

自転車のIoT化の促進のためのICタグ導入に関する実証実験業務

報告書（概要版）

2021年9月

特定非営利活動法人自転車政策・計画推進機構



本調査研究は、競輪の補助を受けて実施しました。

目 次

序 章 調査の目的と概要	1
第 I 章 既往データの集計・分析	2
1. 基礎統計	2
2. 入庫時間帯別駐車時間範囲別駐車台数	5
3. 年度別曜日別入庫時間帯別平均駐車時間	7
4. 月別・曜日別平均駐車時間	7
5. 2020 年 1～12 月定期利用登録者(入出庫履歴あり)居住地分布	7
6. 1 カ月当たりの駐輪場入庫回数の計算	8
7. 既存ICタグからのデータの解析に基づく需要予測	8
第 II 章 実証実験による RFID システムによる自動化の有用性と問題点の抽出	13
1. RFID (IC タグを活用した認証システム)の概要と自転車への応用	13
2. 実証実験実施の経緯	14
3. 実証実験の結果	17
4. 実証実験で得られた成果について	18
第 III 章 まとめと課題	20
1. 事業成果の概要	20
2. 得られたデータにより明らかになった内容のまとめとICタグデータの 施策への活用のあり方等の提示	21
3. 今後の課題	24
4. 今後の展望～新たな利用・活用方法について	26

序章. 調査の目的と概要

1. 目的

この調査は、2019年度に JKA 補助事業として実施した「自転車関連分野の IoT 化の現状・課題の把握と促進策の調査研究」の結果において、IC タグの利用に対して利用者や自治体等の期待が高く、かつ、これに対する理解もあることが明らかになったことを受けて、実際の実証実験を通じて、自転車の IoT 化の柱である駐輪場の管理、運営の効率化に資する IC タグ導入の可能性について検証するものである。実際に IC タグをゲートの開閉に利用している駐輪場において、蓄積されている入出庫の元データを集計可能なデータに転換し、新たに設置する読み取り装置やシステムより得られる様々な利用状況のデータの的確性、信頼性を検証し、これにより適正なデータの収集分析等を通じて、駐輪場の効率的な運営の可能性を検証することを目的に行ったものである。

2. 概要

このため、IC タグを活用して、駐輪場の運営の IoT 化の可能性に関する実証実験を行ったものである。

- 1) 東京都江東区が運営する豊洲駅前地下駐輪場において、ハードの駐輪場のタグ装置を活用した利用データの把握可能性の検証を核として、実証実験を行った。
- 2) この駐輪場において、必要なデータ収集のために現在の利用されている IC タグ読み取り装置がゲートの開閉と料金管理のみに利用されている。第一に、これにより得られたデータがこのゲートの開閉と料金の支払いの有無の管理以外での駐輪場の利用に関するデータとしての活用の可能性を明らかにするために、これらのデータとして蓄積されたものを過去 4 年間にわたり抽出し、これらのデータによる駐輪場の利用状況に関する年変動、月変動、曜日による変動、駐輪時間、入出庫時刻等の様々な方面からの分析を行うとともに、月や曜日、天候等の各種要因による変動、利用台数の推移等に多方面から分析とこれに基づく利用需要の予測のためのモデル設定を行った(第 I 章)。
- 3) さらに、この駐輪場において利用されている IC タグは特定の種類のものであり、また、タグを読み取るアンテナもこの目的のみの限られたゲートの至近の位置に設けられている。このため、入出庫に際しての読み取りは正確にできるものの、駐輪場内部の利用位置(ゾーン、階数等)などの確認、さらに駐輪場相互のネットワーク利用並びに駐輪場以外における自転車利用の状況(交通量、ルール遵守状況、経路等)、放置や盗難の際の検索などにおいて、IC タグの活用により自転車に関する様々な施策を実施するために必要なデータの取得への汎用性があることを立証するために、他の多種類の IC タグや多様な読み取りアンテナの装置を新設し、その位置の変化等による実証実験を実施した(第 II 章)。
- 4) 第 I 章においては、既存の駐輪場の利用に関する様々なデータの収集；①全体の利用台数、②定期又は一時利用別、③出・入庫数の別、④一日の時間的变化(平日・土日別)、月内、月間、季節の各変化等や天候その他の条件の変化、利用者の属性(学生又は一般、居住地の町丁目)、利用時間帯、月間の利用回数等のデータ収集・分析を行い、入出庫の管理やゲートの開閉のために取得しているデータが、駐輪場の利用状況やニーズの分析、利用予測など広範囲に活用できることを明らかにした。
- 5) 第 II 章においては、多様な IC タグとアンテナによる IC タグの読み取りのために、多様なタ

グを様々な自転車の位置に貼付し、また、これを読み取るアンテナも条件を多様に変えて、それぞれの読み取りの可能性を検証した。これにより、どのようなタグがどのような位置でどのような条件にもとに自転車に関するデータの収集に適しているかを分析し、かなりの確率で読み取りができる方策(アンテナの位置、IC タグの種類等)についても明らかにした。

- 6) 第Ⅲ章においては、これらを踏まえて、分析に基づく的確な駐輪施策の可能性、有効性の検討、利用者の需要ニーズや動向等の分析を通じて、的確な駐輪施策の可能性及び有効性の検討として、駐輪場の利用の実態、ニーズ等の分析、これに基づく条件に応じた利用予測の設定や変化等、これを受けた駐輪場の供給や管理の仕方について提示した。また、これに基づき、駐輪場のみならず、自転車利用の促進のためにデータに基づく総合的な施策のための IC タグの有効な活用方策に関して、課題を提示した。これらを通じて IC タグを活用した駐輪場の IOT 化の推進に寄与する方策と駐輪場相互又は駐輪場以外の自転車活用推進施策での IC タグの活用の課題の検討を行ったものである。

第 I 章 既往データの集計・分析

1. 基礎統計

1-1. 分析対象とした IC タグによる入出庫データ

- ①2017年10月1日から2020年9月30日までに豊洲駅前地下自転車駐車場に入出庫した IC タグを装着した個別の自転車の入出庫の全データ 605,470 件(CSV データ)を対象とする。
- ②IC タグ装着の自転車は、定期利用として契約したことのある自転車であるが、その後定期利用が中断しても、IC タグの装着を続けている自転車はデータの対象となる。
- ③定期利用に係る自転車以外としては、定期利用契約をしない一時利用の自転車があるが、これは、IC タグを装着しないものであり、入口で一時利用券の発行により出入りしており、過去のデータの記録はない。このため、一時利用のデータは取得できず、この関連した分析は実施できない。
- ④上記①のデータのうち、入庫のみ、又は出庫のみなど、入出庫が対になっていないなど読み取り装置の故障等で読み取れてないデータを除くと 602,790 件となり、エラーがない率は、99.6%となっている。
- ⑤また、追加で得られた 2020 年 10 月 1 日から 2020 年 12 月 31 日までのデータ数は、27,514 件となっており、一定の分析には使用した。

これらの大量のデータについて、以下の基礎統計のほか、クロス集計、多変量解析、利用実績に基づく確率による利用可能性の分析等を行った。

[注] ここでは、上記対象データにかかるデータの取得時期の関係で、年度の区切りは、2017 年度(2017 年 10 月～2018 年 9 月)、2018 年度(2018 年 10 月～2019 年 9 月)及び 2019 年度(2019 年 10 月～2020 年 9 月)としている。

1-2. 年度別平均利用台数(利用時間帯別)

曜日別利用時間帯別の利用台数の変化を見ると次の通りである。

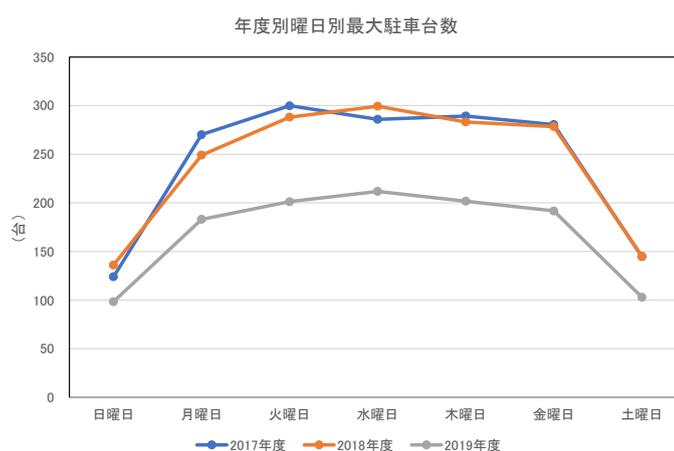
- ①曜日別の最大駐車台数を見ると、2017 年度、2018 年度はほぼ同程度の駐車規模であるが、2019

年度はコロナ禍の影響で大きく減少している。

②曜日ごとでは、土日は少なく、次いで月曜日が少なくなっている。曜日のうち、最も多いのは2018年度、2019年度は水曜日であり、2017年度は火曜日となっている。また、全体としては、火曜日から木曜日における駐輪台数が比較的多いこと、等が明らかになった。

③特に、土日及び深夜早朝の時間帯などは利用台数が半分程度に落ち込んでいる。時間帯では、13時から14時台が曜日を通じて最大の駐輪台数になっており、また、9時台から17時台が多く、前後は急激に落ち込んでいる。曜日別では、水曜日を中心に週央が多く、月曜日及び金曜日はこれらよりは少し少ない。また、日曜日が最も少なく、土曜日がこれに次いでいる。

④このように、曜日別利用時間帯別の利用台数に基づき、台数に応じた駐輪ゾーンの設定(電源、清掃、巡回等の省略)や管理要員の確保・配置などを可能な範囲で検討することが考えられる。このような特性を把握しつつ、実際駐輪の台数を考慮して、管理運営のきめ細かな運営を検討することが必要である。また、最大駐輪台数を考慮して、ピーク時の対応を考える必要がある。

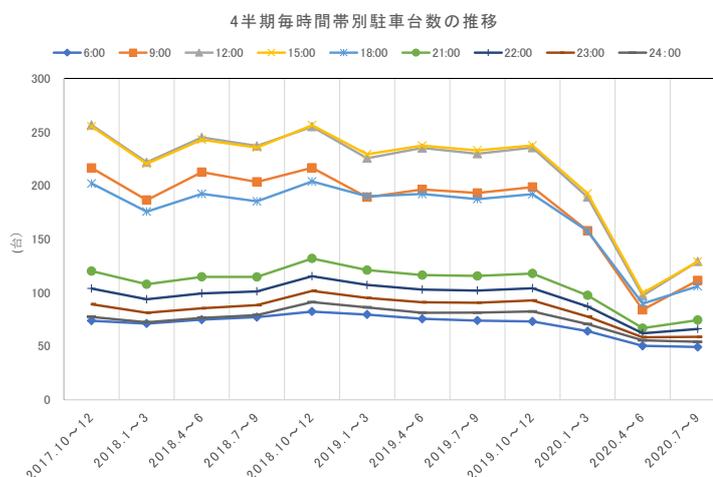


1-3. 月別時間帯別利用台数

月別には、11月が最も多く、1月と3月と8月が少ない。また、2020年はコロナ禍の影響で5月が最低である。学生の利用状況が大きく影響しているものと考えられる。

1-4. 4半期毎(2017年10月～2020年9月)平均利用台数(利用時間帯別)

①月別をまとめた四半期ごとの駐輪台数は、1月から3月の落ち込みが最も高く、4月から6月から利用が多くなり、学生の夏休み等の影響から7月から9月が少し落ち込み、10月から12月がピークになっている。ただし、コロナの影響のある2020年は、1～3月期から減少傾向が顕著となり、2020年4～6月期において底を打った。その後、僅かながら回復の兆しが見えている。



