

職員室における教員連絡システムの開発

長澤 孝樹^{*1}・米持 旭峯^{*1}

指導教員：渡邊 寿昭^{*2}

Email: Toshiaki_Watanabe@education.metro.tokyo.jp

*1: 東京都立多摩科学技術高等学校科学技術科 3 年

*2: 東京都立多摩科学技術高等学校

◎Key Words IoT, 教育支援, 教員, 呼び出し, 人感センサ, 在室検知

1. はじめに

学校教育現場において、生徒が教員と接触を試みる際の教員の所在と状況の不透明性は、生徒の待機時間を増大させ学習機会を奪うだけでなく、周囲の教員への確認業務という余剰コストを発生させている。既存の校内コミュニケーションツール等は、授業や面談といった流動的な教員の対応可能性をリアルタイムに共有・同期する手段としては十分に機能していない。

医療現場における外来患者の待ち時間可視化システム [1] [2] に代表されるように、動的なステータス共有は利用者のストレス緩和に有効である。しかし、呼び出し側（生徒）の緊急度と、被呼び出し側（教員）の受容可能性の双方を双方向かつ動的に提示するシステムは、教育現場の要件に特化した形で十分に確立されていない。

これに対し我々は、人感センサで職員室内の教員在籍状況を取得する教員連絡システム（T-Connect System：以下 TCS）を開発し、教員不在の判明に要する平均時間を 2 分 28 秒から約 1 分 10 秒に短縮した。しかし、人感センサ単独による在室判定の信頼性が不十分であり、呼び出し成功率は従来方式を下回った。

また、次なる実証実験にむけた基礎データを得るため、IoT デバイスに搭載した人感センサの検出特性を実験的に把握した。

本論文では、これら一連の実験から得られた知見を報告するとともに、近日中（2026 年 7 月中旬）に実装予定である、圧力センサを統合したマルチセンサ融合型アルゴリズムへの改定指針および次期評価実験の計画について記述する。

2. 既存システムの概要と設計

2.1 課題調査

2025 年、東京都立多摩科学技術高校の生徒および教員の協力者 (n=188) を対象として、教員呼び出しの現状に関する定量的なアンケート調査を実施した。

表 1 生徒へのアンケート n=188(人)

質問事項	はい(n)	いいえ(n)
教員を呼び出したことがあるか	98.4% (185)	1.6% (3)
呼び出したが会えなかった経験があるか	97.3% (183)	2.7% (5)
その状況で不便を感じたか	94.1% (177)	5.9% (11)

表 1 に示す通り、生徒の九割以上が教員を呼び出す際に不満を抱えていることがわかる。自由記述からは教員を探す時間や、職員室前の混雑などに対する不満が挙げられた。

教員側からは、「生徒の呼び出しの声が聞こえない」、「代わりに教員を探す業務が負担である」といった意見が寄せられたことから、確実かつ流動的な呼び出しを実現するシステムの必要性が裏付けられた。

2.2 システム設計

2.2.1 システム設計概要

TCS は、教員の「対応可能性」と生徒の「連絡緊急度」をリアルタイムで同期・可視化することを主目的とする。全体のデータフローおよび情報遷移を図 1 に示す。



図 1 TCS 全体設計

2.2.2 システム構成

TCS は生徒用端末 (Web アプリ)、教員用端末 (ESP32-WROOM-32E)、職員室モニタ、中央サーバ (Flask・REST API) の 4 要素で構成され、校内 Wi-Fi (WPA2-Enterprise) 上で連携する。生徒が連絡を送信すると、教員用端末とモニタに即時反映され、教員の在室状況は生徒用端末にフィードバックされる。

2.2.3 生徒用端末

生徒は教員一覧から対象を選択し、学籍番号と連絡理由を入力する。入力テキストは事前に決定したキーワードリストと照合され、優先度 (高・中・低) が自動判定される。送信後、対象教員の対応可能性が画面に表示される。

2.2.4 教員用端末

LED・ブザー・応答ボタン・トグルスイッチ・人感センサを搭載した IoT 端末であり、連絡の有無・優先度の確認と在室状態の検知を担う。在席推定のアルゴリズムについて、教員用端末 (ESP32) では、教員の主観入力 (トグルスイッチ) を正解ラベルの基準としつつ、センサによる客観判定を組み合わせた離散時間状態遷移モデルを実装した。

