

全国石油商業組合連合会 御中

令和3年度

次世代燃料供給体制確立に向けた実証事業

「東北地方における寒冷沿岸部・内陸部の過疎地域において、ホームタンク在庫センサー受信網の有無に関わらず、燃料供給不安を解消するためのAIの技術開発・実証」

報告書（概要版）

令和4年2月

第一石油株式会社
株式会社アスクラフト
久慈市
奥州市

令和3年度次世代燃料供給体制確立に向けた実証事業報告書(概要版)

1. 事業名称

東北地方における寒冷沿岸部・内陸部の過疎地域において、ホームタンク在庫センサー受信網の有無に関わらず、燃料供給不安を解消するためのAIの技術開発・実証

2. 事業実施地域

岩手県久慈市および岩手県奥州市

3. 目的

ホームタンクセンサー受信網の整備が進んでいない東北地方沿岸部・内陸部の過疎地域において、AIを活用した灯油配送計画の実用化のための以下の点を目的とする。

- (1) 東北地方における消費モデル作成のためのデータ収集・作成
 - ・東北地方における灯油消費モデルを作成するために、沿岸部である久慈市と内陸部である奥州市においてセンサー受信可能エリアにセンサーキャップを設置し、ホームタンク内在庫の可視化を実現する。
- (2) AI活用による灯油消費傾向分析を行い、消費傾向モデルを作成
 - ・上記(1)を活用した配送データおよび顧客属性等の情報をAIに学習させ、消費者属性等による消費者セグメントおよびセグメント毎の消費傾向等を分析し、消費傾向モデルを作成する。
- (3) 消費傾向モデルに沿ったAIによる灯油配送計画の実施
 - ・上記(2)によりAIが学習した内容をもとに、AIによる灯油配送計画を策定し配送を実施する。
 - 実施された配送内容により、灯油在庫切れが発生しないか、効率的な配送内容になっているか等を検証しAI学習量を蓄積する事で配送計画の精度を高める。
- (4) センサー設置の有無に関わらずホームタンク内在庫量に応じた計画配送の実現
 - ・上記(1)～(3)の実施により、センサー受信網の有無やセンサー設置の有無に関わらず、消費者属性等のデータを把握することで、ホームタンク内在庫量に応じたAIによる配送計画の策定が可能となる。
- (5) 東北地方の他エリアへの本システムの波及
 - ・本AIによる計画配送システムが実用可能となれば、東北地方において沿岸部・内陸部問わずAIによる計画配送が可能となり、実証事業データを公開する事で広く波及することが可能となる。

4. 事業展開の内容・手順

【ステップ1】実証地域(久慈市・奥州市)において、調査対象顧客のホームタンク内在庫状況の可視化を図る。

- ①奥州市に既設置のアンテナ(SigFox社製)位置、基数を把握し、既設アンテナにてのセンサー受信可能エリアを調査し特定する。
- ②上記①により特定されたエリア内の(株)アスクラフト取引のホームタンク使用顧客(150軒)に、ホームタンク内在庫可視化のためのセンサーキャップ設置承諾交渉を行い、設置する。
- ③設置したセンサーキャップから正確にセンサーが送受信されているかを調査し、問題が発生する先は個別に原因調査のうえ対処し、設置顧客全軒においてセンサーの送受信が可能な状態とするとともにホームタンクのメーカー・容量を調査把握。これにより、既にセンサー稼働済みの久慈市(沿岸部)と合わせ奥州市(内陸部)において、顧客在庫状態を把握し在庫切れを起こさず配送できる体制とする。

【ステップ2】AIによる消費傾向分析に必要な事前データを調査・収集し、データをAI側に入力する

- ④AIの灯油消費分析精度を上げるため、第一石油(株)・(株)アスクラフトの過去2年分(2019年10月～

2021年12月12日)の全配送データ(日別・顧客別)をAIに取り込み作業を以下の手順で実施。

- ・両社とも過去の配送データは配送伝票・配送日報等の紙ベースでしか保管されていないため、日付別・顧客別に配送数量を拾い出しExcelにて入力。
- ・上記Excelデータを日付毎にまとめ直し、CSVにてゼロスペック(株)に送信しAIへの入力実施を依頼。