②それぞれの駐輪場の月別の特性をつかんで、また、コロナ禍では、平年の半分以下に落ち込んでいる月が見られるが、このように月ごとの変動の振れと全体の台数の減少等を総合的にみて、管理運営のあり方を総合的に考えるべきである。

1-5. 年度別曜日別入庫時間帯別利用(入庫)回数

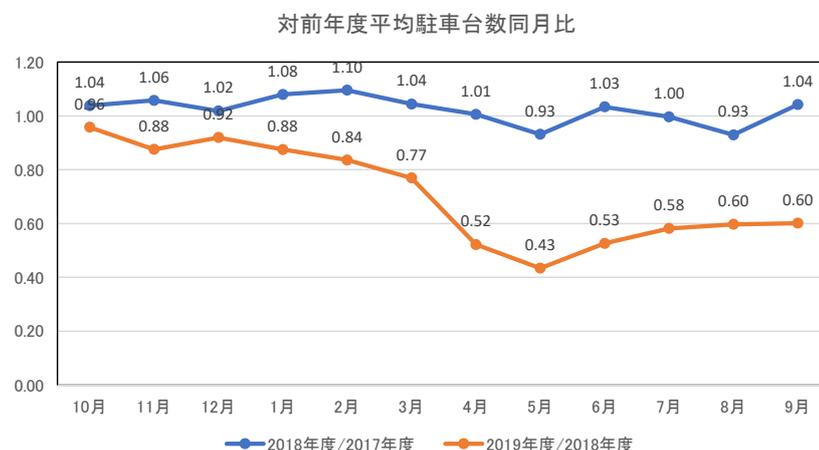
年度ごとの入庫時間帯別の台数を見ると、いずれの年度も午前7時台から増えて、午前8時台に入庫が集中して、ピークを示しており、その後午前10時台には元に戻っている。また、このようなことを受けて、管理体制もこれに応じて人数の多寡、有人から無人などの切り替え時間の考慮等について適正に対応するに合わせる必要がある。

1-6. まとめ

(1)月ごとの利用台数変動

①2017年度、2018年度ともピークは11月であり、3月、8月がボトムとなっている。両月が減少する要因としては、3月は年度の終わりで社会的異動の時期であり、8月は夏休みや気候の影響が考えられる。

②2019年度は11月に大きなピークもなく、全体的に利用低下傾向がみられ、2019年12月からその低下傾向が顕著である。コロナの影響にしては早すぎる低下傾向ともみられるが、2020年2月より低下傾向は加速して5月には対前年同月比が最大駐車台数で0.35、平均駐車台数で0.43の最低値を示す。その後、やや持ち直すも同0.6の水準で推移した。



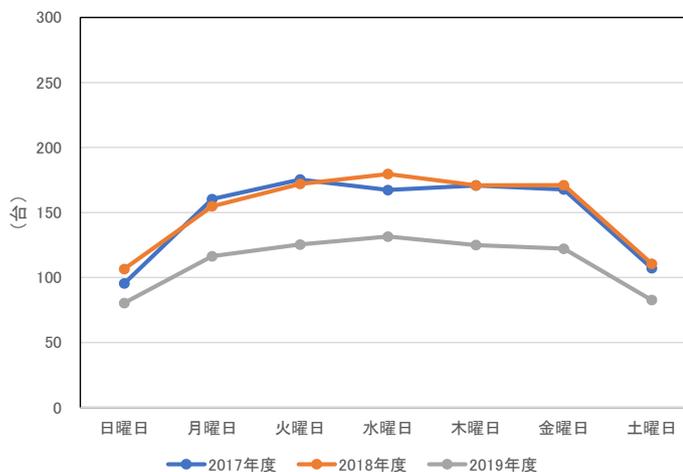
(2) 曜日ごとの利用台数変動

①平均利用台数については、2017年度と2018年度では、土日が100台強であり、平日は160台から180台で安定しており、あまり曜日の差はないが、水曜日は2018年度と2019年度では他の曜日に比べて多くなっている。

②最大利用台数でも同様な傾向がみられ、2017年度と2018年度では、土日が140台から150台であり、平日は250台から300台で安定しており、あまり曜日の差はないが、2018年度と2019年度では水曜日は他の曜日に比べて多くなっている。

③2019年度はコロナの影響で、全曜日で利用台数は少ない。土日が最も少なく、平日では水曜日が多い傾向は変わらない。

年度別曜日別平均駐車台数



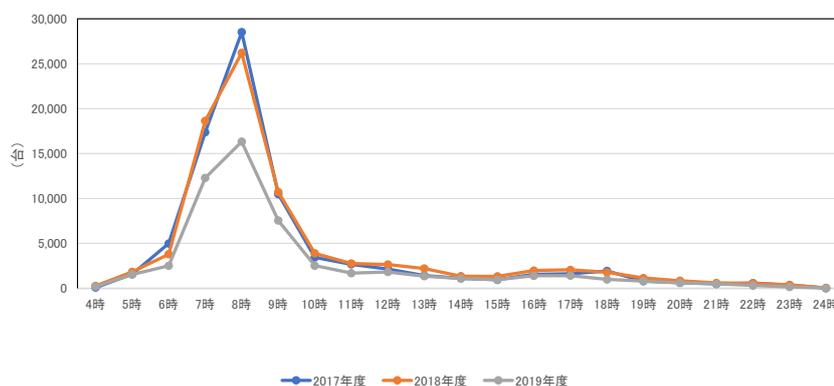
(3) 終日の利用台数変動

①時間帯別に利用（入庫）台数の推移を見ると、7時～9時台に集中しており、この3時間で全体の66%を占める。

②その後、穏やかに減少していくが、16時～18時台に再び小さな山がある。この3時間で6.6%を占める。これは鉄道等で豊洲駅まで来て、駅の近隣で通勤、通学を行い夕刻に帰宅する、いわゆるイグレス利用による入庫と思われる。

③年度で見ると、2017年度と2018年度はほぼ同じ線を描いているが、2019年度はコロナの影響により、ピークが小さくなっている。

年度別時間帯別利用(入庫)回数



2. 入出庫時間帯別駐輪時間範囲別駐車台数

2-1～2-3. 2017年から2019年度までの入庫時間帯別駐車時間範囲別駐車台数

入庫時間帯別の駐輪時間は、7時から14時台までは、12時間未満が多く、総体的に短い。その他の時間帯、すなわち、早朝又は夕刻以降の入庫は、12時間超が多くなる。このような傾向から見ると、駐輪時間の多寡に応じた料金体系にはなっていないことがデータからわかる。ICタグを活用すれば、個々の自転車の総駐輪時間が把握できることから、月別の定期利用と一時利用の区別のみという現行の料金体系（いわゆるサブスクリプション的な利用）から、総駐輪時間に

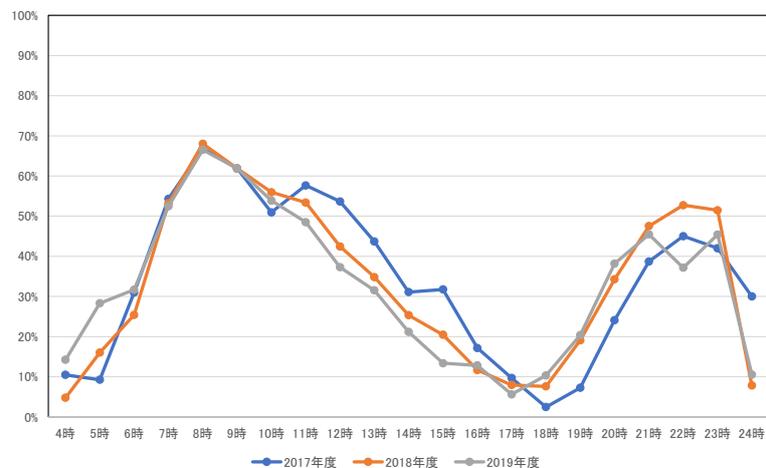
応じた料金体系も今後の検討課題として考えられる。すなわち、ICタグにより、個々人の自転車の層駐輪時間がカウントできるため、累積の駐輪時間に応じた割引や料金のカウントもありうるものと考えられる。また、入庫台数が少ない時間帯に入庫してくれる場合には、これを促進するために、割り引くこと、逆に入庫が集中する時間帯に入庫する場合は、割り増しを検討することもありうる。これにより、イグレス利用を推進して、駐輪場の空間の有効利用を図ることもありうる。総利用台数が増加すれば、全体の料金体系を引き下げること視野に入る。

2-4. 入庫時間帯別駐車時間範囲別駐車台数割合の年度比較

①入庫時間帯別駐車時間の年度比較をしてみると、通常の利用である「駐車時間 6 時間以上 12 時間未満」の中時間利用につ

いては、2018 年度と 2019 年度はほぼ同じ傾向を示し、2017 年度は両年度とやや別の傾向を示している。3 年度とも 6 時から 11 時頃まではほぼ同じ傾向であるが、12 時から 16 時頃までについては 2017 年度が 2018 年度と 2019 年度を下回り、18 時以降は逆に 2017 年度が上回っている。

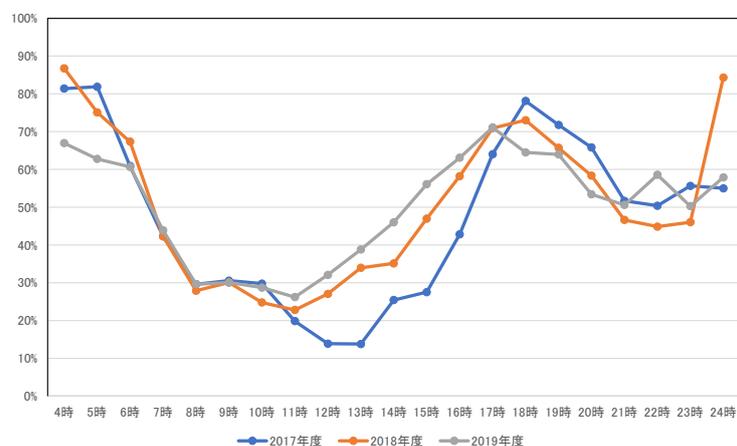
駐車時間6時間以上12時間未満の駐車台数割合



②次に、「駐車時間 12 時間以上」の長時間利用の人は 2017 年度に比べて、2018 年度と 2019 年度は、昼間で増加し、夕刻以降で落ち込んでいる。

③これらは、2018 年度に開場した豊洲市場関係者のイグレス利用者が夕刻早く就業して入庫し、朝早く来場して自転車を

駐車時間12時間以上の駐車台数割合



を出庫して豊洲市場に行くので、駐輪時間が中時間駐車にとどまる人の割合が増加し、それ以外の一般のイグレス利用者は、朝は通常の間帯に出庫することになるが、これは 12 時間以上の長時間利用になることが多いので、この後者の通常のイグレス利用で長時間駐車する人の人数に変化がない場合でも、豊洲市場のイグレス利用者の割合は相対的に減少するのではないかと推定される。

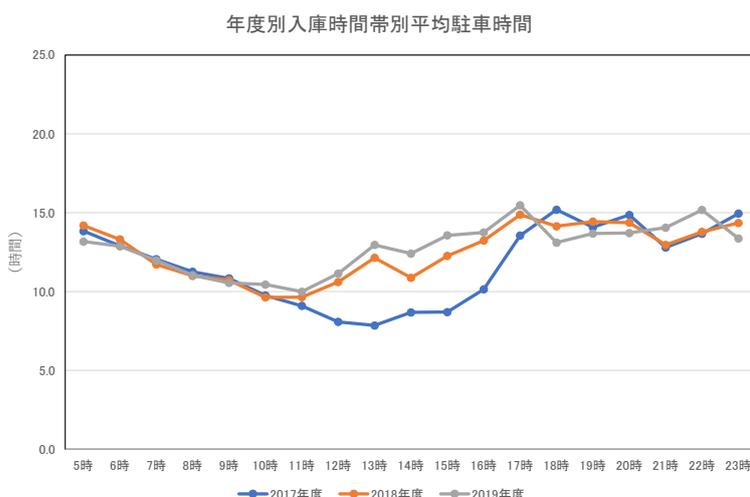
④このように、駐輪場の利用動向が、基本的には、今回はコロナ禍の影響もあるが、その地域の施設の立地動向、就業人口、就学人口、駅までの自転車利用率等に影響を受ける。自転車の利用を推進するためには、この動向を勘案しながら、可能な限り空きの空間を作らないように、

