パッシブ RFID を用いた入退場管理システムの開発

大成建設(株)　正会員　　○池田　一樹
大成建設(株)　正会員　　石井　喬之
大成建設(株)　　トウ ター ナイ
大成建設(株)　正会員　　片山　三郎

１．目的

入退場管理を要求される現場では，入退場時に氏名・時刻等を記録する必要があり，記録のための待機行列による生産性低下，記録漏れや未退場者の確認等を含めた運用が負担となっている．本技術の導入対象となった現場では，土木，建築，他業種を合わせて約 120 名が入退場しており，最大 15 分の待機時間が発生している．また，最盛期には最大 500 名の入退場が想定されており，待機時間縮減が生産性向上の重要因子となっている．

従来の IC（Integrated Circuit）カードや顔認証による管理システムでは，作業中に IC カードを紛失するリスク [1]や，フォーマットに合った顔画像の事前登録に時間を要するなどの課題 [2]があった．特に，多くの入退場者がいる現場，頻繁に入場者が入れ替わる現場では，IC カード発行や顔画像登録などの事前準備の負担が大きくなっている．また，入退場者全員を管理対象とする現場では，ゼネコン職員，異業種の技術者などを含む，CCUS[3]（Construction Carrer Up System: 建設キャリアアップシステム）の非対象者の管理も求められ，CCUS の入退場システムでは不十分である．

そこで，筆者らは，安価かつ簡潔な認証方法としてパッシブ RFID（Radio Frequency IDentification）[4]に着目し，作業中の紛失リスクの少ないヘルメットにパッシブ RFID タグ（以下，タグ）を貼り付け，タグの ID（IDentification）と検知時刻とを管理する入退場管理システムを構築した．

本稿では現場でパッシブ RFID を利用する場合の課題を整理し，その対策ならびに開発した本システム有効性について報告する．

２．パッシブ RFID の特徴と課題

(1) 基本構成と特徴

パッシブ RFID の基本構成を**図-1** に示す．パッシブ RFID では，読み取り装置の本体となる RFID リーダ，電磁波を送受信するアンテナ，両者を接続する同軸ケーブル，および，タグから構成される．

タグは，アンテナから放射される電磁波の電力を用いて稼動し，ID データを重畳した無線信号をアンテナに送信する．アンテナは，タグとの送受信を兼ねており，タグからの ID データを受信し，同軸ケーブルを介して RFID リーダに伝送する．これら一連の動作によって，RFID リーダは，通信範囲にあるタグの ID データを取得する．

特徴として，パッシブ RFID のタグはプリントパターンアンテナとチップが一体となったシール状で安価であり，電磁波の電力で稼働するため，電池不要で長期間運用できる利点がある．

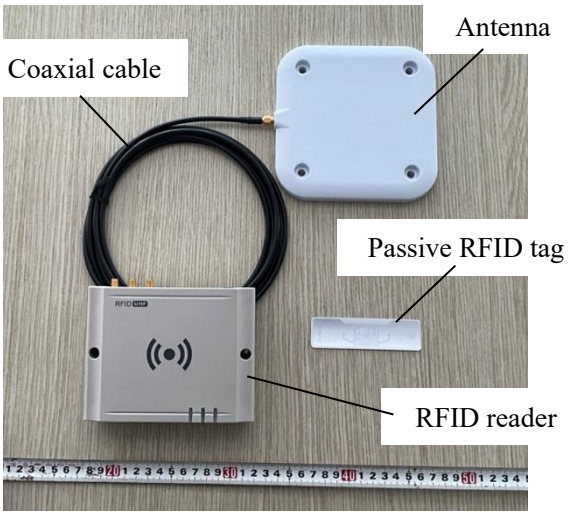


図-1 パッシブ RFID の基本構成

キーワード　RFID，入退場，ゲート，管理システム，T-iDigital Field
連絡先　〒245-0051　横浜市戸塚区名瀬町 344-1　大成建設 技術センター　TEL 045-814-7221

