

令和3年
次世代燃料供給体制確立に向けた技術開発事業
AIによる自動給油許可システム構築事業
(概要版)

2022年2月

コスモ石油マーケティング株式会社

目次

第1章 序論

第2章 事業の概要

- 2-1 実証事業の目的
- 2-2 実証環境
- 2-3 事業実施体制

第3章 実証方法について

- 3-1 システム構成
- 3-2 各種機能の役割説明
- 3-3 判定ロジックについて
- 3-4 各検証内容と方法論について
- 3-5 AI 判定における注意点:2種類の間違いとトレードオフ

第4章 各検証項目の報告

- 4-1 AI判定精度向上について
 - 4-1-1カバー率の比較(AI が解析可能と思われるセッションの割合)
 - 4-1-2全体の精度比較
 - 4-1-3実用化を想定した評価軸
- 4-2 機器構成の最適化
- 4-3 SSC/可搬式SSC連携システムの開発と有用性の検証

第5章 まとめ

第1章 序論

2050年カーボンニュートラルに向けた各分野での電化・脱炭素化が進む中、ガソリン需要はすでにピークアウトしておりSS業界は急速なガソリン需要減少の真ただ中にある。SS数は最盛期の6万件から減少の一端をたどり、2021年2月時点で約2万9千件となった。このような厳しい環境の中、各社経営効率化・多業態化を図り、経営の改善と人材の高度化に取り組んでいる。一方でスタッフの確保は都心・郊外問わず依然として不安定な状況にある。有効求人倍率は2014年に1.1倍を超えて以降、上昇を続け、2018年度には1.6倍というバブル期をも超える数字となった。人材の高度化が急務となっている中、反対にスタッフ確保の難しさ、後継者不足等の問題からSSの閉鎖、サービスの縮小が多数発生している状況にある。

このようなSS業界の問題に対し、2018年度より人員効率化・少人化のオペレーションを可能とするべく、AIによる自動給油許可システムの開発を行ってきた。2019年度実証では多様な車種・灯油への対応の実証を実施、2020年度実証では顧客への行動制限方法の検討とAIの判定結果をスタッフに伝えるシステムの開発を実施した。今年度の実証ではより効率的なシステムとすべくAI判定精度の向上と機器構成の最適化を行ったものである。また、省令改正によりタブレット（可搬式SSC）による給油許可が解禁されたことを受け、AI自動給油許可システムとタブレット（※可搬式セルフサービスコンソールのこと。以下、可搬式SSCと記載する。）の連携開発を行いその有用性を検証した。

第2章 事業の概要

2-1 実証事業の目的

本検証にあたっては、2018年度から取り組んできたAI自動給油許可システムについて以下の3点を目的とした。

①AI判定精度の向上

2020年度までに開発してきたシステムではAIの判定精度が約8割となっていた。

給油すべき顧客行動に対し給油許可ができていないことはスタッフの業務効率化に繋がらないため、より判定精度を向上すべく、アルゴリズムや判定ロジックの変更を検討・実施し、その影響を検証する。

②機器構成の最適化

過去の実証実験時の機器構成は主にデータによる検証に主眼が置かれていたこともあり、本年度以降はさらに解析処理量やリアルタイムに判定する処理スピードの改善が必要と想定された。また、より高性能で安価な機器（GPU、サーモカメラ等）が市場に出始めているため、それらを活用したシンプルな構成での運用の実現性を検証する。

③SSC/可搬式SSC連携

省令改正により給油所での可搬式SSCでの給油許可が解禁されたことを受け、AI自動給油許可システムをSSC及び可搬式SSCに連携する機能を開発し検証する。

2-2 実証環境

● 場所

セルフピュア東十条（東京都北区）

○ 昨年度同様に多様な自動車やバイクが多い事が想定され、短期間で多くのデータが取得しやすく、カメラなど過去の資産も活用し効率よく実現できるため。

○ 敷地面積が狭く、変則的な計量機配置となっていることから、車両の侵入経路が複雑で車両が計量機に対し斜めになることが多く、他のSS店舗に比べると比較的AI判定が困難な場所である。

※反対に2019年度実証で寒冷地検証のために選定したセルフステーション大曲は敷地が広く、綺麗なゲート型のSSであるため車両停止位置や停止方向が一定であるためAI判定がしやすいSSである。