⑤久慈市、奥州市のセンサーキャップ設置世帯の内容調査(世帯人数、年齢構成、居住形態(2階建戸建、平屋戸建など)、灯油使用用途(暖房のみ、暖房+風呂など)、暖房機器種類、平日在宅状況など)を実施し、AIによる消費予測策定のための分析データとするためゼロスペック(株)に送信しAIへの入力実施を依頼。

【ステップ3】最新の日々の配送データをAIに毎日入力し、AI学習力を上げつつ配送計画を策定。AIによって策定された配送計画を参考とした配送を実施し検証を進める。

⑥2021年12月中旬より、ゼロスペック(株)より提供された配送実績入力フォームに、毎日の顧客別配送実績を整理し入力することで、AIに最新データを取り込み学習させた。

⑦上記最新データ入力を進めつつ、AI策定による配送予定がゼロスペック(株)より発信される体制とした。発信されたAI策定による配送予定先のホームタンク在庫状況をセンサー情報によりチェックし、実配送対象とすべきかを毎日検討した。

また、AI策定による配送予定先にリストアップされていない顧客も、センサー情報によりホームタンク内在庫状況をチェックし、在庫切れを起こさないよう実配送対象先に加え配送実施した。

⑧上記⑥・⑦を日々繰り返し実施することで、AIの精度を上げるべく取り組んだ。

〈灯油消費予測モデル・配送計画策定の考え方(概念)〉

(1)消費予測モデル作成

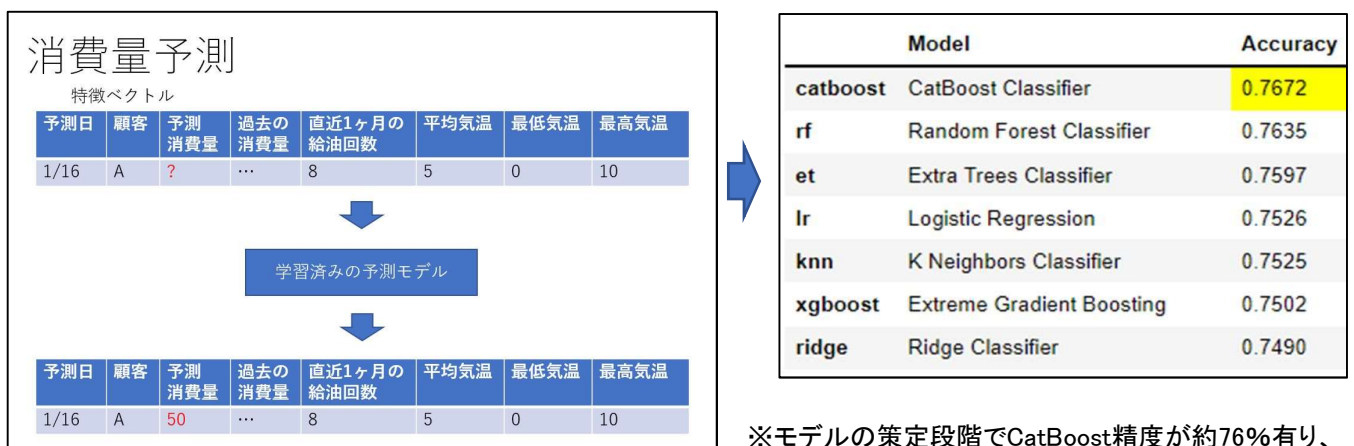
モデルの策定前に顧客毎の過去2年間の給油データから日毎の推定消費量を算出し、全顧客に処理を実施。前述の日毎の推定消費量に久慈市・奥州市の気温データを加えて、全顧客の過去データから散見される特徴を特徴ベクトル(数値)に変換し、機械学習を実行した。

モデル策定を実行するにあたって過去データの特徴を数値化する処理が必須のため前述の処理を行い、その上で今回はPycaretを機械学習ライブラリとして指定し、機械学習を進めた。

なお、機械学習ライブラリの選定に当たっては、Pycaretは複数の機械学習ライブラリをラップしていて、複数のアルゴリズムを同時に処理した上で、モデルによってどの程度精度が出せるのかを同時に計算することが可能であることと、様々な機械学習モデルで予測を比較検討する中で、Pycaretによるチューニングの結果から