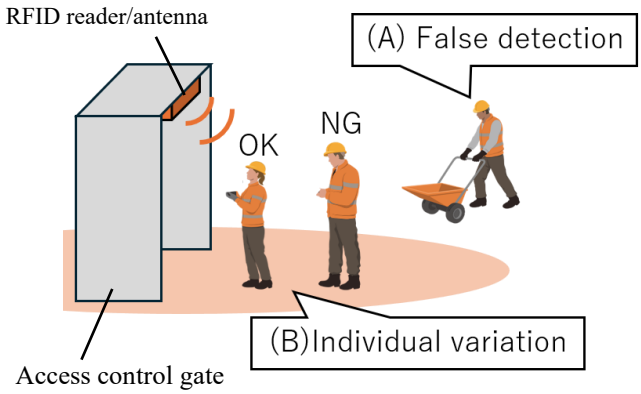


図-2 作業現場の入退場ゲートに パッシブ RFID を用いる場合の課題

(2) 運用上の課題

一方，パッシブ RFID は環境変化に敏感であり，周辺環境の影響で受信距離や範囲が変化し，未検知（取得すべき ID を検知できない事象）や，誤検知（対象ではない ID を誤って検知する事象）が発生しやすい欠点がある [5]．特に，周辺環境が日々変化する土木施工現場では電磁環境を定常化することが難しく，周辺環境に敏感なパッシブ RFID の使用には過酷な環境である．

実環境における予備試験の結果から，パッシブ RFID を入退場管理システムとして利用する際の運用課題を整理すると，以下 2 点に大別できる（**図-2**）．

(A) 誤検知：入退場ゲート外の職員を通過者として誤って検知し，誤った時刻を打刻してしまう．

(B) 個人差による未検知：身長や装備品（ヘルメットライトなど）によって検知できず，打刻漏れが発生する．

従来の RFID ゲートでは，タグの読み取り漏れを抑制するため，ゲート通過者の前面もしくは側面からタグを読み取る向きにアンテナを設置する方式が一般的である．この方式では，ゲート周辺の広範囲でタグを読み取ることができるが，ゲート外の作業者を誤検知する課題がある．また，誤検知を抑制するためにアンテナからの電磁波出力を低減すると，ゲート通過者の未検知が発生しやすくなり，誤検知と未検知とがトレードオフの関係になっている．

さらに，パッシブ RFID は，ゲート周辺の路面状態（乾燥，湿潤など）やゲート付近の駐車などの周辺環境の影響を受けやすく，電磁波出力を調整してもタグの読み取りエリアを安定させることが難しい．

（3）ゲート通過時間の開発目標

待機行列が発生する原因として，入退場記録（氏名，所属，入退場時刻など）に要する時間が長く，また，入退場者が多いことが挙げられる．

対象現場において，入退場実態を調査した結果，窓口 1 か所に，午前 7 時～午前 9 時の 2 時間で 125 名が入場しており，入退場記録には平均 34 秒を要している．この時，待機時間は平均 1 分 27 秒，最大 15 分であった．

この状態を，待ち行列理論における M/M/1 待ち行列 [6]を用いて最盛期における待機時間を推定する．待機時間を T_w，入退場記録の平均時間（平均サービス時間）を T_μ，平均到着間隔を T_λとすると，

$$T_w = \frac{{T_\mu}^2}{T_\lambda - T_\mu} \tag{2.1}$$

$$T_\lambda = \frac{T_g}{N} \tag{2.2}$$

となる．この時，T_λは，入場者数 N と入場時間 T_g (=2 時間）とする．

（2.1）式と（2.2）式より，入場者数が 200 名を超えると待機時間は平均 10 分を超え，最盛期の想定 500 名では最後尾の入場に 4 時間以上を要すると予測される．