● 設備状況

各種機器の台数は以下の通り。なお、原則カメラ位置、角度は過去の実証実験から変更無し。

○ IPカメラ : 7台（給油レーン5台、灯油レーン2台）

○ サーモカメラ : 7台（給油レーン5台、灯油レーン2台）

○ GPU : 1台（AI解析サーバー）

● スケジュール

○ 学習期間 : 2021/10/20 - 2022/1/14（合計画像点数：36,508点）

○ データ分析対象期間 : 2022/1/14 - 2022/1/20

○ AI判定システム現場実証 : 2022/1/13

● 検証データ数

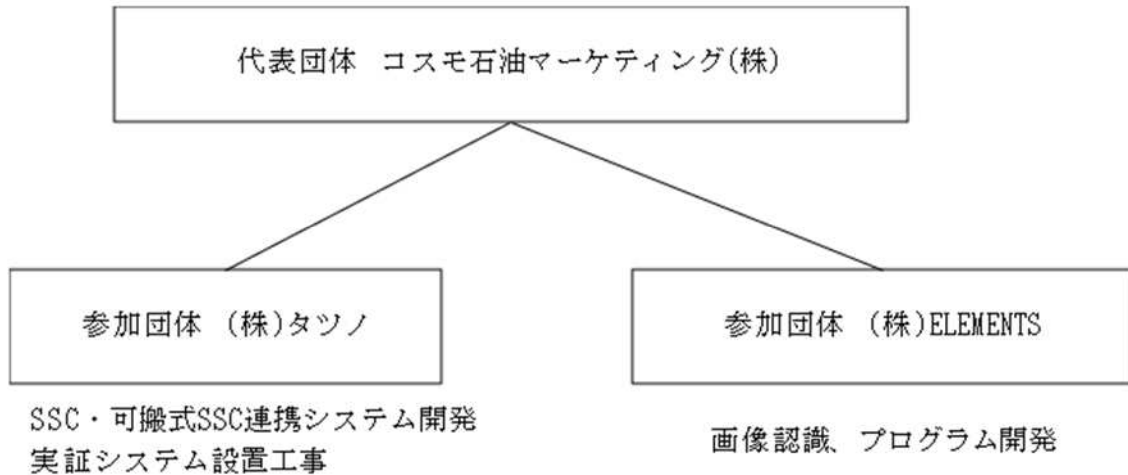
本実証実験で利用したセッション数および画像枚数は以下の通り。

○ 検証で利用したセッション数 : 2,017 件

○ 解析をした画像枚数 : 136,139 枚

*セッション数とはノズルが外れてからノズルが戻される間の一連の給油行動を意味する。

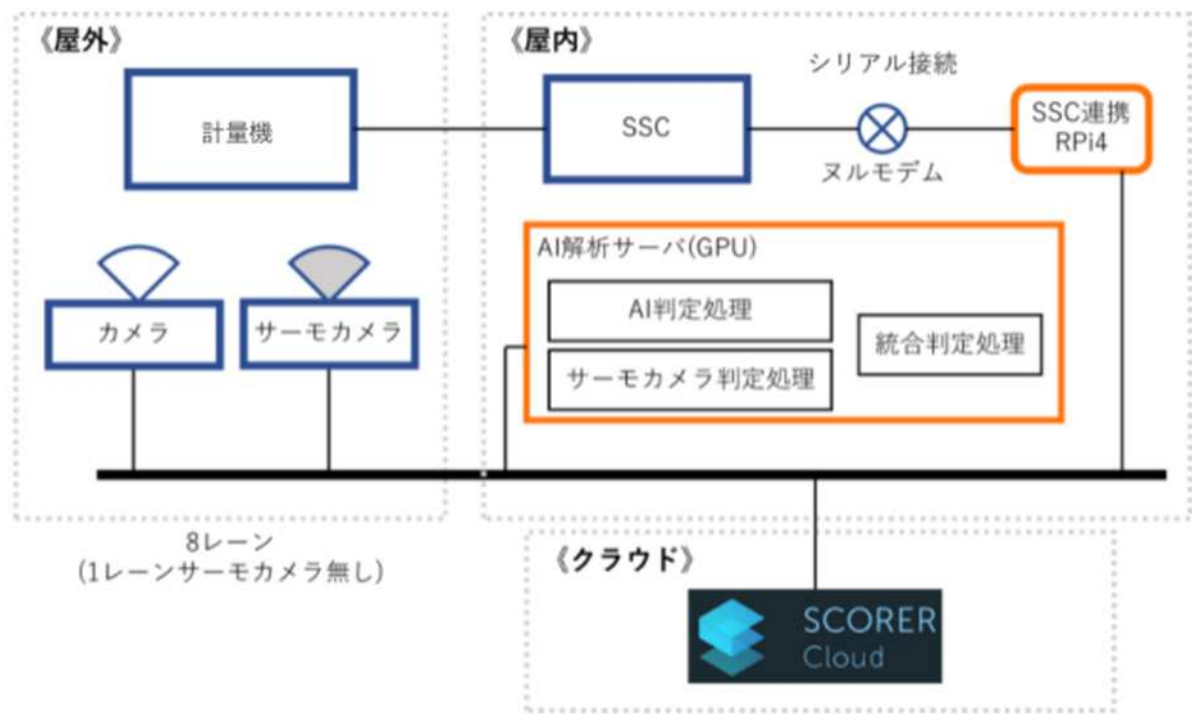
2-3 事業実施体制



第3章 実証方法について

3-1 システム構成

基本的な構造は過去の実証実験と同じだが、既存の機器を最大限活用すると同時にアップグレードされた機器も活用する事により以前に比べシンプルな構成を実現した。



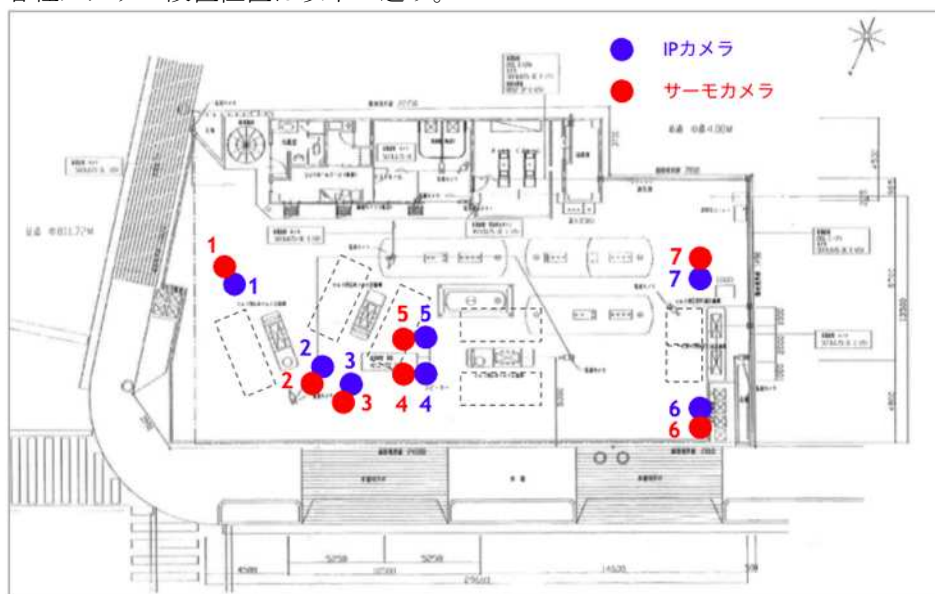
3-2 各種機能の役割説明

上記システム構成図の各種機能についての説明は以下の通り。

- SSC (セルフサービスコンソール)

- 計量機との通信、およびAI解析サーバーとVPN通信を行うPC端末とのシリアル通信部分は、過去開発したものを活用し、AI解析サーバーが判断した正常、または異常な状態を卓上SSC表示画面上に表現し、確認できるよう改良した。
- AI解析サーバーが異常動作を検出した場合、その詳細な内容を卓上SSC画面で確認できる。
- 可搬式SSC上の画面でも卓上SSC画面同様のAIサーバー解析結果を表示し確認できる。

