存のステーションに一つの Dock（シェアバイクの駐輪スペースと指す）を増やすには、

平均的に 3,101 ドルがかかることがわかった。また、同システムの新しいステーションの平均値段は 47,639 ドルであるようである（シェアバイクの値段を含め） [16]。つまり、IT-Based 無人管理ステーションの値段はとても高いのである。

「ステーションのあるシステム」のこれらの課題を対策するため、近年、世界中で様々な解決策が提案されている。その中でも特に、「ステーションのないバイクシェアリングシステム」という案が注目されている。

ここでは、江東区のケースを、「ステーションのないシステム」の導入事例として取り上げる。

江東区での「ステーションのないシステム」の導入事例：

前述のとおり、2012 年、東京は江東区で初めて「ステーションのあるシステム」を導入した。しかしながら、通勤時間帯に、豊洲駅などの駅周辺で設置されたステーションでは「シェアバイクを返却したい人が多すぎてステーションの駐輪スペースが足りない」という問題が多発していた。

上記の問題に対して、2015 年に、江東区は既存のシステムを改良した。従来では、利用者はシェアバイクを返却したいときに、シェアバイクをステーションの Dock（シェアバイクの駐輪装置）に停めないといけない。そこで、江東区は従来のステーションを廃棄し、地面に線を引いてシェアバイクの返却（乗り捨て）エリアを改めて指定した。新しい返却ルールとして、利用者は、指定されたエリアの中でシェアバイクを停めれば、返却は認められる。従来のステーションと比べれば、線で引かれたエリアのほうがより多くのシェアバイクを収納することができる。これによって、「ステーションの駐輪スペースが足りない」問題が解決される。この改良された新たなシステムは、まさに「ステーションのないバイクシェアリングシステム」である。（現在、ステーションのないシステムは江東区の一部の地域でしか展開されていない。一方、従来の「ステーションのあるシステム」はまだ一部保留されていて、稼働している）

近年、東京以外でも、アメリカのポートランドなどは「ステーションのないシステム」を導入したことがある。しかしながら、「ステーションのないシステム」は、車体の盗難や破損、再配置など様々な課題が懸念されており、大規模な普及は極めて難しいと認識されている。

そこで、2016 年 4 月に、Mobike という新たな「ステーションのないシステム」は上海で始められた。8 ヶ月後の 2016 年 12 月、Mobike が「上海で導入したシェアバイク台数は合

わせて 10 万台に達成」 [17]と公表した。Mobike は「ステーションのないシステム」の大規模普及が可能であることを示した。

上海での Mobike の導入事例：

江東区でのシステムと違い、Mobike はシェアバイクの返却エリアを指定しない。つまり、Mobike のシェアバイクは特定した場所に収納されずに街のあちらこちらに散らばっている。Mobike を使おうとするとき、利用者はスマートフォンで、シェアバイクの位置確認やロックの解錠などを行うことができる。同時に、Mobike は、街中に自転車の駐輪が許される場所であれば、どこでも「乗り捨て」できる仕組みとなっている。そのほか、Mobike は車体の破損や盗難などを対策するため、チューブレスタイヤの採用や「信用ポイント制度」の導入など、多くの対策（アイデア）を打ち出して工夫をしている。

Mobike では、「ステーションのあるシステム」が直面する「各ステーションは収納可能なシェアバイク数が固定されている」、「利用者はシェアバイクをステーションでしか乗り捨てできない」、「ステーションの値段が高い」三つの課題を解決したとともに、江東区などで展開される従来の「ステーションのないシステム」と比較すれば、Mobike がチューブレスタイヤの採用や「信用ポイント制度」の導入などの対策を通して最も懸念された車体の破損や盗難などの問題を最低限に抑えることを実現した。以上のことから、Mobike はかなり優れるバイクシェアリングシステムであることがわかる。

ところが、Mobike のシステムは全く欠点のない完璧なバイクシェアリングシステムとは言えない。なぜなら、Mobike のシェアバイクは返却場所が指定されていないため、システム運営者にとって、再配置を行うコストはほかのシステムより高いと考えられる。（「再配置」とは、利用者の需要に応じて、地域間シェアバイクの供給を調整・リバランスする行為と指す）例えば、ある利用者は Mobike を利用して A 市から 1,000 km 離れの B 市（B 市は Mobike のシステムがない）まで走行したとする。そして、利用者は B 市のある駐輪場で Mobike を乗り捨てたとする。システムの運営者は B 市にある Mobike を再配置するために、まずは A 市から 1,000 km 離れの B 市に行かなればならない。こうしたことによって、運営者の再配置コストが高くなるはずである。

本節では、世界中で普及される「ステーションのあるバイクシェアリングシステム」と「ステーションのないバイクシェアリングシステム」のスキームをそれぞれに取り上げ、それらの仕組みと特徴を明らかにした。「ステーションのあるシステム」は車体の盗難防止やシステムの一体化管理などに強いが、ステーションの制限によって生じた様々な課題

に直面している。一方で、「ステーションのないシステム」では、利用者がより自由にシェアバイクを借り出し・返却できるが、車体の盗難や破損などの問題が懸念されている。そこで、上海で導入されたステーションのない新たなシステム Mobike は、様々なアイデアを打ち出し、従来の「ステーションのあるシステム」と「ステーションのないシステム」が直面する課題を有効に対応している。ところが、Mobike はいまだに、「再配置コストが高い」という問題に対して有効な解決策が見つからない。

　では、今後のバイクシェアリングシステムのあり方はどうあるべきであるだろうか。

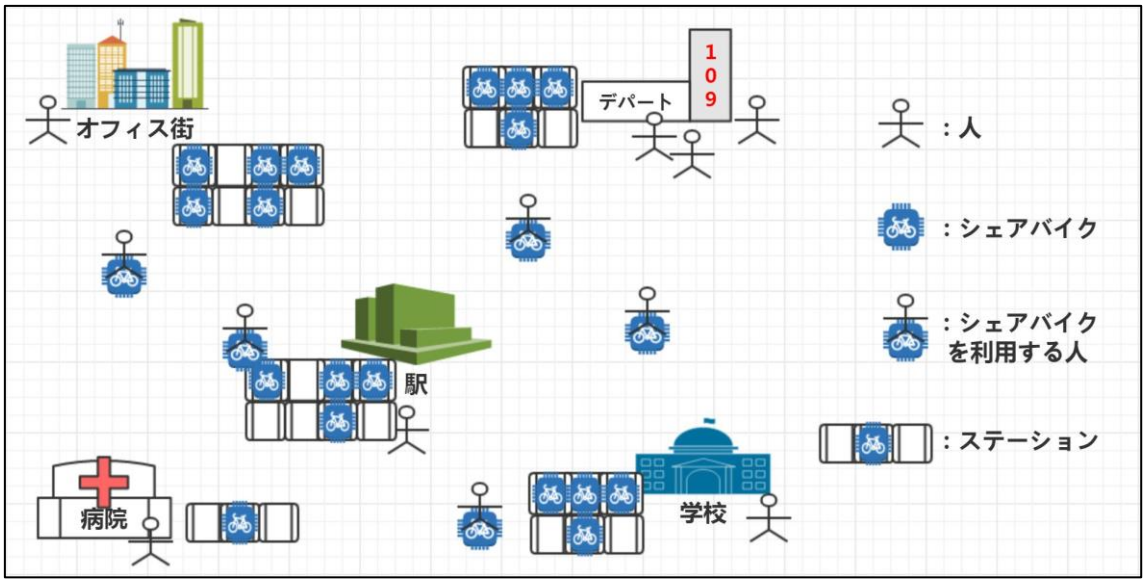

図１　ステーションのあるバイクシェアリングシステムのイメージ

図１は、パリやロンドンなどで普及されているステーションのあるバイクシェアリングシステムのイメージである。利用されていないシェアバイクは全てステーションに収納されている。通常、ステーションは駅やデパートなどの周辺に設置されている。利用者はシェアバイクを利用・返却しようとするとき、まずステーションまで移動する必要がある。

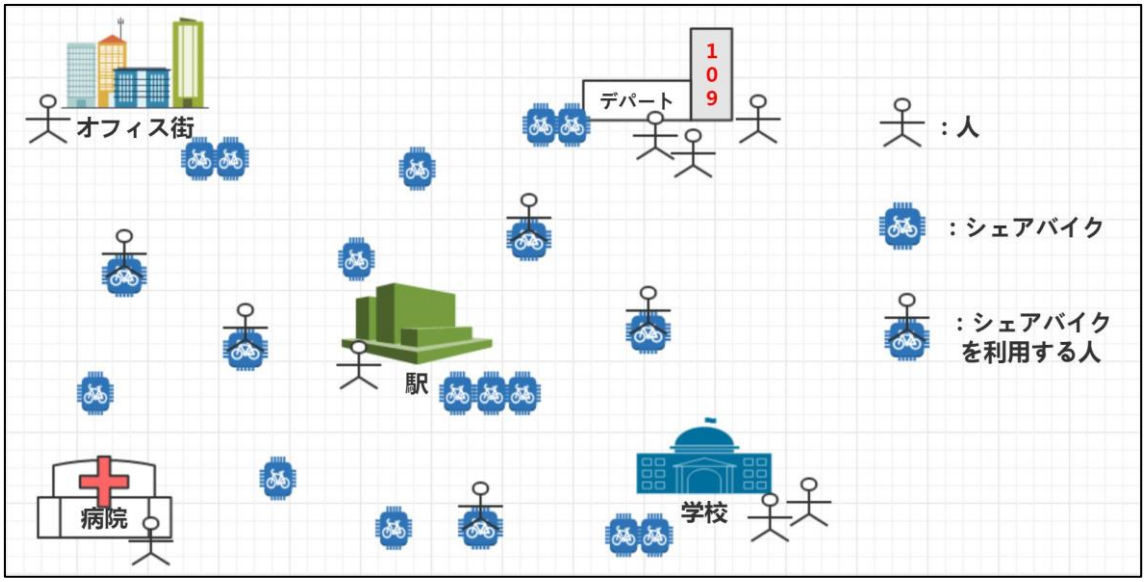

図２　ステーションのないバイクシェアリングシステムのイメージ

図２は、ポートランドや上海などで普及されているステーションのないバイクシェアリングシステムのイメージを表す。シェアバイクはステーションに収納されず、街中に散らばっている。利用者はシェアバイクを利用しようとするとき、ステーションまで移動する必要がない。街中に駐輪の許される場所であれば、シェアバイクの乗り捨ては認められる。

1.2. 研究の目的と方法

1.2.1. 研究の目的

本論文には、以下の二つの目的がある。

第一に、国民健康と地球環境の観点に基づき、定量的な分析を行って、「大規模バイクシェアリングシステムは東京にどのような価値をもたらせるか」を明らかにすることである。

第二に、従来のバイクシェアリングシステムの仕組み・特徴を明らかにした上で、「ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計」を行うことである。

1.2.2. 研究の方法

（1） 「大規模バイクシェアリングシステムは東京にどのような価値をもたらせるか」を明らかにするための研究方法

まず、東京 23 区での自動車の利用実態を把握し、その中でバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待できるトリップ数を算出する。このトリップ数は、東京でのバイクシェアリングシステムの期待できる導入規模であると考えられる。次に、自転車の利用と生活習慣病の予防との関係性を明らかにし、バイクシェアリングシステムの普及は国民医療費の軽減に繋がることを示す。また、日本の地球温暖化に対して提出した草案に着目し、バイクシェアリングシステムの普及は CO２排出量の削減に貢献できることを明確にする。最後に、「CO２排出量の削減効果」と「国民医療費の軽減効果」を、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす「価値」として捉え、それを明らかにするためのシミュレーションを構築する。

（2） 「ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計」を行うための研究方法

本論文では、既存する上海の Mobike の案を参考にし、モデルベースシステムズエンジニアリングの手法を用いて、ステーションのない新たなバイクシェアリングシステムの概念設計を行う。まずは、システム設計においての初期要求を整理する。次に、開発対象を明確化するため、運用ステージでのコンテキスト分析を行い、初期要求を満たすユースケースを記述する。また、シーケンス図によりユースケースを記述することで、開発対象の機能要求を抽出する。さらに、抽出された機能要求を開発対象が持つべき機能として捉え、アクティビティ図を作成することで、機能の物理への割り当てを行う。最後に、物理の整理を実施して成果物としてのシステムアーキテクチャを構築し、システムの検証を行う。

1.2.3. 本論文の構成

第１章では、序論として研究の背景を概した上で、本研究の目的と方法について述べた。

第２章では、大規模バイクシェアリングシステムは東京にどのような価値をもたらせるかについて論じる。まず、東京 23 区での自動車の利用実態を把握し、その中でバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待できる規模を算出する。次に、自転車の利用と生活習慣病の予防との関係性を明らかにし、バイクシェアリングシステムの普及は国民医療費の軽減に繋がることを示す。また、日本の地球温暖化に対して提出した草案に着目し、バイクシェアリングシステムの普及は CO_2排出量の削減に貢献できることを明確にする。最後に、「CO２排出量の削減効果」と「国民医療費の軽減効果」を、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす「価値」として捉え、それを明らかにするためのシミュレーションを構築する。

第３章では、システムズエンジニアリングの手法を取り入れて、ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計を行う。まず、システム利用者とシステム運営者、二つの視点からシステム設計においての初期要求を整理する。次に、開発対象を明確化するため、運用ステージにおいてのコンテキスト分析を行い、初期要求に満たすユースケースを記述する。また、シーケンス図によりユースケースの詳細化を実行することで、開発対象の機能要求を抽出する。さらに、抽出された機能要求を開発対象が持つべき機能として捉え、アクティビティ図を作成することで、機能の物理への割り当てを行う。最後に、物理の整理を実施して成果物としてのシステムアーキテクチャを構築し、システムの検証を行う。

第４章では、本研究の結言を述べ、さらに今後の展望を述べる。

第2章 国民健康と地球環境の観点から東京での大規模バイクシェアリングシステムの分析

従来では、バイクシェアリングシステムは、都市交通における「ファスト・アンド・ラストワンマイル」の課題を対策するため生まれた新たな公共交通手段である、と知られることが多い。ところが、近年、健康増進志向や環境問題への意識が高まりなどに伴い、バイクシェアリングシステムは国民健康や地球環境などにもたらす価値・貢献が注目され始める。

本章では、まず、東京区部での自動車利用実態を把握し、その中でバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待できる規模を推定する。次に、自転車の利用と生活習慣病の予防との関係性を明らかにし、バイクシェアリングシステムの普及は国民医療費の軽減に繋がることを示す。また、日本の地球温暖化に対して提出した草案に着目し、バイクシェアリングシステムの普及は CO２排出量の削減に貢献できることを明確にする。最後に、「CO２排出量の削減効果」と「国民医療費の軽減効果」を、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす「価値」として定義し、それを明らかにするためのシミュレーションを構築する。

2.1. 東京において自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換の分析

橋本ら［18]は、『自動車から自転車への利用転換可能性に関する基礎分析』と題したレポートで、「5 km 程度以下の短距離移動（トリップ）において、自転車は最も有利な交通手段である」と示した。これを踏まえ、本論文は、バイクシェアリングシステムへの利用転換が期待される対象を、移動距離として 5 km 程度以下の自動車トリップと設定する。本節では、東京での移動距離が 5 km 程度以下の自動車トリップ数を把握することを通して、東京でのバイクシェアリングシステムの期待される規模を推定する。（トリップ：人がある目的をもってある地点からある地点へ移動する単位をトリップという）

2.1.1. 東京において自動車の利用実態について

まずは、東京都市圏パーソントリップ調査（2010 年度） ［11]によれば、2008 年、東京区部（23 区）での年間平均１日あたりのトリップ数が 5,142 万トリップであることがわかる。また、同年度、東京区部での交通分担率の内訳として、鉄道は 48%、バスは 3%、自動車は 11%、自転車は 14%、他は 24%となっている。これらのことから、東京区部での１日あたりの自動車トリップ数を算出することができる。その結果として、東京区部では、１日あたりの自動車トリップ数が 556 万トリップを超えている。

１日あたりの自動車トリップ数 ＝ １日あたりの総トリップ数 × 自動車分担率

次に、道路交通センサス（2005 年度）によれば、東京区部では、移動距離が 5 km 程度以下の自動車トリップが、自動車トリップ数全体の約 40%を占める、ということがわかる。これによって、東京区部では１日あたりの移動距離が 5 km 程度以下の自動車トリップ数は、226 万トリップであると算出された。

１日あたりの移動距離が 5 km 程度以下の自動車トリップ数
＝ １日あたりの自動車トリップ数 × 40%

ところで、東京区部の人口は 938 万人（2016 年）である。つまり、東京区部では、平均１日あたり、五人に一人の頻度で、移動距離が 5 km 程度以下の自動車トリップを一起こしているということが考えられる。

これらのことから、東京区部（23 区）全体では１日あたりに、自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数は、226 万トリップである、という結論が出された。

2.1.2. 東京においてバイクシェアリングシステムの期待できる導入規模

ニューヨークやロンドンなどで展開されるバイクシェアリングシステムのステーションマップ（**図３**）を参照してみれば、大半のステーションが、都市の中心から半径 3 km 又は 5 km の範囲内で設置されていることがわかる。つまり、ニューヨークやロンドンなどでのバイクシェアリングシステムの利用が、おもに都市中心の 3 km 又は 5 km 圏内に集中されているということが推定できる。（半径は 3 km の円形の面積が 28.3 km^2 であり、半径が 5 km の円形の面積は 78.5 km^2 である）以上を踏まえて、本章では、東京駅を中心とした半径が 3 km と 5 km の円形範囲に焦点を当たって、東京都心でのバイクシェアリングシステムの期待される導入規模を推算する。

2.1.1 によって、東京区部では１日あたりの自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数は 226 万トリップである、ということがわかる。しかしながら、東京駅を中心とした半径が 3 km と 5 km の円形範囲内での自動車トリップ移動情報が見つからないため、この範囲内での１日あたりの自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数が把握できない。ここで、本論文は「**2.1.1** で算出されたその 226 万短距離自動車トリップが、東京区部全域で均等に分布されている」という仮設を立てる。これによって、東京駅を中心とした半径が 3 km と 5 km の円形範囲内で、自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数は、以下の算式で推算することができると考えられる。その結果は**表２**のようになっている。

Y：東京都心 3 km（又は 5 km）圏内での自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数

$$Y = 226\text{ 万トリップ} \times \frac{\text{東京都心 3 km/ 5 km 圏内面積}}{\text{東京区部の面積}}$$

表２　東京区部および都心 3 km ＆5 km 圏内の面積とその範囲内での自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数

	都心 3 km 圏内	都心 5 km 圏内	東京 23 区部
面積（km^2）	28.3	78.5	619.0
利用転換が期待されるトリップ数（千トリップ）	103.0	287.0	2,260.0

しかしながら、想定した範囲内での短距離（移動距離が 5 km 程度以下）自動車トリップは、転換率 100%で全部バイクシェアリングシステムへ転換すること極めて難しいと考えられる。本論文では、100%、50%、30%と 10%、この四つの転換率を取り上げ、東京駅を中心とした半径が 3 km と 5 km 範囲内で、自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数を、**表３**のように、改めて計算を行った。

ところで、Citi Bike（ニューヨーク）の月間レポート [19]によれば、2016 年 9 月に Citi Bike システム全体平均１日あたりの利用回数は歴史最高の 54,951 回を記録した。当月、Citi Bike の１台あたりの利用回数は 6.36 回/１日であった。また、Velib’（パリ）1 日の最高利用記録は 108,090 回（2014 年）であり、Santander Cycles（ロンドン）は 73,000（2015 年）であった [20]。

表３で記されたように、都心 3 km 圏内、転換率 50%の場合、利用転換が期待されるトリップ数は 515,000 となっており、Citi Bike の１日あたりの利用回数と近いものであるということが言える。また、都心 5 km 圏内、転換率 30%場合、861,000 のトリップ数は、現在パリやロンドンで展開されるシステムの 1 日あたりの利用回数とかなり近いのである。これらのデータから、東京では大規模バイクシェアリングシステムの導入が期待できる、ということが言える。

表３　東京都心での自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数（転換率：100%、50%、30%、10%）

	都心 3 km 圏内（千トリップ）	都心 5 km 圏内（千トリップ）
転換率：100%	103.0	287.0
転換率：50%	51.5	143.5
転換率：30%	30.9	86.1
転換率：10%	10.3	28.7

図３　Citi Bike（ニューヨーク）のステーションマップ

図４　東京駅を中心とした３km/５km 圏内

2.2. 健康の観点に基づいた東京でのバイクシェアリングシステムの分析

2.2.1. 日本において国民医療費の高騰問題について

高齢化社会の進行に伴い、日本の国民医療費は年々高騰している。厚生労働省が掲載した『国民医療費の概況』[21]によれば、2013 年度日本の国民医療費は前年度に比べ 2.2%増加し、初めての 40 兆円を記録した。同年度、国民医療費の国内総生産（GDP）に対する比率は 8.29%、国民所得（NI）に対する比率は 11.06%となっている。そこで、国民医療費の財源を見てみると、公費（国が負担する費用）は 15 兆 5,000 億円で、医療費全体の 38.8%を占めていることがわかる。日本の財政にとって、国民医療費の増加がますます深刻な問題になっていることが明らかである。

そこで、本論文では、日本の国民健康問題において、死亡原因の三分の二と占める「生活習慣病」に着目することにした。2013 年度日本国民医療費の内訳を調べてみれば、生活習慣病（糖尿病、高血圧性疾患、脳血管疾患、虚血性心疾患と悪性新生物 5 つの病気）の診療医療費は 9 兆円となっており、国民医療費全体の約 22.5%を占めていることが明らかになった。本論文では、生活習慣病を抑制することは、国民医療費の軽減につながると考える。

生活習慣病で生じた医療費の詳細を明らかにするため、厚生労働省が公表したデータを参考にして**表４**を作成した。

表４　生活習慣病によっての国民医療費詳細

	1.27 億人の医療費用（10 億円）	１人あたりの医療費用（円）	1.27 億人に対する公費負担費用（10 億円）	１人あたりに対する公費負担費用（円）
糖尿病	1,208	9,512	469	3,691
高血圧性疾患	1,889	14,874	733	5,771
脳血管疾患	1,773	13,961	688	5,417
虚血性心疾患	750	5,906	291	2,291
悪性新生物	3,380	26,614	1,311	10,326
合計額	9,000	70,867	3,492	27,496

注）公費負担費用 = 総費用 × 38.8%

2.2.2. 自転車の利用と生活習慣病の予防

では、生活習慣病の抑制はいかに実現するか。Paffenbarger [22]は『Physical Activity and Incidence of Hypertension in College Alumni』と題した論文で、ランニングやサイクリングなどを含めた活発的身体活動は高血圧症の抑制に有効であることを示した。また、Paffenbarger [23] は『A Natural History of Athleticism and Cardiovascular Health』という投稿で、活発的身体活動は冠動脈疾患の発症率を低減することができるということを明らかにした。なお、程琦ら [24]は『通勤交通における自動車利用から徒歩・自転車への転換施策による健康促進効果分析』で、徒歩・自転車通勤の生活習慣病予防における確実な効果を評価した。

これらの研究から、自転車の利用は生活習慣病の抑制に有効な効果があるということがわかった。本論文は、上記した先行研究を踏まえて、自転車の利用による生活習慣病の予防効果に関するデータを整理し、**表５**を作成した。**表５**は、普通の人は毎日ある程度自転車を利用すれば、生活習慣病の発症低減率は糖尿病が 23%、脳血管疾患が 16%、虚血性心疾患が 21%となることが期待できる、ということを示した。

表５　自転車の利用によって見込める生活習慣病発症低減率

	自転車利用					
性別	**男性**		**女性**		**平均**	
走行距離	0~7.7 km	>7.7km	0~7.7 km	>7.7km	0~7.7 km	>7.7km
糖尿病	0.17	0.45	0.29	0.65	**0.23**	0.55
高血圧性疾患	0.00	0.36	0.00	0.18	**0.00**	0.27
脳血管疾患	0.14	0.18	0.17	0.20	**0.16**	0.19
虚血性心疾患	0.15	0.16	0.27	0.52	**0.21**	0.34

2.2.3. バイクシェアリングシステムの普及と国民医療費の軽減

本節では、**表４**と**表５**で示したデータを分析することを通して、自転車の利用による国民医療費の軽減効果を明らかにする。**表４**によれば、国民 1 人あたりの生活習慣病医療費がわかる。また、**表５**は、自転車の利用による生活習慣病の発症低減率を示している。これらによって、例えばある人は毎日自転車を利用するとすれば、それによる生活習慣病に対しての医療費節約は、下記の算式で算出することができると考えられる。また、それとともに、国がこの人に対しての公費負担節約も、下記の二つ目の算式で計算することができる。

α：1 人あたりの生活習慣病医療費（**表４**から抽出）
β：自転車の利用による生活習慣病発症低減率（**表５**から抽出）
γ：１人あたりの生活習慣病医療費節約

$$\gamma = \alpha \times \beta$$

δ：１人あたりに対しての公費負担費節約

$$\delta = \gamma \times 38.8\%$$

表６によると、毎日自転車を利用するとすれば、１人あたりは年間 5,662 円の医療費を節約することできる。それとともに、国は 1 人あたりに対しての公費節約は年額 2,197 円になることが期待できる。これらのことから、東京での大規模バイクシェアリングシステムの普及は、自転車の利用促進もさることながら、国民医療費の軽減にもつながることが期待できるということがわかる。

表６　自転車の利用による国民医療費の軽減効果（１人あたり）

	α（円）	β	γ（円）	δ（円）
糖尿病	9,512	0.23	**2,188**	**849**
高血圧性疾患	14,874	0.00	**0**	**0**
脳血管疾患	13,961	0.16	**2,234**	**867**
虚血性心疾患	5,906	0.21	**1,240**	**481**
合計額	44,253		**5,662**	**2197**

2.3. 環境の観点に基づいた東京でのバイクシェアリングシステムの分析

2.3.1. 日本の地球温暖化対策について

気候変更問題は地球規模の課題である。環境省が掲載した『2013 年度温室効果ガス排出量にいて』［25]によれば、同年度、日本の温室効果ガスの総排出量は 14 億 500 万トンである。そのうち、エネルギー起源二酸化炭素（CO_2）は温室効果ガス排出量の約 9 割を占め、12 億 3,500 万トンの排出量となっている。なお、日本では、国民 1 人あたりの CO_2 排出量は 11 トン/人（2013 年）であり、先進国の最高水準となっている。

地球温暖化問題を対策するため、2015 年 7 月に、日本は地球温暖化対策推進本部を開催し、『日本の約束草案』［26]を決定した。同日中に、外務省が約束草案を国連気候変動枠組条約（UNFCCC）事務局に提出した。日本は約束草案で、2030 年度日本国内のエネルギー起源 CO_2 排出量を 2013 年度 12 億 3,500 万トンの 75%に当たる 9 億 2,700 万トンの水準にする、という目標を掲げた。その内訳として、運輸部門における CO_2 排出量（2030 年度）の目安は 1 億 6,300 万トンとなり、2013 年度の 2 億 2,250 万トンより、27.6%下げの水準である（**表 7**）。

表 7　エネルギー起源二酸化炭素の各部門の排出量目安［26]

	2030 年度の各部門の排出量の目安	2013 年度　(2005 年度)
エネルギー起源 CO_2	927	1,235(1,219)
産業部門	401	429(457)
業務その他部門	168	279(239)
家庭部門	122	201(180)
運輸部門	163	225(240)
エネルギー転換部門	73	101(104)