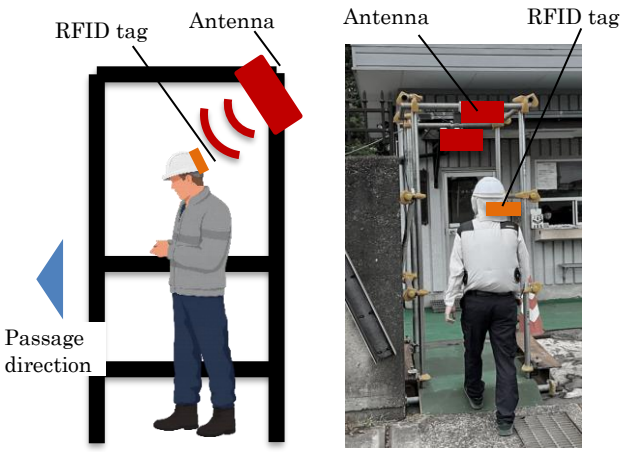
この式から，最盛期において 2 時間で 500 名の入退場に対応し，待機時間なし（T_w＜1 秒）を実現するには，入退場記録に使用できる時間 T_μは 3.3 秒以下となる．よって，RFID ゲートの開発目標は，ゲートを通過して入退場記録を完了するまでの平均ゲート通過時間を 3 秒以内とする．

3．RFID 入退場ゲート

(1) 背面読み取り方式

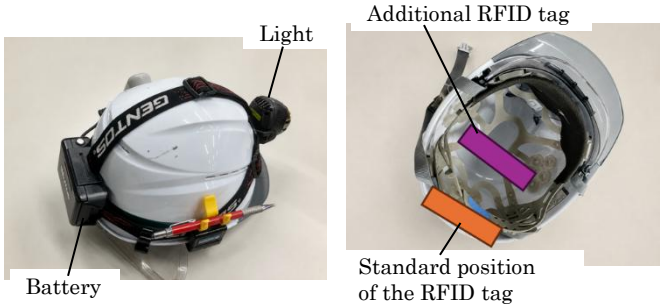
図-3 に，開発した RFID 入退場ゲートの構成を示す．本ゲートでは，パッシブ RFID の課題であるタグの誤検知と未検知のトレードオフの対策として，背面読み取り方式を提案する．本方式は，ゲート通過者のヘルメット後頭部にタグを貼付し，通過者の背面方向から読み取る点が特徴である．なお，本ゲートの RFID リーダには，免許登録が不要な特定小電力無線局のパッシブ RFID（920MHz 帯）を用いている．