- 実証実験のため、卓上SSC、および可搬式SSCはAI解析サーバーの判定結果の表示のみ行い、実際の給油許可やポンプロックは従来通りスタッフによる卓上SSC操作のみ受け付けるものとした。
- IP カメラ/サーモカメラ
 - IP カメラ、サーモカメラは各レーンに設置。設置位置について、IP カメラは過去の実証実験で複数の設置位置をテストした際に、一番精度の高かった位置を採用し、サーモカメラも同様の理由でのカメラと同じ位置とした。
 - サーモカメラは、マーケットの成長に応じて安価で高度化された機器が市場に出てき始めたため、過去の実証実験に比べ高度化されたものを新たに採用。IPカメラとのデュアルカメラ構造のため将来的にIPカメラとサーモカメラを一体化した構成にできる可能性がある。前回までの実証で使用していたサーモカメラはキャノピーから約1m下げた位置に吊るさなくてはならず加工が必要だったが、カメラの高度化によりキャノピー天井に設置できるようになったことから安定性が向上した。
 - 各種カメラの設置位置は以下の通り。



- SCORER 端末
 - SSC連携RPi4
 - SSCとAI解析サーバー（GPU）のやりとりを中継するPC端末
 - AI解析サーバー（GPU）
 - 全てのIPカメラ及びサーモカメラからの映像を取得しAI解析を行うPC端末
 - SCORER Cloud
 - 全てのIPカメラの給油画像の保存先として、またSSとの通信とAI解析結果のログの保存先として構築。
- AI 解析サーバー
 - 計量機制御機構であるSSCからの計量機ステータス情報、およびキャノピー・天井に設置されたIPカメラより取得された画像情報、サーモカメラからの温度検出情報を用いて、給油の可否を自動判定するエンジン。
 - 2018年度～2020年度実証で使用したアルゴリズムであるOpenPose及びYOLOから、処理速度など総合的に精度向上が見込めると判断し、tiwaki社が提供するFurinkazan Headという独自の人物頭部を検出するアルゴリズムに変更、新たにSSのAI給油許可判定用に人物や車両など様々な学習を行い、カスタマイズを実施した。
 - 以前に比べて処理量が増加したことと画像の処理スピードの改善が必要なため、以前より高性能なGPUを採用した。

3-3 判定ロジックについて

AI給油許可判定では、AIの画像解析に加えSSの運用に沿った判定ロジックを加える必要がある。判定ロジックとはAIにより解析した画像群をSSでの実運用に合わせてAIが判定するためのロジックで、以下のようなポイントに考慮して総合的にAIによる給油許可判定が行われるように組まれている。

- 給油開始時、給油中に関わらず、セッション中にポリタンク/携行缶を検知した場合は優先してSSスタッフへの警告または自動給油停止を可能とする。（灯油レーンの場合は除く）
- 給油開始時、給油中に関わらず、セッション中に指定のエリアで火気を検知した場合は優先してSSスタッフへの警告または自動給油停止を可能とする。
- セッション開始時、車両（灯油レーンの場合はポリタンク）やノズルを検知し正常行動の場合はSSスタッフへの許可案内または自動給油許可を可能とし、ノズルを外してから給油口に挿すまでの一定時間を不正行動と判定しないようにする。
- 給油中、一定時間正常行動が認められない場合はその内容に応じてSSスタッフへの案内または自動給油停止を可能とする。
- 給油中、画像解析のゆらぎや一瞬のノズル隠れなどによる不必要な警告や自動給油停止が起きないようにする。
- 給油終了時、給油口からノズルを外し、計量機にノズルを戻す間の一定時間を不正行動と判定しないようにする。

3-4 各検証内容と方法論について

- 本実証実験の検証内容について

将来的にAIによる給油許可判定が実用化される際は、AI自動給油許可システムによるSSスタッフへの支援によって実際の運用が効率的で且つ現実的なものになっている必要がある。これを念頭に置いて、本実証実験では以下の点について検証を行なった。

 - AIの給油許可判定の精度向上
 - 過去の実証実験に比べ精度が向上されているかを検証する。
 - サーモカメラの実用性
 - 温度の高いものを全て検知してしまうなど課題の多いサーモカメラでの火気検知において、過去の実証実験より高性能な機器への変更や追加画像処理によってサーモカメラがどこまで有用性があるかを検証する。
 - SSC/可搬式SSCによる運用の実現性
 - AIの給油許可判定をSSC/可搬式SSCに表示するように設計した。これは、AIによる給油許可判断が判定不可となった際に、給油所施設内及びフィールドにいるSSスタッフに速やかにTOR (takeover request) できるようSSC/可搬式SSCに表示できるようにするためである。このAI給油許可判定をSSC/可搬式SSCに表示するという運用について、SSC/可搬式SSCに表示されるメッセージやシステムの挙動を含めて検証する。
- 各検証の方法論について
 - AIの給油許可判定の精度向上
 - 本実証実験では、精度向上を見込んで過去の実証実験からの改善点を元にしてAIの画像解析アルゴリズム及びAI判定ロジックを変更した。
 - 2019年度セルフピュア東十条で実証実験を行った際に算出した数値と比較し、新システムの精度の変化を検証する。（2019年度と2020年度については同一のアルゴリズム・判定ロジックを使用しているが、2020年度の実証実験は顧客への告知による行動変化についての実証だったため、今回の精度比較の対象には2019年度実証結果を採用した。）
 - 給油OKセッションに対するAIの正答率は、給油量データをSSCから受け取ることで正解情報を取得しAIの判定と突合せ算出する。給油NGセッションに対するAIの正答率は給油を停止した場合はデータが取得できるが、単純にスタッフが許可しない場合はデータ上では変化がないため、突合することができない。よって過去の実証実験同様にSSスタッフにNG（許可をしない）と判断した際のメモを都度記録してもらい、記録された内容とAIの判定を突合し算出した。
 - サーモカメラ改善による変化と有用性
 - サーモカメラでは指定した給油エリア内の高温度の検出を行い、タバコやライターの火気を想定し予め設定した閾値を超えた場合に火気検知とする仕組みを採用している。過去の実証実験では想定していない火気検知が散見されたため、本実証実験ではこれを極力減らすための処理を加えている。