［単位：百万円トン CO_2］

2.3.2. バイクシェアリングシステムの普及と CO_2 排出量の削減

では、2030 年までに、運輸部門においての CO_2 排出量削減目標を達成するため、どのような対策があるだろうか。そこで、本論文は「バイクシェアリングシステム」という新たな都市交通システムに着目することにした。

2.1 によれば、移動距離が 5 km 程度以下の短距離自動車トリップはバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待できる、ということがわかる。したがって、バイクシェアリングシステムの普及は運輸部門においての CO_2 排出量削減につながるではないかということが考えられる。

日本自動車研究所の報告書 [27]によれば、普通ガソリン車では 1 km あたり走行すると平均 147 g の CO_2 が排出されると考えられる。このデータに基づき、自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換による CO_2 排出量の削減効果が下記の算式で計算できると考えられる。

$$\text{CO2 排出削減量} = 147\,\text{g} / \text{km} \times \text{走行距離}$$

海外でのバイクシェアリングシステムの事例を参照してみれば、システム利用者は一回あたりの走行距離が約 3.2 km（平均値）である、ということが明らかになった。したがって、自動車からバイクシェアリングシステムへ平均 1 転換（トリップ）あたりの CO_2 排出削減量は約 470.4 g（147 g/km × 3.2 km）であると考えられる。

海外でのバイクシェアリングシステムと環境改善の事例：

Citi Bike のレポートによれば、2016 年 11 月に、Citi Bike 全システムの月間走行距離は合わせて 433 万 km を超えた。これによって当月のニューヨークでは 607 トンを超える CO2 排出量が削減されたと推定されている。

また、世界最大級といわれる杭州市（中国）のバイクシェアリングシステムは現在、合わせて 30 万台のシェアバイクで年間 53,000 トン以上の CO_2 排出量を削減していると推定されており、都市の環境改善に確実な貢献を果たしたと評価されている。

これらの事例によって、大規模バイクシェアリングシステムの普及は都市における CO_2 排出量の削減に確実な貢献をもたらすことができるということが明らかになった。東京においての大規模バイクシェアリングシステムの導入は、高い持続可能なまちづくりへの貢献もさることながら、『日本の約束草案』で明確した 2030 年までの CO_2 排出量削減目標にもつながると考えられる。

2.4. 大規模バイクシェアリングシステムの導入シミュレーション

2.4.1. シミュレーションの目的

ここでは、「国民医療費の軽減効果」と「CO_2排出量の削減効果」を、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす「価値」として定義し、それを明らかにするために、シミュレーションを構築する。

2.4.2. シミュレーションのモデル化

シミュレーションを実行するにあたり、以下に掲げた三つのステップを踏まえてシミュレーションのモデル化を行う。

（1） シミュレーションにおいてバイクシェアリングシステムの導入規模の想定

まずは、2.1 で算出された、東京都心 3 km 圏内と 5 km 圏内での自動車からバイクシェアリングシステムへの利用転換が期待されるトリップ数を引き出す。このトリップ数は、これから東京へ導入しようとする大規模バイクシェアリングシステム１日あたりの期待されるトリップ数（利用回数）となる。

バイクシェアリングシステム１日あたりのトリップ数（利用回数）

＝自動車からバイクシェアリングシステムへの転換トリップ数（１日）

次に、海外でのバイクシェアリングシステムの事例を参照すれば、１台のシェアバイクは平均１日に五回転をしているということがわかる。したがって、バイクシェアリングシステムにおいて必要とされるシェアバイクの台数が下記の算式で計算することができると考えられる。

バイクシェアリングシステムにおけるシェアバイクの台数

$$= \frac{\text{バイクシェアリングシステム１日あたりのトリップ数（利用回数）}}{5}$$

ステーションのあるバイクシェアリングシステムの場合、一般的に、一つのステーションは 15 台のシェアバイクを収納することができると考えられる。したがって、システムにおけるシェアバイクの台数を把握することができれば、それに応じて必要とされるステーションの数は計算することができると考えられる。

$$\text{システムにおけるステーションの数} = \frac{\text{システムにおけるシェアバイクの台数}}{15}$$

以上の計算を踏まえて、シミュレーションにおいて東京でのバイクシェアリングの導入規模を定めることができると考えられる。

（2） 健康の観点に基づき、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす国民医療費軽減効果の定量分析

2.2 によれば、バイクシェアリングシステムの利用は国民医療費の軽減につながることがわかる。理想状態を前提として、普通の人は毎日バイクシェアリングシステムを利用するとすれば、生活習慣病の発症率を抑制することによって、年間 5,662 円の医療費節約が期待できる。これによって、5,662 円うちの 38.8%、国が公費で、国民の代わりに負担する 2,197 円も同時に節約されると考えられる。したがって、バイクシェアリングシステムの長期利用者（バイクシェアリングシステムを毎日利用する人のことを指す）の人数を把握することができれば、大規模バイクシェアリングシステムの普及による国民医療費の軽減効果を明らかにすることができると考えられる。

今回のシミュレーションでは、本節の（1）で定めた東京でのバイクシェアリングシステム１日あたりのトリップ数と、東京でのバイクシェアリングシステムの長期利用者の人数とは同じであることを仮定する。したがって、東京での大規模バイクシェアリングシステムがもたらす国民医療費の軽減効果は、以下の算式で計算できると考えられる。

国民医療費の軽減額（年間）

= 5,662 円 × バイクシェアリングシステム 1 日あたりのトリップ数

国が負担する医療費の軽減額（年間）

= 2,197 円 × バイクシェアリングシステム 1 日あたりのトリップ数

（3） 環境の観点に基づき、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす CO_2 排出量削減効果の定量分析

2.3 によれば、バイクシェアリングシステムの普及は都市での CO_2 排出量の削減につながるということがわかる。海外では、バイクシェアリングシステム一回あたりの利用は、平均 470.4ｇ（147ｇ/km × 3.2 km）の CO_2 排出量を削減しているといわれている。したがって、東京でのバイクシェアリングシステムの年間利用回数（年間トリップ数）を把握することができれば、システムが東京にもたらす CO_2 排出量の削減効果は計算できると考えられる。その算式は以下のようになる。

バイクシェアリングシステムの年間 CO2 排出削減量

= 470.4ｇ × バイクシェアリングシステム 1 日あたりのトリップ数 × 365 日

2.4.3. シミュレーションの結果

2.4.1 では、「国民医療費の軽減効果」と「CO_2排出量の削減効果」を、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす「価値」として定義した。

ここで、2.4.2 のステップを踏まえ、大規模バイクシェアリングシステムがもたらす「価値」である「国民医療費の軽減効果」と「CO_2排出量の削減効果」を明らかにするためのシミュレーションを行う。その結果は表８のようになっている。

表８　シミュレーションの結果

	１日あたりの利用回数（千回）	シェアバイク台数（台）	ステーション数（箇所）	CO2 排出削減量（トン）	国民医療費公費負担費用の軽減（百万円）
3 km 圏内 & 転換率：100%	103.0	20,600.0	1,373.3	17,684.7	226.3
3 km 圏内 & 転換率：50%	51.5	10,300.0	686.7	8,842.3	113.1
3 km 圏内 & 転換率：30%	30.9	6,180.0	412.0	5,305.4	67.9
3 km 圏内 & 転換率：10%	10.3	2,060.0	137.3	1,768.5	22.6
5 km 圏内 & 転換率：100%	287.0	57,400.0	3,826.7	49,276.8	630.5
5 km 圏内 & 転換率：50%	143.5	28,700.0	1,913.3	24,638.4	315.3
5 km 圏内 & 転換率：30%	86.1	17,220.0	1,148.0	14,783.0	189.2
5 km 圏内 & 転換率：10%	28.7	5,740.0	382.7	4,927.7	63.1

表８によれば、大規模バイクシェアリングシステムの導入は、「国民医療費の軽減」と「CO_2排出量の削減」の面において、東京に確実な「価値」をもたらすことができる、ということがわかった。

例えば、3 km圏内で、自動車からバイクシェアリングシステムへの転換率が50%の場合、システムに必要とされるシェアバイクの台数は10,300台となる。ステーションのあるシステムの場合では、この台数のシェアバイクに応じて、686 個のステーションが求められる。この規模のシステムは、**第一章**で紹介したニューヨークの Citi Bike（シェアバイク：10,000 台；ステーション：600 箇所）と非常に近いものであると考えられる。健康の視点から、この規模のシステムの導入によって、政府は国民医療費において年間合計 1 億円の支出節約ができると考えられる。環境の視点から、この規模のシステムは、年間 8,842 トンのCO_2排出量を削減することができると考えられる。

また、5 km圏内で転換率が30%の場合では、システムに必要とされるシェアバイクの台数は17,220台となる。それに応じて1,148個のステーションが求められる。このシステムの規模としては、ロンドンでの Santander Cycles（シェアバイク：13,600台）とパリでの Velib’（シェアバイク：23,600 台）との間になっている。健康の視点から、この規模のシステムの導入によって、政府は国民医療費において年間合計 2 億円近くの支出節約ができると考えられる。環境の視点から、この規模のシステムは、年間15,000トン近くのCO_2排出量を削減することができると考えられる。

第3章 ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計

では、今後のバイクシェアリングシステムのあり方はどうあるべきであるだろうか。

現在、世界中で最も普及されるバイクシェアリングシステムは大きく二つの種類に分かれている。「ステーションのあるシステム」と「ステーションのないシステム」である。しかしながら、**第１章**で述べたように、この二つのスキームはそれぞれに深刻な課題を抱えている。そこで、2016 年、Mobike というステーションのない新たなシステムは上海で初めて導入された。新型ステーションのないシステムとして、Mobike は新しいアイデアが多く集結しており、従来のシステムが直面する課題を有効に対応している。

本章では、既存する Mobike のシステムを参考に、新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計を行う。本論文では、新しいバイクシェアリングシステムの設計を行うにあたり、モデルベースシステムズエンジニアリング（Model-Based Systems Engineering、MBSE と略す）のアプローチを採用する。また、モデルベースアプローチを実行するにあたり、世界で標準的に利用される Systems Modeling Language を用いる。本論文では、SysML を用いるにあたり、No Magic 社が提供する Cameo Systems Modeler 18.4 というソフトウェアを用いる。

3.1. システム設計のプロセス

システム設計のプロセスの大まかな流れは以下に示す。

（1） 初期要求の整理

本論文は、システム利用者、システム運営者といった二つの視点から、本システム設計においての初期要求（Requirement）を引き出す。

（2） コンテキスト分析

システムの持つコンテキスト（Context）はライフサイクル（Life Cycle）によって異なる。本論文は、運用ステージ（Operation Stage）に定め、それにおける開発対象（System of Interest, SoI と略す）と開発対象の境界（System Boundary）、外部システム（External System）を明確化する。開発対象と外部システムを明らかにした上で、初期要求を満たすユースケース（Use Case）を検討し、記述する。

（3） 振る舞いのモデリングを通して機能を抽出する

開発対象と外部システムとの相互作用（Inter Action）がどのようになるかを明らかにするため、コンテキスト分析で定めたユースケースをシーケンス図（Sequence Diagram）で記述し、システムの振る舞いをモデリングする。こうしたモデリングによって、開発対象の機能要求（Functional Requirement）を抽出することができると考えられる。

（4） 振る舞いのモデリングを通して機能を物理へ割り当てる

シーケンス図で抽出された機能要求はシステムが持つべき機能であると定義する。これらの機能を実現する物理を検討するため、アクティビティ図（Activity Diagram）を用いてモデリングを行うことが必要とされる。アクティビティ図のアクション（Action）は機能を実現する一つ一つの行動であり、システムの各物理（サブシステム又はユニット）にそれぞれ割り当てられる（Allocation）。

（5） システムアーキテクチャの検討

機能の割り当てを行った物理を整理し、成果物としてのシステムのアーキテクチャを構築する。

（6） システムアーキテクチャの検証

最後に、成果物としてのシステムアーキテクチャに対して、検証（Verification）を行う。

3.2. 初期要求の整理

ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムを対象として、その初期要求を整理する。（システム利用者、システム運営者二つの視点から）

（1） システム利用者の視点から

I. 「First and Last One Mile」問題が解決できる

II. 健康の向上に繋がる

III. 環境に優しい

IV. どこでも借り出しやすい

V. どこでも返却しやすい

VI. 借り出し・返却の仕方は簡単、早い

（2） システム運営者の視点から

I. コスト（初期・管理費用）を抑えたい

II. シェアバイクの再配置とメンテナンスを行いやすい

ステーションのない大規模バイクシェアリングシステムの初期要求は大きく上記の８つに整理された（図５）。

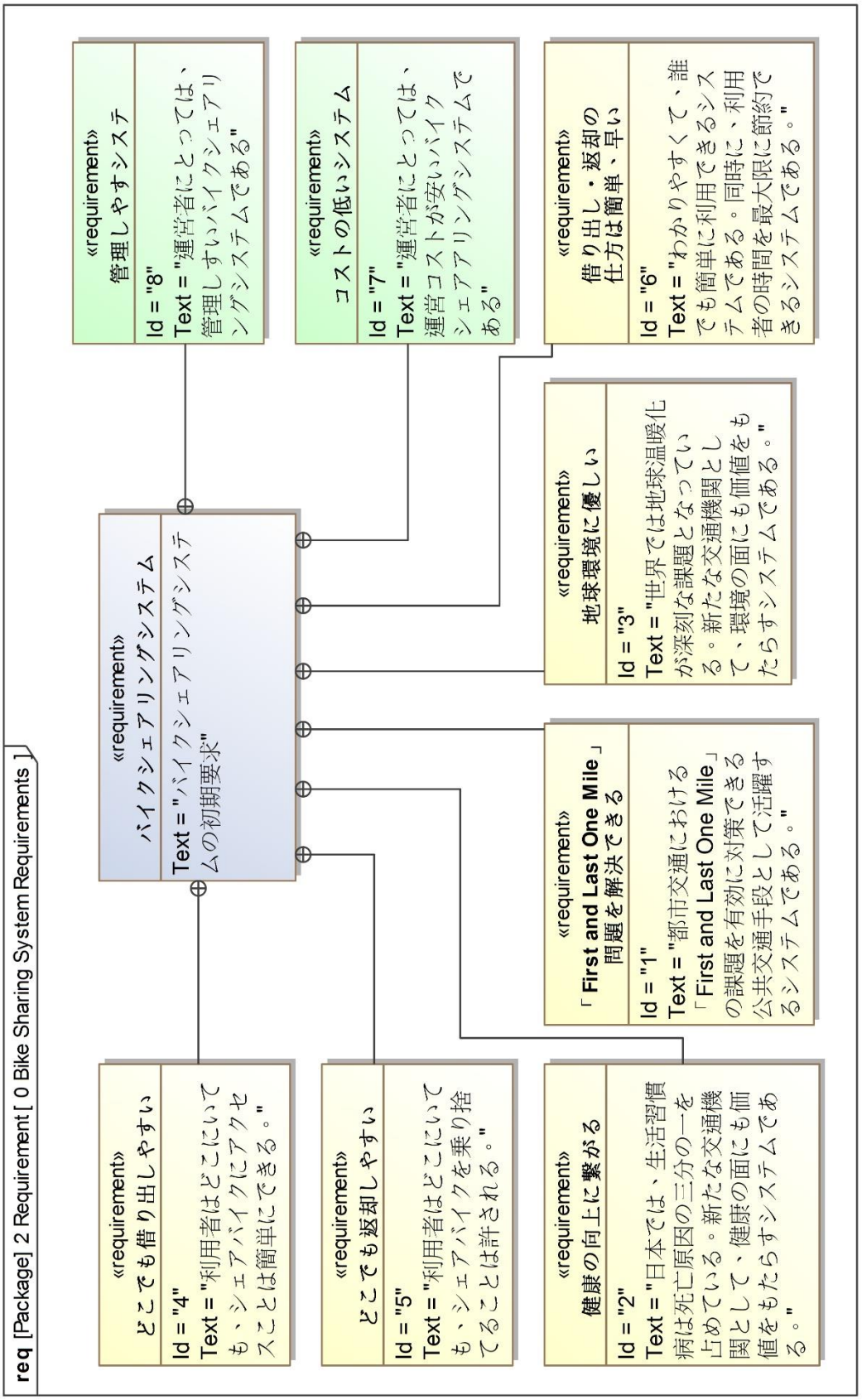
req [Package] 2 Requirement [0 Bike Sharing System Requirements]
«requirement»
管理しやすシステ
Id = "8"
Text = "運営者にとっては、管理しすいバイクシェアリングシステムである"
«requirement»
コストの低いシステム
Id = "7"
Text = "運営者にとっては、運営コストが安いバイクシェアアリングシステムである"
«requirement»
借り出し・返却の仕方は簡単、早い
Id = "6"
Text = "わかりやすくて、誰でも簡単に利用できるシステムである。同時に、利用者の時間を最大限に節約できるシステムである。"
«requirement»
バイクシェアリングシステム
Text = "バイクシェアリングシステムの初期要求"
«requirement»
地球環境に優しい
Id = "3"
Text = "世界では地球温暖化が深刻な課題となっている。新たな交通機関として、環境の面にも価値をもたらすシステムである。"
«requirement»
「First and Last One Mile」問題を解決できる
Id = "1"
Text = "都市交通における「First and Last One Mile」の課題を有効に対策できる公共交通手段として活躍するシステムである。"
«requirement»
どこでも借り出しやすい
Id = "4"
Text = "利用者はどこにいても、シェアバイクにアクセスことは簡単にできる。"
«requirement»
どこでも返却しやすい
Id = "5"
Text = "利用者はどこにいても、シェアバイクを乗り捨てることは許される。"
«requirement»
健康の向上に繋がる
Id = "2"
Text = "日本では、生活習慣病は死亡原因の三分の一を占めている。新たな交通機関として、健康の面にも価値をもたらすシステムである。"

図５　初期要求

次に、上記で整理された８つの初期要求に対して、詳細化を行う。（図６）

（１） システム利用者の視点から（詳細化）（図７、図８）

I. 短距離の移動に強い
II. 運動効果がある
III. CO_2を排出しない
IV. 大規模のシェアバイクが街中に密度が高く分布される
V. シェアバイクの位置が確認できる
VI. シェアバイクの予約ができる
VII. ステーションのないシステム
VIII. 料金の支払いは簡単
IX. ロック・解錠は簡単

（２） システム運営者の視点から（詳細化）（図９）

I. 会員制度の導入
II. シェアバイクが再配置されやすい
III. 再配置のコスト問題が対策できる
IV. シェアバイクが壊れにくい
V. ステーションのないシステム

「大規模のシェアバイクが街中に密度が高く分布される」と「ステーションのないシステム」この二つの要求を満たすために、まずでは、本システムを、「大規模」かつ「ステーションのない」であることに定める。

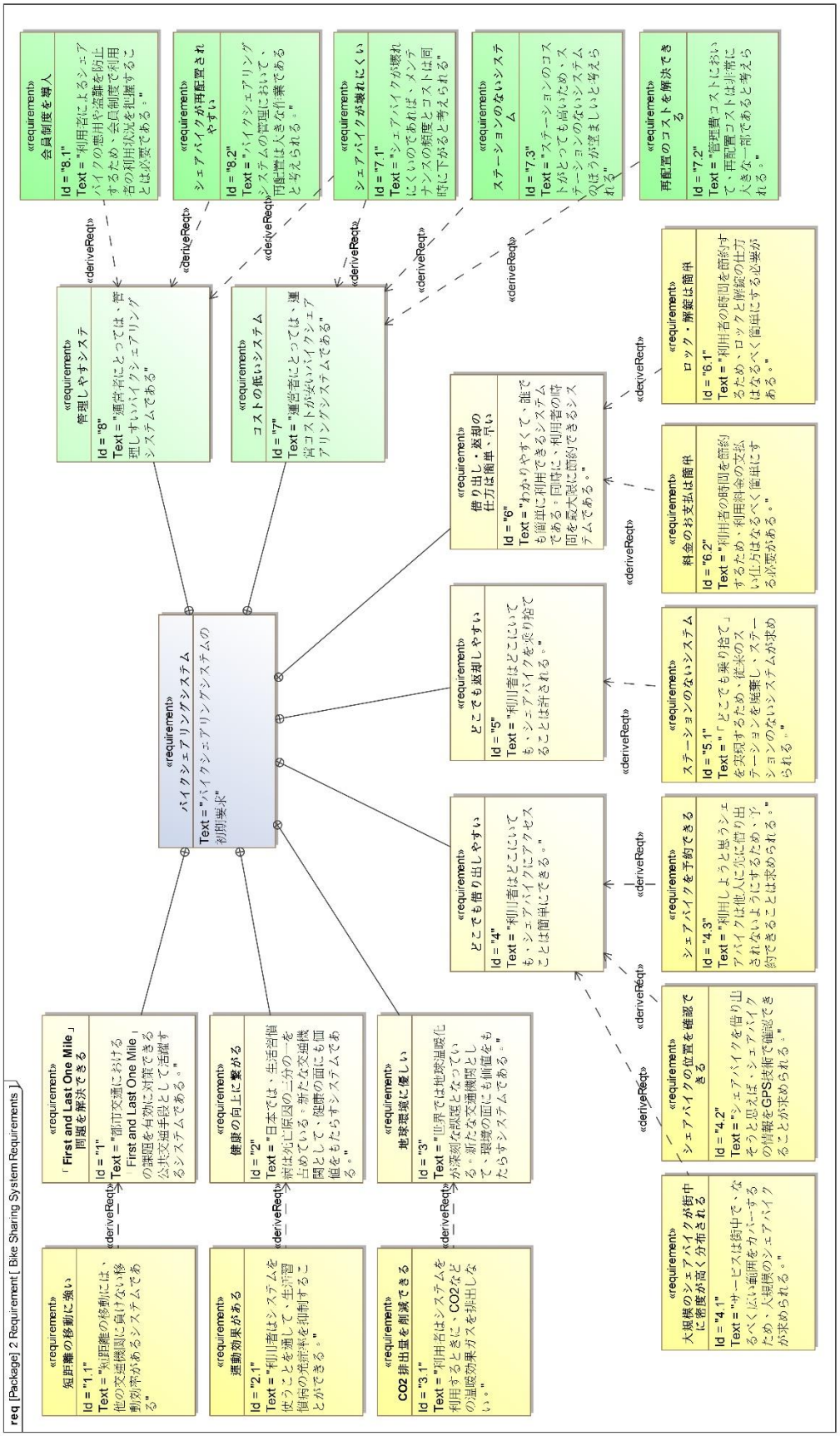
req [Package] 2 Requirement[Bike Sharing System Requirements]
«requirement»
バイクシェアリングシステム
Text = "バイクシェアリングシステムの利用要求"
«requirement»
短距離の移動に強い
Id = "1.1"
Text = "短距離の移動には、他の交通機関に負けない移動効率があるシステムである"
«requirement»
「First and Last One Mile」問題を解決できる
Id = "1"
Text = "都市交通における First and Last One Mile」の課題を有効に対策できる公共交通手段として活躍するシステムである。"
«requirement»
運動効果がある
Id = "2.1"
Text = "利用者はシステムを使うことを通して、生活習慣病の発症率を抑制することができる。"
«requirement»
健康の向上に繋がる
Id = "2"
Text = "日本では、生活習慣病は死亡原因の二分の一を占めている。新たな交通機関として、健康の面にも価値をもたらすシステムである。"
«requirement»
CO2 排出量を削減できる
Id = "3.1"
Text = "利用者はシステムを利用するときに、CO2などの温暖効果ガスを排出しない。"
«requirement»
地球環境に優しい
Id = "3"
Text = "世界では地球温暖化が深刻な問題となっている。新たな交通機関として、環境の面にも価値をもたらすシステムである。"
«requirement»
どこでも借り出しやすい
Id = "4"
Text = "利用者はどこにいても、シェアバイクにアクセスすることは簡単にできる。"
«requirement»
どこでも返却しやすい
Id = "5"
Text = "利用者はどこにいても、シェアバイクを乗り捨てることは許される。"
«requirement»
借り出し・返却の仕方は簡単、早い
Id = "6"
Text = "わかりやすくて、誰でも簡単に利用できるシステムである。同時に、利用者の時間を最大限に節約できるシステムである。"
«requirement»
管理しやすいシステ
Id = "8"
Text = "運営者にとっては、管理しやすいバイクシェアリングシステムである"
«requirement»
コストの低いシステム
Id = "7"
Text = "運営者にとっては、運営コストが安いバイクシェアリングシステムである"
«requirement»
会員制度を導入
Id = "8.1"
Text = "利用者によるシェアバイクの悪用や盗難を防止するため、会員制度で利用者の利用状況を把握することは必要である。"
«requirement»
シェアバイクが再配置されやすい
Id = "8.2"
Text = "バイクシェアリングシステムの管理において、再配置は人きな作業であると考えられる。"
«requirement»
シェアバイクが壊れにくい
Id = "7.1"
Text = "シェアバイクが壊れにくいのであれば、メンテナンスの頻度とコストは同時に下がると考えられる"
«requirement»
ステーションのないシステム
Id = "7.3"
Text = "ステーションのコストがとっても高いため、ステーションのないシステムのほうが望ましいと考えられる"
«requirement»
再配置のコストを解決できる
Id = "7.2"
Text = "管理費コストにおいて、再配置コストは非常に大きな一部であると考えられる。"
«requirement»
ロック・解錠は簡単
Id = "6.1"
Text = "利用者の時間を節約するため、ロックと解錠の仕方はなるべく簡単にする必要がある。"
«requirement»
料金のお支払は簡単
Id = "6.2"
Text = "利用者の時間を節約するため、利用料金の支払い仕方はなるべく簡単にする必要がある。"
«requirement»
ステーションのないシステム
Id = "5.1"
Text = "「どこでも乗り捨て」を実現するため、従来のステーションを撤廃し、ステーションのないシステムが求められる。"
«requirement»
シェアバイクを予約できる
Id = "4.3"
Text = "利用しようと思うシェアバイクは他人に先に借り出されないようにするため、予約できることは求められる。"
«requirement»
シェアバイクの位置を確認できる
Id = "4.2"
Text = "シェアバイクを借り出そうと思えば、シェアバイクの所在をGPS技術で確認できることが求められる。"
«requirement»
大規模のシェアバイクが街中に密度が高く分布される
Id = "4.1"
Text = "サービスは街中で、なるべく広い範囲をカバーするため、大規模のシェアバイクが求められる。"
«deriveReqt»