背面読み取り方式では，ゲート通過直前まで通過者の頭部が電磁波を遮蔽するように機能し，ヘルメ



(a) 背面読み取り方式　(b) 実際のゲート構造

図-3 RFID 入退場ゲートの構成



(a) 装備品の一例　(b) タグ貼付位置

図-4 ヘルメット装備品への対策例

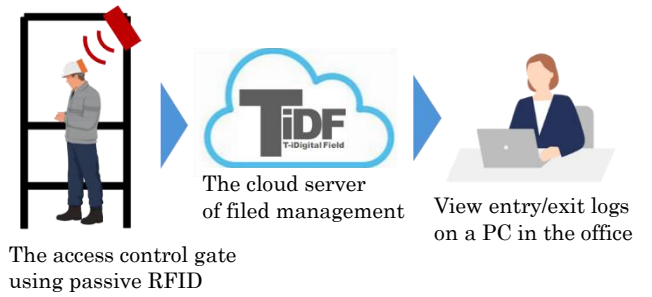


図-5 入退場管理システムの構成

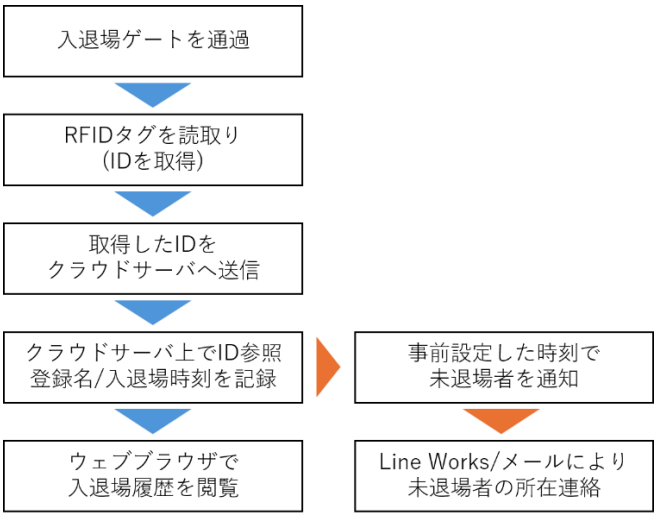


図-6 入退場管理システムの処理フロー

ット後頭部のタグの誤検知を抑制する．また，ゲート通過時は，ヘルメット後頭部のタグとアンテナは見通し状態となり，アンテナからの電磁波出力を低減した状態でタグを読み取ることができる．

(2) タグ貼付・個人差への対応

作業員のヘルメットには，作業に応じてヘルメットライト等を装備することがあり，これがタグの電磁波を遮断し，未検知の原因となる．装備品の装着率は，対象現場では約 2 割であった．

図-4 に，対策方法の一例を示す．本例では，ヘルメット後頭部にライト用バッテリ，前面にライト，側面にペンとビーコンが装備されており，タグの未検知原因となる可能性が高い．そこで，装備品に合わせてヘルメット内側頭頂部の検知可能な位置にタグを追加し，複数のタグを貼付することで未検知を抑制する．ただし，過剰なタグ貼付は誤検知の原因となるため，タグの追加は必要最小限に抑えている．

また，個人差に起因する未検知は，発生頻度が低く，再現性が乏しいため，原因の特定が困難であり，タグの追加による対策のみでは十分な改善効果が得られなかった．そこで，タグの読み取り成功を通知するライトおよびブザーを設置し，ゲート通過者に読み取り結果を即時にフィードバックすることで，通過姿勢や通過経路の調整を促した．

4．入退場管理システム

(1) システム構成

RFID ゲートを含む入退場システムの構成を**図-5** に，その処理フローを**図-6** に示す．

本システムでは，タグを装着した通過者が，前述の入退場ゲートを通過する際，自動的にタグを読み取り，読み取り時刻と ID データから入退場履歴を登録・管理する．

タグには，個人を特定する ID データが記録されており，ゲート通過時に読み取った ID データをクラウドサーバに送信する．サーバでは，事前に登録された ID データと表示名（所属や氏名等）のデータベースを参照し，送信された ID データ，表示名，ゲート通過時刻を入退場時刻として記録する．なお，ゲートを複数回通過した場合，入場時刻は当日最初の時

刻が記録され，退場時刻は当日最後（最新）の時刻が更新されて記録される．

また，クラウドサーバには大成建設の現場管理システム T-iDigital Field を用いており，本開発の入退場管理システムを共通プラットフォーム上に構築することで，一貫したユーザインタフェースによる直感的な操作性を実現するとともに，システム運用の費用と管理労力を軽減している．

(2) 未退場者の通知

本システムの導入現場では，閉門時刻において全員の退場時刻の打刻が求められている．従来は，守衛所で未退場者を確認した後，作業所から職員・職長に未退場者の所在確認を 1 件ずつ連絡する必要があり，作業所の負担が大きかった．

本システムでは，現場内の連絡手段となっている Line Works[7]およびメールを活用し，事前設定した時刻に未退場者を自動通知する機能を実装した．本機能により，未退場者に直接通知することが可能となり，守衛所と作業所の省力化に貢献している．

5．試験運用における評価

(1) 評価方法

入退場管理システムの定量評価のため，RFID 入退場ゲートに定点カメラを設置し，取得した録画映像を真値として用いた．録画映像と入退場システムの結果とを比較することで，誤検知数 N_{FP}，未検知数 N_{FN}，および総通過数 N_{all} を集計した．