- 本実証実験では、処理を加えた上でいわゆる誤検知の出現率を算出し実用化に適しているかを評価する。（ここでいう誤検知とは、高温度になった自動二輪のタンクやマフラーを検知してしまう事を指している）
- SSC/可搬式SSCによる運用の実現性
 - 本実証実験では、AI給油許可システムが実用化された場合にSSスタッフと連動された運用が想定されるため、AI給油判定をSSCのモニターと可搬式SSCに表示させる仕組みを構築した。給油許可業務以外の業務をしながらスムーズに給油許可業務も行う運用をイメージしている。
 - セルフピュア東十条にてこの仕組みを稼働させ、通常の営業時間を利用し実際の顧客の給油行動を見ながら運用の実現性の検証を現場で行なった。

3-5 AI判定における注意点：2種類の間違いとトレードオフ

AIの判定において以下の重要な点を留意しておく必要がある。（過去の実証実験の際にも記述したが重要な為再掲する）

- 給油OK・NG 判断には下表のとおり 2種類の間違いが存在する。一つは OK(陰性)を NG(陽性)と判断してしまう間違いであり、もう一つは NG(陽性)を OK(陰性)と判断する間違いである。一般的に、後者の方が重大な間違いである事が多く(例:がん患者を陰性と判断してしまう事は、健常者をがん陽性とするより重大な間違いである)、今回もこれに漏れない。

AI (縦) \ 真実 (横)	給油OK	給油NG
給油OK	正解	重大な間違い
給油NG	間違い	正解

給油OK・NG判断における2種類の間違い

- NGの正答率を高くする事は常にOKのものをNGとしてしまう可能性を高めてしまうトレードオフが存在する。仮にモデルが未知・既知全ての状況に対して 100%正しい判断を下す事ができるならば、各種精度指標は全て100%となりこのようなトレードオフは存在しない。しかしながら、未知の状況に100%正しい判断をできるモデルは、現実的には構築できない。このため実用的には2種類の間違いのうち何れかを重視するような調整を施す。例えばNGをOKとする間違いを重視するならば、NGを出しやすくするように（怪しきは罰せよ）システムを調整する。これにより本来はOKのものにもNGを出しやすくなる（=トレードオフ）ものの、NGを見逃す可能性を低くする事ができる。実際、今回のシステムもこの調整を施している。モデルを継続的に改善し本来の精度を改善していく事が最も重要であるが、現実においては現状の精度をベースにオペレーションの効率性（=OK の正答率）と異常検知率（=NG の正答率）のバランスを取っていく事が重要である。

* 精度指標については厳密には Accuracy, Recall, Precision, Specificity といった言葉で議論されるが、ここでは明解さのためOK正答率・NG正答率といった言葉を用いた。ここでの定義はOK正答率 =Specificity, NG 正答率=Recall である。

第4章 各検証項目の報告

4-1 AI判定精度の向上について

今回、検知精度向上を狙い新たなアルゴリズムを採用し開発することとした。アルゴリズムの変更により新たに学習をし直す必要が発生するが、2018年度～2020年度に採用したAIモデルは当時市場で有名だった2つのモデルを独自につなぎ合わせて作っており、このモデルにさらに柔軟に手を加えることは困難となっていた。よってSS店舗の運用や状況に合わせ柔軟に手を加えられる事が可能なモデルに移行する方が対象物の検知精度の向上が期待でき、その後の開発の柔軟性も見込まれると判断したためである。

新たなアルゴリズムの採用と併せてロジックの見直しも行っている。今回開発したシステムによる精度検証を以下のとおり記載する。

4-1-1 カバー率の前回比較 (AIが解析可能と思われるセッションの割合)

過去の実証実験と同様に、AIの解析が不可能という以下の定義に当てはまるセッション数を除いた割合をカバー率として算出する。なお、不可能とされるセッションは人であってもカメラを通してでは確認が困難とされるセッションである。本実証実験の各施策がこのカバー率に対しどのような影響があったか検証する。

- 解析不可能セッションの定義
 - 車両停止位置を大きく外れているもの
 - セッション中ほとんどの時間で車両の停車位置や給油の体制などからノズルが隠れているもの

(表1) カバー率評価

#	実証時期	全件数 (件)	AI解析可能数 (件)	カバー率 (%)
①	2019年度実証実験時	3,978	2,990	75.16%
②	2021年度実証実験時	2,017	1,697	84.13%

- 考察

カバー率は本年度の実証実験での結果が10.64pts改善された。要因としてはAIの画像解析の処理速度と処理量、人物や車両の検知精度が大きく改善されたことがあげられる。事例の解説の項でも後述するが、車両が大きく法定停止枠から外れた場合でも検知されており、過去実証では検知が難しかった自動二輪においても安定して検知されている。AIで給油許可の判定をするにあたって基本となる人物や車両の検知が改善されたのは大きな改善だったと言える。

4-1-2 全体の精度の前回比較

上記のAIが解析不可能と判断するものを除いたセッションにて、2019年度の実証実験のAI判定精度との比較は以下の通り。

(表2) 総合評価

#	判断パターン	2019年度実証実験時	2021年度実証実験時		差分 (pts)	
		正答率 (%)	人の判断 (件)	AIの判断 (件)		正答率 (%)
①	人が OK と判断し、AI も OK と判断した	74.03	1,696	966	56.96	17.07
②	人が OK と判断したが、AI が NG と判断した			730		
③	人が NG と判断し、AI も NG と判断した	100.00	1	1	100.00	0.00
④	人が NG と判断したが、AI が OK と判断した			0		

*対象期間で人がNGとしたケースは、給油前に人がノズルを挿してない事によりSSスタッフが給油許可を出さなかったというケース1件のみ。

(表3) レーン別評価

#	レーン	正答率 (%)		差分 (pts)
		2019年度実証実験時	2021年度実証実験時	
①	レーン1 (ガソリン)	67.36 (355/527)	59.51 (194/326)	-7.85
②	レーン2 (ガソリン)	62.39 (214/343)	31.13 (47/151)	-31.26
③	レーン3 (ガソリン)	66.90 (378/565)	64.52 (180/279)	-2.38