図６　初期要求の詳細化

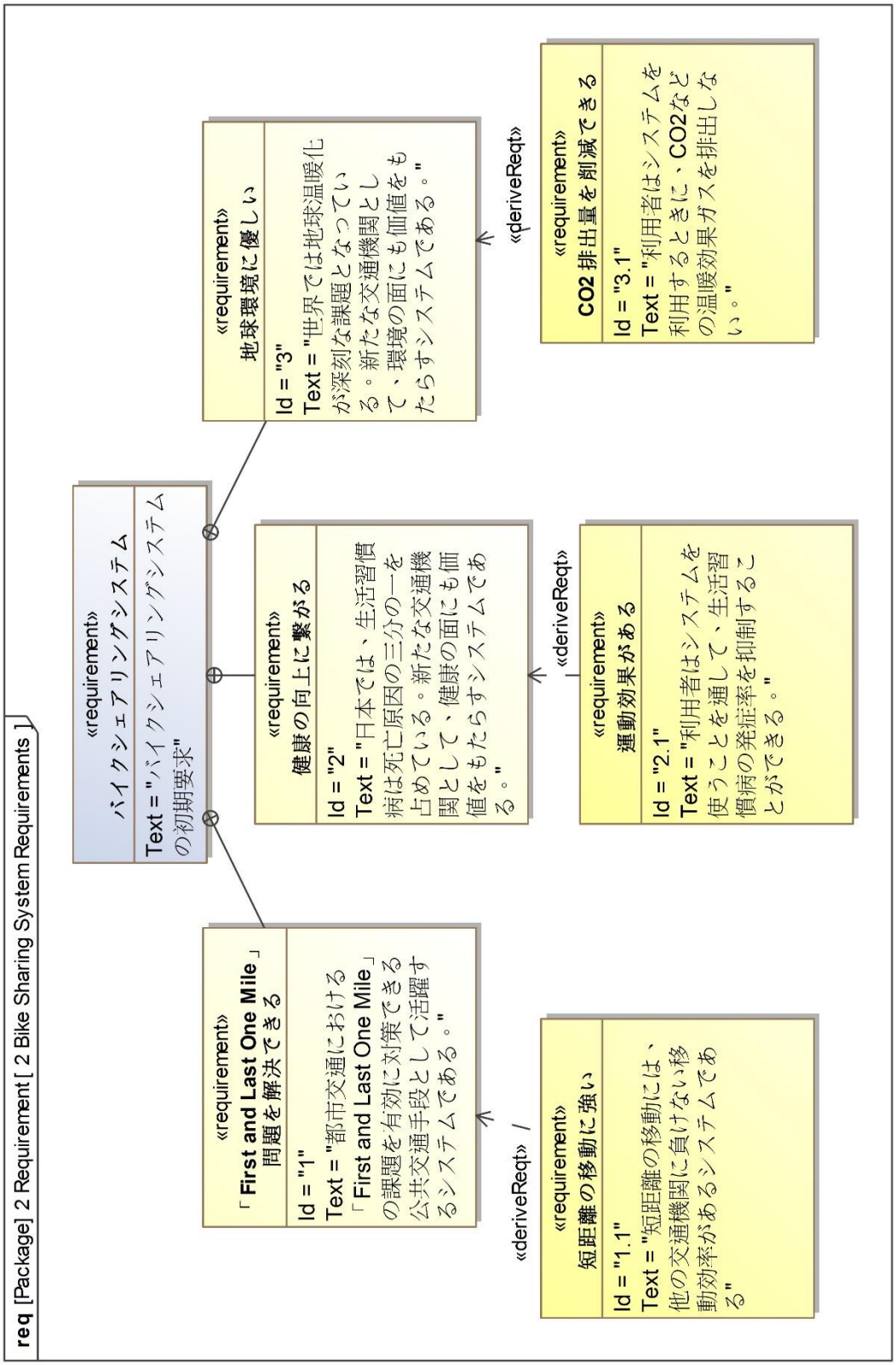

図７　初期要求の詳細化（利用者の視点からの第一部分）

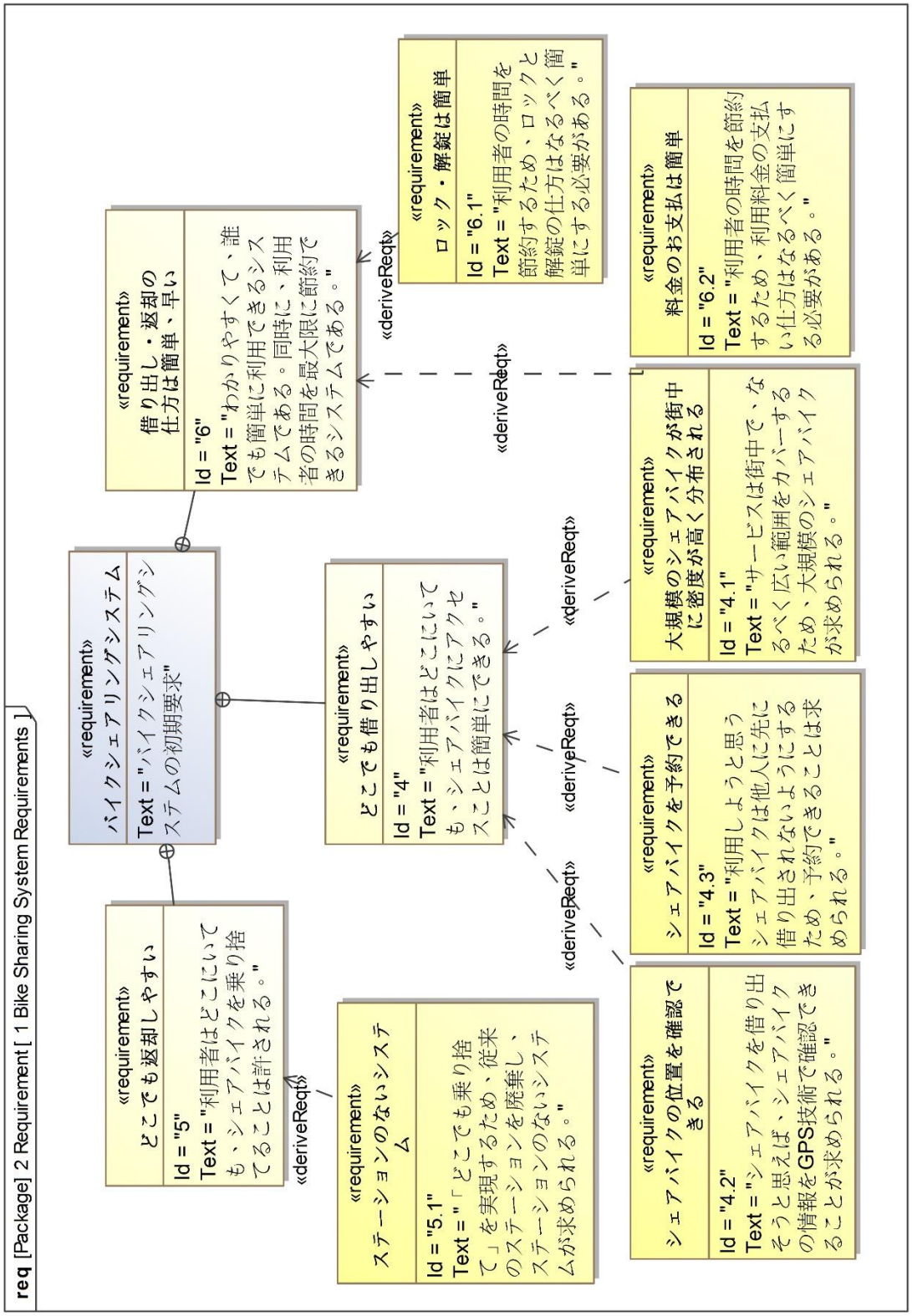

図８　初期要求の詳細化（利用者の視点からの第二部分）

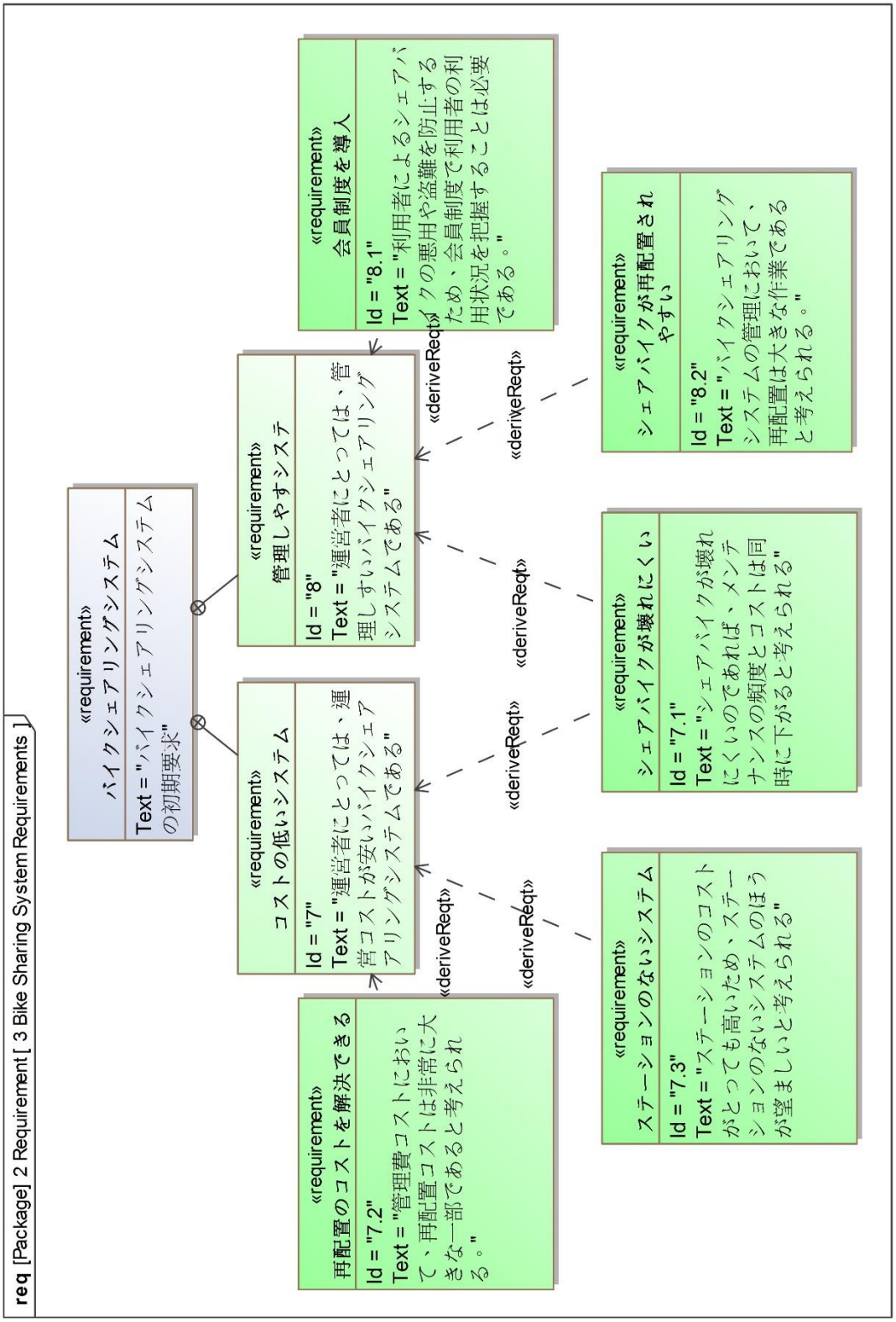

図９　初期要求の詳細化（運営者の視点から）

3.3. コンテキスト分析

「ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステム」を開発対象として捉え、運用ステージにおいてのコンテキスト分析を行う。本論文での運用シナリオは、利用者はバイクシェアリングシステムを利用することであるから、「利用者」は最も重要な外部システム（外部アクター）として運用ステージのコンテキストに登場する。また、「利用者」により良いバイクシェアリングのサービスを提供・維持するため、システムの管理やメンテナンス、再配置などを行う「運営者」が登場することになる。そのほか、本システムはステーションのないシステムと設定されており、3.2 で取り上げられた初期要求「シェアバイクの位置を確認できる」などを実現するため、「GPS 衛星」は必要であると考えられる。したがって、この運用ステージのコンテキストは、開発対象である「バイクシェアリングシステム」、「利用者」、「システム運営者」、「GPS 衛星」四つのシステムで構成されていることが明らかになった。（図１０）

通常の場合、現段階では、開発対象の一つ下の階層はどのようになっているかが明らかになっていない。そこで、上海の Mobike というシステムは「アプリケーションサブシステム」、「サーバーサブシステム」と「シェアバイクサブシステム」三つのサブシステムに構成されていることが明らかである。本論文は Mobike のシステムを踏まえで、さらなる設計を行うつもりであるため、ここでは Mobike の構造を参考することにした。

したがって、本論文ではここで、開発対象であるバイクシェアリングシステムのサブシステムの階層が、「アプリケーションサブシステム」、「サーバーサブシステム」と「シェアバイクサブシステム」三つのサブシステムで構成されていることにする。（図１１）

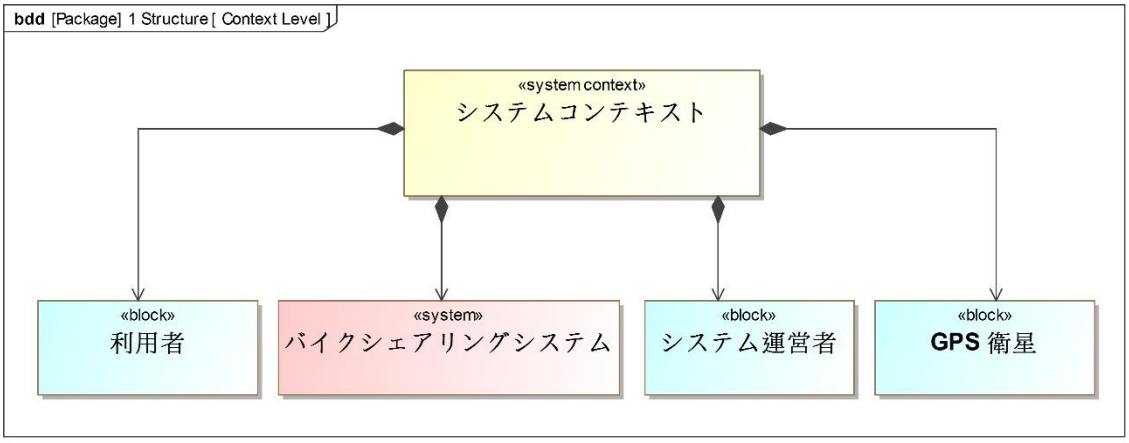

図１０　ステーションのない大規模バイクシェアリングシステムのコンテキスト

3.2 で整理された初期要求の結果は、大きく二つの部類に分けることができると考えられる。「システム利用者の視点からの初期要求」と「システム運営者の視点からの初期要求」である。そして、図１０によれば、運用ステージのコンテキストには、開発対象のほか、「利用者」、「システム運営者」と「GPS 衛星」三つの外部システム（外部アクター）が登場していることがわかる。以上のことを踏まえて、運用ステージにおいてのコンテキストレベルのユースケースは、図１２のように記述することができると考えられる。

本論文での、ステーションのない大規模バイクシェアリングシステムのモデル構築は、図１２で記述された「利用者はバイクシェアリングシステムを利用する」と「運営者はバイクシェアリングシステムを運営する」二つのユースケースを中心として行う。

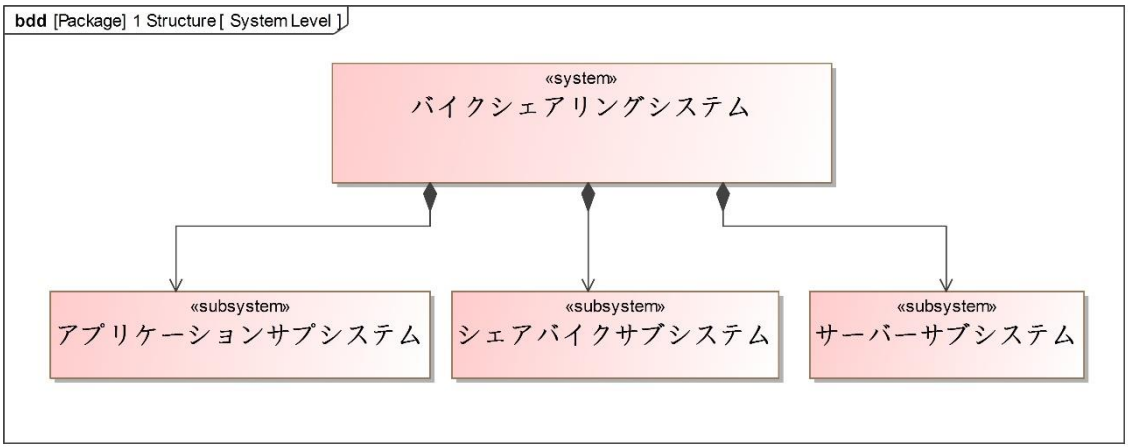

図１１　システムレベルのストラクチャー

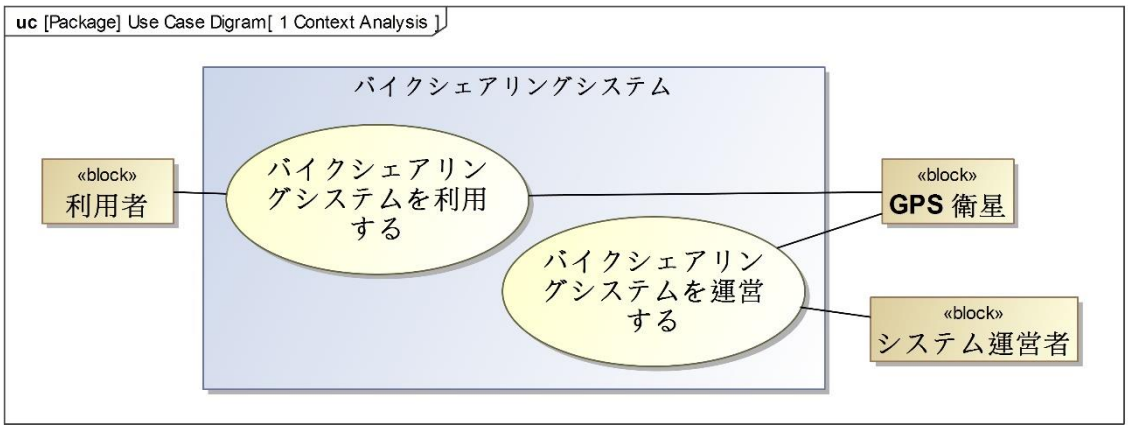

図１２　コンテキストレベルのユースケース

3.4. 振る舞いのモデリングによる機能要求の抽出

開発対象と外部システムとの相互作用はどのようになっているかを明らかにするため、運用シナリオを検討した上で、システムの振る舞いをモデリングすることが求められる。本節では、3.3 で定めたユースケース（図１２）をシーケンス図で記述し、運用シナリオに基づいたシステムの振る舞いをモデリングする。開発対象と外部システムとの相互作用を明らかにすることを通して、開発対象の機能要求を抽出することができる。

3.3 で定めたコンテキストレベルのユースケースには、「バイクシェアリングシステムを利用する」と「バイクシェアリングシステムを運営する」二つのユースケースが搭載されている。本節では、開発対象の機能要求を抽出することを目指し、シーケンス図を用いて上記された二つのユースケースを記述する。

3.4.1. シーケンス図による「バイクシェアリングシステムを利用する」のモデリング

第一に、システム利用者の視点に基づき、シーケンス図を用いてユースケース「バイクシェアリングシステムを利用する」を記述する。

まず、「利用者がバイクシェアリングシステムを利用する」シーンを検討する。「シェアバイクをピックアップする」、「シェアバイクに乗る」、「シェアバイクを返却する」この三つは最も基本的な動作であると考えられる。したがって、この三つの動作が、ここで記述しようとするシーケンス図に、含まれるはずであると考えられる。

そして、3.2 では開発対象の初期要求を整理した。ここで記述しようとするシーケンス図は、3.2 で整理された初期要求を満たすことが求められる。

（1） システム利用者の視点から初期要求

I. 短距離の移動に強い
II. 運動効果がある
III. CO_2を排出しない
IV. 大規模のシェアバイクが街中に密度が高く分布される
V. シェアバイクの位置が確認できる
VI. シェアバイクの予約ができる
VII. ステーションのないシステム
VIII. 料金の支払いは簡単
IX. ロック・解錠は簡単

これらの初期要求を満たすために、「シェアバイクの位置を確認する」、「シェアバイクを予約する」、「シェアバイクに乗る」、「利用料金を支払う」、「シェアバイクをロックする」と「シェアバイクを解錠する」六つの動作が必要とされると考えられる。ここでは、「シェアバイクを解錠する」が「シェアバイクをピックアップする」に入る、「シェアバイクをロックする」と「利用料金を支払う」が「シェアバイクを返却する」に含まれる、と想定する。

また、3.2 で整理されたシステム運営者の視点からの初期要求には、「会員制度の導入」という項目がある。そのため、「利用者がバイクシェアリングシステムを利用する」シーンにおいては、「会員登録を行う」という動作が出て来ると考えられる。したがって、「会員登録を行う」をここのシーケンス図に入れる。

ユースケース「バイクシェアリングシステムを利用する」をシーケンス図で記述した結果は図１３のようになっている。「会員登録を行う」、「シェアバイクの位置を確認する」、「シェアバイクを予約する」、「シェアバイクをピックアップする」、「シェアバイクに乗る」と「シェアバイクを返却する」で構成されている。

そこで、利用者は初回目の利用でしか会員登録を行わないため、「会員登録を行う」は opt（option、必ず実行する必要でない動作と指す）の線枠に囲まれる。また、利用者はシステムを利用しようとする際、必ず「シェアバイクの位置を確認する」と「シェアバイクを予約する」この二つ動作を行うと限らないため、この二つの動作も option となっている。

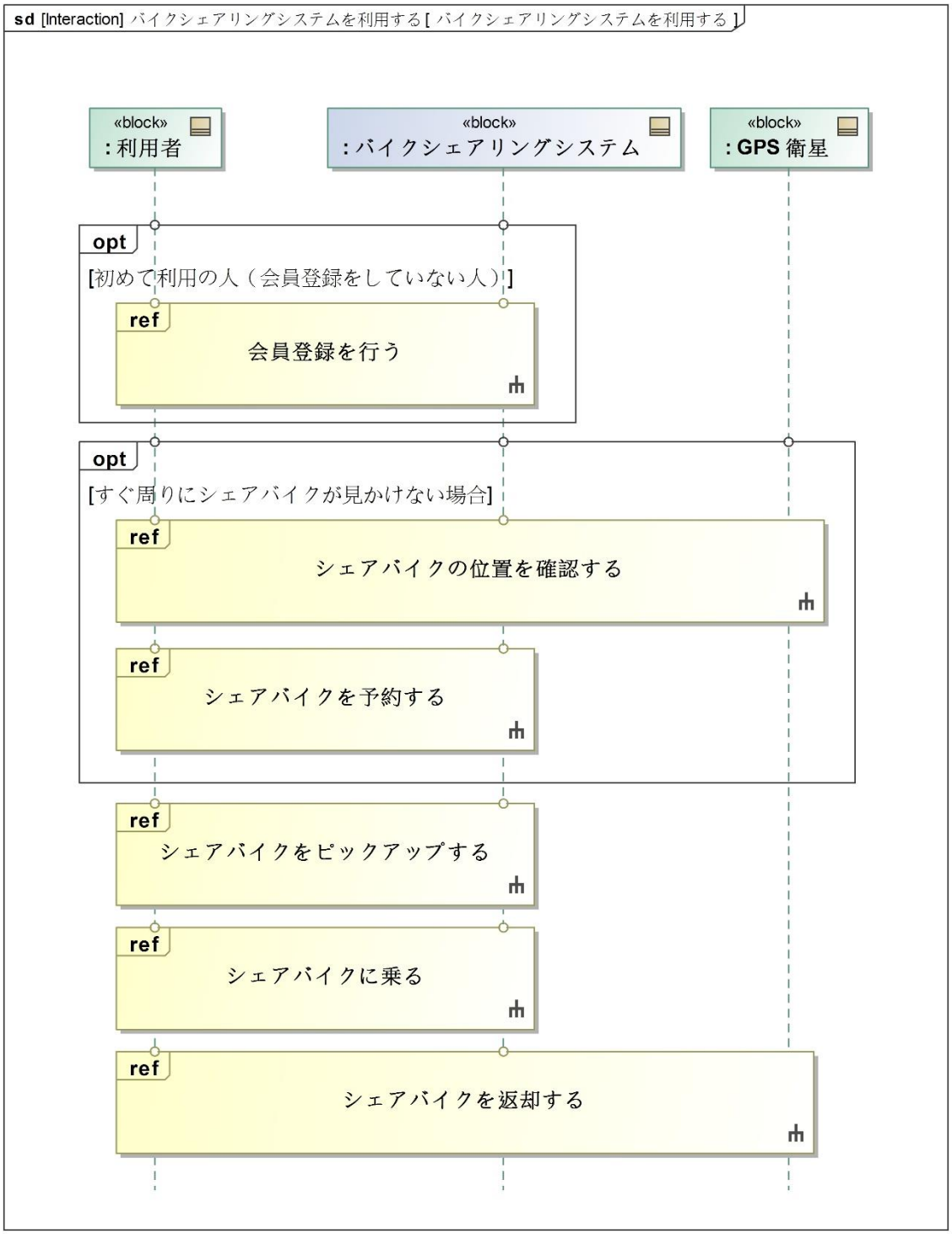

図１３　「バイクシェアリングシステムを利用する」のシーケンス図

図１３によって、利用者は「バイクシェアリングシステムを利用する」において、どのような動作を起こすか、が明らかになった。しかしながら、図１３では開発対象と外部システムとのメッセージ交換が記述されていない。それによって、図１３から開発対象の機能要求を抽出することが難しいと考えられる。したがって、「バイクシェアリングシステムを利用する」のシーケンス図（図１３）に基づき、その中に載せられる動作をさらに詳細化することが必要であると考えられる。そこで、本論文は図１４、図１５、図１６、図１７、図１８と図１９を作成した。

以下で記述された六枚のシーケンス図の可読性を高めるため、ここでは、それぞれの図のシナリオについて論じる。

（1）　「会員登録を行う」のシーケンス図

本システムは会員限定のサービスであると想定されている。初回目の利用では、利用者は必ず会員登録を行わなければならない。そして、会員登録を実行するために、メール又は携帯電話の登録が必要とされる。利用者はアプリケーションの指示に従い、メール（又は携帯番号）や確認メッセージ、パスワードなどを入力する。アプリケーション（開発対象のサブシステム）が利用者に入力された情報をサーバー（開発対象のサブシステム）に送信するとともに、画面で利用者に次の指示を出す。サーバー側はアプリケーションから送ってきた利用者の情報をデーターベースに登録する。

（2）　「シェアバイクの位置を確認する」のシーケンス図

本システムはステーションのないシステムであると想定されている。利用されていないシェアバイクは定期的に GPS 衛星から電波を受取り、現在位置を計算してサーバーのほうに送信する。利用者はシェアバイクの位置を確認しようとするとき、アプリケーションにコマンドを入力し、サーバーのほうに指定した範囲内でのシェアバイクの位置情報を請求する。

利用されていないシェアバイクは、自ら「GPS 衛星から電波を受取り、現在位置を計算してサーバーにデータを渡す」プロセスを無限に繰り返すため、Loop になっている。

（3）　「シェアバイクを予約する」のシーケンス図

従来のシステムと異なり、本システでは、利用者が特定したシェアバイクを確保するため、シャアバイクの予約は可能である。利用者はシェアバイクの位置情報を確認した上で、アプリケーションで特定したシェアバイクを指定し、予約のリクエストをサーバーに送信する。指定されたシェアバイクがほかの利用者に取られないように確保するため、サーバ