「勾配降下法(Gradient)」、「アンサンブル学習(Boosting)」、「決定木(Decision Tree)」の3つの手法が組み合わされた機械学習ライブラリのCatBoostが精度が一番良かったため、予測モデルとして採用した。

評価の仕方としては2年前のデータで1年前の予測を実行し、実データと予測データの誤差をもってどの程度精度をもっているかという視点でモデルの精度を評価した。



※モデルの策定段階でCatBoost精度が約76%有り、一番精度が高いと判断。

(2)消費予測からの配送計画作成イメージ

予測消費量を元に前回給油日(例:1/15)からの累積予測消費量を算出

累積予測消費量がタンク容量(例:200L)の6割を超えた日を給油完了推奨日として通知

日付	顧客	予測消費量 (L)	累積予測消費量 (L)
1/16	A	50	50
1/17	A	60	110
1/18	A	50	160
1/19	A	40	200

← 200L × 0.6 = 120Lを超過
1/18を次回補給推奨日として
メール配信

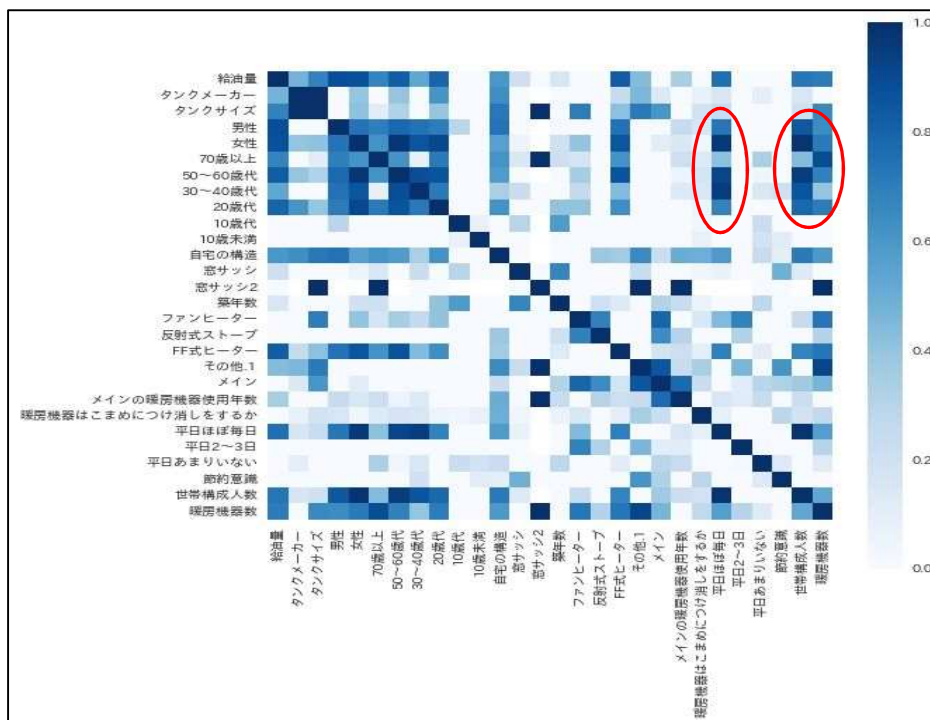
5. 効果測定・課題

(1)顧客世帯内容と灯油消費傾向の相関について

1)気温要素を加味しない段階での相関について

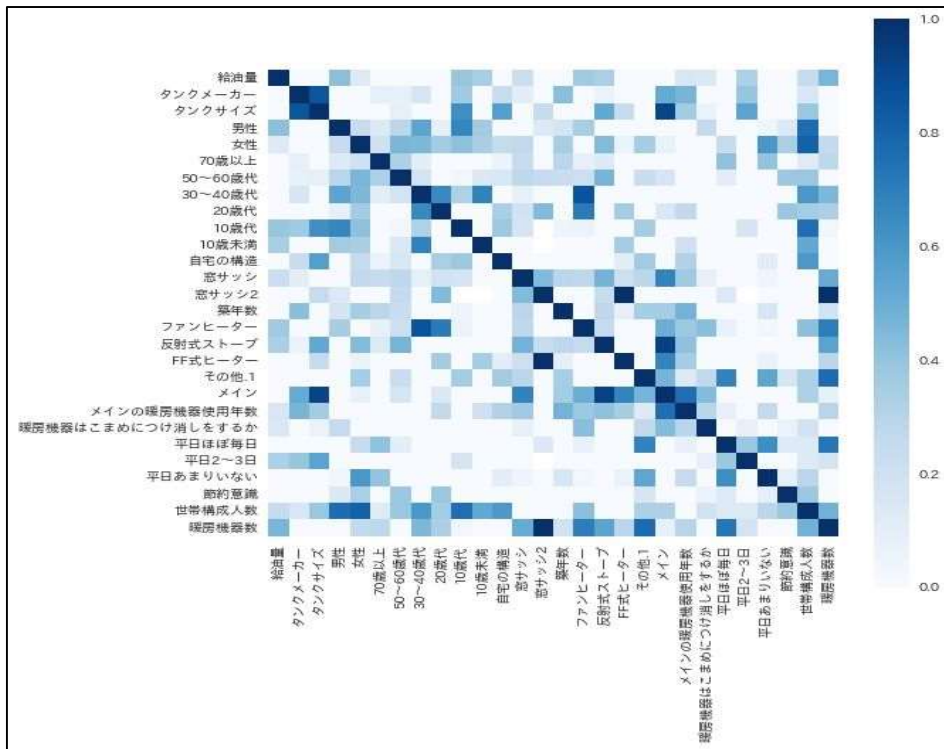
①久慈市(第一石油)においては、世帯内容調査項目の中で、平日ほぼ在宅者がいる・世帯人数・暖房機器台数と性別女性、世帯年齢構成が70歳代~30・40歳代との灯油消費に関する相関がやや出ているという結果が見て取れます。

(第一石油顧客世帯内容と灯油消費に関する相関図)



②一方で奥州市(アスクラフト)においては、どの世帯内容調査項目も特に相関が見られない結果であった。

(アスクラフト顧客世帯内容と灯油消費に関する相関図)