全体としての自転車の利用の促進を図るべき場合もあり、駐輪場としても積極的に広報啓発をして、駅までの自転車利用を促進すべきである。

⑤稼働の実情と予測に基づき、短期的、中期的及び長期的に分けて、ニーズに基づいた駐輪空間の提供を検討すべきである。短期的には、管理体制での対応、中期的には料金体系等も含めたソフト面の対応、長期的には、施設の容量などハード面での対応、又はこれらの混合が考えられる。

3. 年度別曜日別入庫時間帯別平均駐車時間

①年度毎の曜日別入庫時間帯別に平均駐車時間（但し、48時間超は除外）については、5時から11時までは、年度による大きな相違はないが、12時から17時では2017年度に比べ、2018年度、2019年度とも駐車時間が増加している。17時以降は13～15時間程度に収まっている。曜日別にみると、火曜日及び土曜日の昼間12時から夜にかけて入庫する人の駐輪時間が長いこと、日曜日は比較的駐輪時間が短いこと、その他の曜日は同じように10時間



から15時間の間の駐輪時間で、午前中から昼までの駐輪時間が短く10時間前半で、午後と早朝が長い駐輪時間があること、などである。2018年10月以降、土曜日、火曜日に駐車した利用者の駐車時間が長くなっている。特に2020年3月以降にその傾向が顕著となっている。

②このように曜日によっても利用時間の多寡があり、一定ではないことが分かった。これに応じて、管理体制の配置や利用延べ時間での料金体系の可能性もある。

4. 月別・曜日別平均駐車時間

①2018年10月以降、土曜日、火曜日に駐車した利用者の駐車時間が長くなっている。特に2020年3月以降にその傾向が顕著となっている。

②その要因については、詳細は不明であるが、午後に入庫した利用者の駐車時間が長くなっていることから、2018年10月に開場した築地市場は水曜日と日曜日が休業日なので、築地市場に勤務する人のイグレス利用の影響が大きいのではないかと推定される。

5. 2020年1～12月定期利用登録者(入出庫履歴あり)居住地分布(一般・学生の別も含む)

①居住地の分布の特徴は次の通りである。

- i) 居住地として最も多いのは、全体で「豊洲6」101名(19%)、次いで「東雲1」96名(18%)であり、この2地区で37%を占める。
- ii) 江東区内居住者は全登録利用者の84%を占め、区外は16%である。

iii) 一般と学生とで比較すると、「豊洲 6」, 「東雲 1」, 「有明 1」 は一般よりも学生の構成比が高い。特に、「有明 1」 では学生は一般よりも比率で 8 ポイント上回っている。一方、豊洲 1～5 は学生よりも一般の方が構成比は高い。

②利用者の居住地の分布については、その状況を把握分析して、適切な料金体系等の管理運営を考慮する必要がある。

③その特定の地区に偏って多く利用されている場合は、その地区の住宅やマンションの開発動向、人口の増減等を考慮する。また、利用が少ない地区の住民の利用の少ない状況を判断し、その理由を突き止め、これに対する適切な対応も検討すべきである。例えば、駅に対して方向が逆の場合、その方向の他の駐輪場が満杯等の場合は、その方向の町丁目を割り引くなど町丁目ごとのきめ細かな料金体系、同じ方向ではあるが利用が少ないのであれば、距離の長短で遠くから来てくれる場合の安い料金体系など町丁目ごとの料金設定もありうる。

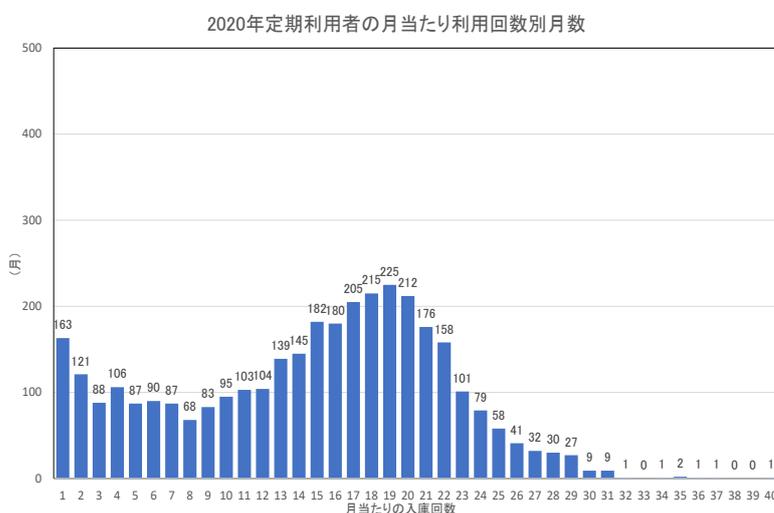
④また、居住地が当該市区町村外である場合の料金の設定を高めに行っているケースもあるが、イグレス利用の場合であれば、夜間の有効利用のためにも、低く設定することや、仮に利用率が低い場合でアクセス需要のときは、積極的に区外の居住者を誘致する料金体系化もありうる。利便性のよい駐輪場では、徒歩 5 分程度(距離 400m)以下などについては、料金を高く設定すること、遠い町丁目の人は料金を割り引くなどの体系もありうる。

⑤さらに、健康増進や地球環境の観点等からも、今後長い自転車利用を担う学生の利用をもっと盛んにして、全体の需要を増やすように地区別の広報啓発も必要である。

6. 1か月当たりの駐輪場入庫回数の計算

駐輪場の定期利用者の 1 か月当たりの入庫回数を 2019 年及び 2020 年分について分析した。

2019 年は平均 16.12 回/月の入庫回数で、最も多い頻度は 17 回の月で累計 433 月、総累計月数は 5,257 月であり、2020 年は平均 14.52 回/月で、最も多い頻度は 19 回の月で累計 225 月、総累計月数は 3,425 月となっている。2020 年は、コロナ禍のために入庫回数/月及びその累計も各-9.9%及び-34.8%と大幅



に減少している。一か月当たりの入庫回数について、一時利用での利用料金×入庫回数と 1 か月当たりの定期利用料金との比較に留意する必要がある。

※累積月数とは、各利用者がそれぞれの該当の回数を利用した月数を累計したものである。

7. 既存 IC タグからのデータの解析に基づく需要予測

①IC タグは、個別の人の駐輪場状況を把握できるので、駐輪場全体ではなく個々の利用者がいつ、どのような日に駐輪場を利用したか(しなかったのか)が明確に分析できる点が特徴であ

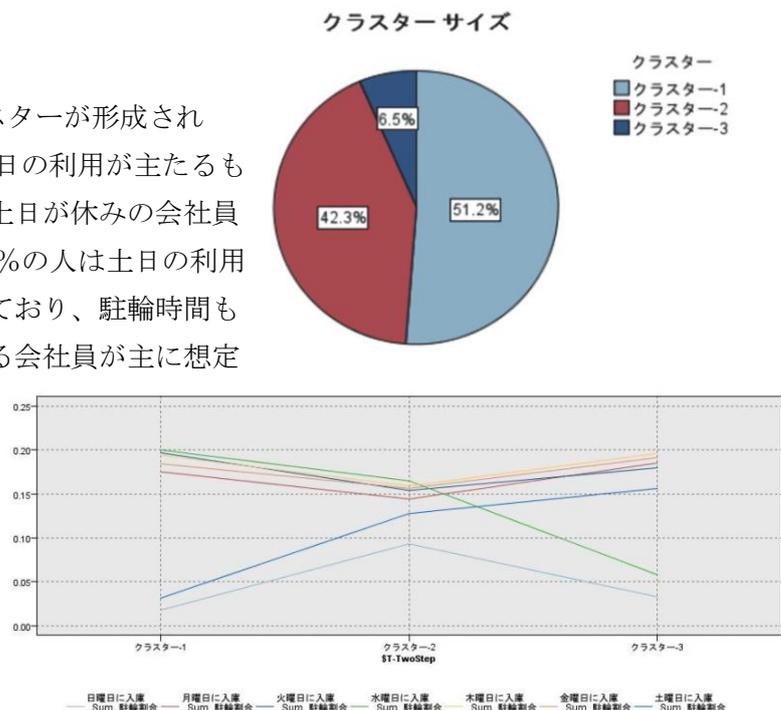
る。なお、このような分析は数多くある電磁ロック式の駐輪施設によるデータでは困難である。

例えば、Aさんの利用パターンが、月曜日と金曜日の朝7時30分に入庫し、その他9時とし、出庫は、月曜日と火曜日は19時、その他は21時とする。これらを個々の利用パターンを積み上げることにより、月曜日の8時には何台が入庫しているかが予測することがかなりの確度で可能である。また、実証実験参加者の26名では、15名がポンチョを着て来場していることが分かっている。つまり、雨の日の利用も、データに基づけば、個々人の何人が来場するかわかる。今回需要予測手法で提示した内容によれば、これによる分析がかなり予測可能性の高いことが分かった。

②このように、単なるいつ何台が利用したかの量のデータのみならず、利用者個人ごとの利用に関する質の高いデータを集積して、駐輪場の利用の実態やニーズ、さらに、利用予測を実施できる。そこで、利用者の入庫パターンについて把握することを目的として、①利用特性をパターンに分けるクラスター分析と②個人が過去の実績から今日の入庫があるかどうかを分析して予測したロジスティック回帰分析を行うとともに、③個人の日別、平日休日別、入庫時刻、出庫時刻別等に利用の有無を計算して、これにより積み上げた予測方法の3つの方法で予測手法を提示した。

7-1. クラスター分析

クラスター分析では、3つのクラスターが形成された。クラスター1の51.2%の人は平日の利用が主たるもので、休日の利用は少ないいわゆる土日が休みの社員が想定される。クラスター2の42.3%の人は土日の利用も比較的多く、様々な曜日に入庫しており、駐輪時間も長い人が多く、サービス業に従事する社員が主に想定される。残りのクラスター3の6%は例外的な利用をする人と想定される。このように、駐輪場の利用者の個人の利用データから全体のパターンを統計的に分析することで、その駐輪場の特性を把握できる。



7-2. ロジスティック回帰分析

①個人が特定の日に入庫するかどうかについて、予測するモデルをロジスティック回帰分析により試みた。ロジスティック回帰分析とは、一連の予測変数の値に基づいて特性または結果の有無を予測する手法である。いわゆる線型回帰モデル（重回帰分析）と似ているが、被説明変数が二分変数（0-1）である場合に適しているモデルである。すなわち、ロジスティック回帰分析は、ある事件（event）が発生するかないかを予測することではなく、その事件が発生する