④	レーン4 (ガソリン)	72.37* (419/579)	76.42 (295/386)	+ 4.05
⑤	レーン5 (ガソリン)	63.57* (274/431)	51.37 (150/292)	-12.20
⑥	レーン6 (灯油)	85.71 (234/273)	33.77 (51/151)	-51.94
⑦	レーン7 (灯油)	83.82 (228/272)	43.75 (49/112)	-40.07

(表4) 油種別評価

#	レーン	正答率 (%)		差分 (pts)
		2019年度実証実験時	2021年度実証実験時	
①	ガソリンレーン	66.90 (378/565)	60.39 (866/1434)	-6.51
②	灯油レーン	85.71 (234/273)	38.02 (100/263)	-47.69

(表5) 車両タイプ別評価

#		四輪車両	自動二輪	差分 (pts)
①	正答率 (%)	73.08	15.22	57.86

*バイク出現率：レーン1 - 23.5%、2 - 32.3%、3 - 25.6%、4 - 11.6%、5 - 15.3%

● 考察

総合評価としては、人がOKと判定したセッションに対してAI判定の正答率は過去の実証実験に比べ約17pts減少した。全体としては、新たなアルゴリズムに変更したことにより一部の検知対象物の学習量が十分でなかったことが要因と考えられる。細かく分析すると以下の3つが挙げられる。

- ① ノズルの学習量が不足
- ② 灯油の給油の学習が不足
- ③ 自動二輪の給油行動におけるノズル検知の困難さ

① ノズルの学習量が不足

4-1のカバー率の考察でも触れたように人物や車両の検知は大きく改善されたが、各セッションの画像を確認するとノズルの検知が不十分であった。特に車両が法定停止枠に対して斜めに停車している場合でノズルの面が小さくなったケースなどはノズルが一時的に検知されないケースが多く出ている。これは、(表3)のレーン毎の正答率を見るとよくわかる。東十条の店舗の形状は、レーン4以外のレーンは比較的車両が斜めに停車するケースが多いため、特にレーン2とレーン5での正答率が顕著に現れている。

② 灯油の注油の学習量が不足

2つ目の要因である灯油の注油については(表4)の油種別評価でわかる通り、過去の実証実験では正答率の高かった灯油の注油はガソリンの給油に比べ正答率が大幅に減少している。これは、ガソリンに比べると学習用のサンプルが少なく学習量が不足していたと考えられる。灯油のセッション画像を確認すると、ノズルが見えているセッションでも検知ができていないケースが多い。

③ 自動二輪の給油行動におけるノズル検知の困難さ

(表5)の自動二輪の正答率にもあるように自動二輪の正答率が低い。これも後述する事例の項で画像とともに確認ができるが、自動二輪の給油の場合はノズルが人によって隠れる場合が極めて多い。人物と自動二輪の検知が向上してもノズルが隠れていれば、このままでは正常な行動と判定が困難である。レーン2の自動二輪の出現率が3分の1(32.3%)もあるため、レーン2の正答率(表3)が低いのもこの影響が大きい。過去と比べて自動二輪の給油行動に変化がないと思われるため前回

より正答率が下がった要因とは言えないが、過去の実証実験では車両別のデータを取得できなかったため、本実証実験にてこの車種別のデータが取得できたのは大きな意味があると考える。

次にNGのセッションについてだが、NGのサンプル数は少ないが人がNGを出した「給油口にノズルを挿さないため許可しなかった（NGメモ：1/15 14:47 LANE4）」のセッションについては、AI判定でも正常行動と認められないためNGが出ている。過去の実証実験から継続して人がNGを出しているセッションについては正解が継続されている。

さらにセッションを分析していくと、（表2）では誤答としてカウントしているが、「人はOKを出せるが、AIはNGを出すことが正解」であるケースが少なくとも16件あった。人にTORをすることが正解であるセッションである。全てのセッションにおいてAIはNGもしくは給油前に許可をしないという正しい判定ができています。表2-③の人がNGを出した1件と合計17件中17件で正しいNG判定ができていけると言える。

- 給油中に電話によりノズルを外して人が離れた（例1） : 1件（1/15 08:43 LANE2）
- ノズルを挿さずに持ったまま給油をしない : 1件（1/20 10:24 LANE2）
- 計量機点検のため作業員がペール缶に注油する（例2） : 13件（1/19 10:29~47 LANE1~5）
- 給油中にポリタンクを持った人が映りこむ（4-5、事例20） : 1件（1/15 11:04 LANE4）



（例1：1/15 08:43 LANE2）

（例2：1/19 LANE5 10:42）

4-1-3 実用化を想定した評価軸

4-1、4-2については過去から継続した評価方法で比較することで解りやすくなるため前述した一連の方法論で進めたが、実用化目線で実施した本実証実験を経て、もはやセッション毎の“単純”な精度評価は実運用に合わない。評価方法も現場の運用に合った評価方法であるべきと考える。この考察では、上述した各項目の一連の評価の他に上記のような実用化視点での評価を行う。

今までの商用環境での実証実験結果を踏まえ、実用的なシステムとしては「①給油開始時に給油許可の可否判定を行う（否の場合、許可を出さずにSSスタッフにエラーを表示し通知する）、②給油中から給油終了までの間に正常行動と認められないもの（危険行動）を検知した場合、状態によってAIが停止判断をするまたはSSエラーを表示しスタッフに通知する）」が基本的な仕様となると考えている。

この観点からシステムについて改めて検証を行った。

①給油開始時の給油許可の可否

給油開始時に人がOKとしたセッションに対しAIがOKとした数、またその正答率を算出してみる。ここでの正答率は、実用化された際にどこまで給油開始時のSSスタッフの稼働を効率化できるかの指標になる値と考えられる。

（表5）給油開始時の正答率

#		人がOKとしたセッション数（件）	AIがOKとした数（件）	正答率（%）
①	給油開始時	1,696	1,334	78.66

給油開始のタイミングでは約22%のセッションで人がOKと判定したセッションをAIがNGと判定しており、AI判定ではNG判定メッセージがSSC/可搬式SSCに表示される事になる。