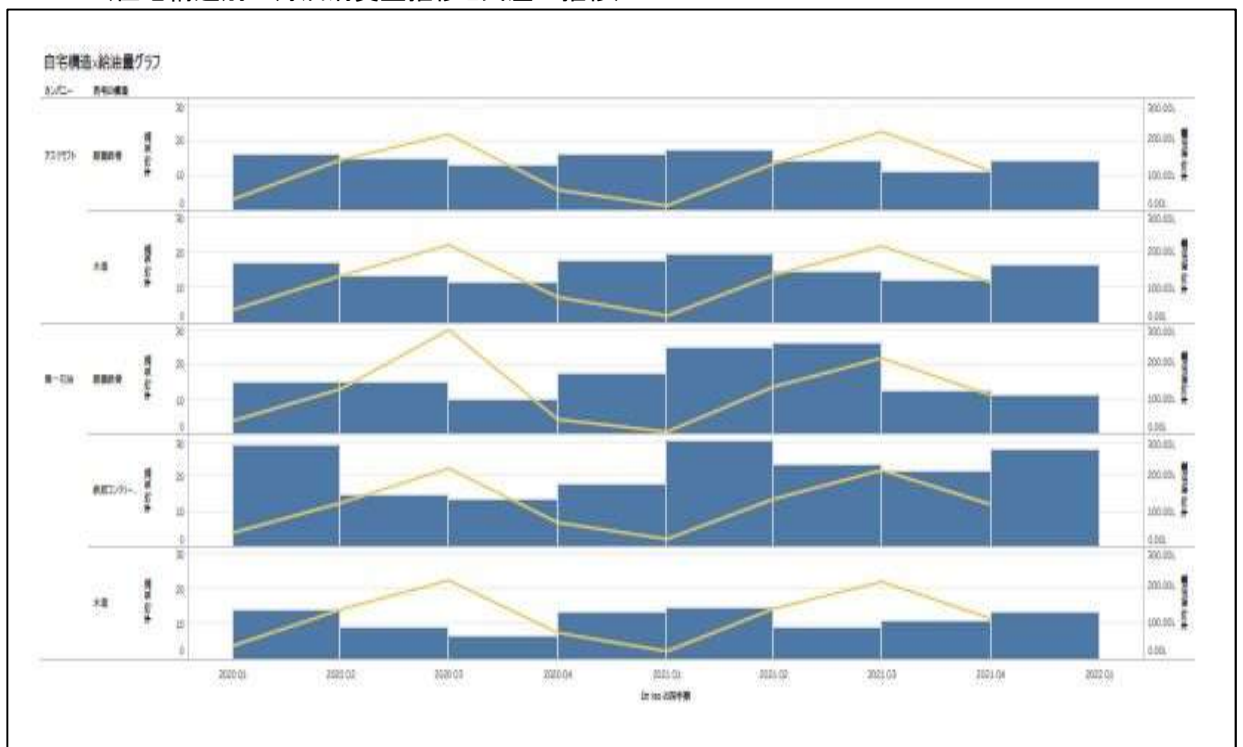


2) 気温要素を加味した中での相関について

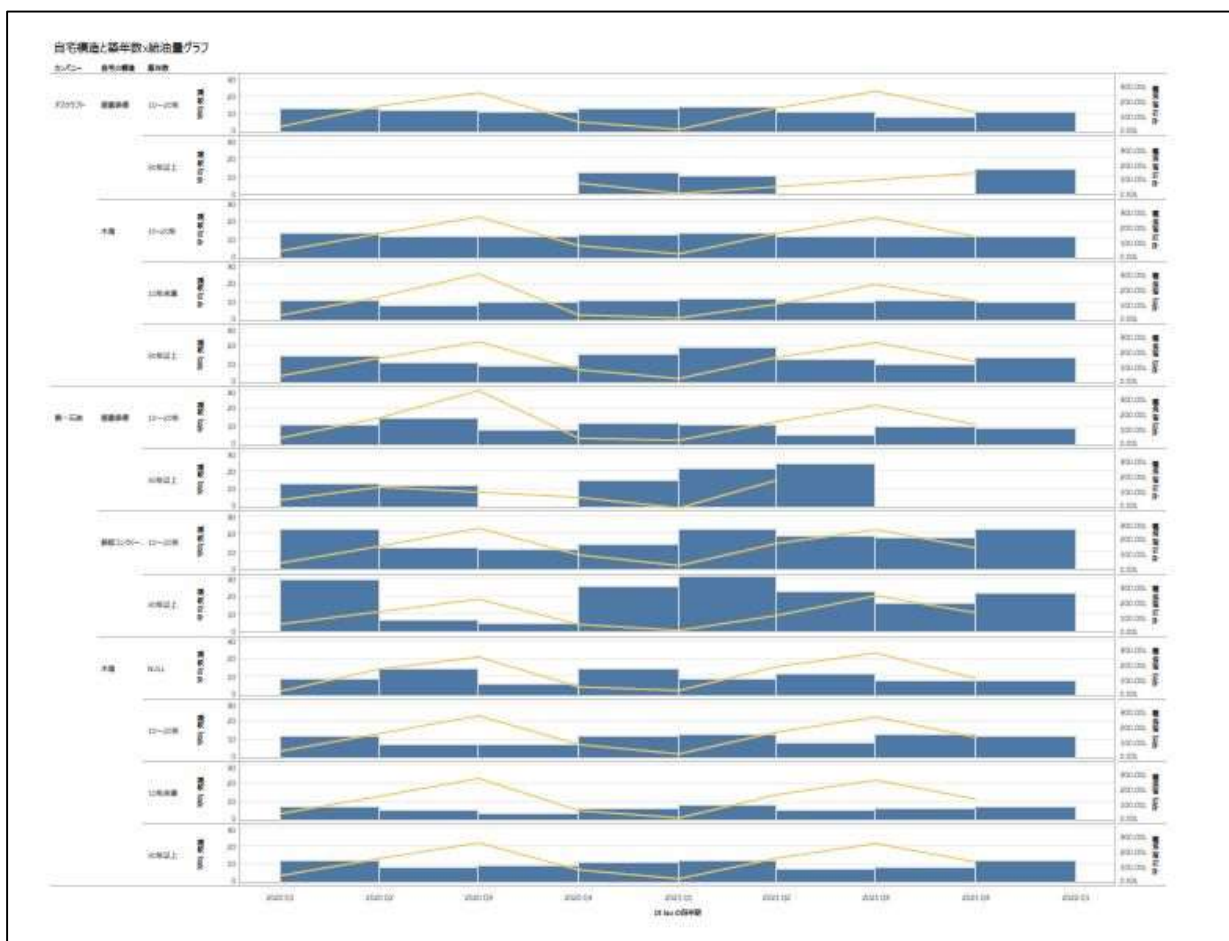
① 住宅構造・築年数、気温と灯油消費との関係