確率を予測し、被説明変数の値が0以上だとその事件が発生すると予測し、0を下回るとその事件が発生しないと予測する。

②今回は、コロナ禍の影響を鑑み、その影響のない2019年1月から12月までの1年間として、このうち1月上旬から入庫がなされている利用者のうち、100回以上の入庫実績があり、かつ、確実にカード番号を持っている利用者105人のみとして、曜日、月、天候の計18の変数で説明するモデルを構築した。

i) 2019年1月1日から12月31日まで悪天候の日には、-0.06

ii) 1月には0、2月には0.31、3月には0.79、4月には1.02、5月には-0.85、6月には-0.86、7月には-0.65、8月には-1.43、9月には0.5、10月には-0.77、11月には0.8、12月には-0.68

iii) 日曜日と曜日に関係なく祝日には

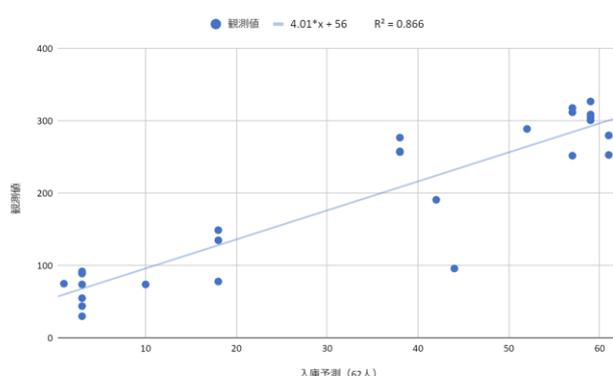
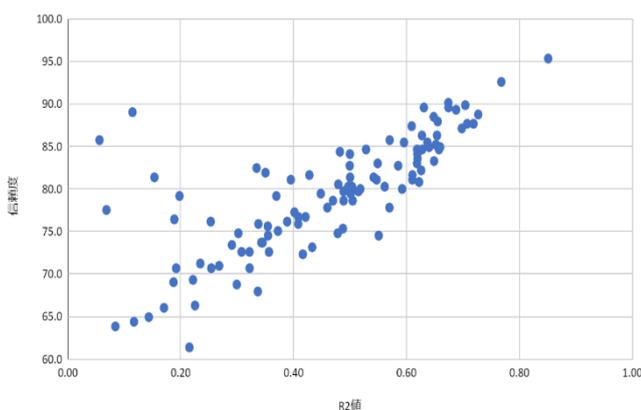
0、月曜日には23、火曜日には4.29、水曜日には23.01、木曜日には5.77、金曜日には23.03、土曜日には0.88

iv) 定数としてすべての日付に-1.32

v) これら4つの値を計算結果の列に合計し、入庫予測の列に計算結果が0以上であれば入庫する(1)、そうでなければ入庫しない(0)と判断する。すなわち、各係数の符号が正であれば「入庫する」、負であれば「入庫しない」に影響を及ぼす。

vi) 実際に $R^2 \geq 0.4$ 、信頼度 $\geq 75\%$ となっている78人の利用者のうち、2020年1月の利用がある62人を対象に、2020年1月の予測を行い、実際の観測データと比較を行う。両者の関係性は非常に高く、62人の予測値に4.08をかけて、56を足し合わせた値と当てはまりがよいといえる(決定係数もこれにより、入庫しない場合の信頼度は80.4%、入庫する場合の信頼度は93.7%、全体の信頼度は90.1%となるモデルを構築できた)。

R2値と信頼度の関係



7-3. アクセス需要とイグレス需要

①ICタグを用いて駐輪場の利用実態を分析することの特徴として、利用者ごとにどのように利用の仕方をしているのかを明らかできる点にある。そこで、アクセス交通とイグレス交通の利用実態を明らかにできた。アクセス交通は、豊洲駅周辺に居住する自宅から豊洲駅まで行って駐輪したあと公共交通を利用して目的地まで行くもので、通常は昼間に駐輪するのに対して、イグレス交通は、豊洲駅周辺に職場・学校等の目的地があり、公共交通で豊洲駅までやってきて駐輪場に止めている自転車で目的地まで行くものであり、通常は夜間に駐輪するものであ

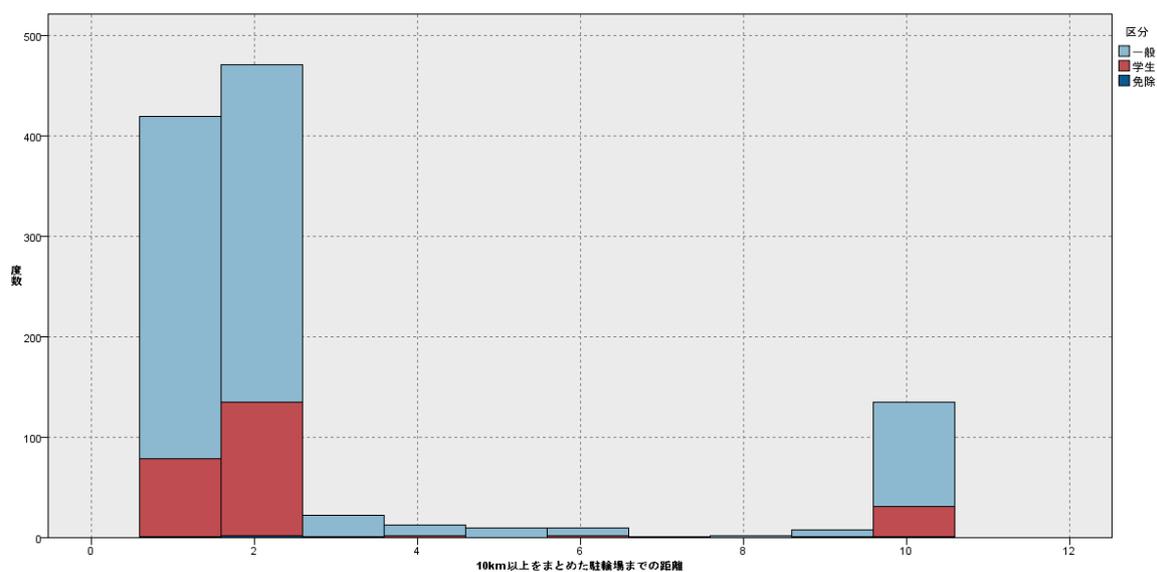
る。これらのバランスが取れば、駐輪場の空間を昼間と夜間のダブルで活用できるものである。

②今回の分析では、イグレス交通として利用している人が、10.1%から11.3%存在するものであり、「7-4. 駐輪場利用者の居住地域」の分析から、豊洲駅までの距離が10kmを超える利用者が135人いるが住所を見ると他県や江東区とは離れた特別区になっており、この割合は12.4%であり、この割合は、上記の10.1%から11.3%がその範囲内であることから、契約者と利用者が異なるか、利用者が自宅から豊洲駅前地下自転車駐輪場への自転車直行者、もしくは、イグレス利用者であることが推察される。

	2017年	2018年	2019年	2020年
イグレス利用者の人数(a)	84	97	87	73
全利用者(b)	832	855	832	724
イグレス利用者の割合(a/b)	10.1%	11.3%	10.5%	10.1%
イグレス利用回数の合計(c)	5,722	6,519	6,779	3,392
イグレス利用者の全利用回数(d)	6,552	7,520	8,188	4,284
イグレス利用率(c/d)	87.3%	86.7%	82.8%	79.2%

7-4. 駐輪場利用者の居住地域の分析

住所登録のある1,091人について、登録住所から豊洲地下駐輪場（東京都江東区豊洲2-2）までの距離を用いて、1km単位のヒストグラムを作成したのが図である。階級値1km（0.5-1.5km）と階級値2km（1.6-2.5km）で890人、全体の約81.6%を占める。10kmを超える利用者が135人いるが住所を見ると他県や江東区とは離れた特別区になっており、契約者と利用者が異なるか、直接自宅からのアクセス者、もしくは、イグレス利用者であることが推察される。



7-5. 駐輪場全体の利用者数の簡易予測モデル

「7-2. ロジスティック回帰分析」モデルを生かして、曜日と月と天候を入力すると、105 人以外の人も含めて、全体にその日に入庫する台数が表示されるシステムを提案した。これによると、複雑な計算ではなく、画面のボタンを押すことにより、その日の最大入庫数が予測できる。ただし、入庫者が入れ替わるので、1 年以内にこのモデルを方式に従ってリニューアルする必要がある。

7-6. 各人の利用実績を基にした曜日別時間帯別の利用可能性分析(積み上げによる予測手法)

このモデルは、2019 年と 2020 年の定期利用者の個々人の利用実績に基づき、7-2 のロジスティック回帰モデルが特定の時間帯に入庫しているかどうかについてまでは予測の対象に入っていないので、時間帯別に定期利用者の個別の人ごとに、過去の入出庫曜日、入出庫時刻を分析し、何曜日の何時に入庫している確率を例えば半分とすると、これを 0.5 台として計算し、他の人の確率による台数を順次積み上げて、全体として、何曜日の何時には合計で何台の自転車が入庫しているかを予測するモデルを作成し、これを一覧表で示した。

表からはかなり妥当な数値が出ているとみられるが、天気要素が入っていないこと、たえず人が入れ替わるため、その確率が変化すること、定期利用者以外の利用者の動向を入れる必要があることなどの課題があり、今後この天気要素と利用者の入れ替わりを定期的に入れ込んで、かつ、定期利用者と一時利用者の比率を入れて予測をする必要がある。

曜日	0:00:00~	0:30:00~	1:00:00~	1:30:00~	2:00:00~	2:30:00~	3:00:00~	3:30:00~	4:00:00~	4:30:00~	5:00:00~	5:30:00~
月	51.50	51.52	50.86	50.86	50.86	50.86	50.86	50.86	50.86	51.95	54.77	57.55
火	55.72	55.72	53.82	53.80	53.80	53.80	53.80	53.80	53.80	54.54	57.44	60.87
水	57.43	57.43	55.72	55.69	55.69	55.69	55.69	55.69	55.69	56.53	59.21	61.93
木	56.74	56.74	54.33	54.29	54.29	54.29	54.29	54.29	54.29	55.10	58.00	61.21
金	56.59	56.59	54.21	54.19	54.19	54.19	54.19	54.19	54.19	55.24	57.97	60.50
土	61.49	61.49	59.51	59.43	59.43	59.43	59.43	59.43	59.43	59.63	60.93	61.90
日	59.84	59.84	59.56	59.51	59.51	59.51	59.51	59.51	59.51	59.53	60.24	61.47
曜日	6:00:00~	6:30:00~	7:00:00~	7:30:00~	8:00:00~	8:30:00~	9:00:00~	9:30:00~	10:00:00~	10:30:00~	11:00:00~	11:30:00~
月	52.99	56.29	69.56	87.70	112.59	130.36	145.25	150.44	152.37	153.35	154.34	155.47
火	55.56	58.46	71.68	90.38	116.73	134.51	149.04	154.26	156.28	157.38	158.24	159.25
水	64.10	67.46	81.46	102.48	131.48	151.25	164.85	169.97	171.82	172.60	173.06	173.66
木	55.67	58.73	72.04	90.45	117.12	135.31	149.80	155.12	156.50	157.58	158.35	159.44
金	54.78	57.47	71.76	91.01	116.67	136.04	150.39	155.08	156.95	158.47	159.83	160.81
土	56.03	57.12	62.04	67.43	69.35	72.46	75.75	78.98	80.90	83.04	84.67	85.90
日	60.79	61.80	63.39	65.99	68.13	70.45	72.95	74.90	76.34	78.02	79.11	80.51
曜日	12:00:00~	12:30:00~	13:00:00~	13:30:00~	14:00:00~	14:30:00~	15:00:00~	15:30:00~	16:00:00~	16:30:00~	17:00:00~	17:30:00~
月	156.98	157.20	157.57	158.03	157.41	158.31	158.29	157.81	157.36	155.15	150.34	143.01
火	160.29	160.66	160.58	161.11	160.90	161.55	161.51	161.58	161.25	158.42	154.17	147.19
水	173.90	173.25	172.57	171.65	171.28	170.32	169.57	168.50	166.88	164.46	159.41	151.92
木	161.15	161.71	162.49	162.53	162.08	163.06	162.50	161.89	161.67	159.71	154.80	147.53
金	162.38	162.44	163.01	163.02	162.70	163.24	162.29	161.88	161.44	160.01	156.50	150.35
土	87.11	88.51	88.89	89.44	88.83	89.23	89.84	90.46	90.95	91.22	91.47	89.36
日	81.61	82.57	82.65	82.83	82.01	81.82	81.64	81.27	80.78	80.28	79.24	76.76
曜日	18:00:00~	18:30:00~	19:00:00~	19:30:00~	20:00:00~	20:30:00~	21:00:00~	21:30:00~	22:00:00~	22:30:00~	23:00:00~	23:30:00~
月	129.59	116.06	107.39	100.66	93.52	87.34	82.37	77.42	72.83	68.53	64.74	61.20
火	133.80	119.95	110.76	103.91	97.57	92.04	86.69	81.15	75.69	70.72	66.61	62.98
水	137.71	121.67	111.64	105.28	98.61	91.81	86.14	80.13	75.31	70.27	66.69	62.81
木	134.25	120.47	110.34	103.78	96.62	90.35	85.05	80.48	75.46	70.65	66.53	62.93
金	138.01	126.95	116.68	109.96	103.32	97.87	93.14	88.17	83.54	78.75	74.85	70.44
土	88.06	85.16	83.15	81.52	79.69	76.76	75.43	73.33	71.39	69.70	68.22	66.28
日	74.49	71.85	69.07	67.40	65.70	62.93	61.81	60.46	59.17	57.83	56.88	55.86