サンプリング間隔ごとにセンサのバイナリ出力を監視し、無反応継続時間が予め設定した閾値を超過した場合、教員がスイッチを切り替え忘れて離席したとみなし、システム上のステータスを「在室 (対応可)」から「不在 (対応不可)」へと段階的に自動下方修正するロジックを採用した。

2.2.5 職員室モニタ・通信設計

職員室内のモニタには、連絡対象の教員名・理由・優先度・時刻をリアルタイムで一覧表示し、優先度順に自動ソートされる。履歴は蓄積され、いつでも参照可能である。各端末間の通信は JSON 形式・REST API で統一し、校内 Wi-Fi を介して行う。

3. 実証実験

本研究では、提案システムの有効性を検証する「実運用実験」と、そこで露呈した課題を解決するための「人感センサ特性把握実験」の二段階の実験アプローチをとった。

3.1 実験目的

1. 実運用評価: 従来方式 (対面での直接訪問) と TCS 運用時における「呼び出し成功率」「不在判明までの時間」「対応完了までの時間」を定量的に比較し、システムの有効性と技術的課題を抽出する。
2. 人感センサの特性把握実験: 実運用実験におい

て発生した判定不一致の原因を解明するため、搭載された焦電型赤外線センサの物理的制約 (距離、動作特性、死角) を実験的に明らかにする。

3.2 実運用実験

本実験では、本校の生徒 5 名および教員 4 名を対象として評価を実施した。実験期間は 6 日間とし、前半 3 日間を従来方式、後半 3 日間を TCS による運用期間として比較を行った。

評価項目は、①呼び出し成功率、②失敗と判明するまでの時間 (s)、③対応完了までの時間 (s)、④アンケートによる主観評価、⑤センサによる在室検知精度の 5 項目とした。

呼び出し成功率は、生徒が教員と実際に接触できた場合を成功と定義し、各方式における成功割合を算出した。失敗と判明するまでの時間については、教員が不在または対応できないことが判明するまでの時間を計測した。

また、対応完了までの時間については、従来方式では職員室前で呼び出してから教員と接触するまでの時間、提案方式では呼び出し送信から教員が応答し接触するまでの時間を計測した。

時間の計測には Microsoft Forms のタイムスタンプ機能及びサーバーログを用いた。各実験参加者は呼び出しを行うたびに記録を行い、得られたデータを集計して平均時間や成功率を算出した。また、教員および生徒を対象にアンケート調査を実施し、呼び出し状況の把握しやすさ、優先度表示の有用性、対応のしやすさ、精神的負担の軽減度、システムの使いやすさなどについて評価を行った。

さらに、在室検知機能の評価として、教員の在席・離席状況を記録し、人感センサおよび距離センサによる判定結果と比較した。これにより、在室検知の正答率を算出するとともに、誤検知の発生要因を分析した。加えて、センサごとの検知特性や環境条件による影響についても確認し、実運用における課題を整理した。収集した各データについて平均値や割合を算出し、グラフを用いて比較・分析を行うことで、従来方式と提案システムの有効性および実用性を総合的に検証した。

3.3 人感センサの特性把握実験

実験では、人感センサの正面方向に被験者または物体を配置し、センサからの距離を段階的に変化させながら検知の可否を記録した。評価対象の動作は、「静止 (10 秒間)」、「手を動かす」、「ゆっくり手を動かす」、「横切る」、および「物体を動かす」の 5 条件とした。