ーはシェアバイクの解錠条件を変更する。また、シェアバイクの位置情報をシェアバイクマップから除く。

（4）　「シェアバイクをピックアップする」のシーケンス図

シェアバイクをピックアップする場合が二つに分かれている（alternative）。1）シェアバイクを予約していない場合；2）シェアバイクを予約した場合。

シェアバイクを予約していない場合、利用者がシェアバイクに載せるQRコードをアプリケーションに読み込ませ、QR コードに含んだメッセージをサーバーに送信する。サーバーのほうは送ってきたQRコードの含んだメッセージを確認し、それに応じるシェアバイクに、ロック解錠の指示を送る。シェアバイクのロックが解錠されるにつれて、シェアバイクの位置情報がシェアバイクマップから消える。また、アプリケーションではトリップの時間計算が始められる。

シェアバイクを予約した場合、利用者がシェアバイクに載せるQRコードをアプリケーションに読み込ませ、QR コードに含んだメッセージをサーバーに送信する。そこで、サーバーはこの送信を実行した利用者の情報を、このシェアバイクの予約者の情報と参照する。もし両者は一致であるのであれば、シェアバイクにロック解錠の指示を送る。

（5）　「シェアバイクに乗る」のシーケンス図

利用者はシェアバイクを利用することによって、自身の健康状態を向上させることができる。また、シェアバイクは利用者を早く移動させることができる。なお、シェアバイクは利用者に利用される際、CO_2の排出量はゼロであると考えられる。

（6）　「シェアバイクを返却する」のシーケンス図

利用者はアプリケーションで、トリップ終了のコマンドを入力する。アプリケーションはトリップ終了の指示をサーバーに送信する。サーバーはトリップ終了の指示を受けたとたん、シェアバイクのほうに、ロックの指示を送る。ロックの確認を受けたサーバーは、アプリケーションのほうにトリップ終了確認のメッセージを渡す。アプリケーションはトリップの時間計算を終わらせ、それに基づいて利用料金の計算を行う。サーバーは利用料金の金額情報を受け取り、クレジットカード社のほうにメッセージを送信して決済を行う。最後に、アプリケーションは画面でトリップ終了の確認を表示する。

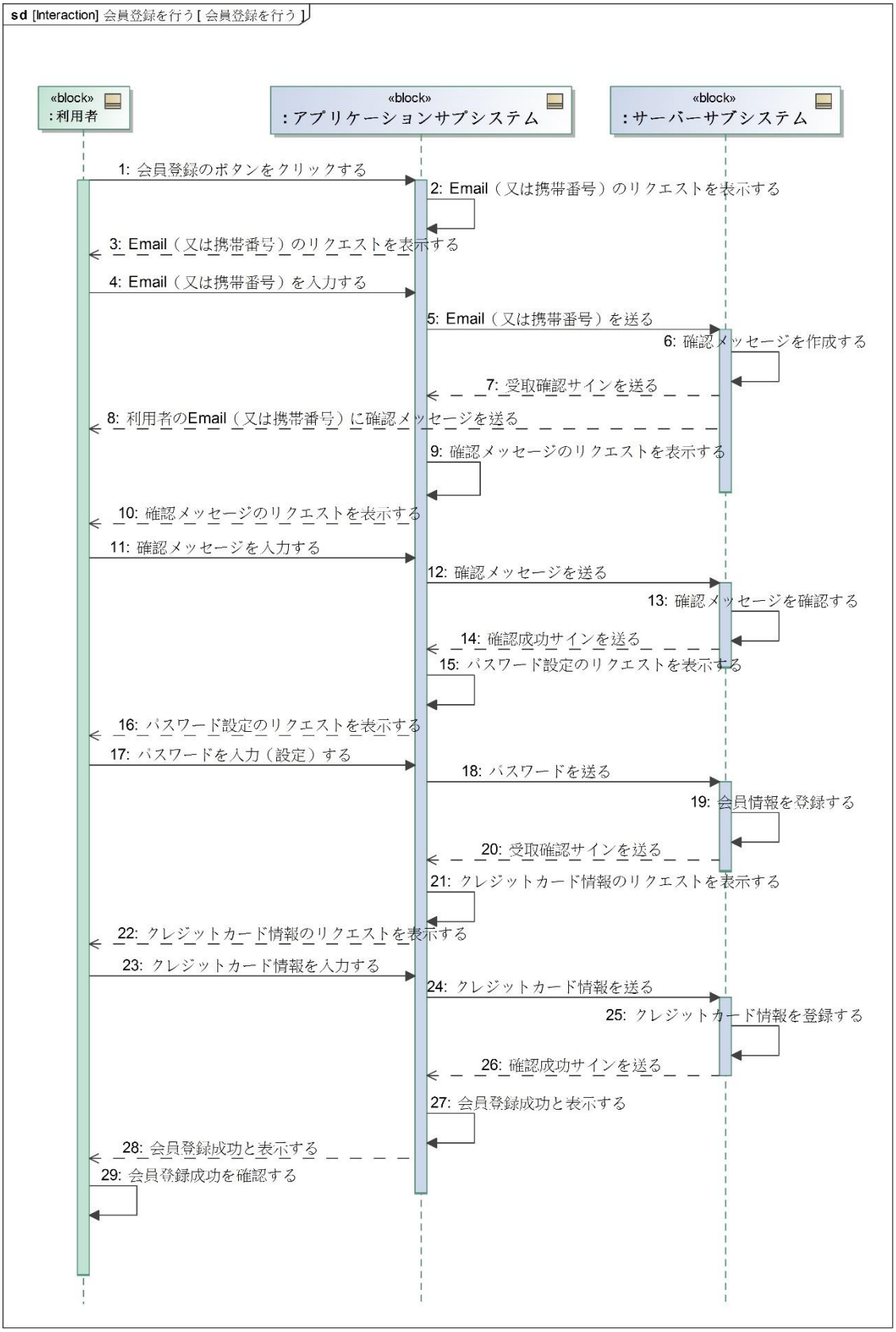

図１４　「会員登録を行う」のシーケンス図

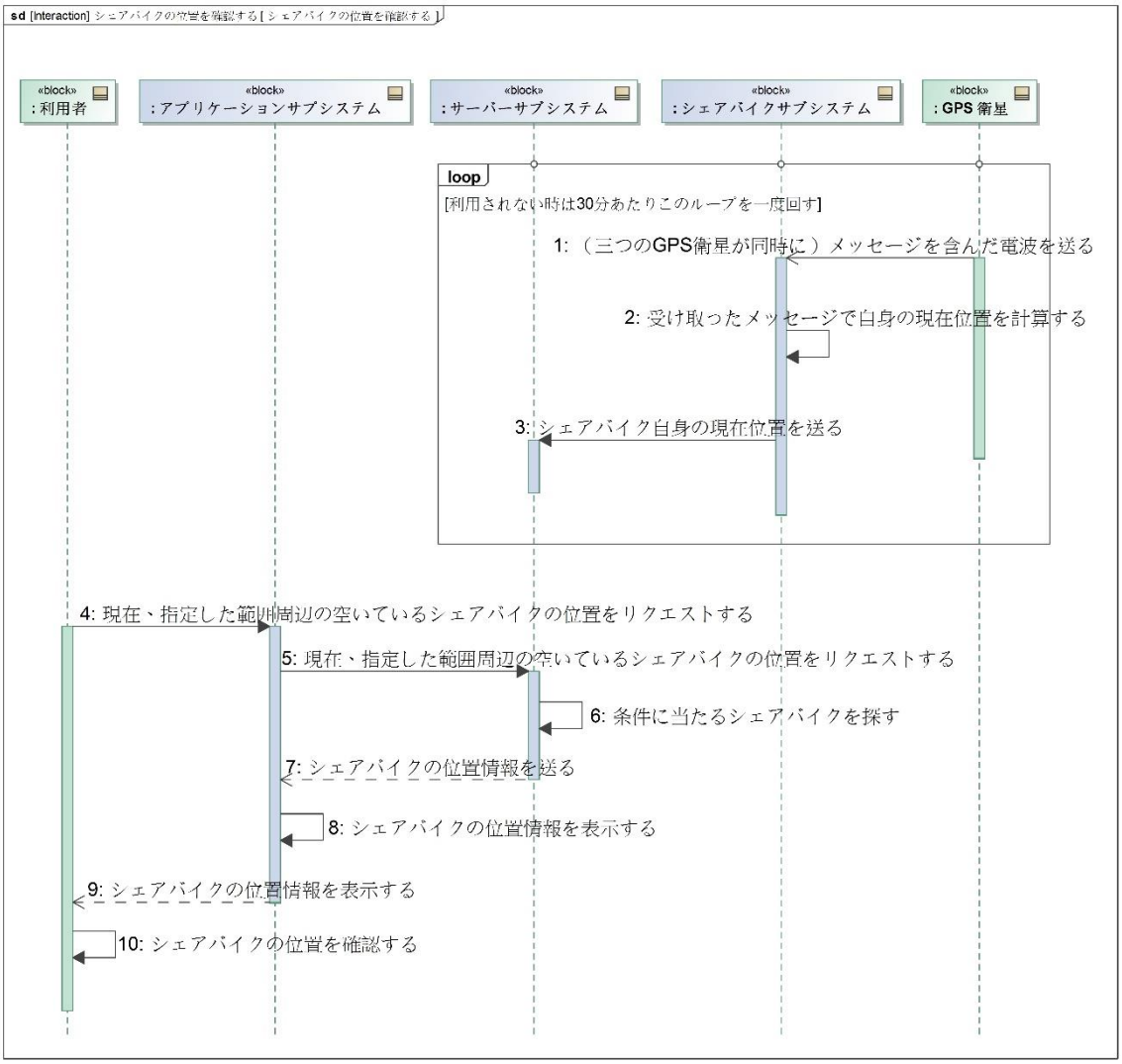

図１５　「シェアバイクの位置を確認する」のシーケンス図

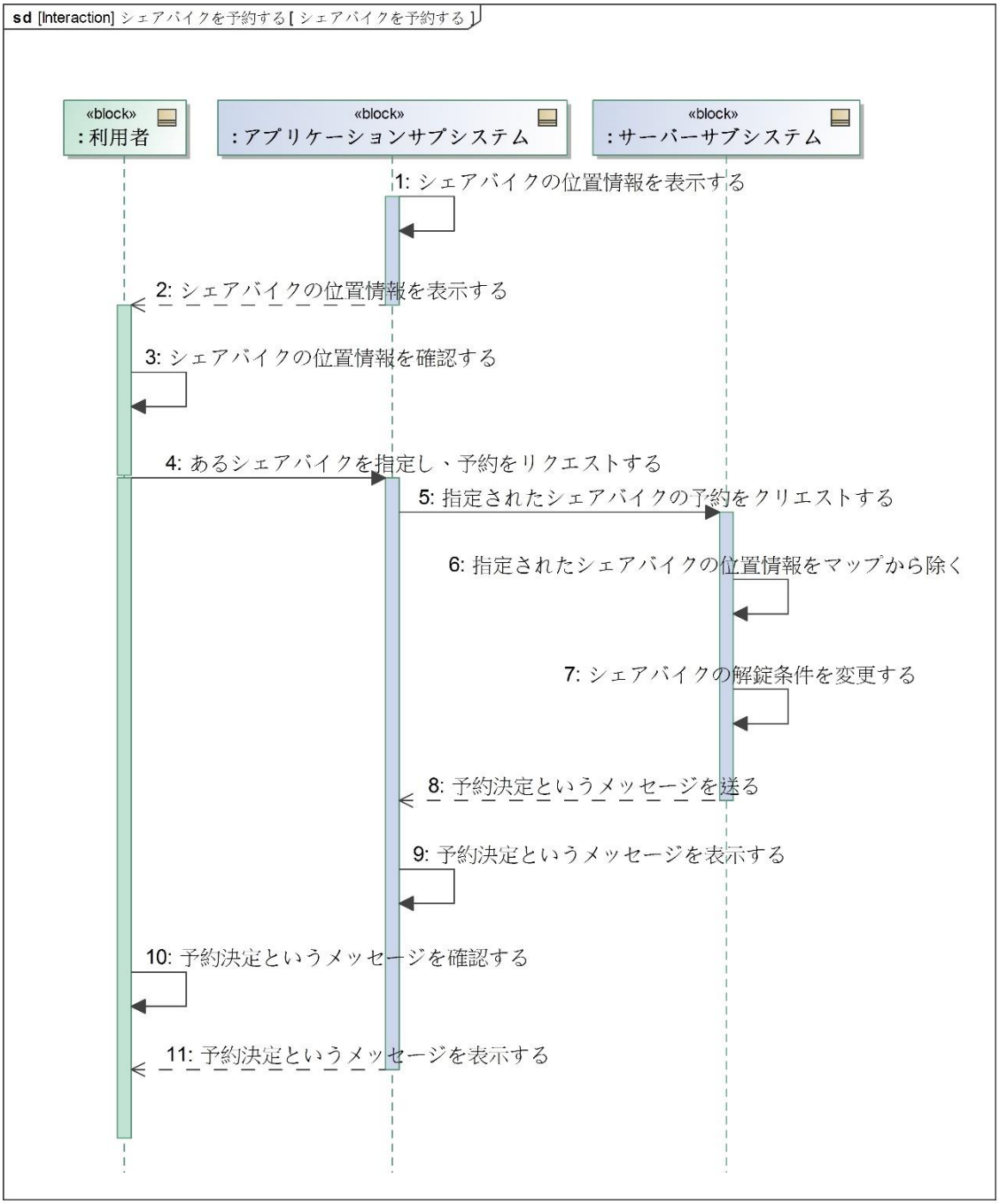

図１６　「シェアバイクを予約する」のシーケンス図

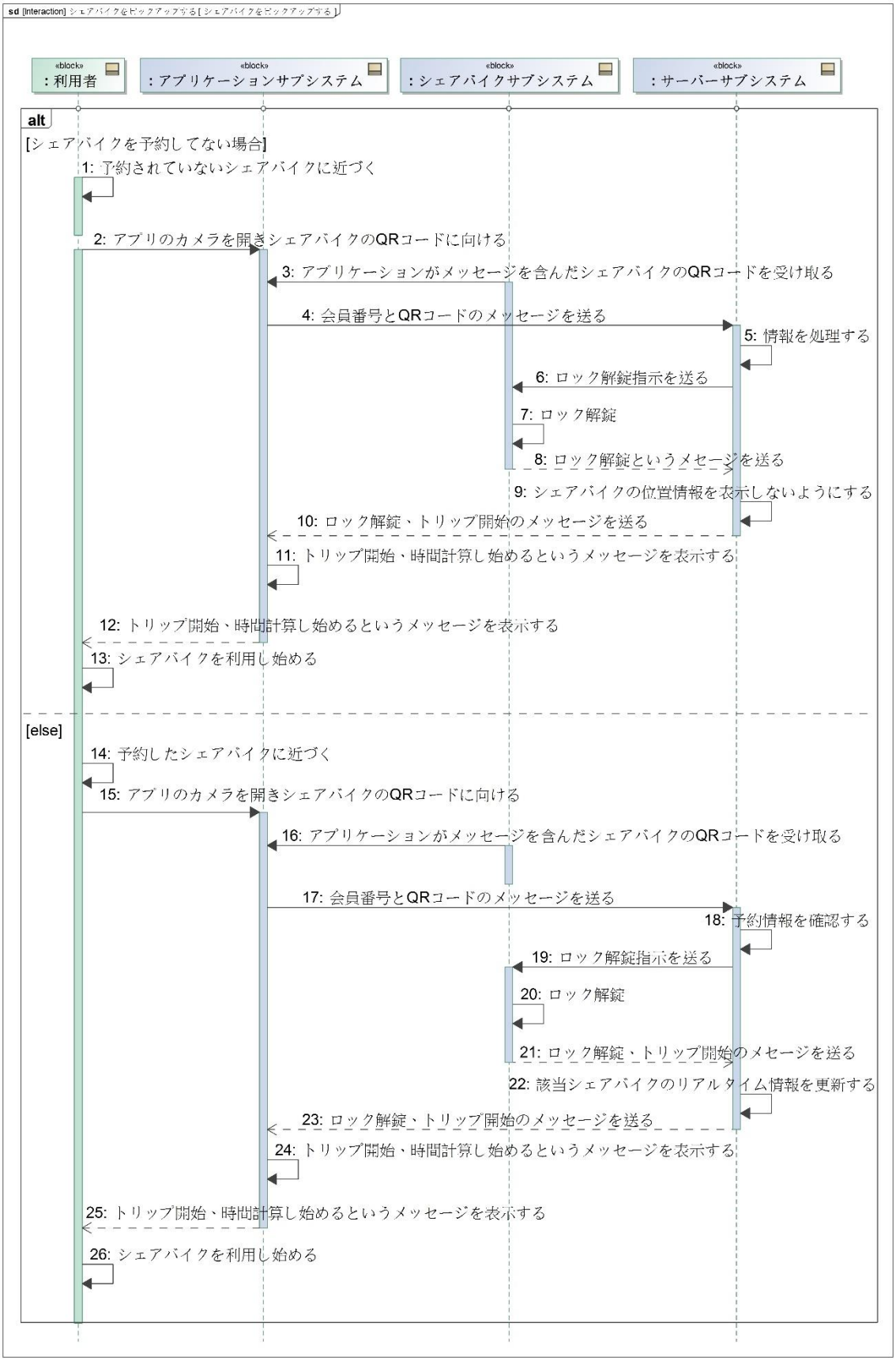

図１７　「シェアバイクをピックアップする」のシーケンス図

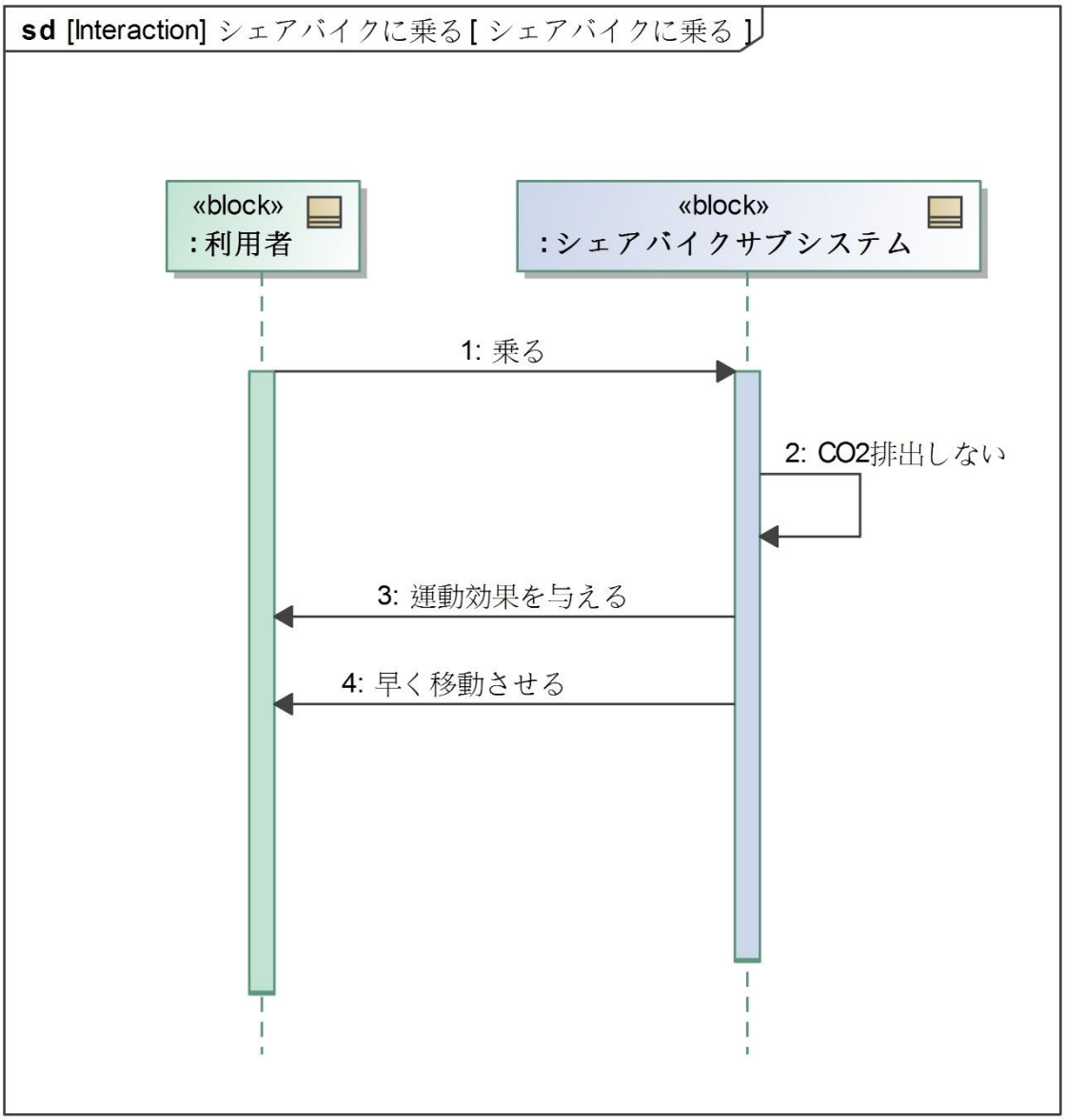

図１８　「バイクシェアリングシステムに乗る」のシーケンス図

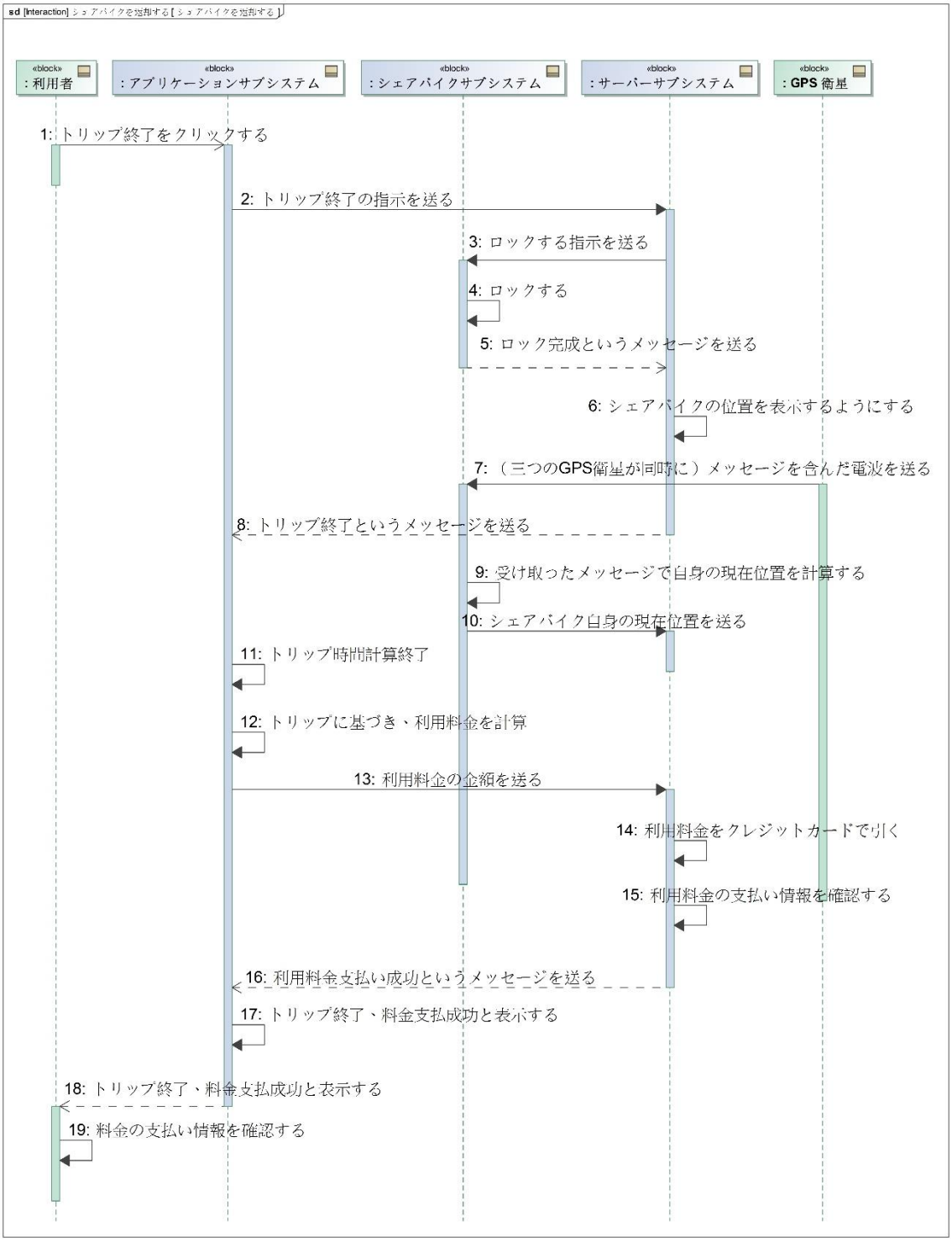

図１９　「シェアバイクを返却」のシーケンス図

3.4.2. シーケンス図による「バイクシェアリングシステムを運営する」のモデリング

第二に、システム運営者の視点に基づき、シーケンス図を用いてユースケース「バイクシェアリングシステムを運営する」を記述する。

まず、3.2 で整理された運営者の視点からの初期要求は以下のようにまとめられている。

（1） システム運営者の視点からの初期要求

I. 会員制度の導入

II. シェアバイクが再配置されやすい

III. 再配置のコスト問題が対策できる

IV. シェアバイクが壊れにくい

V. ステーションのないシステム

これらの初期要求を満たすために、シーケンス図「バイクシェアリングを運営する」（表２０）には、「会員を管理する」、「シェアバイクを再配置する」、「シェアバイクをメンテナンスする」三つの動作が必要とされると考えられる。