第Ⅱ章 実証実験によるRFIDシステムによる自動化の有用性と問題点の抽出

1. RFID(IC タグを活用した認証システム)の概要と自転車への応用

(1)自転車の個体認証の現状

これまで、自転車を個体認識するための手段が発展してこなかった理由の一つとして、誰でもが免許が不要で、車両に対する課税がないためナンバープレートなどが登録表記も不要であったことである。

(2)RFID 技術

IC タグの種類として次の3つに大きく分類される。

- ①パッシブ型：送受信に電池を使用しないタイプ。アンテナからの電波を反射させる形で送受信を行う。メンテナンスフリーで使用することができる。デメリットとしては、タグの種類により送受信の距離がアンテナからの電波状況により影響を受けることである。
- ②アクティブ型：パッシブ型とは反対に電池を使用して、自ら送受信を行うタイプである。送受信には、SW 操作が必要でアンテナからの送受信制御は不可で、電池交換などのメンテナンスが必要であることが、パッシブタイプとの大きな違いである。通信距離は、一定の通信距離が確保される点は、パッシブ型より長所となる。
- ③セミアクティブ型：パッシブ型とアクティブ型のハイブリッドタイプで、アクティブ並の通信性能が確保され、SW 機能に相当する何らかの条件が加わったときに自ら発信するタイプである。内臓電池のメンテナンスは必要である。

本実証実験では、自転車をどのようにすれば個体認識することができるのかという観点から、メンテナンスフリーのパッシブ型のRFID タグを取付けて、通過地点にアンテナを設置して、どのような条件下であれば安定してRFID タグを読み取ることができるのかという視点で進めた。

(3)RFIDアンテナ&リーダーと外部制御

RFID タグを読取る場合、読取地点にアンテナとリーダーが設置し、アンテナから発信された電波を、パッシブ型RFID タグが電波を受信し、電波の力を使ってIDをアンテナに送信する。アンテナは、RFID タグのIDの送受信を行い、リーダーがそのIDを読取る役割を担う。これらについては、総務省への一定の手続きが必要である。リーダーは、パソコン等とLAN接続等で接続され読取ったデータIDをパソコンに送ることで、パソコンのソフトにより登録されたIDを読取ったときに外部制御信号を出力しリレーなどを介し外部機器の制御をする仕組みである。外部制御とは、ドアの開閉などに利用されている。

(4)RFID と自転車との相性について

RFID は電波による非接触交信であるため、電波を遮蔽するものがあると障害となる。電波の障害となる電波の散乱・乱反射となる要因として、金属・カーボン・水（人体含む）などがあげられる。ほとんどの自転車は、金属製のフレームでありRFID タグとの相性は良いとは言えないため、RFID が自転車等の金属製品の管理の分野において、普及が進まない要因である。近年、金属面への貼り付けが可能なタグが開発され、RFID タグで自転車の個体認証を可能にする可能性が広がった。

(5) 既存駐輪場での導入システム事例

これまでの、駐輪場におけるRFIDタグの導入事例として、滋賀県草津市の南草津駅駐輪場のシステムと江戸川区西葛西駅等に見られるツリータイプの機械式駐輪場などが導入例として稼働している。今回、実証実験を行った江東区豊洲駅地下駐輪場は、前者の南草津駅前駐輪場と同じ入出庫のゲート制御に利用されているが、一旦停止を必要とするゲートであり、タグとアンテナの位置関係が静止状態の近接+ α であるため、特定小電力を利用していると推測される。

(6) 既存駐輪場の運用スタイルと問題解決の方向性

既存駐輪場は、機械化が進んだ部分もあるが管理の核心部分は人的管理が中心で定期券や、定期シールに記載された契約期限を目視して管理する手法が多い。個別ロック式は、精算機の利用情報の印刷（ジャーナル）を見て、経過時間や課金金額を目視確認して長期駐輪の排除などは人的管理である。駐輪場における機械化は人的作業の補助的な役割の域を超えていない。管理運営者から見た機械化への期待は、少子高齢化の時代に管理者の人材確保の難しさに対する機械化の進歩を求める声もあり、今後、利用者・現場管理者・管理運営者の三者がストレスなく利用・運用できるシステムが望まれている。

(7) 実証実験におけるストレスフリーの試み

多種多様に存在する自転車の車種制限をせずに実験参加者を募集し、タグの取付位置なども細かい高さなどの指定はせずに、パーツの名称及びパーツの取付け参考写真を元に参加者に郵送送付しタグの取付を依頼した。新規契約（更新）作業の機械化（精算機の機能として新規契約機能が追加できるか？）による運用を考えたときに利用者に理解度に依存した大まかな指定で誤動作や読み取り率が変化するか、どの程度の条件指定をしなければならないのかという点や、問題点は誘導サイン等を明示することで回避できる内容であるかも視野に、実証実験の成果として提示することを目的としてストレスフリーの試みとした。

2. 実証実験の経緯

以上の点を踏まえて、RFID(ICタグ)が駐輪場での活用可能性を多角的に実証する実験を実施した。

2-1. 実証実験協力者募集

○その具体の募集に際して、駐輪場利用者に対して募集要項・募集パンフを配布し、当機構のホームページにも「応募フォーム」を掲載した。また、場内には募集ポスターを掲示した。いずれも特に個人情報に配慮して適正なものとなるようにした。

2-2. 実証実験協力者の決定及びアンケート調査の実施

募集の結果、当初募集人数を20人としていたが、それを上回る27名の応募があり、そのうち実証実験協力者として26名が決定した。また、「応募フォーム」にアンケート項目を掲載し、公募の際に回答をお願いした。その結果は以下のとおりである。

○応募者の特性としては、普通自転車が21名81%であり、クロスバイク3名12%、小径車1名、その他1名であった。また、電動アシスト自転車は14名54%と高い割合であり、子供乗せ椅子付きは6名23%であった。自転車の利用形態としては、「自宅から豊洲駅まで自転車に来て駐輪して駅から電車等」が23名でほとんどであり、いわゆる逆利用（イグレス利用）は1名であった。また、天候による自転車の利用意向は、「出発時点で小雨である時」は自転車で来る人は14

名 54%である(「雨でもポンチョ等の雨具」で来る人は 13 名 50%である)。

2-3. RFID タグを自転車に取り付ける作業

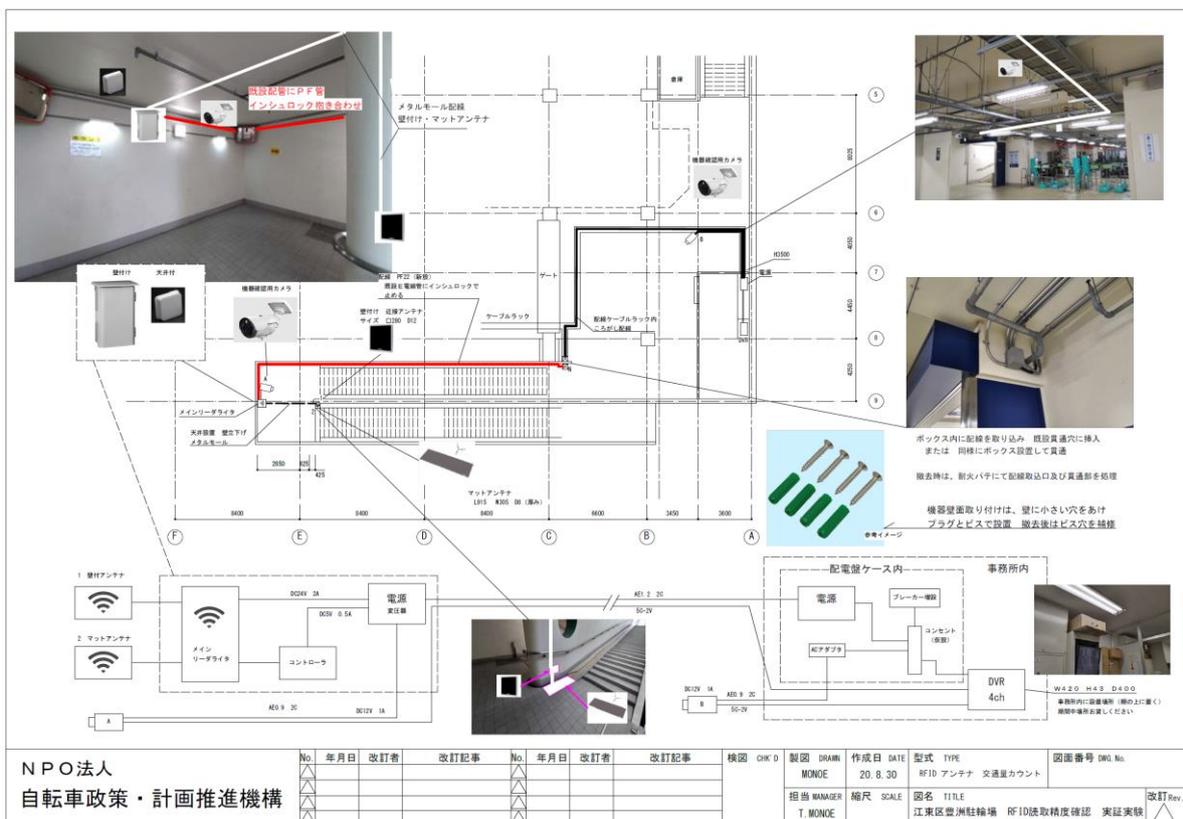
管理者に負担の少ない運営を見据え、タグを自動発行機等で発行された後の、RFID タグを自転車に取り付け(貼り付け)するステップは、必ず人手が必要な行為であるため、タグを利用者自身で自転車に貼り付けることで生じる問題点を抽出することを目的とした内容とした。利用者が RFID のタグ取り付けを正確にできるかという検証も兼ねて、実験参加者に RFID タグと貼付方法の説明書を郵送して実験参加者に RFID タグ貼り付け依頼し、貼り付け写真をメールにて返信いただき正確に貼り付けができていないかの状況確認を事務局でチェックする手法で実施した。