異なるサンプル数と比較するため，誤検知率（FPR: False Positive Rate），未検知率（FNR: False Negative Rate），打刻成功率（SR: Success Rate）は，

$$FPR = \frac{N_{FP}}{N_{all}} \tag{5.1}$$

$$FNR = \frac{N_{FN}}{N_{all}} \tag{5.2}$$

$$SR = 1 - \frac{N_{FN} + N_{FN}}{N_{all}} \tag{5.3}$$

で与えられる．

また，平均ゲート通過時間（MTT: Mean Transit Time）は，録画映像から各回のゲート通過時間 T_i を計測し，

$$MTT = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} T_i \tag{5.4}$$

で，算出した．

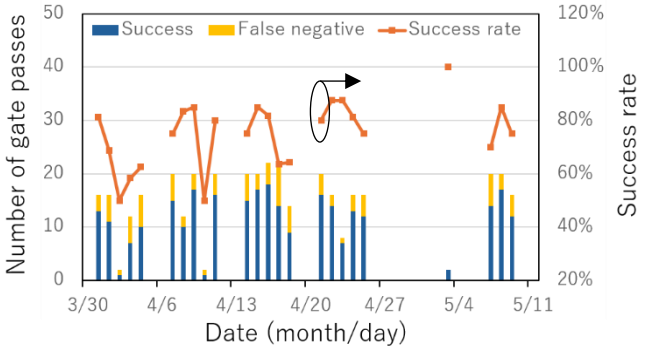


図-7 正面読み取り方式の評価結果

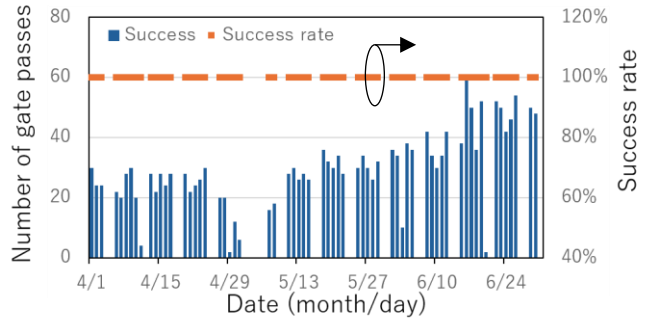


図-8 背面読み取り方式の評価結果

評価期間は 2026 年 4 月 1 日～2026 年 6 月 30 日の 3 カ月間，稼働日数は 64 日，総通過数は 1922 回である．対象者は，大成建設および JV の職員（4 月～6 月），協力会社の職長および作業員（6 月以降）が参加している．

(2) 打刻成功率の評価結果

本システムの開発初期（2025 年）に取得した結果を**図-7** に示す．この条件は，ヘルメット前面にタグを貼付し，ゲート通過の正面方向からタグを読み取る方式（正面読み取り方式）である．この間，総通過数 384 回に対して未検知が 91 回（未検知率：23.7%）であり，未検知が連日発生していた．誤検知は確認されなかったが，打刻成功率は平均 76.3%であり，入退場ゲートとして十分な性能を得られなかった．

次に，背面読み取り方式の評価結果を**図-8** に示す．稼働日には平均 30 回のゲート通過があり，6 月以降に対象者を拡大したため回数が増加傾向にある．この間，1922 回の通過において誤検知および未検知は観測されず，打刻成功率は 100%であった．打刻成功率の改善要因として，背面読み取り方式の他，装備品に応じたタグの複数貼付，ゲート通過者へのタグ読み取り成功通知ライトによる未検知対策が有効であると考える．