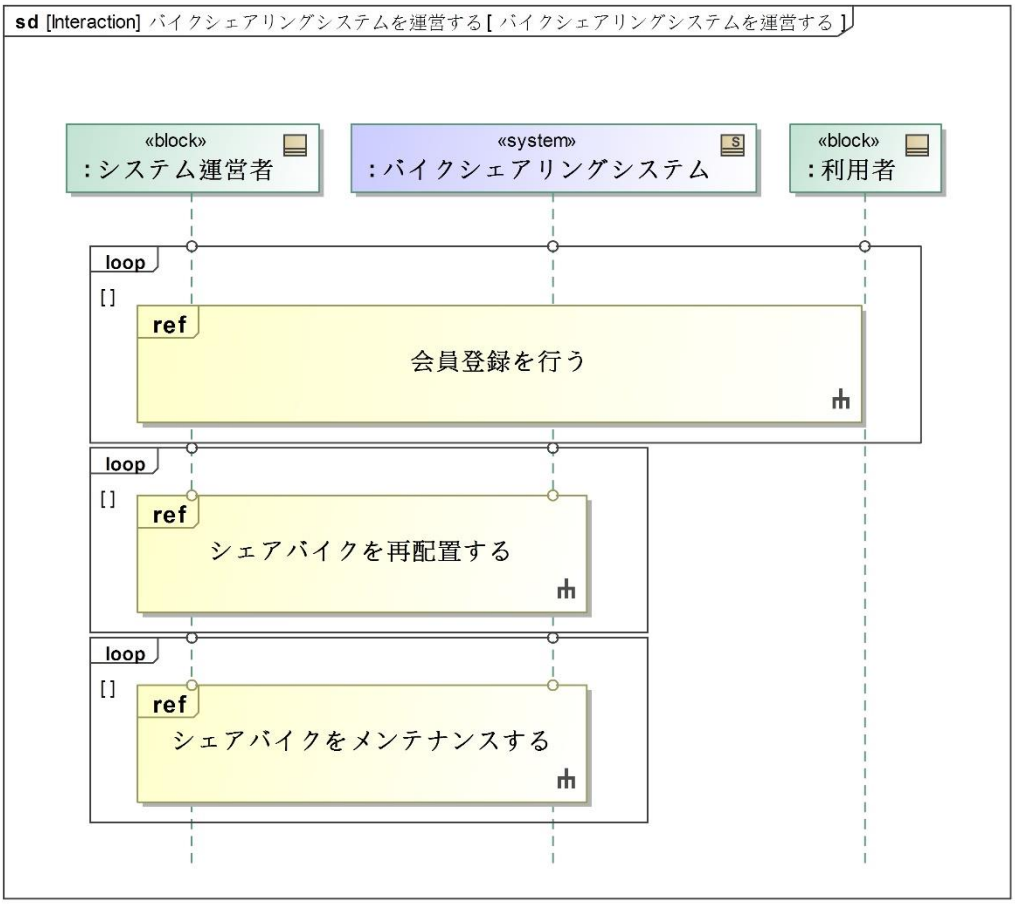

図２０　「バイクシェアリングシステムを運営する」のシーケンス図

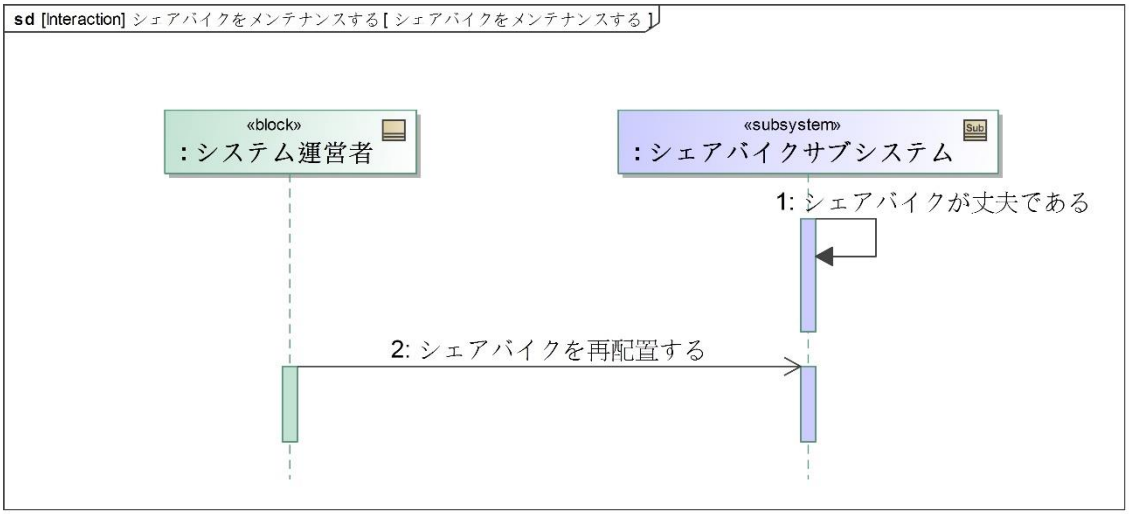

図２１　「シェアバイクをメンテナンスする」のシーケンス図

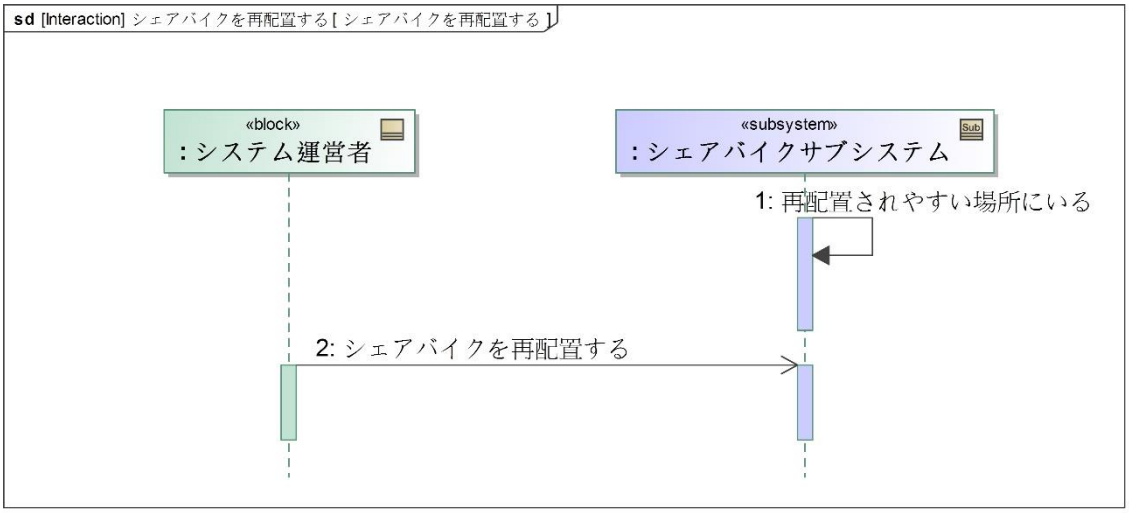

図２２　「シェアバイクを再配置する」のシーケンス図

そして、「シェアバイクを再配置する」と「シェアバイクをメンテナンスする」二つの動作を詳細化すると、図２１と図２２のようになっている。

ここでは、「シェアバイクを再配置する」のシーケンス図（図２１）に着目する。「シェアバイクが再配置されやすい」と「再配置のコスト問題が対策できる」二つの初期要求を満たすために、シェアバイクサブシステムに「再配置されやすい場所にいる」という機能要求が抽出された。しかしながら、開発対象であるバイクシェアリングシステムでは、シェアバイクの返却場所が指定されていない。自転車の駐輪が認められる場所であれば、シェアバイクの自由な乗り捨てが認められる。したがって、シェアバイクの乗り捨てられた場所は、必ずしも「再配置されやすい場所」であるとは限らない。

さて、こうしたシステムは如何に、「シェアバイクが再配置されやすい場所にいる」という機能要求を実現するだろうか。本論文では「ゾーンベースの課金制」を提案する。

3.4.3. 「ゾーンベースの課金制」の提案とシーケンス図による「利用料金の自動的決済」のモデリング

（1） 「ゾーンベースの課金制」とは

第１章でまとめられた**表１**のように、現在、世界中で普及されている大半のバイクシェアリングシステムは「時間単位の従量課金制」を採用している。利用者の利用時間（＝シェアバイクの走行時間）に基づいて、利用料金を計算するという仕組みの課金制度である。本章の 3.4.1 で記述された「シェアバイクを返却する」のシーケンス図でも、「時間単位の従量課金制」を参考にした。

「ゾーンベースの課金制」は従来の「時間単位の従量課金制」をベースとした新たな提案である。その原理は以下に示す（東京を背景として）。

I. 利用者の利用時間（=シェアバイクの走行時間）に基づいて、利用料金の第一部分 A を計算する。

II. 四つのゾーンを定義する。まず、東京 23 区内での、バイクシェアリングシステムの利用率が「特に高い」であると推定される地域を「ゾーン１」と定義する。次に、東京 23 区内外での、バイクシェアリングシステムの利用率が「まあまあ高い」であると推定される地域を「ゾーン２」と定義する。そして、「ゾーン１」と「ゾーン２」を除いた東京 23 区全域を「ゾーン３」と定義する。最後に、「ゾーン２」を除いた東京 23 区以外の地域を「ゾーン４」と定義する。（システムの利用率が高ければ高いほど、シェアバイクの再配置が行われやすくなると想定する）

III. 利用者がシェアバイクを、上記された四つのゾーンのいずれかで乗り捨ても、追加料金は発生する。この追加料金の金額は、「ゾーン４」＞「ゾーン３」＞「ゾーン２」＞「ゾーン１」である。同時に、この追加料金は利用料金の第二部分 B となる。

IV. つまり、利用者の利用料金は、利用時間に基づいて計算された第一部分 A、プラス、シェアバイクを乗り捨てることによって発生した追加料金 B（金額はゾーンによる）、となる。

この「ゾーンベースの課金制」をより分かりやすく解釈するため、ここでは一つの具体例を想定する。

まずでは、「時間単位の従量課金制」に基づいた利用料金の第一部分 A の具体的な計算仕方を想定する。最初の 30 分は無料である。30 分を通過した場合、100 円 / 30 分の課金となる。次に、上記された各ゾーンでの、乗り捨てによって発生する追加料金 B（利用料金の第二部分）の具体的な課金仕方を想定する。各ゾーンの追加料金は、「ゾーン１」が 100 円、「ゾーン２」が 300 円、「ゾーン３」が 500 円、「ゾーン４」が 1,000 円である。

図２３では、白い部分は東京 23 区外の地域である「ゾーン４」のことを指す。黄色い部分は東京 23 区全域である「ゾーン３」のことを指す。緑色の部分は、バイクシェアリングシステムの利用率が「まあまあ高い」であると推定される地域の「ゾーン２」のことを指す。赤色の部分は、バイクシェアリングシステムの利用率が「特に高い」であると推定される地域の「ゾーン１」のことを指す。

例えばここでは、利用者 A、利用者 B、利用者 C、利用者 D、利用者 E、五人がいる。

- 利用者 A：利用時間は 10 分；乗り捨ての場所は「ゾーン１」；利用料金は 100 円。
- 利用者 B：利用時間は 40 分；乗り捨ての場所は「ゾーン２」；利用料金は 400 円。
- 利用者 C：利用時間は 20 分；乗り捨ての場所は「ゾーン３」；利用料金は 500 円。
- 利用者 D：利用時間は 10 分；乗り捨ての場所は「ゾーン４」；利用料金は 1000 円。
- 利用者 E：利用時間は 10 分；乗り捨ての場所は「ゾーン２」；利用料金は 300 円。

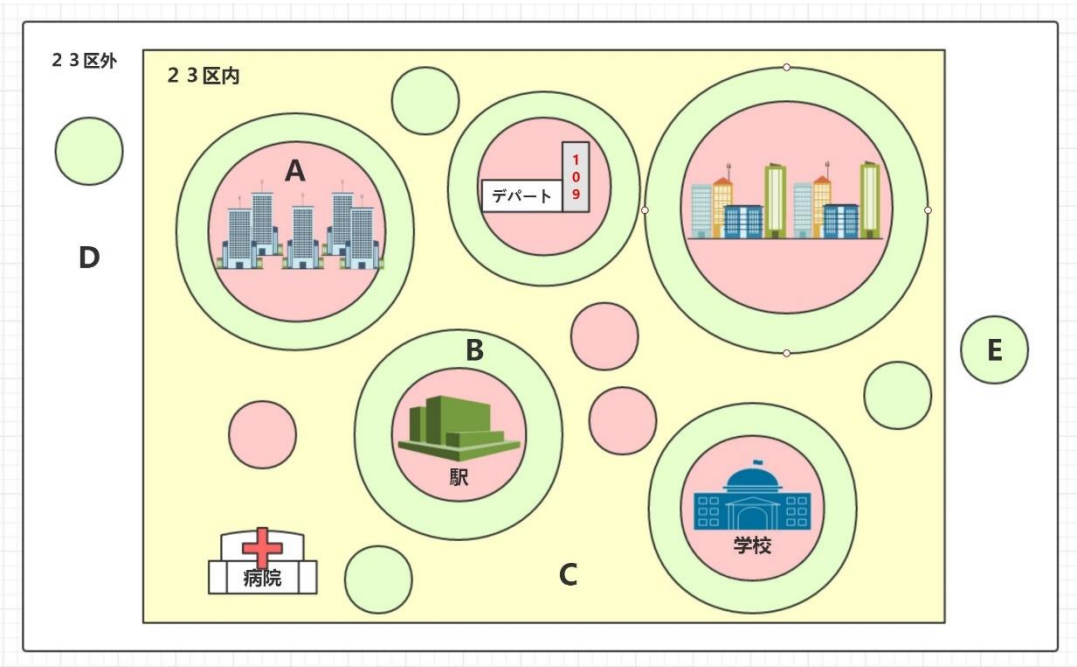

図２３　「ゾーンベース課金制」の具体例

（２）　「利用料金の自動的決済」のシーケンス図

「ゾーンベースの課金制」を実現するために、3.4.1 で記述された「シェアバイクを返却する」のシーケンス図において、「利用料金の自動的決済」という部分の振る舞いを修正する必要があると考えられる。その結果は、図２４のようになる。

「利用料金の自動的決済」シーケンス図のシナリオ：

利用者はアプリケーションを通して、トリップを終了させる。アプリケーションではまず、今回のトリップの時間に基づいて、利用料金の第一部分を算出する。そして、サーバーのほうに、シェアバイクの現在位置をリクエストし、シェアバイクはどちらのゾーンで返却（駐輪）されているのかを判明する。そこで、シェアバイクは GPS 衛星から電波を受取り、現在位置をサーバーに渡す。アプリケーションはシェアバイクの現在位置に基づいて、利用料金の第二部分を算出する。最後に、アプリケーションは利用料金の第一部分と第二部分を合わせて今回のトリップの最終利用料金を計算する。サーバーはこの最終利用料金の金額をアプリケーションから受取って、決済を行う。

「ゾーンベースの課金制」の案は、シェアリングを「再配置されやすい」ゾーンに乗り捨てることを促すと同時に、再配置コストをまかなえるようにすることを狙う。こうした提案は、3.2 で取り上げられた「シェアバイクが再配置されやすい」と「再配置のコスト問題が対策できる」二つの初期要求を満たすことができると考えられる。

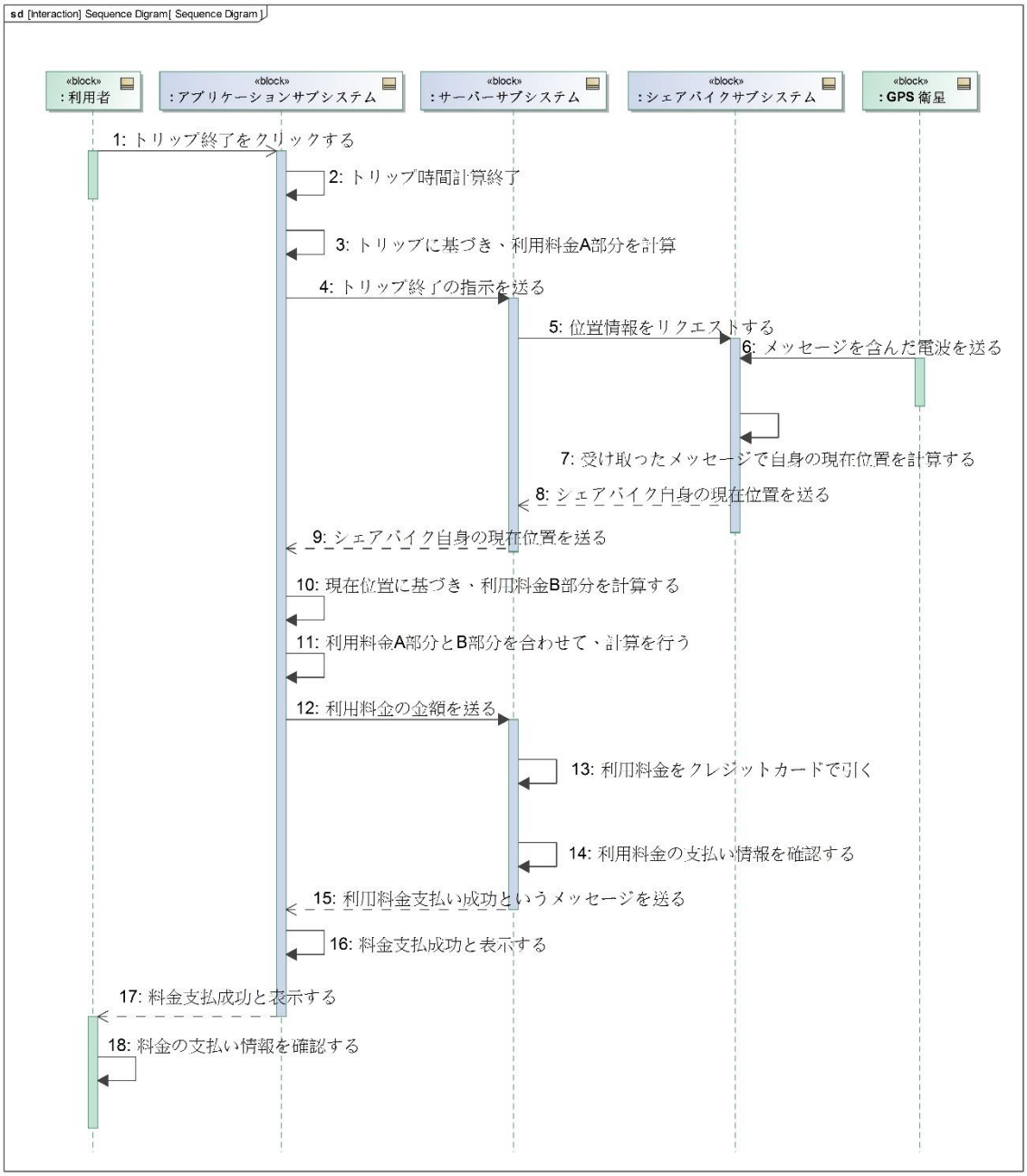

図２４　「利用料金の自動的決済」のシステムシーケンス図

3.4.4. 機能要求の整理

3.4.1、3.4.2 と 3.4.3 では、シーケンス図を用いて、システムの振る舞いをモデリングした。作成されたシーケンス図から、システムの機能要求を抽出することができる。

例えば、シーケンス図「会員登録を行う」では、開発対象であるバイクシェアリングシステムと外部システムである利用者との間、「メール」や「パスワード」、「確認メッセージ」などのメッセージの交換が行われている。開発対象であるバイクシェアリングシステムにとって、「メールの入力を受ける」、「パスワードの入力を受ける」、「確認メッセージの入力を受ける」というのは一つ一つの機能要求である。すなわち、「メールの入力を受ける」、「パスワードの入力を受ける」、「確認メッセージの入力を受ける」というは、開発対象のバイクシェアリングシステムが持つべき機能である。

本節では、シーケンス図から抽出したシステムの機能要求をグルーピングする。例えば、シーケンス図「会員登録を行う」の場合では、システムの機能要求は最終的に、「利用者のコマンドを受ける」、「情報やメッセージを画面で表示する」、「コマンドをサーバーに送信する（アプリ）」、「サーバーからコマンドを受信する（アプリ）」、「アプリからコマンドを受信する（サーバー）」、「アプリにコマンドを送信する（サーバー）」、「会員登録プログラムが作動する（アプリ）」、「会員登録プログラムが作動する（サーバー）」といった８つの機能要求にグルーピングされる（分類される）（図２５）。

そして、3.4.1、3.4.2、3.4.3 で記述された全部のシーケンス図から、機能要求を抽出し、グルーピングを行った結果は、図２６のようになっている。

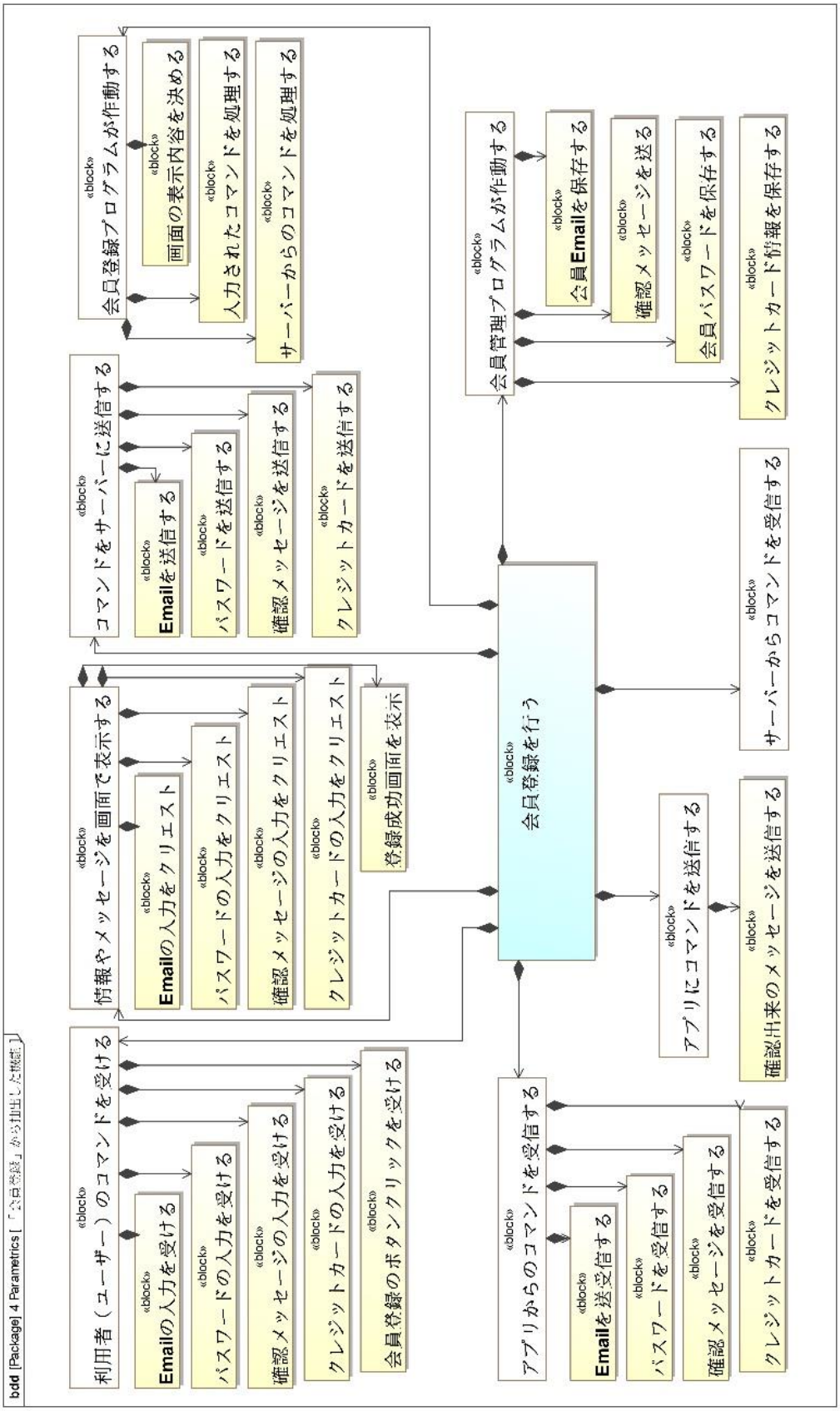

図２５　シーケンス図「会員登録を行う」から抽出した機能要求

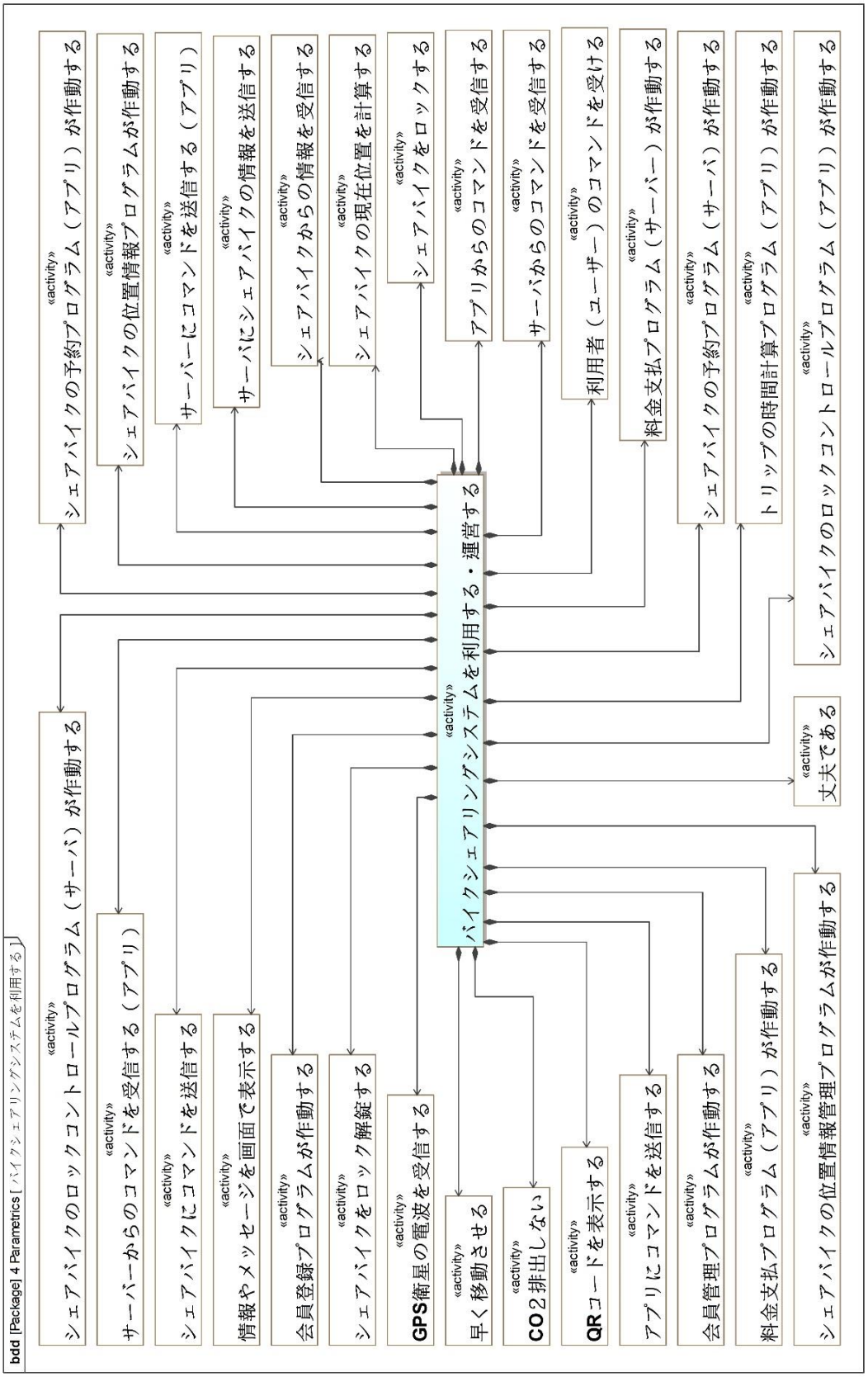

図２６　システムの振る舞いモデリングによる抽出した機能要求

3.5. 振る舞いのモデリングによる機能の物理への割り当て

3.5.1. 機能の各サブシステムへの割り当て

3.4 では、シーケンス図を記述することを通して、開発対象であるバイクシェアリングシステムの機能要求を抽出し、論理的にグルーピングした（図２６）。本節ではまず、3.4.4 でグルーピングされた機能要求を、開発対象であるバイクシェアリングシステムの有するべき機能であると定義する。

3.3 によれば、本システムは「アプリケーションサブシステム」、「サーバーサブシステム」と「シェアバイクサブシステム」といった三つのサブシステムで構成される。3.4.4 でグルーピングされた機能を、三つのサブシステムに割り当ててみれば、その結果は図２７、図２８と図２９のようになる。

サブシステムのさらに一つ下の階層の構造を明らかにするため、各サブシステムに割り当てられた機能（図２７、図２８と図２９）を、さらに細かい物理に割り当てることが求められる。そこで、アクティビティ図を用いてシステム内部で起きる振る舞いをモデリングすることは一つのアプローチである、と考えられる。