②給油中から給油終了までの間に正常行動と認められない行動の有無

ここではAIがOK判定をしているセッションに対しAIのエラーが表示された数、またその出現率を算出してみる。ここでの出現率は、①と同様にSSスタッフの稼働を効率化できるかの指標になる値と考えられる。

(なお、上述した過去との比較をした一連の精度評価では、過去の判定ロジックに合わせているため、給油中に現れる「一瞬ノズルが隠れた」などの一時的なエラー表示はNGとしてカウントしてない。)

(表6) 給油中～給油終了時の出現率

#		給油開始時のAI判定OK (件)	AIエラー表示数 (件)	出現率 (%)
②	給油中～給油終了時	1,334	591	44.30

(表6) のデータが実際の現場でSSC/可搬式SSCに表示されるメッセージの出現率になる。給油中の人の給油姿勢の変化によりノズルが隠れたり、AI画像解析でのゆらぎにより短時間何かの検知が外れたりすることすべてを正常行動でないと検知しているためこのようなエラー表示件数となっている。給油中のエラーはSSC/可搬式SSCにメッセージが表示される事になる。AI判定の能力が向上されたとしても一定程度このようなケースが考えられるが姿勢の変化や画像のゆらぎまですべて正常行動でないと判断し、スタッフにエラーを伝えることは実用的ではない。このエラー表示件数の内、本当にスタッフに伝えるべきエラーである危険に関するエラー(火気・携行缶・ポリタンク)のみに絞り込むと9件であった。尚、画像解析の結果これらはすべてバイクのマフラー等高温の物質に反応した結果の誤検知であったことが分かっている。給油中の危険に関するエラー表示は学習を重ねシステム改修を進めたとしても、一定程度の誤検知は発生するものであり、安全性確保のため許容すべきものとする。

さらに給油開始時の正答率について詳細に分析した結果は下記表の通りである。

(表7) AI判定の詳細

人がOKとしたセッション 1,696	AIも給油開始前にOKと判定 1,334	給油開始危険アラート検知なし 1,325		
		給油開始後危険アラート検知 9		
	AIは給油開始前にOKと判定できず 362	遮蔽物により判定できないもの ※1 180	遮蔽物 (人) 131	灯油 7
			バイク 86	
			商用車 (下側タンク) 22	
			乗用車 15	
			外車 (下側タンク) 1	
		遮蔽物 (人以外) 44	灯油 1	バイク 27
			商用車 (下側タンク) 4	
			乗用車 12	
		反対側給油 5	バイク 2	
		乗用車 3		
	システムの学習不足によるもの ※2 169		灯油 62	
			バイク 48	
			特定の商用車 17	
			乗用車 42	
	その他 ※3		計量機点検 13	
システム改善が見込まれる件数				169

人がOKとしたセッションの内、AIがNGと判定したものは362件である。NGとなった要因を分析すると、遮蔽物によりノズルが見えずにAIが判定できないセッションが180件(表6 ※1)あった。

この内、遮蔽物(人)の131件については顧客がカメラからノズルを隠す姿勢で給油を行ったため正常行動と判断できず誤答となったセッション数である。人による遮蔽についてはシステムの対応のみでは限界があり、一定の顧客の協力が必要と考えられる。コロナ禍により広く普及した体温感知センサーのように、給油時には数秒程度監視カメラから姿勢が見やすいようポーズをとってもらおう等の対応が必要となると考えている。

遮蔽物(人以外)については給油口の蓋によりノズルが隠れたセッションや、バイクのつくり(ハンドルがバイクの屋根)がカメラからノズルを隠す形となってしまったセッションが含まれている。学習により検知率を上げることやロジックの見直し等システム改善も検討するものの、遮蔽物によりノズルが全く検知されないセッションに対しての改善は現在のところ難しく、正答率の大幅な改善には遮蔽物(人)と同様に顧客から協力を得る必要があると考えている。

※2の169件については4-2で説明したように学習不足による不検知・誤答と考えられる。ここについてはさらに学習を重ねることで改善が見込まれる。

※3のその他13件は計算上誤答としてカウントしているものの、人による給油許可判断とAIによる給油許可判断が異なってしまうセッションである。※4のセッションではAIが給油NGを判定した上でスタッフにTORし、スタッフが給油を許可するというフローをとることを想定している。

③システム改善後の想定

※2のシステム改善によりAIが給油開始前にOKと判定するセッション数は1,503件となると想定する。一方で給油開始前にOKとしたセッションでも②に示したように給油中に危険に関するエラー表示は一定程度誤検知(9件)が発生するものと考えられる。

以上から、システム改善後に想定される正答率は88.09%であると考えられる。

(表8) 改善後の想定正答率

#		人がOKとしたセッション数(件)	改善が実現された場合に想定されるAIがOKとした数(件)	想定される正答率(%)
①	給油開始時	1,696	1,494	88.09

システム改善後も残る11.91%については遮蔽によりノズルが見えないものや反対給油によるものであり、顧客の協力なしには改善は難しいことがわかった。2020年度に検討した顧客への周知方法、設備対応による顧客行動の制限等をさらに検討する必要があると分かった。

4-2 機器構成の最適化

本項では、本実証実験の2つ目の目的である機器構成の最適化として、主に機器構成を全体としてシンプルにすることとGPUなど解析に関わる機器の高度化をすること、また過去の実証実験からも課題であったサーモカメラの高度化による影響を検証したものである。

機器構成の変更によりフレームレート(fps)を大幅に向上でき、過去に比べ増加した処理量においても全てのレーンでリアルタイムの解析スピードが改善された。また、過去の実証実験ではリアルタイムで大量に送られてくる画像の処理、その画像のAI判定の統合処理、さらに処理内容をSSCに送信する処理と、複数のプロセスを主に3つの機器を構成して処理してきたが、本実証実験では主に2つの機器に集約することができた。セッション数の多い実店舗(セルフピュア東十条)での実証実験においても、このシンプルな構成にしたことによる大きな障害や問題は起きず、その上店舗施設内の設備を減らすことができた点においては、将来的な実用化の際のより現実的な機器構成を検討するための材料となった。