各条件について複数の距離で実験を行い、センサが反応した場合を「検知あり」、反応しなかった場合を「検知なし」として記録した。また、検知の安定性や

反応時間についても観察し、システムへの適用可能性を評価した。

4. 実験結果

4.1 呼び出し成功率の評価

従来方式とTCS導入時における呼び出し成否の割合を図2に示す。

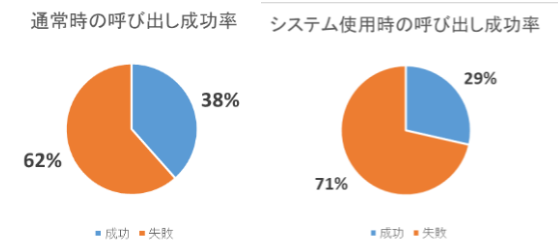


図2 従来式とシステム呼出時の呼出成功率

TCSの導入によって呼び出し成功率が9ポイント低下するという結果を示した。なお、実験期間中、ESP32エッジデバイスとFlaskサーバー間でネットワークの切断が一時的に発生した。

4.2 失敗と判明するまでの時間

教員が不在、または対応不可であると生徒側が認識（判明）するまでの時間分布を図3に示す。

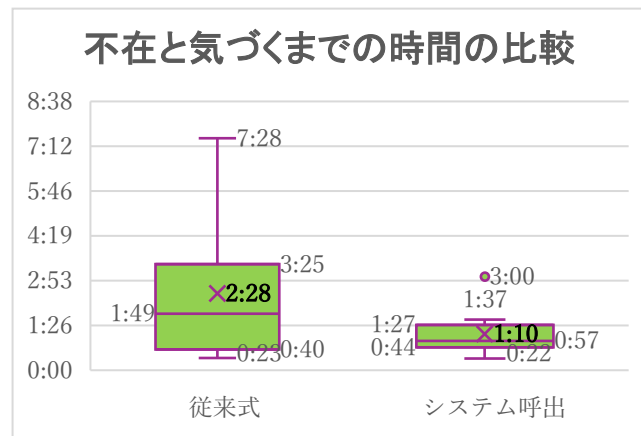


図3 不在・対応不可の判明に要する時間の箱ひげ図分布

成功率の低下とは対照的に、不在判定に要する時間の大幅な短縮が確認された。特に最大値が7分超から3分00秒へと短縮されており、無駄な待機時間の削減においてTCSは高い有効性を示した。

4.3 アンケート結果

アンケートでは、「教員の状況が分かりやすい」「無駄な移動が減った」などの肯定的な意見が得られた一方で、効果を十分に実感できなかったという意見もみられた。また、操作性や呼び出し方法そのものに関する改善を求める意見もあり、システムの運用方法や設計について再検討の必要性が示された。

4.4 人感センサ特性把握結果

表2のとおり、「手を動かす」条件では約1.5mまで安定して検知し、「ゆっくり手を動かす」条件では約0.9mまで検知可能であった。一方、「横切る」条件では最も高い検知性能を示し、約2.5mまで安定して検知できた。これに対し、「物体を動かす」条件および静止条件ではほとんど検知が見られなかった。

表2:各動作条件における動作条件

動作条件	安定検知距離 (m)	備考
静止 (10 秒)	0.0	検知なし
手を動かす	1.5	1.6～1.7m で不安定
ゆっくり手を動かす	0.9	動作速度低下で検知距離減少
横切る	2.5	最も高い検知性能
物体を動かす	0.0	検知なし

また、動作開始から検知までにわずかな遅延が観測されたが、教員の在室状況を推定する用途においては大きな問題とならないことを確認した。

5. 考察

5.1 TCS 実運用における有用性の検討

実験結果において、教員が不在または対応不可と判明する平均時間が短縮されたということから、本システムが教員不在時の待機時間や探索時間の削減に寄与したことが示された。これは、教員の在室状況や対応可能性が事前に可視化されることで、生徒が状況を把握した上で行動できるようになったためであると考えられる。また、従来は目的の教員が不在の場合、近くの教員が代わりに探索を行う必要があったが、本システムではその必要が減少するため、教員側の業務負担軽減にも寄与すると考えられる。

それに対し、呼び出しの成功率は本システムを従来方式が上回ったが、これは実験期間中に通信不良が発生したことが原因の一つであると考えた。

しかし、これらの結果について、実証実験に参加した被験者数が少なく、実施期間も短いことから、必ずしもこの結果があてはまるかどうかは確認できていない。

5.2 人感センサ特性把握に関する考察

焦電型赤外線センサは、人体から放射される遠赤外線の変化量（微分値）を検出する焦電効果に依存している。実験結果からも、本センサは静止状態では反応せず、移動を伴う場合に高い検知性能を示す特性が確