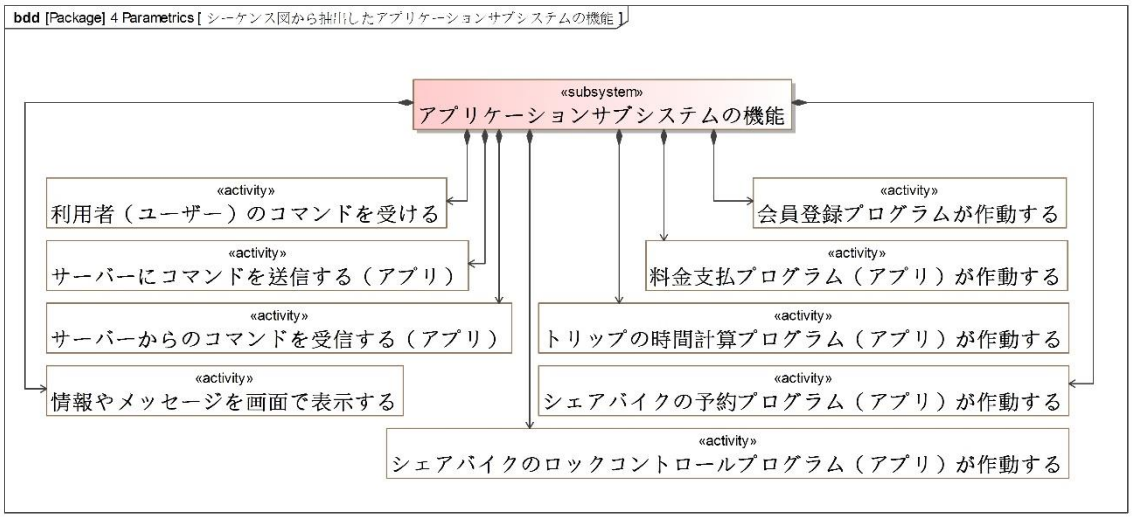

図２７　アプリケーションサブシステムの割り当てられる機能要求

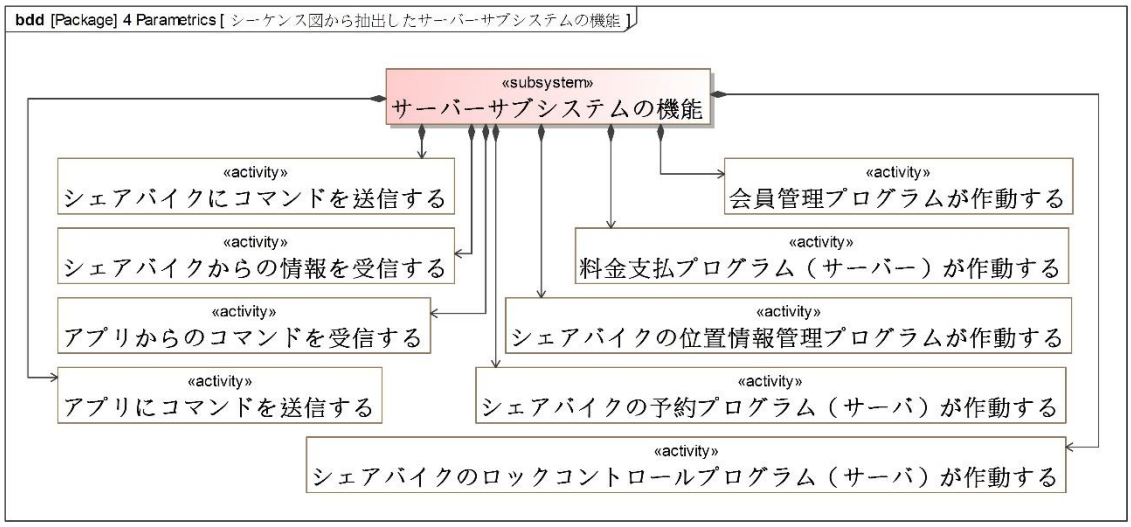

図２８　サーバーサブシステムの割り当てられる機能要求

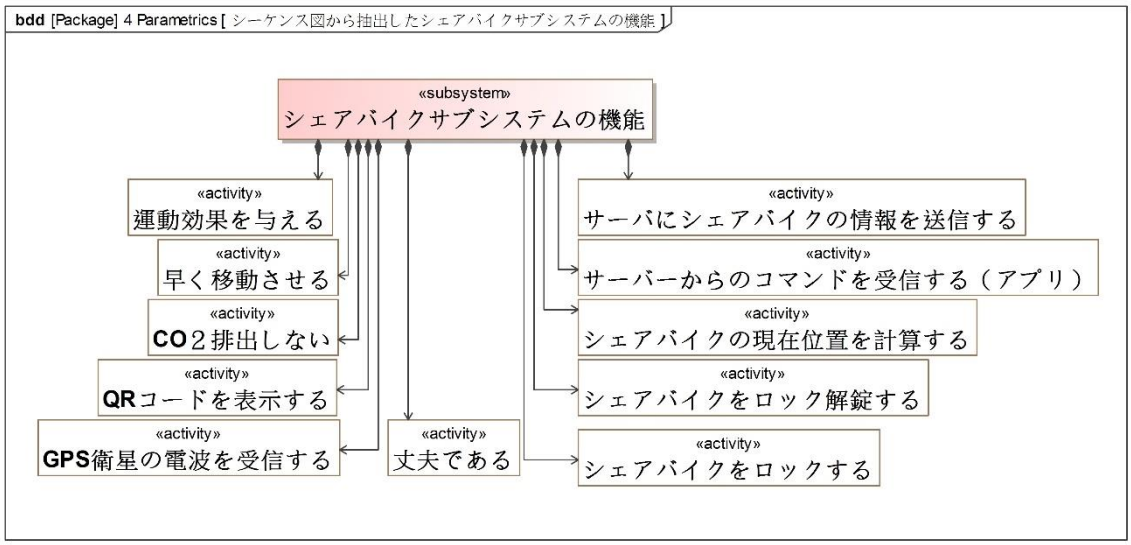

図２９　シェアバイクサブシステムの割り当てられる機能要求

3.5.2. モデリングによる機能のさらに細かい物理への割り当て

本節では、アクティビティ図を用いて、「会員登録を行う」、「シェアバイクの位置を確認する」、「シェアバイクを予約する」、「シェアバイクをピックアップする」、「シェアバイクを返却する」と「利用料金の自動的決済」での、システム内部で起きる振る舞いをモデリングする。（図３０、図３１、図３２、図３３、図３４、図３５）

作成したアクティビティ図の可読性を高めるため、ここでは、それぞれの図のシナリオについて論じる。

（1）　「会員登録を行う」のアクティビティ図（図３０）

会員登録が実行される際、アプリケーションと利用者との間は多くのやり取りが行われると考えられる。アプリケーションには、利用者とのそういったやり取りを実現するため、ユーザーインタフェースユニットが必要とされると考えられる。それと同じように、アプリケーションとサーバーとの間のやり取りを実現するため、それぞれのサブシステムにはインタフェースユニットが実装されているはずである。そして、サーバーのほうには、利用者のメールやパスワード、クレジットカードなどの情報を登録・管理・参照する会員登録ユニット（会員情報データーベース）が存在すると考えられる。

（2）　「シェアバイクの位置を確認する」のアクティビティ図（図３１）

まずでは、シェアバイクは自身の位置情報を把握するため、GPS 衛星から電波を受け取って現在位置の計算を行うという機能を持つ位置情報ユニットが必要であると考えられる。

サーバーでは、システムにおける全てのシェアバイクの位置情報を収集する。その収集された位置情報で、システムのオンラインリアルタイムマップを作成する。こういった機能を実現するユニットはサーバー側の位置情報ユニットであると考えられる。

アプリケーションは、利用者が入力したコマンドに応じて、サーバーのほうに、指定されたエリアのシェアバイクリアルタイムマップを請求する。アプリケーション側の位置情報ユニットは、利用者のコマンドを正確に認識し、サーバーにその特定したエリアのリアルタイム情報を取ってくる（サーバーに過大な負担をかけないため）。

（3）　「シェアバイクを予約する」のアクティビティ図（図３２）

サーバーは、特定のシェアバイクの予約リクエストを受信した次第、そのシェアバイクの位置情報をリアルタイムマップから除く必要がある。この機能の実現は、サーバー側の位置情報ユニットによって行われると考えられる。

また、予約されたシェアバイクがほかの利用者に取られないように確保するため、サーバーはシェアバイクの解錠に、新たな制約条件をかける必要があると考えられる。したが

って、サーバーはシェアバイクのロック・解錠をコントロールできるユニットが実装されている（ロックコントロールユニット）はずである。

（４）　「シェアバイクをピックアップする」のアクティビティ図（図３３）

利用者はアプリケーションを利用してシェアバイクの QR コードを読み込み、サーバーのロックコントロールユニットにシェアバイクの解錠をリクエストする。サーバーは、利用者から送信してきたリクエストを判断し、指定されたシェアバイクにロック解錠の指示を送る。そして、シェアバイクのロックコントロールユニットは作動し、ロックの解錠が実行される。

予約のプロセスと同じように、サーバーは、シェアバイクの解錠リクエストを受けたとたん、位置情報ユニットはそのシェアバイクの位置情報をリアルタイムマップから除く。

シェアバイクの解錠が実行された瞬間、アプリケーションの、シェアバイクのリアルタイム利用状況ユニットが作動し、トリップの時間や距離などを計算し始める。

（５）　「シェアバイクを返却する」のアクティビティ図（図３４）

利用者はトリップ終了のコマンドをアプリケーションに入力する。アプリケーションのロックコントロールユニットが作動し、サーバーに、シェアバイクをロックする指示を渡すサーバーはアプリケーションから「ロックする」の指示を、シェアバイクのほうに渡してシェアバイクをロックさせる。

（６）　「利用料金の自動的決済」のアクティビティ図（図３５）

利用料金の第二部分を定めるため、シェアバイクの位置情報が必要とされる。したがって、この動作を実現するため、アプリケーション、サーバー、シェアバイク三つのサブシステムとも、位置情報ユニットが必要とされると考えられる。そして、利用料金の第一部分を算出するため、アプリケーションのほうは、トリップの時間を記録・計算できるトリップリアルタイム利用状況ユニットが必要とされる。また、アプリケーションの決済ユニットは、利用料金の計算を行う役割を果たすのに対して、サーバーの決済ユニットは、利用料金の決済を実際に実行する役割を担う。