次にサーモカメラについてだが、サーモカメラは以前に比べ市場に多く活用される事になり、過去に比べ高精度なカメラが価格的にも導入しやすくなった事から本実証実験でも過去に比べ高精度なカメラを採用した。これにより解像度が上がり小さな火気でも検知しやすくなった。また、過去の実証実験では、その解像度の問題によりキャノピーに直接設置すると被写体までの距離が離れてしまうためキャノピーから約1m降ろしたところに設置するなどの工夫をしたが、今回の高精度なカメラは直接キャノピーに設置することができた。加えて、火気の実証実験では一定の閾値を超えた温度の場合に火気検知と判定していたが、これでは車両のボンネットや自動二輪のマフラーなどでも反応してしまう事が想定できるため、こういった要因を排除すべく画像解析の追加処理を行なった。

閾値の設定では、過去の実証実験で擬似的なSSを構築したコスモ石油(株)中央研究所の実験場で本年度用の各種機器のテストを実施し、タバコやライターなどを使って実際の温度を計測し、その温度を考慮した温度設定を採用した。

(図1) 実験場でのテストの様子



*実験場

*左がIPカメラで右がサーモカメラ。ここではタバコを50度と表示。

過去の実証実験と本実証実験では火気検知の判定優先度が違うため比較ができないが（過去の実証実験では、検知の順序の上位で検知をしてその後の他の不正検知により上書きされてエラーメッセージが表示される仕様）、本実証実験では実際に火気ではないのに火気検知が表示されたという誤検知の数を算出した。ただし、単純な誤検知ではなく処理をすり抜けた高温の自動二輪のマフラーなどが火気検知として表示されたものになる。

(表9) 火気検知出現率

#		全セッション数 (件)	火気誤検知数 (件)	出現率 (%)
①	火気誤検知数	1,697	22	1.30%

● 考察

火気検知の出現率が全体のセッション中1%を超えた。22件全ての画像を目視で確認したが、全てが自動二輪のセッションだったため、当初の想定通り高温の自動二輪のマフラーやタンクなどと考えられる。本実証実験では車両と検知したエリアにある高温の検知は除くような処理を加えたが、それでもその処理をすり抜けるケースが出てくるため、この精度が向上されたとしても完全には排除されないことを考えた場合にどこまで許容できるか運用ルールを検討が必要だ。過去のAI判定とは仕様が異なるためサーモカメラにおける比較は困難だが、過去の実証実験時に確認した火気検知のログの出現数は今回のものより確実に多かったため、本実証実験での処理により大きく改善されたはずである。

なお、本実証実験から活用したサーモカメラではIPカメラとのデュアル形式のカメラとなり、今後はこういった形式のカメラの利用により、IPカメラとサーモカメラの2台を併用することなくコストを抑えた機器の構築が可能になる。

最後に重要な課題となるのが火気検知エリアの指定である。最大でもサーモカメラで映し出されるエリアになるが、今回は誤検知を防ぐ処理を優先するため給油行動が行われると想定されるエリアに絞っている。上記のような処理を加えても誤検知がわずかながら出現するため、最大のエリアにした場合はさらに誤検知の増加が想定される。給油レーンに侵入してくる移動中の自動二輪や他の給油レーンを横切る自動二輪などは、一定の処理を加えた場合においても検知されてしまう可能性は極めて高い。

実用化を見据えた場合に火気の検知はSS店舗の安全性の面で必要要素と考えるが、効率性も合わせて考慮した場合に対応手段が極めて少ない。安全性と効率性を併せ持った代替手段ができるまではサーモカメラを活用せざるを得ないと考えるが、誤検知を除く最適な処理と最適な運用ルールの検討が必要である。

4-3 SSC/可搬式SSC連携システムの開発と実用性の検証

2020年度実証ではAI自動給油許可システムの判定結果を確認できるシステムを構築したが、今回実証ではAIシステム及びスタッフ間の連携がよりしやすくなるようAI判定結果をリアルタイムにSSC及び可搬式SSCに表示できるシステムを開発した。特に可搬式SSCへのAI判定結果の表示についてはエラー表示が出た際も卓上式SSCに確認に行くことなく、フィールドスタッフが手元の可搬式SSCで確認できるようになると言う点で、スタッフ業務の効率化が見込まれる。

SSスタッフのスムーズな運用を実現するために構築したSSC/可搬式SSCは以下の4つの状態を表示するように設計している。

- SSC/可搬式SSC各状態での表示内容
 - ① アイドル状態（セッションが始まっていない状態）
 - ② 給油開始時（AIより給油許可受信）
 - ③ 給油開始時（AIより不安全行動受信）
 - ④ 給油中（AIより不安全行動受信）

各状態のSSC/可搬式SSCの表示例は以下の通り。

(図1) ① アイドル状態（セッションが始まっていない状態）

機種	ボタン表示	
<p style="text-align: center;">本体 SSC</p>		
<p style="text-align: center;">SSC モバイル</p>		

(図2) ② 給油開始時 (AIより給油許可受信)

機種	ボタン表示	
本体 SSC		
SSC モバイル		
<p>文言 : AI 許可 SSC-M 文字色 : 白 表示タイミング : AI より給油許可受信時 クリアタイミング : SSC での給油許可押下、個別停止、緊急停止 人による給油許可後、AI から給油許可を受信した場合は給油終了まで該当文言を表示する。</p>		

(図3) ③ 給油開始時 (AIより不安全行動受信)

機種	ボタン表示	
本体 SSC		
SSC モバイル		
<p>文言 : 該当するエラーを表示 SSC-M 文字色 : 赤 表示タイミング : AI より個別停止受信時 クリアタイミング : 給油取消、ノズル掛け、個別停止、緊急停止</p>		

(図4) 給油中 (AIより不安全行動受信)

機種	ボタン表示	
本体 SSC		
SSC モバイル		
文言 : 該当するエラーを表示 SSC-M 文字色 : 赤 表示タイミング : AI より個別停止受信時 クリアタイミング : ノズル掛け、個別停止、緊急停止		

尚、SSC/可搬式SSCの構築にあたり、表示メッセージの伝達に問題がないかなどの事象の切り分けや、SSCがない状態でもAI判定の精度の調整を可能とするために、前回と同様に以下のような簡易モニターも開発し実証実験に臨んだ。原則同じエラーコードがSSCに送られる。