認された。特に横方向の移動に対しては約 2.5m の広 9 範囲まで安定して検知できるため、職員室内における教員の動的な活動を把握する上では有効である。

しかし、その物理的特性ゆえに、着席して動きが少ない状態では至近距離であっても検知出力はゼロとなる。実際の職員室において、教員が自席で PC 作業や書類採点に没頭し、静止している状態では、人感センサからは「不在」として認識されてしまうだろう。本システムでは無反応時間の累積によって自動的にステータスを不在へと下方修正する設計をとっていたため、教員が自席で執務を行っている最も連絡を取りやすいタイミングにおいて、システムが不在と誤判定を生み出す結果となった。これが呼び出し成功率を低下させた最大の要因であり、単一の人感センサを用いた在室推定の理論的限界であると結論付けられる。

以上より、人感センサは教員の活動状況を推定するための補助的な情報源としては妥当であるものの、確実な在席判定には不十分である。したがって、今後は人感センサのみの単一判定に依存せず、着席時の荷重を連続的かつ定量的に検知できる圧力センサなど、異なる検知方式を持つセンサを組み合わせたマルチセンサ融合型のアルゴリズムへと拡張する必要がある。

6. 課題・今後の展望

本研究によって明確になった主な課題は、単一の焦電型赤外線センサに依存した在室判定モデルの認知限界である。環境変化や教員の静止執務状態による誤判定は、生徒端末に誤った在室情報を提示することになり、呼び出し成功率の低下に直結する。この物理的制約を解決するためには、人感センサによる動的な変化の検知だけでなく、着席時の荷重を連続的かつ定量的に検知できる圧力センサなど、異なる検知方式を持つ複数のセンサを組み合わせたマルチセンサ融合型アルゴリズムの構築が不可欠である。

さらに、今回の実証実験は自校の限られた被験者数および短い実施期間内での運用に留まったため、データの統計的信頼性や汎用性の検証には至っていない。今後は実験環境を拡大し、広さや教員数が異なる多様な環境での試験運用を通じてシステムを洗練させていく必要がある。将来的には、蓄積された呼び出しデータや在室ログから教員の行動特性を解析し、職員室の混雑予測や教員配置の最適化といった学校運営全体を支援する基盤技術への応用を目指す。

7. 今後の活用方法

本研究で開発した教員呼び出しシステムは、教員と生徒間の呼び出しを効率化することを目的として構築したものであるが、その基本的な仕組みである「待ち時間の可視化」および「非対面による呼び出し通知」は、学校以外の場面にも応用可能であると考えられる。

特に、待ち時間が発生多く発生し、呼び出し者、被呼び出し者の双方が動的に情報共有を行う必要のある環境として、病院、公共施設、イベント会場などが挙げられるが、これらの場面では、利用者が順番を待つ際に呼び出しの不確実性や混雑が問題となることが多い。本システムを応用することで、利用者は呼び出し状況や対応可能性を事前に把握でき、無駄な待機や探索行動を減らすことが可能となる。

さらに、本システムはソフトウェアとハードウェアを組み合わせた IoT システムとして構成されているため、環境に応じて表示内容や通知方法を柔軟に変更できる。例えば、整理番号の表示、優先度に基づく呼び出し順制御、履歴データの蓄積などを行うことで、待ち時間の分析や業務改善への応用も期待できる。

また、複数環境で実証実験を行うことで、本システムの汎用性および実用性をより明確にできると考えられる。以上より、本研究で提案した呼び出しシステムは、教育現場にとどまらず、待ち時間が発生する様々な場面へ適用可能な基盤技術として発展する可能性を有している。

参考文献

- [1] 大前浩司, 小林春香, 内村祐之, 脇嘉代, 新秀直, 田中勝弥, 藤田英雄, 大江和彦 (2014) 「携帯情報端末を用いた外来患者案内システムの開発と実証」, 医療情報学, 34 (2), pp. 55-64.
- [2] 厚生労働省 (2009) 「病院における IT 導入に関する評価について」.