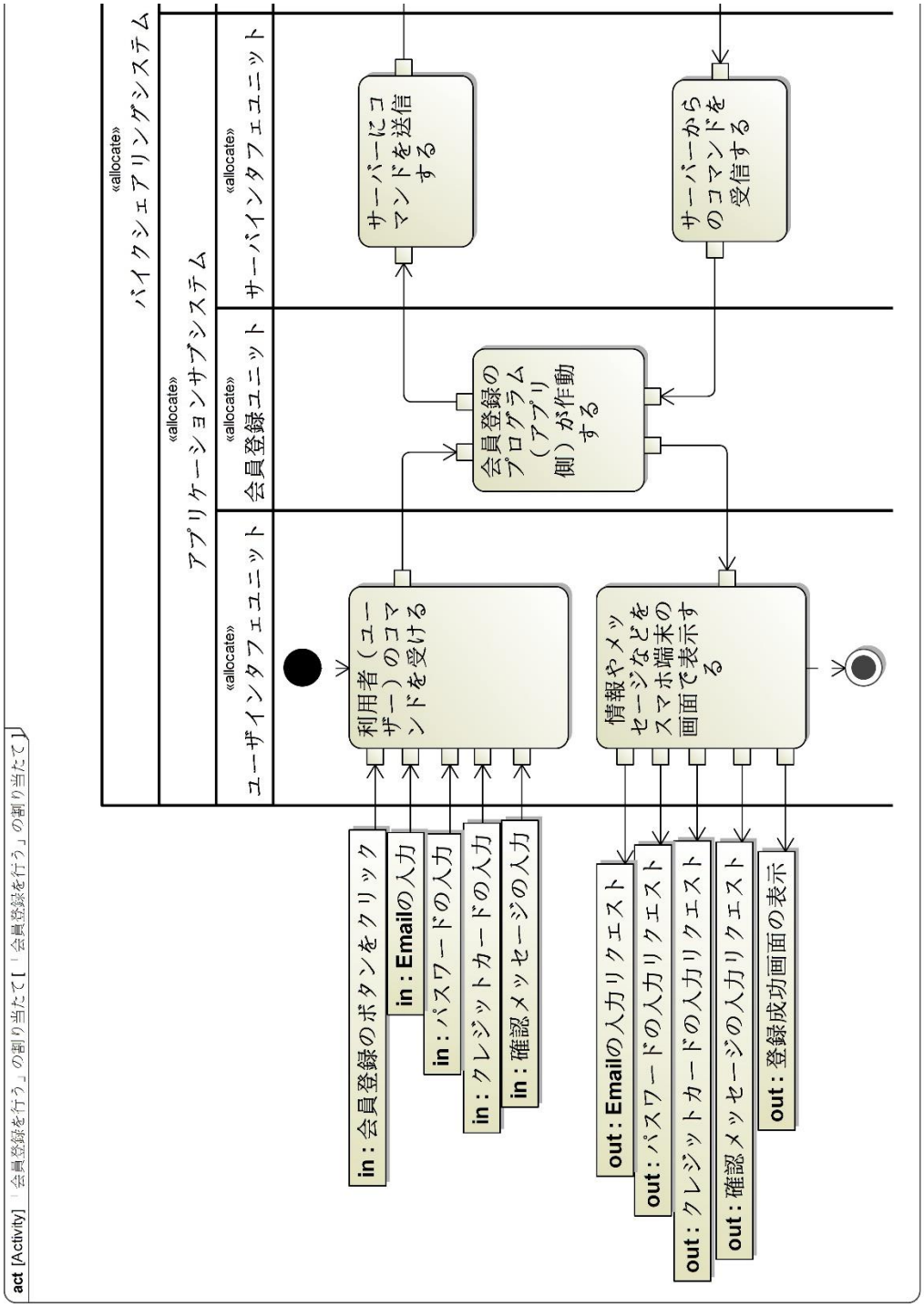

図３０-１　「会員登録を行う」のアクティビティ図

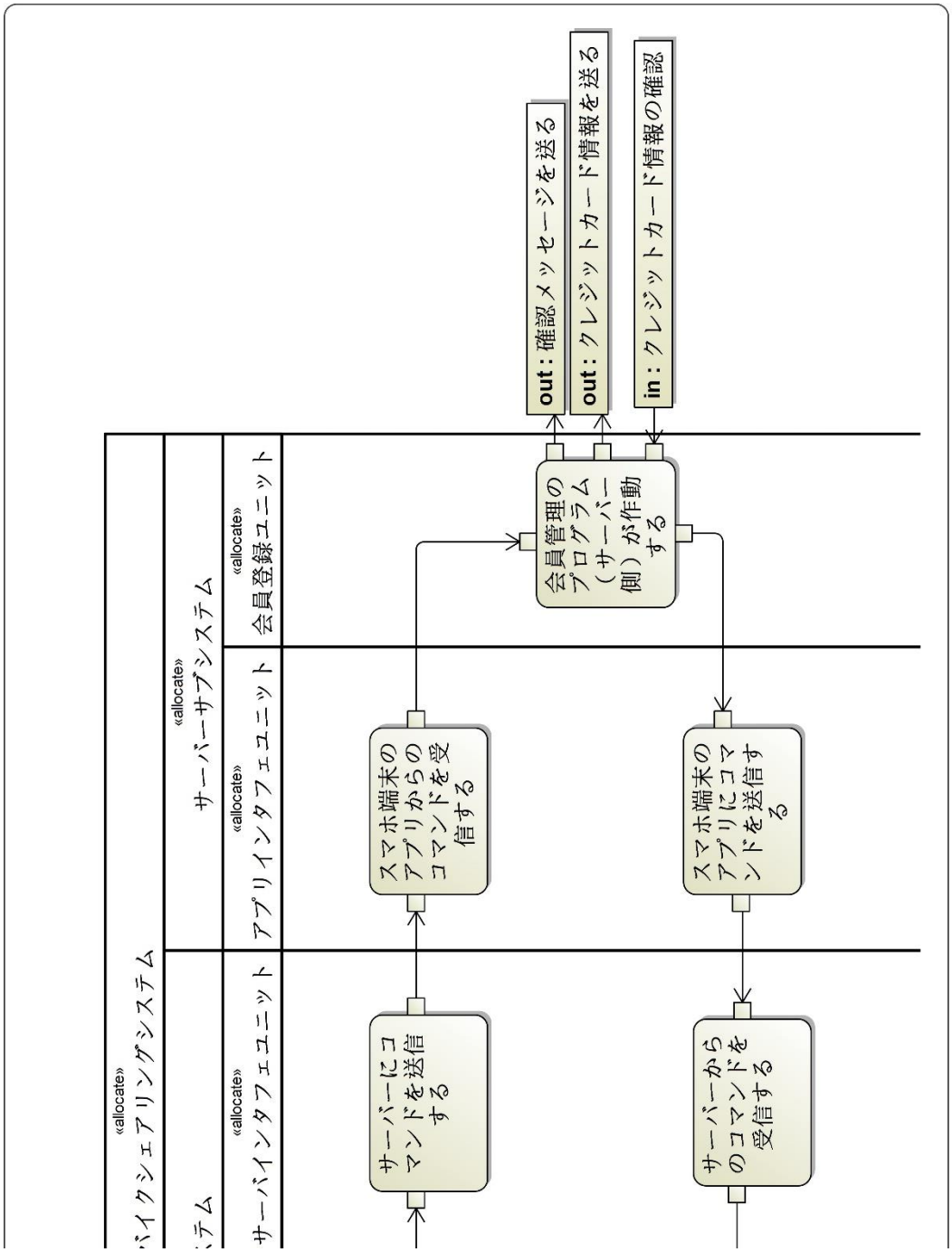

図３０-２　「会員登録を行う」のアクティビティ図

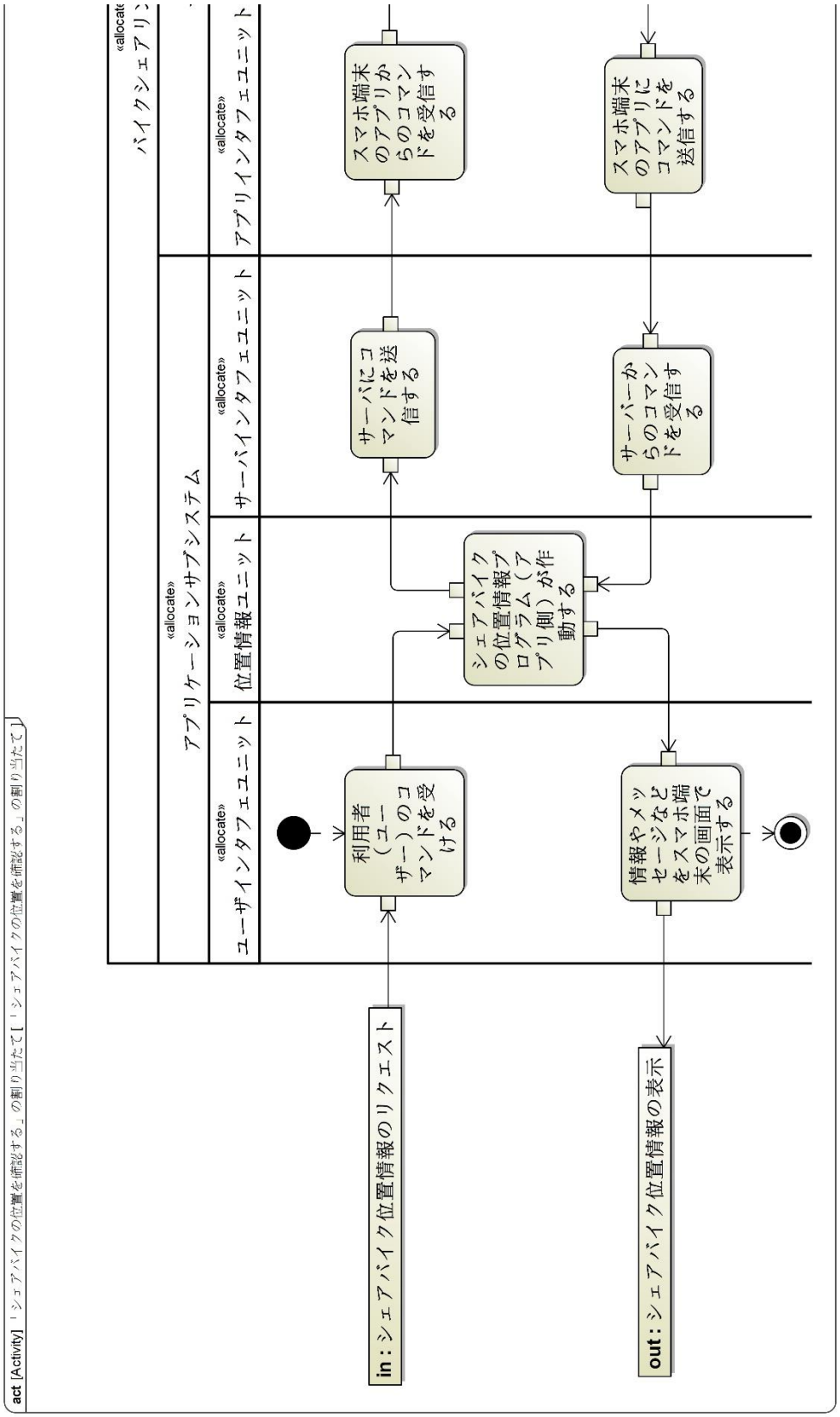

図３１-１　「シェアバイクの位置を確認する」のアクティビティ図

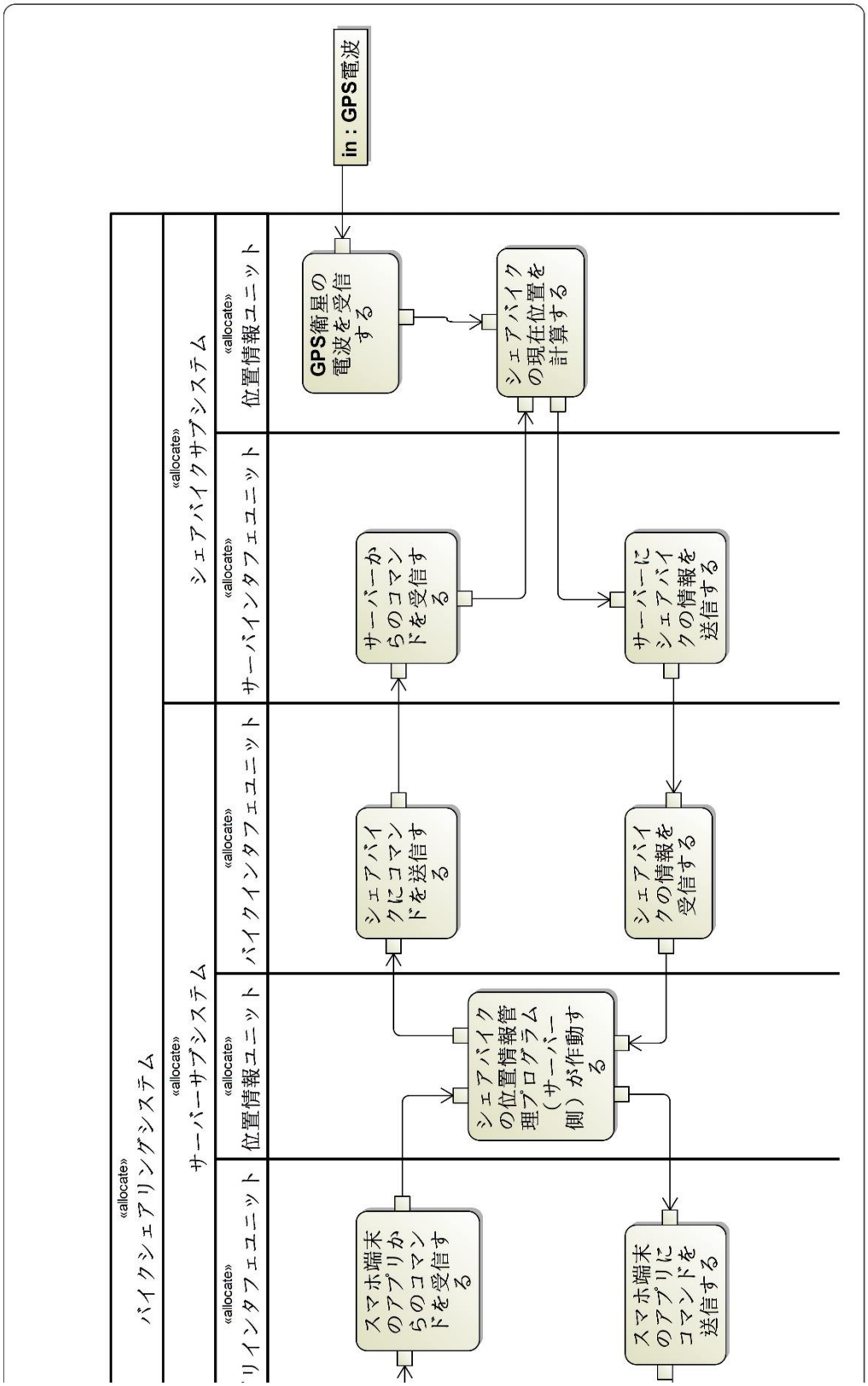

図３１-２　「シェアバイクの位置を確認する」のアクティビティ図

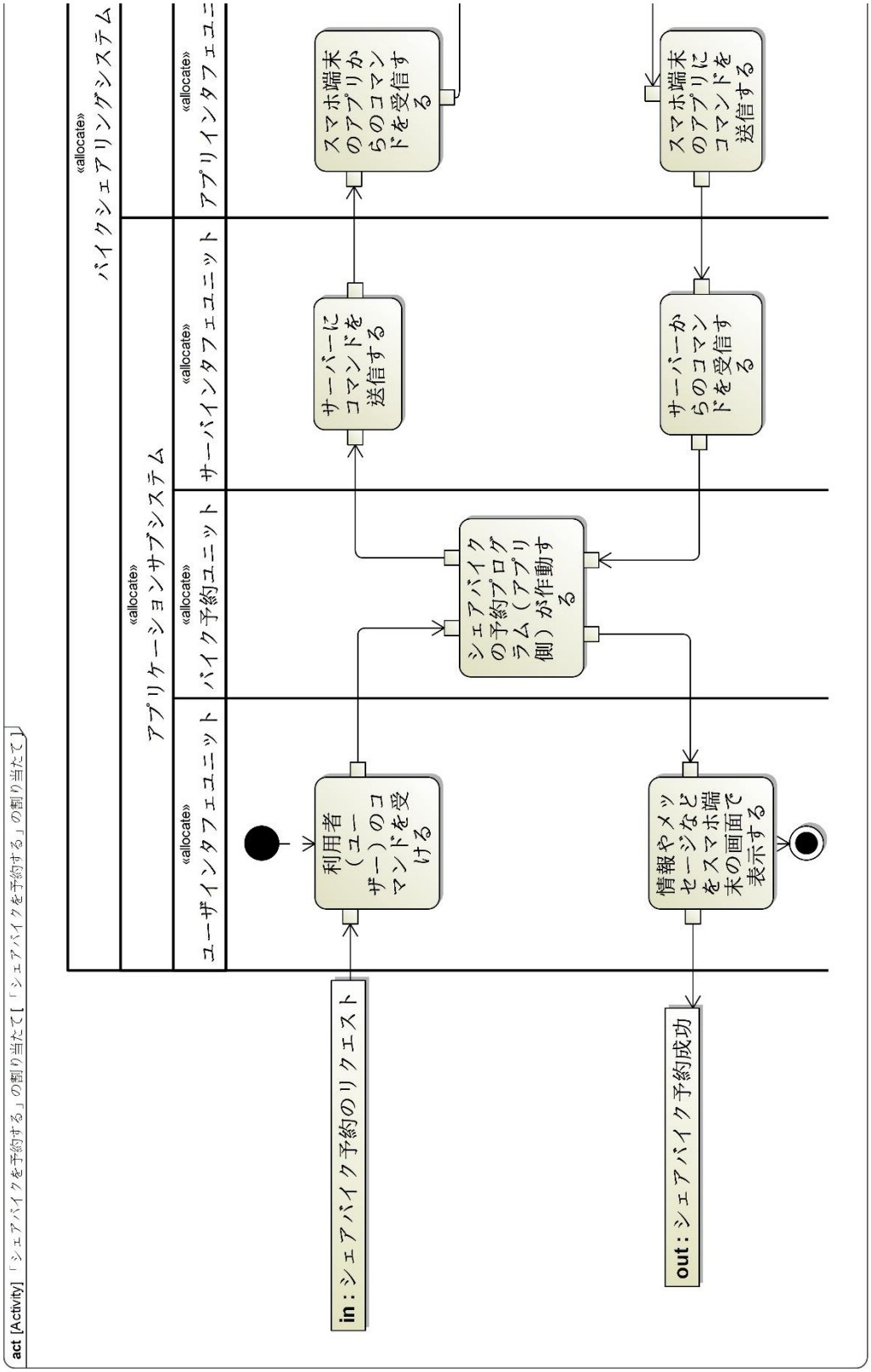

図３２−１　「シェアバイクを予約する」のアクティビティ図

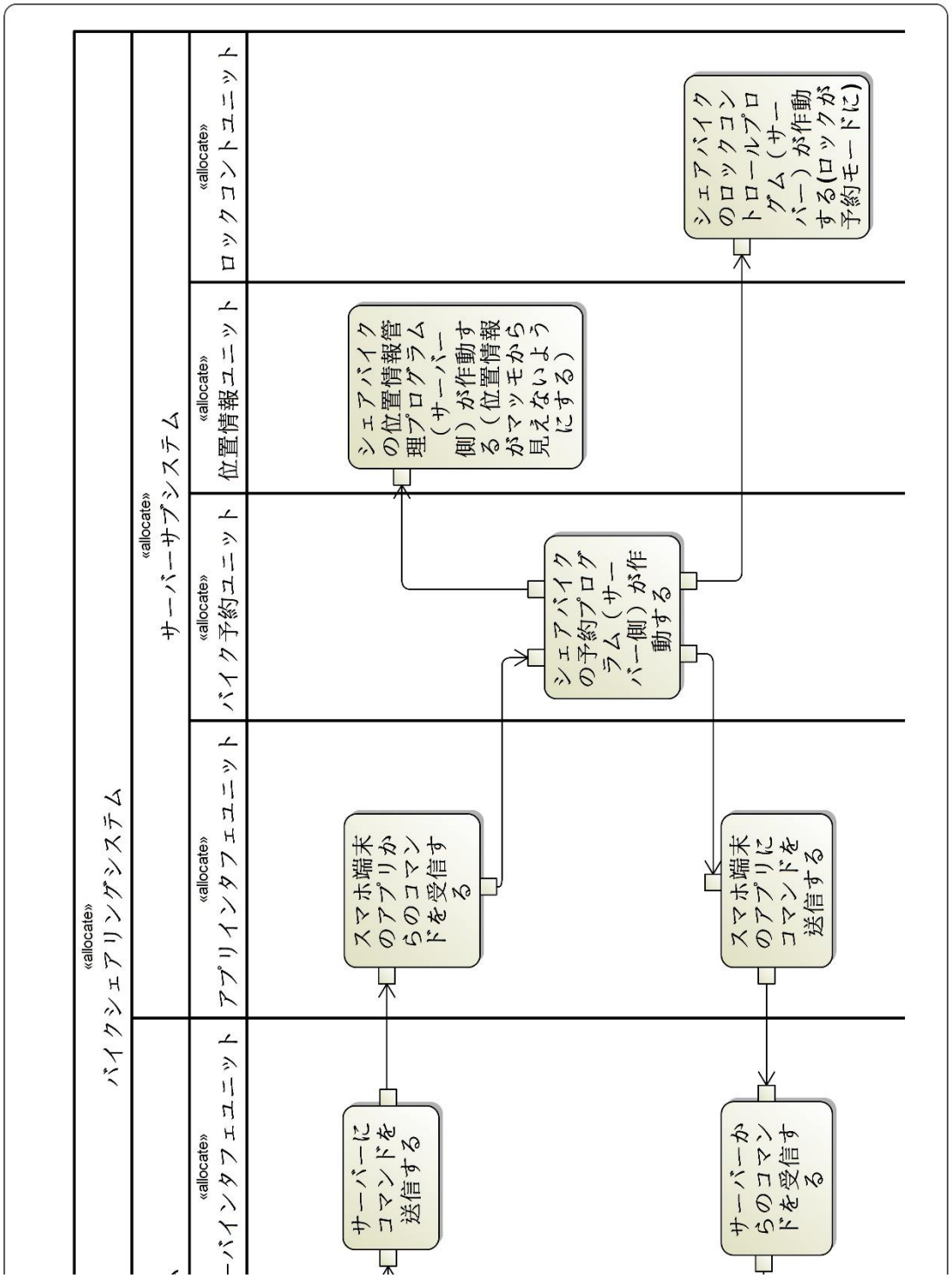

図３２-２　「シェアバイクを予約する」のアクティビティ図

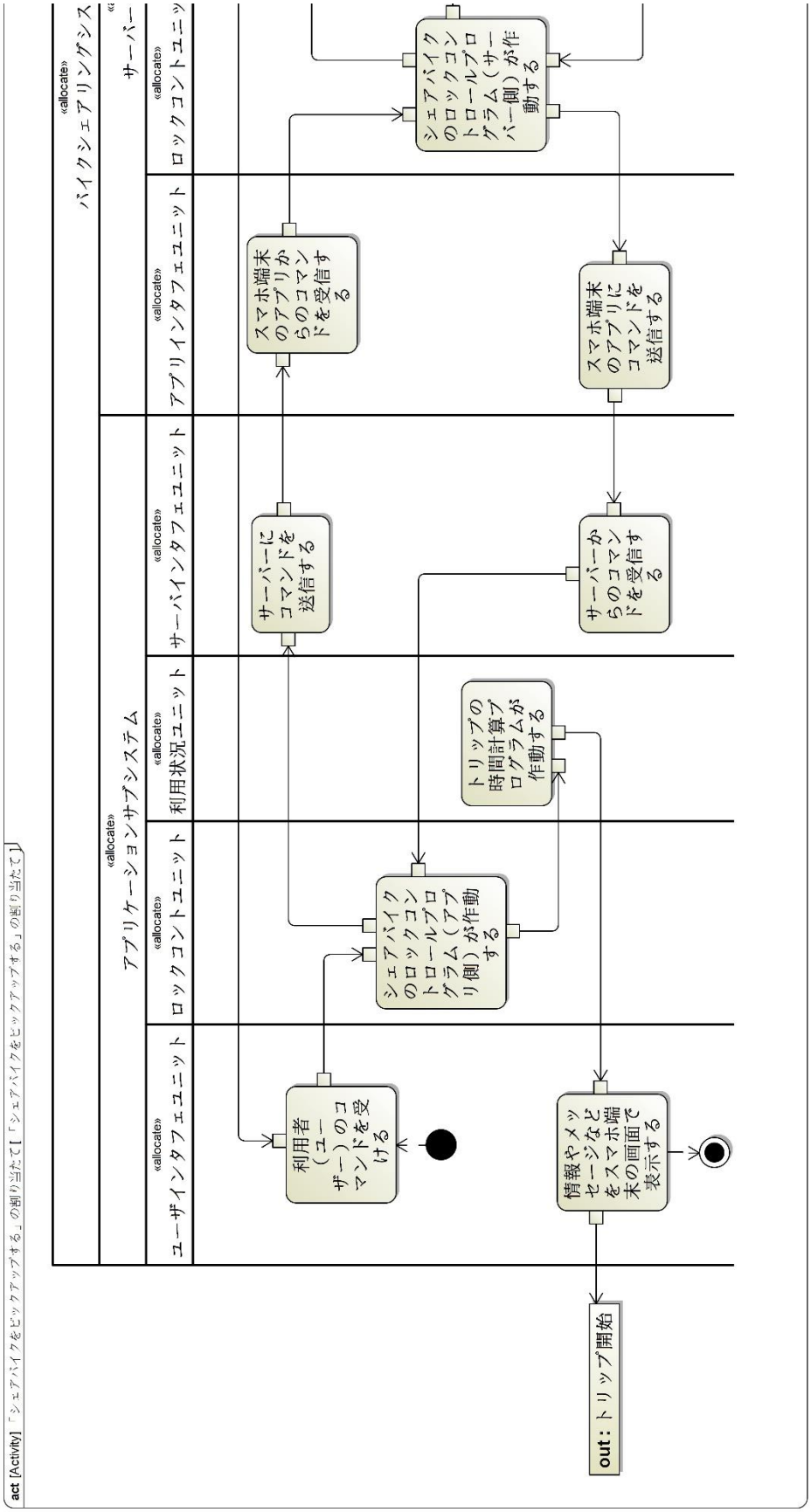

図３３-１　「シェアバイクをピックアップする」のアクティビティ図

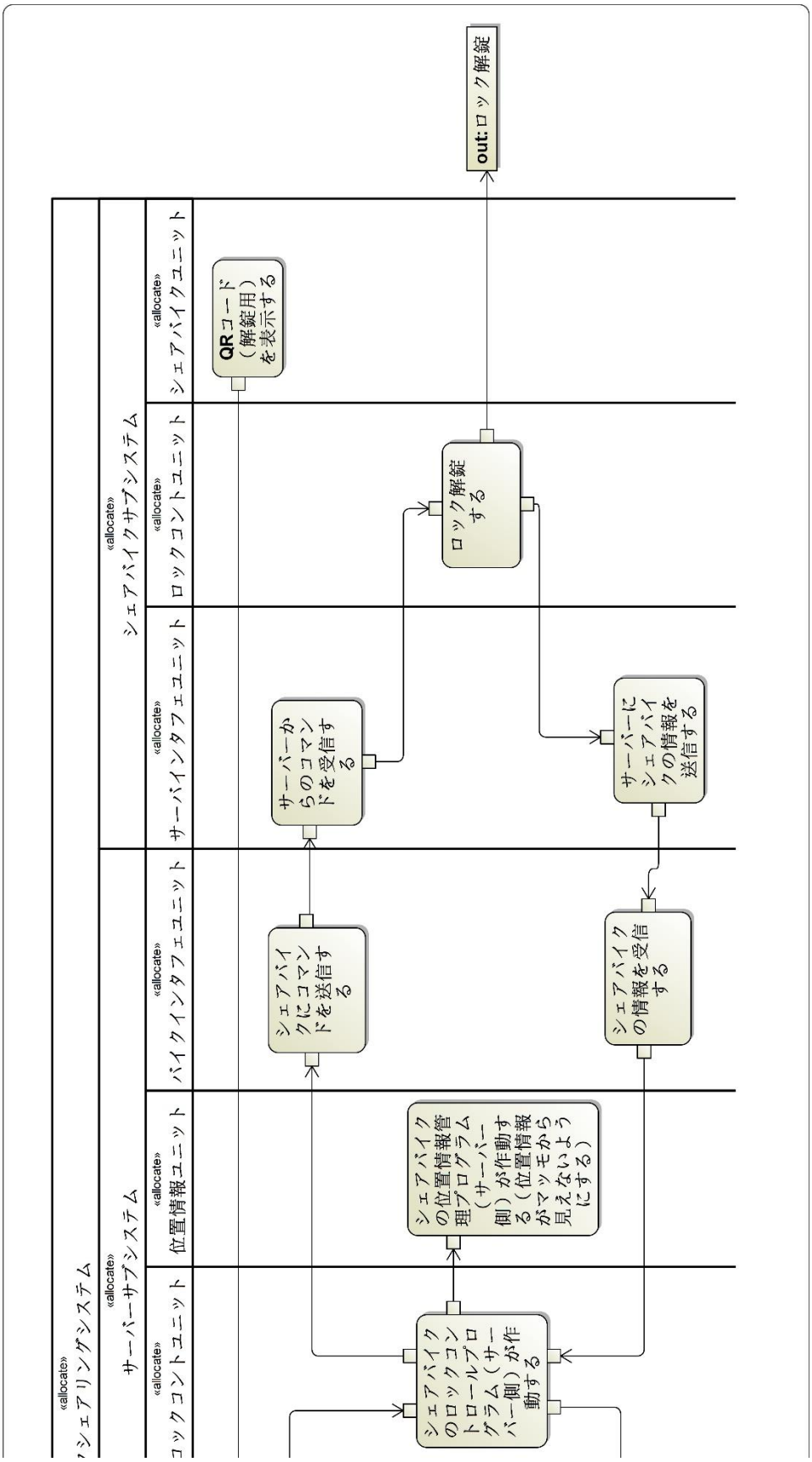

図３３-２　「シェアバイクをピックアップする」のアクティビティ図

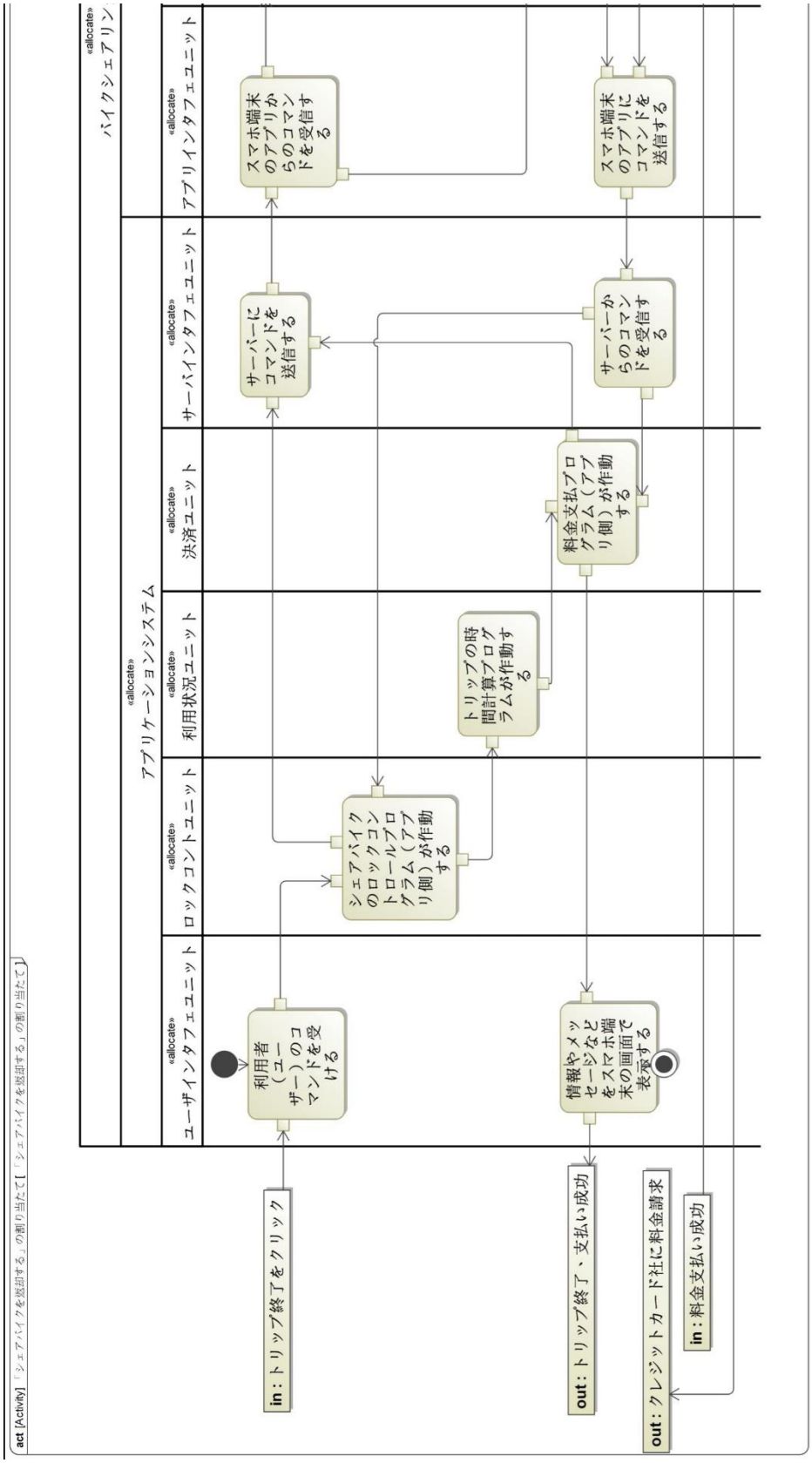

図３４−１　「シェアバイクを返却する」のアクティビティ図

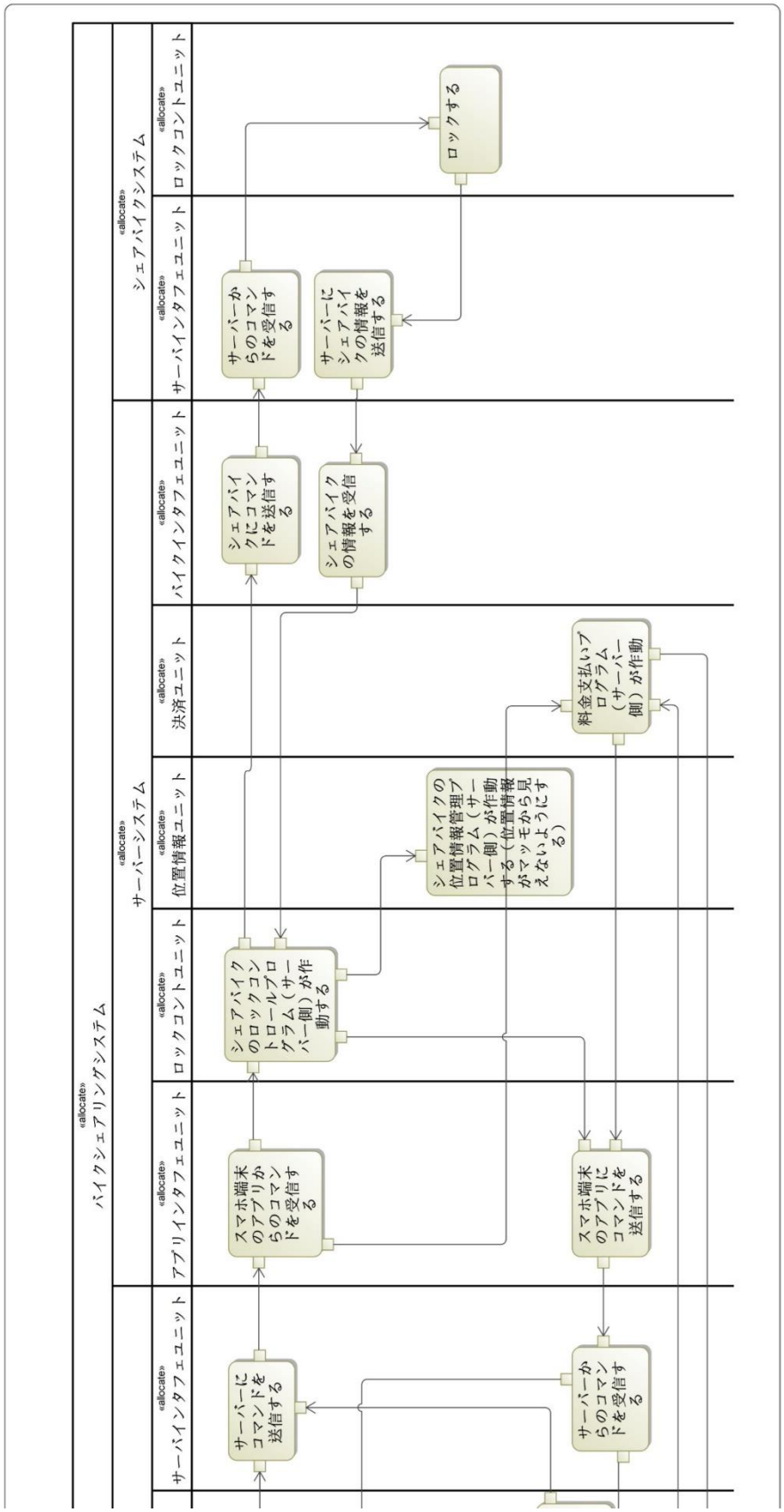

図３４-２　「シェアバイクを返却する」のアクティビティ図

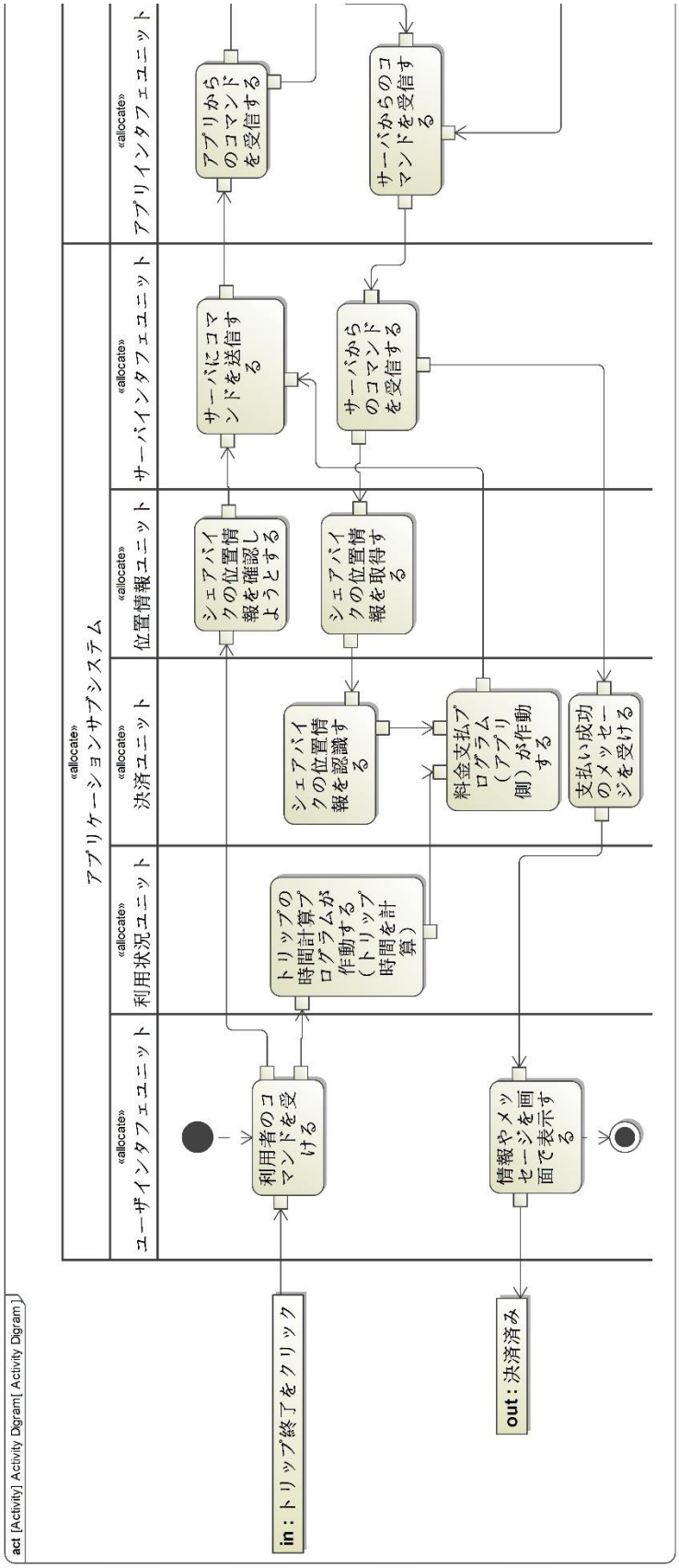

図３５-１　「利用料金の自動的決済」のアクティビティ図

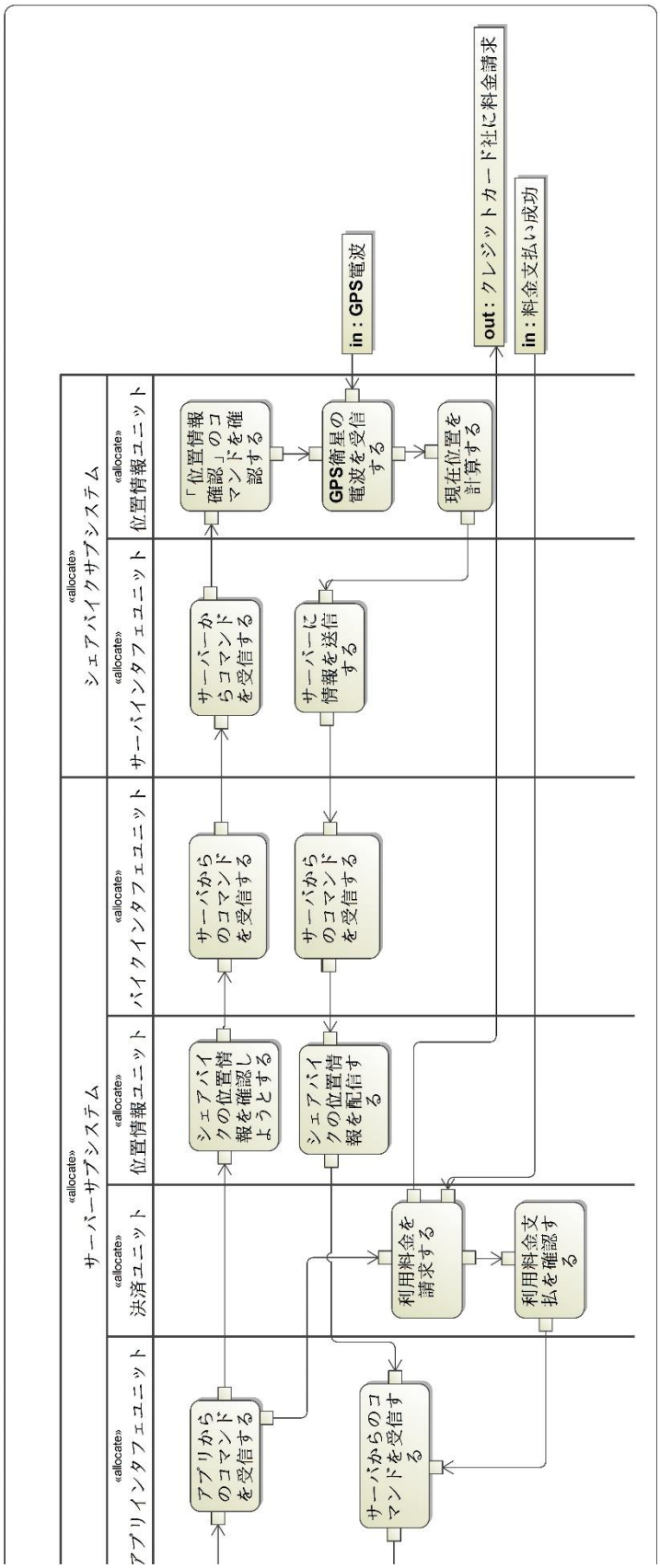

図３５−２　「利用料金の自動的決済」のアクティビティ図

3.6. ステーションのない新たな大規模バイクシェアシステムのアーキテクチャ

本章ではまず、「ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステム」を開発対象として捉え、システム利用者とシステム運営者二つの視点からの初期要求を整理した。そして、初期要求に満たすコンテキスト分析を行い、シーケンス図によりユースケースを記述することで、開発対象の機能要求を抽出した。さらに、抽出された機能要求を開発対象が持つべき機能として捉え、アクティビティ図を作成することで、機能の物理への割り当てを行った。以上のことを踏まえて、最後に、開発対象である「ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステム」のアーキテクチャを、以下のように整理した。（図３６）