(図5) 簡易モニター

レーン情報	
レーン番号	メッセージ
1	● OK:異常はありません
2	●
3	●
4	● OK:異常はありません
5	●
6	●
7	●
8	●

*左図5レーンはノズルを外し後のAI判定待ち状態で、それ以外はAI判定OK

レーン情報		レーン情報	
レーン番号	メッセージ	レーン番号	メッセージ
1		1	
2		2	
3	● NG: 指定枠内に車両が正しく確認できませんでした	3	
4	● OK: 異常はありません	4	● NG: 指定枠内に車両が正しく確認できませんでした
5		5	
6		6	● OK: 異常はありません
7		7	
8		8	

*左図3レーンと右図4レーンは正常行動を検知できなかった状態で、それ以外はAI判定OK

● 結果

- (1) 検証日時 : 1月13日13:00~14:30
- (2) 場所 : セルフピュア東十条
- (3) 検証方法 : 実際の来店顧客のセッションを確認し、AIの給油許可判断結果がタイムラグなく卓上SSC及び可搬式SSCに表示されるかを検証した。

● 結果・考察

○ 検証結果

現場実証の結果、開発仕様通りほぼタイムラグなく卓上SSC及び可搬式SSCに給油許可判定結果が表示されていることを確認できた。

○ 今後はより状況に応じたSSC/可搬式SSCとの連動が必要

給油判断結果に応じて、エラー表示のみとするのか、給油停止までつなげるのか、あるいはエラー表示による通知自体を不要とするのか、検知された内容に応じて条件分岐を細かく加えSSCと連動する必要がある。火気やポリタンク検知など危険度が高い不正行動の検知の場合はAI判定結果と連動したSSCが給油を停止し、火気やポリタンク検知以外の危険度が低いエラー表示の場合、給油の状態に応じてSSスタッフに警告を出すなどによりSSスタッフの作業を妨げずに効率の良い運用を実現できる。また効率性の面からは検知情報すべてのエラーを表示するのではなく、スタッフの対応が必要なエラーのみを表示するような仕組みへ更なるロジックの見直しも必要である。

今回の実証結果を踏まえシステムの仕様確定を進めていく。

○ メッセージ表示内容の検討

現状ではサーモカメラで閾値以上のものが検知された場合、「火気検知」エラーとしてSSCに表示しているが、誤解が生じるため少なくとも「高温度検知」という表示で案内する方が正しい表示内容であると考え。実際にメッセージを確認したSSスタッフからも火気検知の表示に驚く場面があったため、エラー表示の内容についても更に検討が必要である。

第5章 まとめ

本実証実験は、2018年度より開発してきたシステムによるスタッフ業務の更なる効率化を目指し検証したものである。

(1) AI判定精度の向上

実証の結果、アルゴリズムの変更により、人と車両に対する検知は大幅に向上することが出来た。正答率の前回比較についてはこのシステム特有であり、人物や車両に比べて難しいとされるノズルの学習が十分でなかったため前回は上回ることはできなかったが、誤判定セッションの詳細分析により要因となる部分を洗い出すことができていたため、今回のAIのアルゴリズムを基盤として改善が見込まれるものとする。

ただ、改めて注意しなければならないのは、4-3で示したようにAIのみでは対応しきれない場合も多くあるという事である。特に顧客自身によるノズルの遮蔽については技術のみでの改善は難しく、顧客に負担にならない形でいかに協力を得るか、どのように顧客にシステムに慣れてもらうかについては、2020年度実証の結果も踏まえ、今後も手法の検討が必要である。

(2) 機器構成の最適化

機器構成の見直しによりフレームレート (fps) を大幅に向上でき、過去に比べ増加した処理量においても全てのレーンでリアルタイムの解析スピードを改善することが出来た。

また、高精度で安価なサーモカメラの導入により小さな火種をさらに検知しやすくすることが出来た。

一方で火気の誤検知には課題が残った。火気の実証実験では車両のボンネットや自動二輪のマフラーなどの誤検知を防ぐため、システムに処理を加えた上で検証を行ったが、それでも1%程度の誤検知（タバコ・火気以外を火気検知とエラーを表示する）が発生した。安全性と効率性を併せ持った手段としては現段階でサーモカメラの他にないかと考えるが、誤検知を防ぎ、確実に火気を検知できるよう最適な処理と最適な運用ルールの検討がさらに必要である。

(3) SSC/可搬式SSC連携

AIの判定をリアルタイムでSSC/可搬式SSCに表示するシステムを構築することができた。

アルゴリズムの変更と機器構成の最適化により、過去のシステム時より大量の情報をほぼタイムラグなく処理できるようになったこともSSC/可搬式SSC連携が機能した要因であるとする。

今後の課題となるのは検知情報をSSC/可搬式SSCに表示する際、その要否をどう切り分けるかという点である。例えば給油許可後に顧客が態勢を変えて車に寄り掛かる等給油中の姿勢の変更により一時的にノズルが隠れたことをすべて検知し、SSC/可搬式SSCに表示するのは不効率であり、またかえって必要情報の混乱を起こすことになりかねない。よってどのような条件下でどの検知内容を表示し、また逆に表示不要とするのか整理が必要であることが分かった。安全性を確保しつつスタッフの効率性を失わないようなシステムの構築にはまだ課題があり、検知情報の整理やシステム反映方法について更なる検証が必要である。

今回実証においてスタッフへの連携方法を含めた一連のAI自動給油許可システムの基礎となる部分の検証が出来たと思う。今後はAIによるSSCへの給油許可指示及び緊急停止指示システムへの接続、実際のスタッフの動きを含めたエラー表示（または音によるアラート機能の追加）の有用性検証、顧客への告知・制限方法等の更なる検討とより踏み込んだ形での実用化検証が必要である。

冒頭触れたようにガソリン需要は急速に減少しており、SSの経営効率化・少人化を可能とするシステムの重要性はAI自動給油許可システムの開発当初より更に高まっている状況である。

今回実証で開発したAIシステムを新たな基本としつつ、実用化に向けて進めていきたい。