2-4. 実証実験装置の設置

(1) アンテナの設置について

アンテナ設置位置(別途図面参照)は、3か所とし設置位置の設置方法と想定を下記に明記する。

- ① B 階段の下りスロープの踊り場の壁面に①壁付のリーダライタと、床面に②増設マットアンテナを設置し、主に既存の駐輪場の豊洲地下駐輪場・南草津駅駐輪場・機械式駐輪場に見られる入場時のアンテナ位置と同等の RFID 装着自転車の読み取り位置関係を想定した配置とした。
- ② B 階段踊り場の③天井に設置。このアンテナは中規模空間(幅 5m×奥行き 3m×高さ 2.5m)の空間にアンテナを設置した場合にどの程度の RFID の読み取りが可能かを実証するものである。多層階の駐輪場の場合における利用率の平均化のために料金格差を設けて運営する場合における階段通過時にどの程度の読み取り精度があるかを想定したものである。
- ③ 駐輪場入退場ゲート～事務所前～A 階段に向かう大空間の④天井下の配線レールに金具で、アンテナを設置。(高さ 2.3m)



(2)実証実験に使用したタグについて

- ①元々、RFID タグと金属およびカーボンは相性が良くないというのが通説であり、自転車のほとんどは金属（カーボン）製フレームであり、その相性の悪さから技術的解消が困難なため普及促進が進まない要因である。これを技術的に回避する場合のRFID タグの単価が、これまでの駐輪場のコスト（駐輪シール）と比較した場合、高価になることがあげられる。
- ②今回使用したタグは、金属対応タグの中からシールタイプの3種類と一般的なタグを使用し実証実験をした。一般的なタグは、直接金属である自転車フレームに貼り付けても安定した読み取りは期待できないので、厚さ3mmと5mmのウレタンとゴムシート1mm、3mm、5mmの3種類をフレームとタグの間に挟んだ状態で実験を実施した。

(3)RFIDタグの取付方法について

RFIDタグの取付位置を厳密に設定して取り付けることが理想とされるが、この場合は必ず管理者が取付する必要性があり、その作業の負担軽減のため利用者に取付を依頼し誤差の範囲で読み取りが可能かどうか併せて検証する目的で、RFIDタグ貼付け位置を写真で参考位置を示し、実験参加者に貼付していただく方法を選択した。

(4)RFIDタグの取付位置について

実験参加者は基本的に豊洲地下駐輪場の定期利用者であるため、前輪フレームには定期専用のRFIDタグが装着されているため、以下に示す8か所に設定した。

1)フレーム右側面



2)フレーム左側面



3)フレーム上部



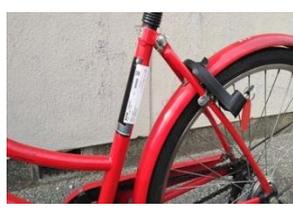
4)フレーム下部



5)サドル下右側面



6)サドル下左側面



7)サドル下前面

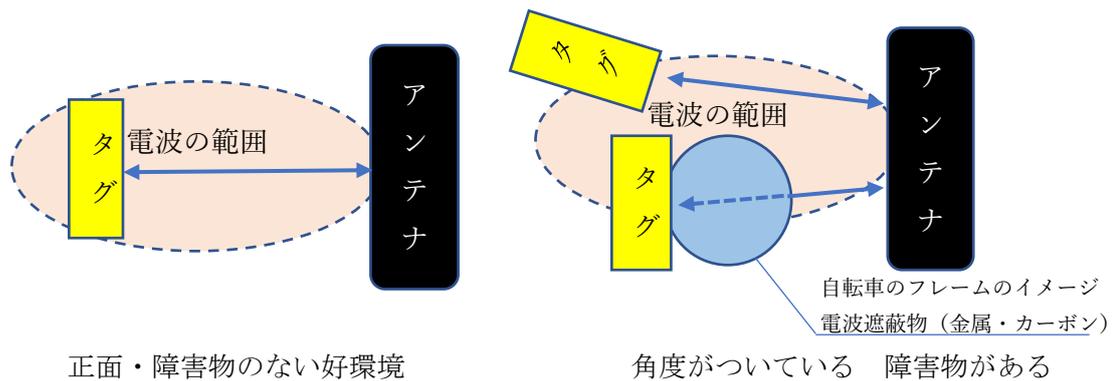


8)泥除け



(5)RFID タグとアンテナ位置の基本的関係性

パッシブタグとアンテナの位置関係については、タグとアンテナが正面に遮蔽物なく向き合っている状態がベストであり、タグとアンテナの角度により読み取り精度に影響がある。図にすると下記の図のようなイメージである。



3. 実証実験の結果

3-1. データ集計・分析

1) 被験者ごとの集計

被験者ごとに金属対応 IC タグと一般 IC タグ等に分けて、集計した。また、貼り付け場所ごとの集計を実施した。

2) 読取り率の検証

ゲートを通過した入出庫履歴が明らかな被験者を対象に、1月から3月の期間内におけるゲート通過回数（エレベーター側のゲート通過を除く）とアンテナの読取り回数から「読取り率」を算出した。

読み取り率が100%は、1の天井、7の出庫の天井、9の天井と出庫の際の壁と11の天井、14と17の天井、19の入庫の際の天井となっている。アンテナが天井の場合がほとんどである。

3-2. 実証実験(追加)

(1) 実験概要

- ①目的；実証実験協力者によるデータを確認、検証するために、1) タグ種類（大・中・小・（既存））、2) タグの取り付け位置（上・下・左・右・泥除け・フレーム（既存））によるパターンごとに3種のアンテナ（壁付け、天井取付、敷マット）の読取りの有無を計測する。
- ②日時；2021年7月10日（土）10時～14時
- ③場所；豊洲駅地下自転車駐車場
- ④実験参加者；3名

(2) 集計結果

○入庫では天井アンテナで取付位置上等であり、出庫では天井アンテナで取付位置右や上の場合等で読み取り率が100%の場合があることが分かった。

NO	タグ種類	タグID (下4桁)	タグ位置	入庫					出庫				
				通過回数	壁	マット	天井	ゲ	通過回数	壁	マット	天井	ゲ
1	大	8078	泥除け	51	29	11	51	0	階段9 ゲ37	7	8	9	37
					56.9%	21.6%	100.0%	0.0%		77.8%	88.9%	100.0%	100.0%
2	大	7177	フ左	59	38	11	57	0	58	50	6	48	0
					64.4%	18.6%	96.6%	0.0%		86.2%	10.3%	82.8%	0.0%
3	大	8075	サ右	43	16	0	0	0	44	0	0	0	0
					37.2%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	U3	3014	フ上	43	3	4	7	0	44	5	0	10	0
					7.0%	9.3%	16.3%	0.0%		11.4%	0.0%	22.7%	0.0%
5	大	8076	サ左	39	8	4	19	0	40	16	0	28	0
					20.5%	10.3%	48.7%	0.0%		40.0%	0.0%	70.0%	0.0%
6	U3	3015	フ左	39	24	0	35	0	40	22	5	31	0
					61.5%	0.0%	89.7%	0.0%		55.0%	12.5%	77.5%	0.0%
7	大	8077	サ前	39	25	7	32	0	25	14	1	25	0
					64.1%	17.9%	82.1%	0.0%		56.0%	4.0%	100.0%	0.0%
8	U3	3016	フ右	40	28	5	1	0	25	1	0	19	0
					70.0%	12.5%	2.5%	0.0%		4.0%	0.0%	76.0%	0.0%
9	中	1183	フ右	41	4	35	41	0	43	43	1	43	0
					9.8%	85.4%	100.0%	0.0%		100.0%	2.3%	100.0%	0.0%
10	U5	3019	サ前	41	26	9	2	0	43	26	0	40	0
					63.4%	22.0%	4.9%	0.0%		60.5%	0.0%	93.0%	0.0%
11	中	1184	フ左	54	22	21	54	0	53	52	2	53	0
					40.7%	38.9%	100.0%	0.0%		98.1%	3.8%	100.0%	0.0%
12	U5	3020	サ左	53	0	0	38	0	53	14	0	48	0
					0.0%	0.0%	71.7%	0.0%		26.4%	0.0%	90.6%	0.0%
13	中	1188	サ左	57	21	0	16	0	0	0	0	0	0
					36.8%	0.0%	28.1%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
14	中	1194	フ右	40	2	29	40	0	41	36	11	41	0
					5.0%	72.5%	100.0%	0.0%		87.8%	26.8%	100.0%	0.0%
15	中	1196	泥除け	41	11	16	27	0	41	26	0	15	0
					26.8%	39.0%	65.9%	0.0%		63.4%	0.0%	36.6%	0.0%
16	小	5200	フ右	53	24	20	3	0	53	1	0	44	0
					45.3%	37.7%	5.7%	0.0%		1.9%	0.0%	83.0%	0.0%
17	小	5201	フ左	43	12	24	43	0	44	41	0	44	0
					27.9%	55.8%	100.0%	0.0%		93.2%	0.0%	100.0%	0.0%
18	テ	3030	サ前	45	1	1	4	0	45	6	1	4	0
					2.2%	2.2%	8.9%	0.0%		13.3%	2.2%	8.9%	0.0%
19	小	5025	サ左	44	12	27	44	0	44	28	4	41	0
					27.3%	61.4%	100.0%	0.0%		63.6%	9.1%	93.2%	0.0%

3-3. 実証実験協力者の実証実験終了後のアンケート調査結果

実証実験終了後に実証実験協力者に IC タグ装着に対する意識を調査した。結果は、IC タグを装着しての自転車の運転に対する負担感や抵抗感は個人情報管理がなされればほとんどないことが判明した。結果の概要は次の 4 においてまとめている。

4. 実証実験で得られた成果について

以上から次のような結果が得られた。

- ①RFID と金属の相性の悪い中で、これまでチャレンジした企業は複数耳にしているが、自転車を含む金属製品に対して RFID 技術を活用するシステムの成功例は少ない。IC タグと金属製品との相性が悪いという課題が浸透していることと、その課題を解決するにはコストが高価になることも要因となり、駐輪場業界では今日まで積極的な技術導入が見られなかった。
- ②実験結果から「金属対応タグ」と従来の「一般標準タグ」との読み取り精度を比較すると、両者で読み取り率に大きな差があった。「金属対応タグ」は、一定の条件がそろえば、読み取り率

は、通過回数に対し100%を記録し、RFID技術の一般的概念からみて好条件でない場合でも60～80%台の読み取り率があった。一方、「一般標準タグ」は、読み取りやすくするために自転車の金属面とタグの間にウレタンを挟んだ加工を施して読み取り条件を良くしても、最高70%程度の読み取り率を記録した車両は26台中2台であり、その他は読み取り率が概ね20%以下であった。

- ③今回の実証実験では、アンテナ位置や取付方法についても検証を行った。その結果、一定の良好な条件をクリアした状況下でRFIDタグが活用できる条件について分析・設計指針の基礎となるデータを得ることができた。ここでは電波の反射等個別の状況に左右されるために断定的な結論を明記することで誤解や誤認を生むことを避けるため、「アンテナとタグの位置関係は、障害物なく迎えあうこと、特に電波を遮蔽する障害物である金属（自転車のフレーム）があると読取に大きな影響を与えることを十分に考慮し、距離（アンテナ～タグ間）によって電波の強度を調整して設置することが必要である。近接するゲートの場合は、ゲート付近の通路を電波吸収帯などで囲むなどの電波漏れ対策を講ずる必要がある」という結論に止める。
- ④上記結論の基に運用システムを設計し活用する場合、システムの利用者の誤認・誤使用を誘発すると思われる環境に対しては、ユニバーサルデザインの観点から誤認・誤使用の回避を促すサイン等を設置する対策なども、ストレスなく利用できる環境提供に必要である。
- ⑤RFID技術は、自転車を個体認識することを目的とし、読み取った情報によりゲートの開閉など2次的動作のトリガーとしての活用を主目的にしており、進行方向のより前方に取り付けることで速やかにゲートが開閉してスムーズに入出庫をできるようにするため、相反する位置関係となっており、泥除けにRFID技術を活用した例はない。今回の実証実験においては、人的管理と機械的管理の融合の観点から、泥除けにつけた場合のタグの読み取りも実験した。結果として、泥除けに貼ったタグを、天井面や壁面上方から電波を送信することでICタグを、確実に読み取れることが分かった。ゲートとアンテナとの距離を考慮して追い越し不可のレーンを設定することなどの条件がそろえば、両者に利便性の高いシステムを構築することが可能であることも判明した。
- ⑥実証実験参加者の実験終了後のアンケート結果のまとめ
- i) 期間が半年という長いものにかかわらず、コロナの影響で利用が減ったが、やや長いという印象の人は3割弱で、残りは長短を感じていないことから、長期の実験も一定は可能であり、今後これを装着した社会実験も大きな障害はないことが推測される。
 - ii) アンテナ付近を通過の際には、一定の意識をして通過している人が多く、社会実験をしても、一定はこれを意識してもらえらる可能性がある。
 - iii) また、雨の日の来場も多くの人が実施していることから、実験をしても、相当程度の利用があることがわかり、社会実験でも利用が一定はなされることが推測される。
 - iv) ICタグの装着については、データをたえず取得していることを認識していることを前提としても、抵抗はないという人がほとんどであり、これを活用したIoT化の可能性が広がる。
 - vi) 実証実験でICタグ装着により走行しても、負担を感じるものが少なく、今後の一般的なICタグ装着での社会実験や一般化の可能性もある。