- 東京におけるステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステム
  - アプリケーションサブシステム
    - ユーザーインタフェースユニット
    - サーバーサブシステムインタフェースユニット
    - 会員登録ユニット
    - シェアバイク位置情報ユニット
    - シェアバイク予約ユニット
    - ロックコントロールユニット
    - リアルタイム利用状況ユニット
    - 決済ユニット
  - サーバーサブシステム
    - アプリケーションインタフェースユニット
    - シェアバイクインタフェースユニット
    - 会員登録管理ユニット
    - シェアバイク位置情報ユニット
    - シェアバイク予約ユニット
    - ロックコントロールユニット
    - 決済ユニット
  - シェアバイクサブシステム
    - サーバーインタフェースユニット
    - シェアバイク位置情報ユニット
    - シェアバイクロックユニット
    - シェアバイク本体ユニット（自転車として）

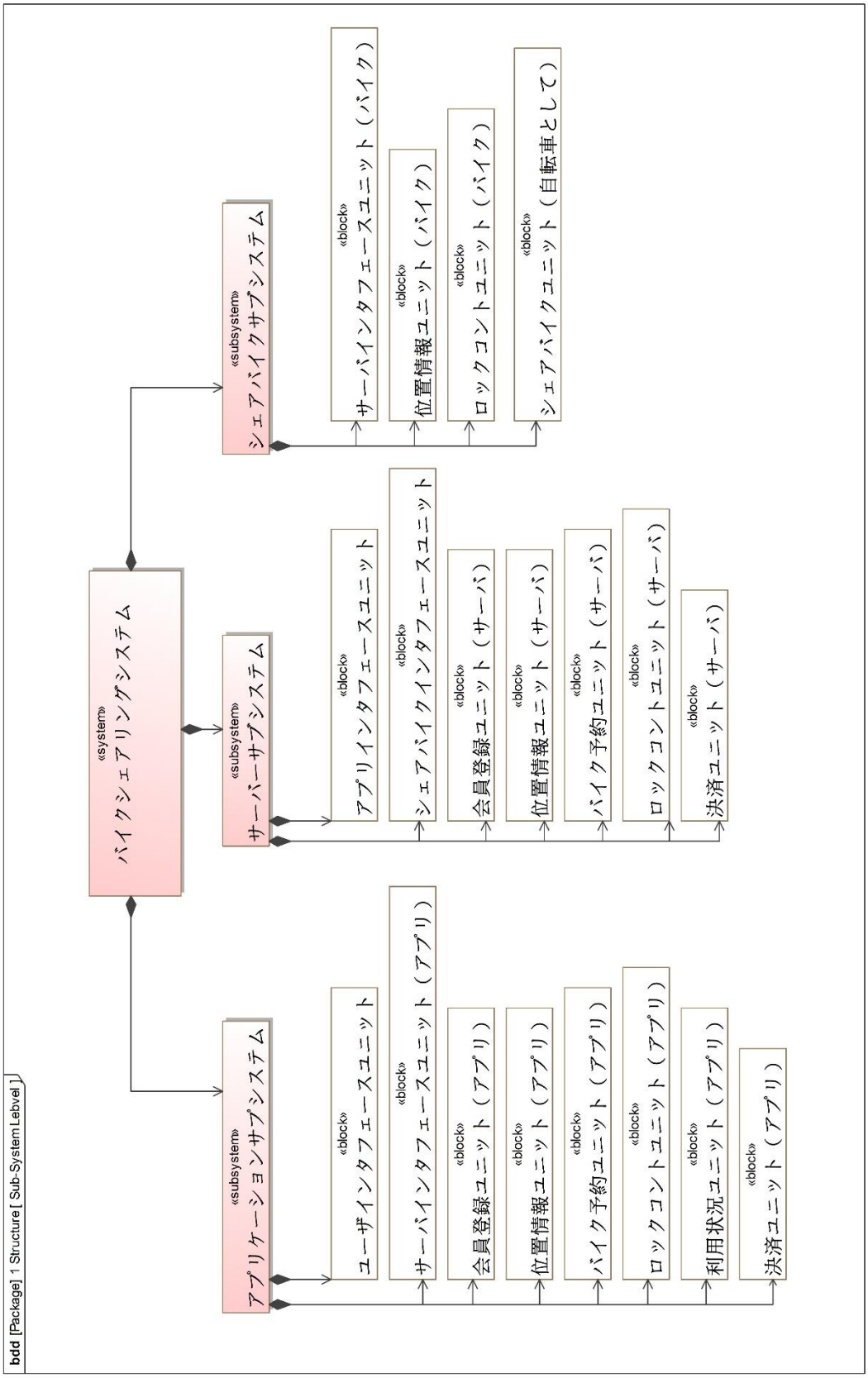

図３６　ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステム

3.7. システムの検証

ここでは、3.6 で完成した成果物としての「ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステム」に対して、検証を行う。

検証するプロセスとして、まずは、3.2 で整理された二つの視点からの初期要求を取り出す。次に、3.4 でのシーケンス図により抽出された機能要求は、上記で取り出された初期要求を満たしているかどうかを確認する。そして、3.5 で作成されたアクティビティ図によって整理された物理（ユニット）は、上記で抽出された機能を実現（Satisfy）しているかどうかを確かめる。最後に、3.6 で構築された成果物としてのアーキテクチャは、上記の物理を全て収納しているかどうかを再度確認する。（図３７、図３８）

ここでの検証を経て、開発対象である「ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステム」は、全ての初期要求を満たしていることが明らかになった。

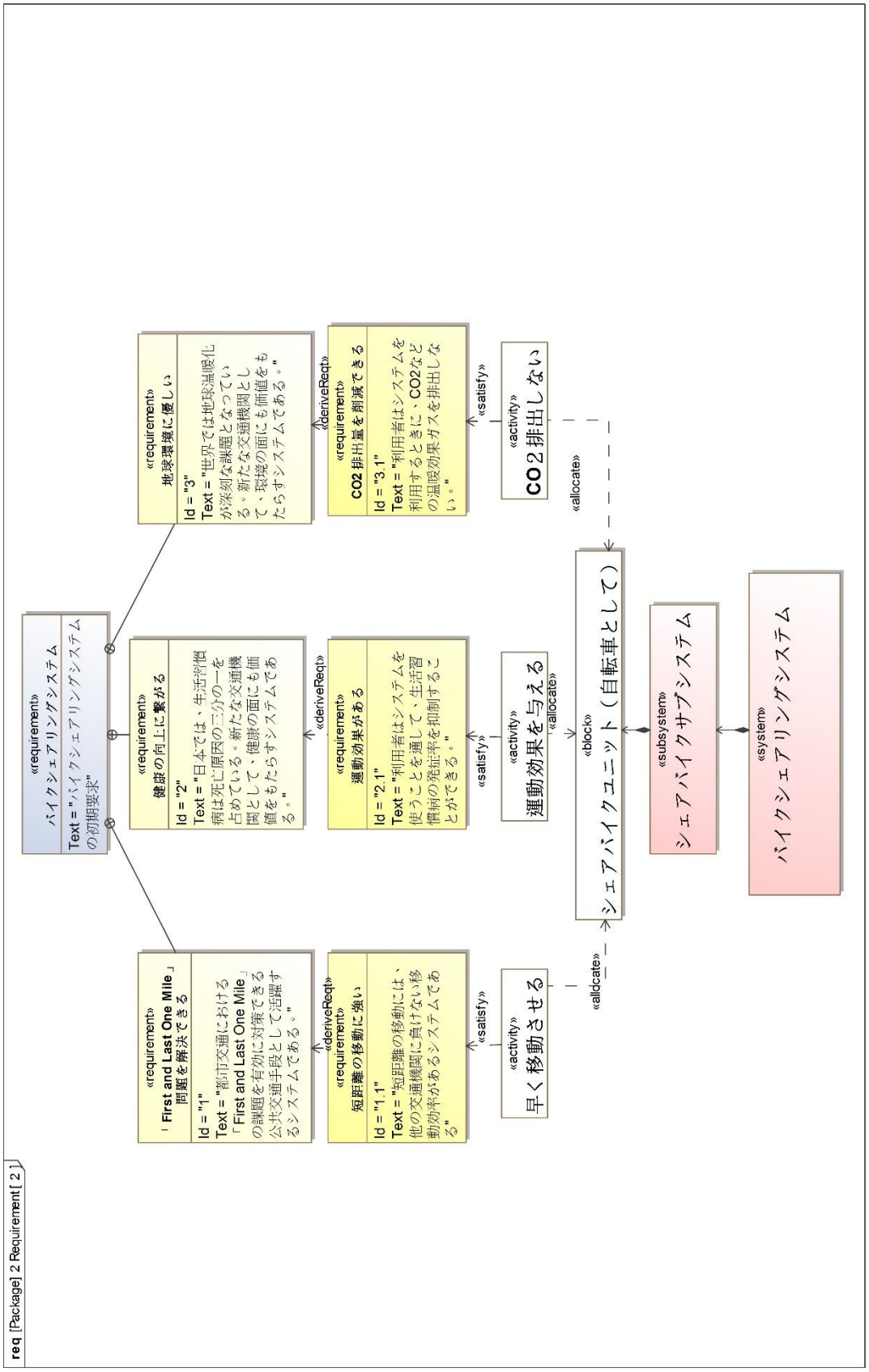
req [Package] 2 Requirement[2]
«requirement»
バイクシェアリングシステム
Text = "バイクシェアリングシステムの初期要求"
«requirement»
「First and Last One Mile」問題を解決できる
Id = "1"
Text = "都市交通における「First and Last One Mile」の課題を有効に対策できる公共交通手段として活躍するシステムである。"
«requirement»
健康の向上に繋がる
Id = "2"
Text = "日本では、生活習慣病は死亡原因の三分の一を占めている。新たな交通機関として、健康の面にも価値をもたらすシステムである。"
«requirement»
地球環境に優しい
Id = "3"
Text = "世界では地球温暖化が深刻な課題となっている。新たな交通機関として、環境の面にも価値をもたらすシステムである。"
«deriveReqt»
«requirement»
短距離の移動に強い
Id = "1.1"
Text = "短距離の移動には、他の交通機関に負けない移動効率があるシステムである"
«deriveReqt»
«requirement»
運動効果がある
Id = "2.1"
Text = "利用者はシステムを使うことを通して、生活習慣病の発症率を抑制することができる。"
«deriveReqt»
«requirement»
CO2 排出量を削減できる
Id = "3.1"
Text = "利用者はシステムを利用するときに、CO2などの温暖効果ガスを排出しない。"
«satisfy»
«satisfy»
«satisfy»
«activity»
早く移動させる
«activity»
運動効果を与える
«activity»
CO２排出しない
«allocate»
«allocate»
«allocate»
«block»
シェアバイクユニット（自転車として）
«subsystem»
シェアバイクサブシステム
«system»
バイクシェアリングシステム

図３７　システムの検証

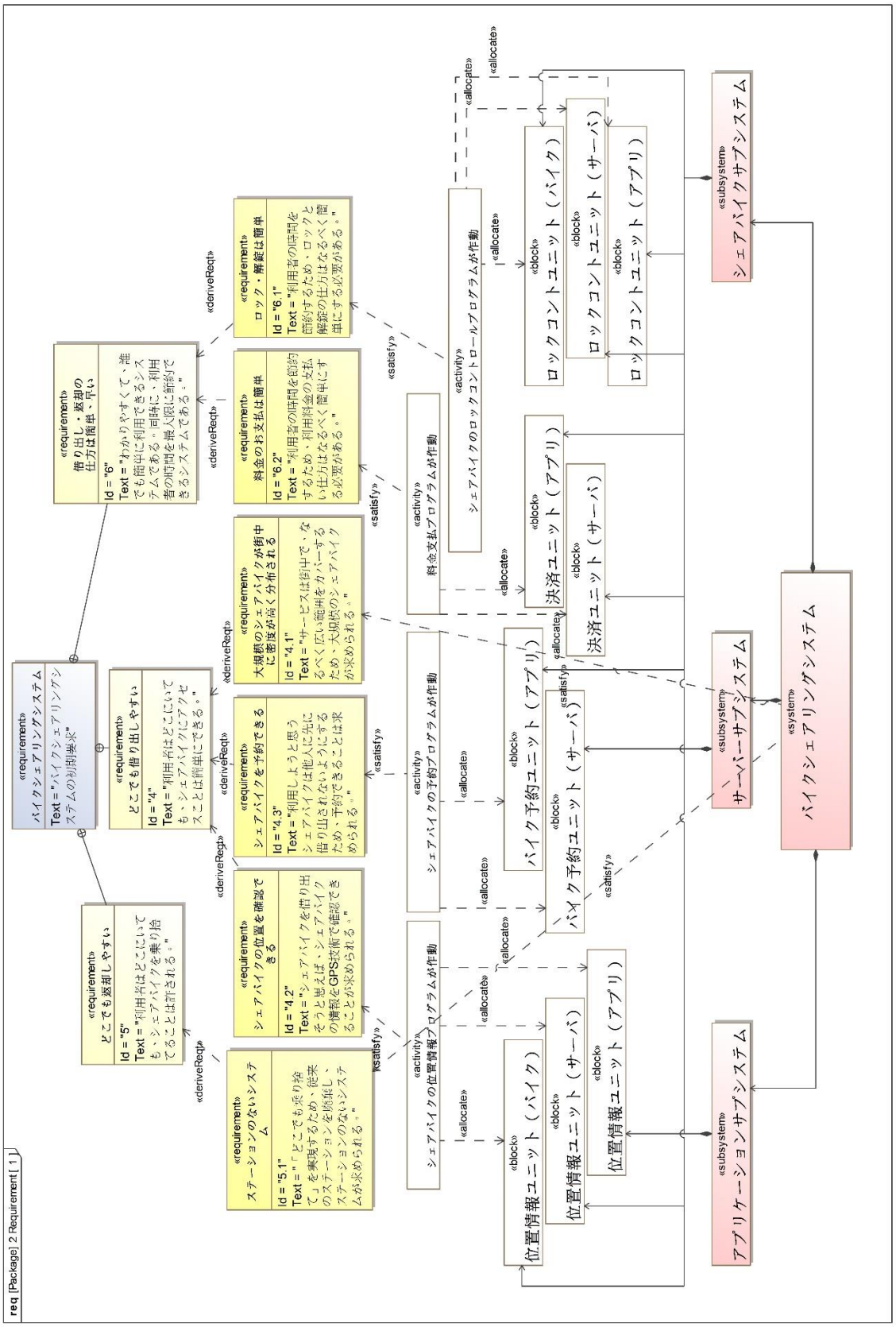
req [Package] 2 Requirement [1]
«requirement»
バイクシェアリングシステム
Text = "バイクシェアリングシステムの利用要求"
«requirement»
借り出し・返却の仕方は簡単、早い
Id = "6"
Text = "わかりやすくて、誰でも簡単に利用できるシステムである。同時に、利用者の時間を最大限に節約できるシステムである。"
«requirement»
どこでも借り出しやすい
Id = "4"
Text = "利用者はどこにいても、シェアバイクにアクセスことは簡単にできる。"
«requirement»
どこでも返却しやすい
Id = "5"
Text = "利用者はどこにいても、シェアバイクを乗り捨てることは許される。"
«requirement»
ステーションのないシステム
Id = "5.1"
Text = "「どこでも乗り捨て」を実現するため、従来のステーションを廃棄し、ステーションのないシステムが求められる。"
«requirement»
シェアバイクの位置を確認できる
Id = "4.2"
Text = "シェアバイクを借り出そうと思えば、シェアバイクの情報をGPS技術で確認できることが求められる。"
«requirement»
シェアバイクを予約できる
Id = "4.3"
Text = "利用しようと思うシェアバイクは他人に先に借り出されないようにするため、予約できることは求められる。"
«requirement»
大規模のシェアバイクが街中に密度が高く分布される
Id = "4.1"
Text = "サービスは街中で、なるべく広い範囲をカバーするため、大規模のシェアバイクが求められる。"
«requirement»
料金のお支払は簡単
Id = "6.2"
Text = "利用者の時間を節約するため、利用料金の支払い仕方はなるべく簡単にする必要がある。"
«requirement»
ロック・解錠は簡単
Id = "6.1"
Text = "利用者の時間を節約するため、ロックと解錠の仕方はなるべく簡単にする必要がある。"
«deriveReqt»
«satisfy»
«activity»
シェアバイクの位置情報プログラムが作動
«activity»
シェアバイクの予約プログラムが作動
«activity»
料金支払プログラムが作動
«activity»
シェアバイクのロックコントロールプログラムが作動
«allocate»
«block»
位置情報ユニット（バイク）
位置情報ユニット（サーバ）
位置情報ユニット（アプリ）
バイク予約ユニット（サーバ）
バイク予約ユニット（アプリ）
決済ユニット（サーバ）
決済ユニット（アプリ）
ロックコントユニット（バイク）
ロックコントユニット（サーバ）
ロックコントユニット（アプリ）
«subsystem»
アプリケーションサブシステム
サーバーサブシステム
シェアバイクサブシステム
«system»
バイクシェアリングシステム

図３８　システムの検証

第4章　結言

4.1.1. 結言

本論文では、東京での大規模バイクシェアリングシステムを促進するためには、第一に、大規模バイクシェアリングシステムは東京にどのような価値をもたらせるかを明らかにすること、第二に、今後のバイクシェアリングシステムの在り方について検討すること、この二点が重要である、と考える。

本論文ではまず、「国民医療費の軽減効果」と「CO_2排出量の削減効果」を、大規模バイクシェアリングシステムが東京にもたらす「価値」として捉え、それを明らかにするためのシミュレーションを構築した。シミュレーションの結果（**表８**）によって、例えば東京都心5 km圏内で、17,220台のシェアバイクを導入したとすれば、まず、政府は国民医療費に対しての支出において年間合計約 2 億円を節約することができる、そして、地球環境の面において、この大規模システムは年間 15,000 トンの CO_2排出量を削減することが期待できる、ということがわかった。こうした定量的な分析を通して、大規模バイクシェアリングシステムの導入は「健康」と「環境」の面において、東京に確実な「価値」をもたらすことができる、ということを明らかにした。

次に、モデルベースシステムズエンジニアリングを用いて、ステーションのない新たな大規模バイクシェアリングシステムの概念設計を行った。まずは、システム利用者とシステム運営者、二つの視点から初期要求を整理した。次に、運用ステージにおいてのコンテキスト分析を行い、開発対象を明確にした。開発対象の機能要求を抽出するために、シーケンス図でユースケースを記述し、システムの振る舞いをモデリングした。また、システムの機能の物理への割り当てをするため、アクティビティ図を用いてシステム内部の振る舞いをモデリングした。なお、物理を整理して、成果物としてのアーキテクチャを構築した。最後に、成果物のアーキテクチャに対して検証を行い、構築されたものは最初に取り上げられた初期要求を満たしていることを明らかにした。そこで、本論文が提案した「ゾーンベースの課金制」は、シェアリングを「再配置が行われやすい」場所に乗り捨てることを促すと同時に、再配置コストをまかなえるようにすることを狙った。

4.1.2. 今後の展望

まず、本論文では、東京におけるステーションのない新たなバイクシェアリングシステムのビジネスモデルについて、一切触れなかった。既存するバイクシェアリングシステムの投資費用・管理コストを参照してみれば、北米での事例と中国での事例の間には大きなギャップがある。東京はどちらの案を参考にして、新たなシステムを構築していくべきなのか、それについての研究が求められる。

次に、日本では、街中に自転車の駐輪が許される場所が、中国やアメリカなどと比較すれば、非常に限られている。東京へステーションのない大規模バイクシェアリングシステムを導入しようとする前、まずこの課題の解決策を見つけなればならないと考えられる。そこで、東京では駐車場の持つコンビニは密度が高く街中に散らばっている。こうしたところを活かすことができれば、東京でのステーションのないシステムの普及が非常に期待できると考えられる。

また、海外では、バイクシェアリングシステムの利用者像についての研究が多い。日本では、交通総合研究所 [7]は『都心部における駐車場を活用した広域的なコミュニティサイクルに関する研究』で、今後東京でのバイクシェアリングシステムの利用者層を想定したが、その裏付けのデータなどは見られなかった。バイクシェアリングシステムの利用率をより効率的に高めるため、利用者像の研究が求められると考えられる。

謝辞

本論文の執筆を進めるにあたり、多くの方々にご指導・ご協力を頂き、心より感謝を申し上げます。

はじめに、指導教員を担当して頂いた西村秀和教授に、深く御礼申し上げます。長い期間にわたり、研究の進め方や論文の書き方など、厳しくも優しいご指導を賜りました。研究指導のみならず、私の日頃を終始暖かく見守って頂くことを心から幸福に思っております。研究科に入学直後、休学のことを躊躇なく認めて頂き、私は大変貴重なアメリカ経歴ができました。第二学年、体調の優れない私に、常に温かい言葉を頂き、どれほど励みになったか知れません。最後まで本当に有難う御座いました。

次に、本論文の副審を担当して頂いた谷口智彦教授に、深謝申し上げます。お忙しい中、大変貴重なお時間を頂戴し、的確で核心を突いたご助言を賜りました。また、自身の成長において、谷口先生は非常に重要なタイミングで、傲慢な私に貴重なご指摘を頂いたことに、この場を借りて深い感謝の意を表します。

また、コムテック地域工学研究所の須原庸次所長に、心より厚く御礼申しあげます。二年間にわたり、私の研究および生活に、多くの有益なアドバイスを頂き、今後の人生に大きな影響を与えることになると思っております。どれほど言葉を尽くしても足りないほど、感謝しております。

なお、研究科での生活をともに過ごさせて頂いた皆様に感謝致します。特に、2014 年に同期で入学した元小木研究室の梁祖麟くん、いつも相談に乗って下さった当麻研究室の佐藤努さん、デザインプロジェクトチームメンバーの尾城由希さんと楠正篤くんに、心より御礼申しあげたいと思います。

そして、東京での二年間、私を応援してくださった多くの友人たち、元会社の同僚、川崎市立井田病院の加行主治医に、感謝の意を表します。

最後に、私を常に支えてくれる両親に、最高の感謝と敬意を申し上げます。

参考文献

[1] S. Shaheen, “Shared Mobility Trends: 2015-2016,” Transportation Sustainability Research Center, UC Berkeley, 2016.

[2] 東京都総務局統計部, “東京都の統計,” 東京都総務局統計部, [オンライン]. Available: http://www.toukei.metro.tokyo.jp/. [アクセス日: 31 10 2016].

[3] Mairie de Paris, “Velib’ Official Site,” Mairie de Paris, [オンライン]. Available: http://en.velib.paris.fr/. [アクセス日: 1 12 2016].

[4] Citi Bike, “Citi Bike Official Site,” Citi Bike, [オンライン]. Available: https://www.citibikenyc.com/. [アクセス日: 1 12 2016].

[5] TRANSPORT FOR LONDON, “SANTANDER CYCLES,” TRANSPORT FOR LONDON, [オンライン]. Available: https://tfl.gov.uk/modes/cycling/santander-cycles. [アクセス日: 1 12 2016].

[6] Mobike, “Mobike: Your Perfect City Ride,” Mobike, [オンライン]. Available: http://mobike.com/sg/. [アクセス日: 1 12 2016].

[7] 交通総合研究所, “都心部における駐車場を活用した広域的なコミュニティサイクルに関する研究,” 交通総合研究所, 2015.

[8] 小. 嘉則, “江東区臨海部コミュニティ サイクル実証実験について,” 江東区, 2015.

[9] DOCOMO BIKE SHARE, “自転車シェアリング広域実験,” DOCOMO BIKE SHARE, [オンライン]. Available: http://docomo-cycle.jp/tokyo-project/. [アクセス日: 1 12 2016].

[10] 東京都建設局, “東京都自転車走行空間整備推進計画,” 東京都庁第二本庁舎, 2012.

[11] 東京都市圏交通計画協議会, “東京都市圏パーソントリップ調査（交通実態調査）の結果概要,” 2010.

[12] TRANSPORT FOR LONDON, “Cycle Superhighways,” TRANSPORT FOR LONDON, [オンライン]. Available: https://tfl.gov.uk/modes/cycling/routes-and-maps/cycle-superhighways. [アクセス日: 1 12 2016].

[13] New York City, “NYC Bike Share Designed by New Yorkers,” New York, 2014.

[14] T. Gotschi, “Costs and Benefits of Bicycling Investments,” Journal of Physical Activity and Health, Human Kinetics, Inc, 2011.

[15] 古倉宗治, “高齢者の自転車利用促進の有効性,” アーバンスタディ, 2012.

[16] MINETA TRANSPORTATION INSTITUTE, “Public Bikesharing in North America During a Period of Rapid Expansion:,” MINETA TRANSPORTATION INSTITUTE, San José State University, 2014.

[17] 人民网, “摩拜单车在沪投放已达十万辆 上海成全球最大智能共享单车城市,” 21 12 2016.

[18] 橋本雄太、小林寛、山本彰, “自動車から自転車への利用転換可能性に関する基礎分析,” 土木計画学研究発表会, 2011.

[19] Citi Bike, “September 2016 Monthly Report,” Citi Bike, New York City, 2016.

[20] T. F. LONDON, “London celebrates five successful years of the cycle hire scheme,” TRANSPORT FOR LONDON, LONDON, 2015.

[21] 厚生労働省, “国民医療費の概況,” 2014.

[22] R. S. PAFFENBARGER, “PHYSICAL ACTIVITY AND INCIDENCE OF HYPERTENSION IN COLLEGE ALUMNI,” AMERICAN Journal of Epidemiology, The Johns Hopkins University School of Hygiene and Public Health, 1983.

[23] R. S. Paffenbarger, “A Natural History of Athleticism and Cardiovascular Health,” JAMA, Boston, 1984.

[24] 程琦、近藤光男、竹内駿佑, “通勤交通における自動車利用から徒歩・自転車への転換施策による健康促進効果分析,” 土木計画学研究, 2009.

[25] 環境省, “2013 年度温室効果ガス排出量にいて,” 環境省, 2014.

[26] 地球温暖化対策推進本部, “日本の約束草案,” 2015.

[27] 日本自動車研究所, “総合効率と GHG 排出の分析報告書,” 日本自動車研究所, 2011.