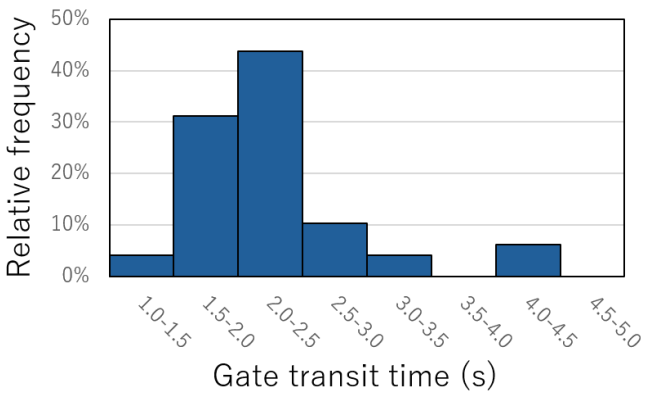


図-9 ゲート通過時間のヒストグラム

(3) 平均ゲート通過時間の評価結果

入退場時のゲート通過時間の測定結果をもとに，横軸がビン幅 0.5 秒，縦軸が相対頻度のヒストグラムを**図-9** に示す．ゲート通過時間は 1.5～2.5 秒の範囲に最も多く分布しており，平均ゲート通過時間は 2.3 秒であった．これは，開発目標である平均ゲート通過時間 3 秒以内を満足している．

また，最長 4.5 秒を要したケースでは，映像から入退場ゲートに不慣れな様子が見られた．このことから，円滑な入退場ゲートの運用には，ゲートに不慣れな新規入場者への指導が必要であることが示された．

以上の結果から，開発したパッシブ RFID を用いた入退場管理システムは，誤検知および未検知のない打刻成功率 100%, 開発目標である平均ゲート通過時間 3 秒以内を達成し，最盛期 500 人の運用において待機時間のない入退場管理の見通しを得た．

６．まとめ

入退場管理を要求される現場を対象に，待機時間の縮減による生産性向上を実現するため，パッシブ RFID を用いた入退場管理システムを開発した．

土木施工現場におけるパッシブ RFID の運用課題を整理するとともに，解決方法として背面読み取り方式を提案し，誤検知と未検知のない打刻成功率 100%を達成した．

また，待ち行列理論から，最盛期 500 人において入退場管理の待機行列が発生しない条件を算出し，平均ゲート通過時間 3 秒以内を開発目標とした．開発した入退場管理システムを実測した結果，ゲート通過時間は平均 2.3 秒であり, 開発目標の達成を確認し，最盛期においても待機時間の短い入退場ゲート運用の見通しを得た．

また，提案した背面読み取り方式は，人体を電磁波の遮蔽体として利用することで，パッシブ RFID における誤検知と未検知のトレードオフを解消できることを実環境で示した．本知見は，土木施工現場に限らず， RFID ゲートシステムの設計指針として有用である．

７．参考文献

1) 藤原秀人,奥村誠司,松浦遼太：“二次元バーコードを利用した入退室管理システム”，三菱電機技報, vol.88, no.3, pp.205-208, 2014 年.
2) Mary F. Theofanos, Brian C. Stanton, Charles L. Sheppard, Ross J. Micheals, John M. Libert, Shahram Orandi: “Assessing Face Acquisition,” NIST Interagency/Internal Report, no.7540, 2008.
3) 一般財団法人建設業振興基金：“CCUS について”, <https://www.ccus.jp/p/about>, (2026/07/22).
4) 高橋応明：“RFID タグ用アンテナ技術,”電子情報通信学会・通信ソサイエティマガジン，No.7 冬号，pp.51-58，2008 年.
5) Daniel Arnitz, Ulrich Muehlmann, Klaus Witrisal: “Characterization and Modeling of UHF RFID Channels for Ranging and Localization,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.60, issue 5, pp.2491-2501, 2012.
6) 高橋 敬隆，山本 尚生，吉野 秀明，戸田 彰：“わかりやすい待ち行列システム -理論と実践-”, 第 2 章，電子情報通信学会，初版，2003 年.
7) LINE WORKS 株式会社：“LINE WORKS とは？”, <https://line-works.com/line-works/>, (2026/07/26).