第三章 まとめと課題

1. 事業成果の概要

(1)今年度の事業の成果

実際の駐輪場で装着されている IC タグのデータは、ゲートの開閉と料金の支払いの有無の確認のために使用されているものであるが、このデータは、利用の実態の把握、利用予測等について多方面から解析分析を行い、IC タグのデータを活用し、駐輪場の需要の実態、これに基づく利用予測等について有益な結果を得るとともに、IC タグの個別の自転車の通過の読み取りの実用化の実証実験により、IC タグの活用の可能性が高いことなどについて、次のように広範囲の活用ポテンシャルを有していることが明らかになった。また、その際の課題が明らかになった。

既往のゲートの開閉や料金支払いの有無の確認に使用される IC タグ及び読み取りシステム以外について、駐輪場相互のネットワーク的な利用や自転車の交通量、利用回数、経路等利用の実態の把握やルール遵守の状況、放置や盗難等の際の検索等総合的な自転車活用推進策に活用可能かどうかについて、IC タグの種類、装着する位置や読み取り装置の設定を様々な条件により実証実験を行った結果、これにより、IC タグの種類、装着する自転車の位置、読み取り装置のアンテナ位置や角度により読み取り可能性が大きく異なるものの、一定の設定の条件にすれば、かなり確度の高い読み取りが可能になった。これにより、駐輪場の内部での利用の位置、階層、移動等データを含めた総合的な駐輪場データの把握による駐輪場の管理運営の適正化はもちろんのこと、駐輪場の外側でのネットワーク的な利用や自転車活用を推進する各種施策においても、現実のフィールドでない駐輪場内部での実験としては、IC タグが活用できる可能性があることが明らかになった。

(2)IC タグの有効性

これらのうち、事業の中心となっている IC タグの有効性と課題については、次の通りである。

- ①アンテナ(壁掛け、天井付け)、タグの種類、装着位置、アンテナと装着された IC タグの角度などにより、その通過の読み取りが異なること、一定の組み合わせにより、かなり確度の高い読み取りが可能となること(アンテナ天井設置、大型の IC タグを後部泥除けに貼付等)
- ②自転車の IoT 化を進めるに際して、他の GPS やスマホ等では、必要な情報を安価でかつ一般性を持った形では取得しにくいという大きな課題を解決できる可能性が、IC タグにあること
- ③課題としては、技術的な問題やコストとメリットの関係、一時利用での対応等に課題があることも判明した。

自転車を含む金属製品に対する RFID 技術を活用するシステムの成功例は少なく、相性の悪いということの概念も浸透していることと、対応するにはコストが高価になることも要因となり、駐輪場業界では積極的な技術導入は見られなかった。近年、他の金属製品と RFID 技術の関係性の概念を変化させるに至る、金属面に RFID を取り付けることのできるタグの開発が進み活用される事例が見られるようになった。

今回実証実験に使用したタグも、そうした中で近年製品化されたタグを使用し実証実験を行った。併せて、従来の通常タグ(旧来の金属非対応タグ)も取り付けて実験を行った。

金属対応タグと従来のタグの読み取り精度を比較すると、金属対応タグと一般標準タグでは、読み取り率に大きな差があった。

金属対応タグは、一定の条件がそろえば、読み取り率は、通過回数に対し100%を記録し、RFID技術の一般的概念からみて好条件でない場合も60~80%台の読み取り率があったのに対し、一般タグは、読み取りやすくするために自転車の金属面とタグの間にウレタンを挟んだ加工を施した場合でも、読み取り条件の良い場合でも、最高70%程度読み取り率を記録した車両が、26台中2台で、そのほかは読み取り率おおむね20%以下であった。

RFIDタグが駐輪場システムのデバイスとして円滑に管理・運営を可能にするのは、金属対応タグが必須条件であり、駐輪場ほか自転車の分野での活用は金属対応の条件なしでは、非現実的であるであるという結論に達した。アンテナ位置や取付位置についても、一定の良好な条件をクリアした状況下でのRFIDタグが活用できる条件提示の分析・設計指針の基礎となるデータは得ることができたことも本実証実験の成果として挙げる事ができた。電波の反射等個別の状況に左右されるため断定的な結論を明記することで誤解誤認を生むことを避けるため、アンテナとタグの位置関係は、障害物なく迎えあうこと、特に電波を遮蔽する障害物である金属（自転車のフレーム）があると読取に大きな影響を与えることを十分に考慮し、距離（アンテナ-タグ間）によって電波の強度を調整し設置することが必要であるが、近接するゲートの場合、ゲート付近の通路を電波吸収帯などで囲むなどの電波漏れ対策を講ずる必要がある。という結論にとどめる。

今回の実証実験においては、人的管理と機械的管理の融合の観点から、泥除けにつけた場合のタグの読み取りも実験した。結果として、泥除けに貼ったタグを、天井面や壁面上方から電波を送信することでタグを、確実に読み取れることが分かった。ゲートとアンテナとの距離を考慮した距離で、追い越し不可のレーンを設定することなどの条件がそろえば、両者に利便性の高いシステムを構築することが可能であることも判明した。

(3)RFID 技術に関する課題

システムの利用者の、誤認・誤使用を誘発すると思われる環境に対しては、ユニバーサルデザインの思考で、誤認・誤使用回避を促すサイン等の設置をする対策も講じることが、ストレスなく利用できる環境提供に必要である。また、システムの理解度が高いほど利用者はシステムに寄り添う利用方法を利用者自らが模索する行動をとることも判明した。システム導入時の説明・注意事項をわかりやすく説明することや、自然と誘導されるサイン表記がより円滑なシステム運用につながる事が再認識でき、自治体等の駐輪場設置者に施策展開・発展に寄与する提言の裏付けの課題となった。

(4)RFID 技術の今後の展望「新たな利用・活用方法について」

自転車のRFIDによる個体識別認証は、一定の設置条件を満たせば駐輪場の入退場の管理に活用することが可能であることが分かった。

自転車活用推進法にある健康増進や、脱炭素社会、SDGsに向けた社会の方向性に添った自転車施策に自転車利用を裏付けるデバイスとして活用することができ、従来のポイントカードやスマホ機能では難しかった自転車利用であることの確定ができることで、新たな展開と可能性を秘めたポテンシャルがRFID技術にあることが分かった。

2. 得られたデータにより明らかになった内容のまとめとICタグデータの施策への活用のあり方等の提示

(1)タグのデータの活用可能性

単なるいつ何台が利用したかの量のデータのみならず、利用者個人ごとの利用に関する質の高いデータを集積して、駐輪場の利用の実態やニーズ、さらに、利用予測を実施できる。実際の駐輪場で装着されている IC タグのデータは、ゲートの開閉と料金の支払いの有無の確認のために使用されているものであるが、このデータは、利用の実態の把握、利用予測等について多方面から解析分析を行い、IC タグのデータを活用し、駐輪場の需要の実態、これに基づく利用予測等について有益な結果を得るとともに、IC タグの個別の自転車の通過の読み取りの実用化の実証実験により、IC タグの活用の可能性が高いことなどについて、次のように広範囲の活用ポテンシャルを有していることが明らかになった。

1) 現状のハードの駐輪場のタグ装置を活用した利用データの把握可能性の検証

既存の入出庫の IC タグによる読み取りデータは、ゲート開閉と料金の支払いの有無を確認するためのものであり、これを目的外のデータ分析のために取り出すことにはデータの取り出し方法、取り出したデータの加工等に一定の限界があったものの、限られた範囲内では取得できることが検証できた。

2) IC タグ以外のシステムでは取得困難で質の高いデータに基づくきめ細かな分析及び予測モデル等の設定

IC タグ装着車の入出庫データの集計、解析等に基づき、電磁ロック、スマホ等の装置ではかなり困難な個別の自転車の利用状況を反映した質の高いデータの解析、相当確度の高い予測方法の可能性が明らかになった。また、料金の徴収とゲートの開閉の管理のための IC タグのデータのみでもよりきめ細かな分析による駐輪場の管理、さらに利用実態の解析にも利用できることが明らかになった。

(2)実証実験による RFID システムによる自動化の有用性と問題点

本件実証実験の事業の中心となっている IC タグの有効性については、次の通りである。

1) 確度の高い読み取りが可能

アンテナ(壁掛け、天井付け)、タグの種類、装着位置、アンテナと装着された IC タグの角度などにより、その通過の読み取りが異なること、一定の組み合わせにより、かなり確度の高い読み取りが可能となること(アンテナ天井設置、大型の IC タグを後部泥除けに貼付等)

2) GPS やスマホ等では取得できないデータ

自転車の IoT 化を進めるに際して、他の GPS やスマホ等では、必要な情報を安価でかつ一般性を持った形では取得しにくいという大きな課題を解決できる可能性が、IC タグにあること
自転車の IoT 化を進めるに際して、他の GPS やスマホ等では、必要な情報を安価でかつ一般性を持った形では取得しにくいという大きな課題を解決できる可能性が、IC タグにあること

アンテナ(壁掛け、天井付け)、タグの種類、装着位置、アンテナと装着された IC タグの角度などにより、その通過の読み取りが異なること、一定の組み合わせにより、かなり確度の高い読み取りが可能となること(アンテナ天井設置、大型の IC タグを後部泥除けに貼付等)

3) 多種類の IC タグの比較検討

今回実証実験に使用したタグも、そうした中で近年製品化されたタグを使用し実証実験を行った。併せて、従来の通常タグ(旧来の金属非対応タグ)も取り付けて実験を行った。

金属対応タグと従来のタグの読み取り精度を比較すると、金属対応タグと一般標準タグでは、読み取り率に大きな差があった。

金属対応タグは、一定の条件がそろえば、読み取り率は、通過回数に対し100%、RFID技術の一般的概念からみて好条件でない場合も60~80%台の読み取り率があったのに対し、一般タグは、読み取りやすくするために自転車の金属面とタグの間にウレタンを挟んだ加工を施した場合でも、読み取り条件の良い場合でも、最高70%程度読み取り率を記録した車両が、26台中2台で、そのほかは読み取り率おおむね20%以下であった。

4) 金属 IC タグが必須

RFIDタグが駐輪場システムのデバイスとして円滑に管理・運営を可能にするのは、金属対応タグが必須条件であり、駐輪場ほか自転車の分野での活用は金属対応の条件なしでは、非現実的であるであるという結論に達した。アンテナ位置や取付位置についても、一定の良好な条件をクリアした状況下でのRFIDタグが活用できる条件提示の分析・設計指針の基礎となるデータは得ることができたことも本実証実験の成果として挙げる事ができた。電波の反射等個別の状況に左右されるため断定的な結論を明記することで誤解誤認を生むことを避けるため、アンテナとタグの位置関係は、障害物なく迎えあうこと、特に電波を遮蔽する障害物である金属（自転車のフレーム）があると読取に大きな影響を与えることを十分に考慮し、距離（アンテナ-タグ間）によって電波の強度を調整し設置することが必要であるが、近接するゲートの場合、ゲート付近の通路を電波吸収帯などで囲むなどの電波漏れ対策を講ずる必要がある。

5) 利用者の誤認・誤動作の防止

システムの利用者の、誤認・誤使用を誘発すると思われる環境に対しては、ユニバーサルデザイン的思考で、誤認・誤使用回避を促すサイン等の設置をする対策も講じることが、ストレスなく利用できる環境提供に必要である。例えば、今回の実証実験においてタグの読み取り反応動作確認のために設置したパトライトの点灯を、利用者に一言だけ説明した程度であったが、タグに反応するパトライトをに興味を示しパトライトが点灯する位置を被験者自身が探し点灯させる位置を通過する行動をしたことや、階段踊り場付近には3つの条件でアンテナを設置したので、3色のパトライトの反応の色がなぜ違うのか疑問に思ったという感想を直接聞くことができたことは、システムの理解度が高いほど利用者はシステムに寄り添う利用方法を利用者自らが模索する行動をとることも判明したことは、システム導入時の説明・注意事項をわかりやすく説明することや、自然と誘導されるサイン表記がより円滑なシステム運用につながる事が再認識でき、自治体等の駐輪場設置者に施策展開・発展に寄与する提言の裏付けの成果となった。

6) ストレスのない利用が可能

今回の実証実験において一部の利用者は、タグに反応し動作確認のために読取時に点灯するパトライトを設置したが、パトライトが点灯する位置を被験者自身が探し点灯させる位置を通過する行動をしたと、ヒアリングで確認できたことができたことや、アンケート調査でも、パトライトの点灯を確認して通過したことを多くの参加者より回答を得ているので、通過ポイントへの誘導サインや、動作時の作動表示サインなど併用することでストレスのないシステム構築を目指すことが必要であると再認識できた。

7) 入出庫管理と利用状況の把握の両面を可能

管理者の不正確認や長期放置の確認として、後部の泥除けに貼り付けられた利用シールで契約更新等の利用状況を確認するという方式が標準化し根付いているが、今回の実証実験において

は、人的管理と機械的管理の融合の観点から、泥除けにつけた場合のタグの読み取りも実験した。結果として、泥除けに貼ったタグを、天井面や壁面上方から電波を送信することでタグを、確実に読み取れることが分かった。ゲートとアンテナとの距離を考慮した距離で、追い越し不可のレーンを設定することなどの条件がそろえば、両者に利便性の高いシステムを構築することが可能であることも判明した。

3. 今後の課題

社会課題の現状としては、①カーボンニュートラル社会の形成及び健康寿命延伸や生活習慣病予防、コロナ禍や災害時の移動、超高齢社会の移動手段等多方面の課題が山積していること、②これらの同時解決に有効な自転車活用は、その推進に必要な自転車の利用実態やニーズ等に関するデータの的確な把握方法が少なく、データ量も少ないこと、③このため自動車依存型の社会に対し自転車活用推進のデータに基づくエビデンスベーストポリシー実施が困難であること、④これに対応した量的及び質的に有効な自転車利用データの IC タグを活用した取得方を開発すること等が課題である。

このため、IC タグの有効性活用可能性がかなり高いことを示す過年度の実証実験を受けて、自転車に IC タグを装着することにより、自転車施策の様々な場面で自転車の走行や駐輪等の利用状況、ルール遵守の実態、盗難や放置での検索等に関し自転車施策上有用なデータを取得できること、これを活用してデータに基づく総合的な自転車施策の策定に寄与できる可能性があること、さらに、これを受けて、一定の自転車利用促進への誘導策、ルール遵守、安全、放置、盗難等の広報啓発等の総合的な自転車施策の推進を図ることができることを示す社会実験を実施することである。

これに際して、自転車による移動の回数、距離等を把握するデータの収集、安全利用に関するデータの把握、放置・盗難に際してのデータの把握、これらの分析に基づく施策等自転車の総合施策のための活用に関する課題として、次のようにものがあげられる。

(1)データの分析結果の駐輪施策への活用方策の課題

- ①駐輪場の需要に応じた的確な空間の供給として、駐輪場の容量を有効に活用するためには、本事業で明らかになった利用時間帯や曜日別、月別等の利用状況の分析に基づき、適正な量及び質の空間提供を行う。このため、遊休空間の管理の休止、特定区画を設けて特定利用者への指定番号での使用許可、シェアサイクルポートへの貸し出し等の可能性をデータで予測する
- ②駐輪場の利用ゾーンの利用状況等に応じた的確な供給として、駅に近いスペースは料金を高く設定し、その他は低く設定するなど利用ゾーンごとの料金を設定することにより、利用状況をデータにより把握して利用金の設定の有効性をみる、
- ③天候状況に応じた対応として、雨の日の一時利用の来場者は利用料金を割引きするなどの場合の有効性をデータにより測定、
- ④ロジスティック回帰分析の予測モデル・手法の課題については、次の通りである。

○実運用について

入れ替わりがそれなりにある駐輪場においては、1年ごとに再計算しなおしていくことが必要と考える。現在、IC タグの通過の有無を測定するゲートから直接データを抽出しているがネットワークにつながっていれば比較的再計算は容易であると考えられる。

ロジスティック回帰分析の結果から月ダミーが 5%水準で有意になっているものが少ないため、曜日（祝日を含む）と天候による変動を中心としたモデルとしたほうがよいかもしれない。

また、今回は 1 月のデータのみを利用したが、他の月においても同様の計算式でよいかは改めて検証が必要であろう。しかし、個々人のデータから全体を予測することの可能性を示唆できたことは大きな貢献であると考えられる。

○分析の精度を高めるために必要な事項

今回は曜日・天候・月のみを説明変数として扱ったが、分析の精度を高めるためにもう少し詳細な個人データと組み合わせることも検討したい。例えば、次に示すデータである。

- ・勤務先/通学先（目的地がわかれば、業種によって通勤する日に変化があったり、中学・高校・大学などによる違いで入庫日を説明できる可能性もある）
- ・車の所有の有無（所有していて送迎可能な家族がいれば、（特に）雨の日の入庫がされない可能性もある）
- ・自宅から最寄り駅に向かうバス停までの距離（車の所有と同様のロジック）

また、今回はロジスティック回帰分析を用いたが近年の予測手法も多様化しており、アルゴリズムに SVM(Support Vector Machine) やニューラルネットを用いることで予測精度を高められる可能性もある。

最後に、クラスター分析の結果をもとにして、入庫パターンが似ている利用者の人数や各クラスターの全体に占める割合などを入庫予測に用いることが考えられる。具体的には回帰係数をクラスターごとに求めることで、全体の予測の精度を高められる可能性がある。

(2) IC タグの自転車活用推進施策に必要なデータの取得や誘導策での活用に関する課題

IC タグの実証実験を通じて、課題として明らかになった点は次の通りである。

- ①今回の実証実験は、駐輪場内での駐輪場に来場する自転車での実験であり、システムの的確な推進を通じた適正な駐輪施策や自転車利用促進策の可能性の分析の課題として、IC タグのデータの多様な施設への来場や公道での読み取りの検証が課題である。
- ②これらを通じた IC タグを活用した駐輪場の IOT 化の推進に寄与する方策の在り方の検討等として、簡易安価な IC タグの普及とこの読み取りがアンテナの設置角度などにより、的確にできる可能性があることを示したが、実際に意味のある社会実験を実施して、現代社会への適用の可能性を検証するため、IC タグを活用して、自転車がまちの移動手段として利用状況に関するデータを得ることを実証する実証実験を行うことが課題である。
- ③特定の条件を与えることで活用が可能と思われる使用条件があったが、システム運用に活用する場合、利用者にストレスを与え、誤認・誤使用を招き、システム不具合と認識されるであろう事象を誘発すると思われるので、金属対応のタグを使用しなければ、RFID をデバイスとして活用は不可能であろう。今後、金属対応の精度の向上、普及による価格の安定化を期待するところである。
- ④システムの利用者の、誤認・誤使用を誘発すると思われる環境に対しては、ユニバーサルデザインの思考で、誤認・誤使用回避を促すサイン等の設置をする対策も講じることが、ストレスなく利用できる環境提供に必要である。また、システム導入時の説明・注意事項をわかりやすく説明することや、自然と誘導されるサイン表記がより円滑なシステム運用につながることを再認識してもらうことが課題である。

(3)IC タグに関する総合的な課題

これらの成果は一つの駐輪場内での入出庫に際して IC タグにより料金徴収とゲート開閉のためのデータの分析であり、また、データの管理保存に課題があり、実際に自転車施策に活用する検証が必要であること、また、駐輪場内での実証実験であり、これらが複数の駐輪場の相互の利用や自転車利用促進やルール遵守、盗難対策、放置対策等の総合的な自転車施策で実際に活用できるかについての検証が課題である。

4. 今後の展望～新たな利用・活用方法について

自転車の RFID による個体識別認証は、一定の設置条件を満たせば駐輪場の入退場の管理に活用することが可能であることが分かった。

また、自転車活用推進法にある健康増進や、脱炭素社会、SDGs に向けた社会の方向性に添った自転車施策に自転車利用を裏付けるデバイスとして活用することができ、従来のポイントカードやスマホ機能では難しかった自転車利用であることの確定ができることで、新たな展開と可能性を秘めたポテンシャルが RFID 技術にあることが分かった。

自転車利用の状況をデータで把握すること、これにより、従来把握ができていなかった自転車の一般的な交通量等の量的なデータのみならず、個人の属性を伴った個別の利用状況の積み上げによる質的に高い自転車の利用状況の把握(個人情報保護は当然厳密に管理することが前提である)ができるとともに、利用促進のための誘導策の実施(利用に際してポイント付与等)が可能となる。さらに、自転車の通行経路の把握、ルール遵守の状況、放置や盗難に際してのデータ検索など総合的な自転車施策に必要なデータに基づく的確な施策展開等の可能性がある。これに加えて、例えば、自転車(レンタサイクルを含む)の利用と商店利用の消費活動との連携や観光事業と自転車の連携することなど他の政策との連携や異業種との融合可能な展望を提唱できる。具体的には、例えば、

- i) 健康増進行動促進につながる自転車利用と商業施設利用でポイント付与
- ii) 企業の健康経営に大きな効果のある身体活動を継続して実施できる自転車通勤でのポイント付与
- iii) 魅力的な観光資源や集客施設への移動手段として、パーク・アンド・サイクルライド等への誘導のためのポイント付与(例:パーク・アンド・サイクルライドの利用者に地域振興券等のサービスの付与による地域経済振興策、観光地のレンタサイクル利用による独自の RFID スタンプラリー企画、RFID スタンプラリー地点で、映像または音声メッセージで観光資源の紹介、観光資源の魅力を発信することで観光資源の理解を深めることのできる仕掛けづくり&リピーター(ファン)づくり。パーク・アンド・サイクルライドの導入で近隣の渋滞解消など環境改善等環境改善により観光資源を、魅力的に賑わう街づくりに施策)

これらの自転車の総合的な施策を有効なものとするためには、今年度のような駐輪場内での実証実験の枠組みを超えて、IC タグを活用して様々な側面でのまちのフィールドでこの IC タグが自転車施策として活用可能かに関する社会実験が必要である。