奥州市においては、築年数の古い木造住宅において、気温の低下とともに消費量が大きく上がる傾向が見て取れたが、久慈市においては築年数による特徴は確認出来なかった。

(住宅構造別の灯油消費量推移と気温の推移)

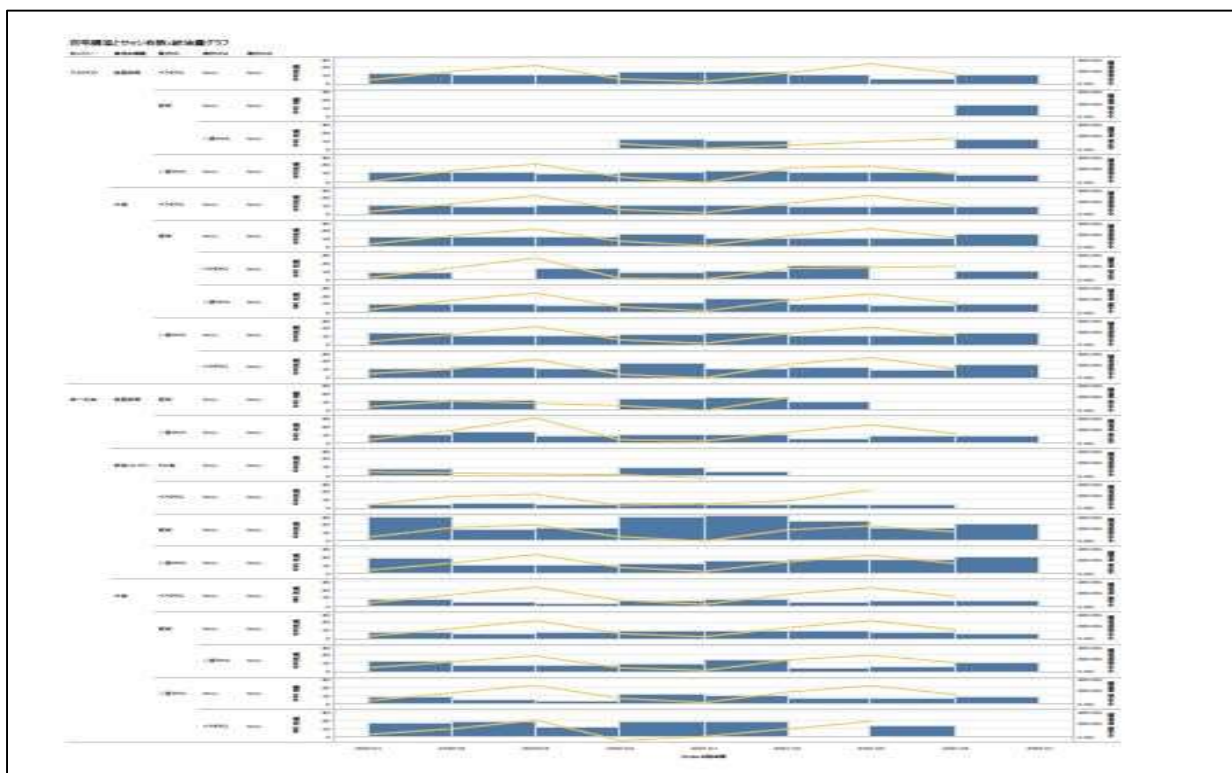


(築年数別の灯油消費推移と気温の推移)



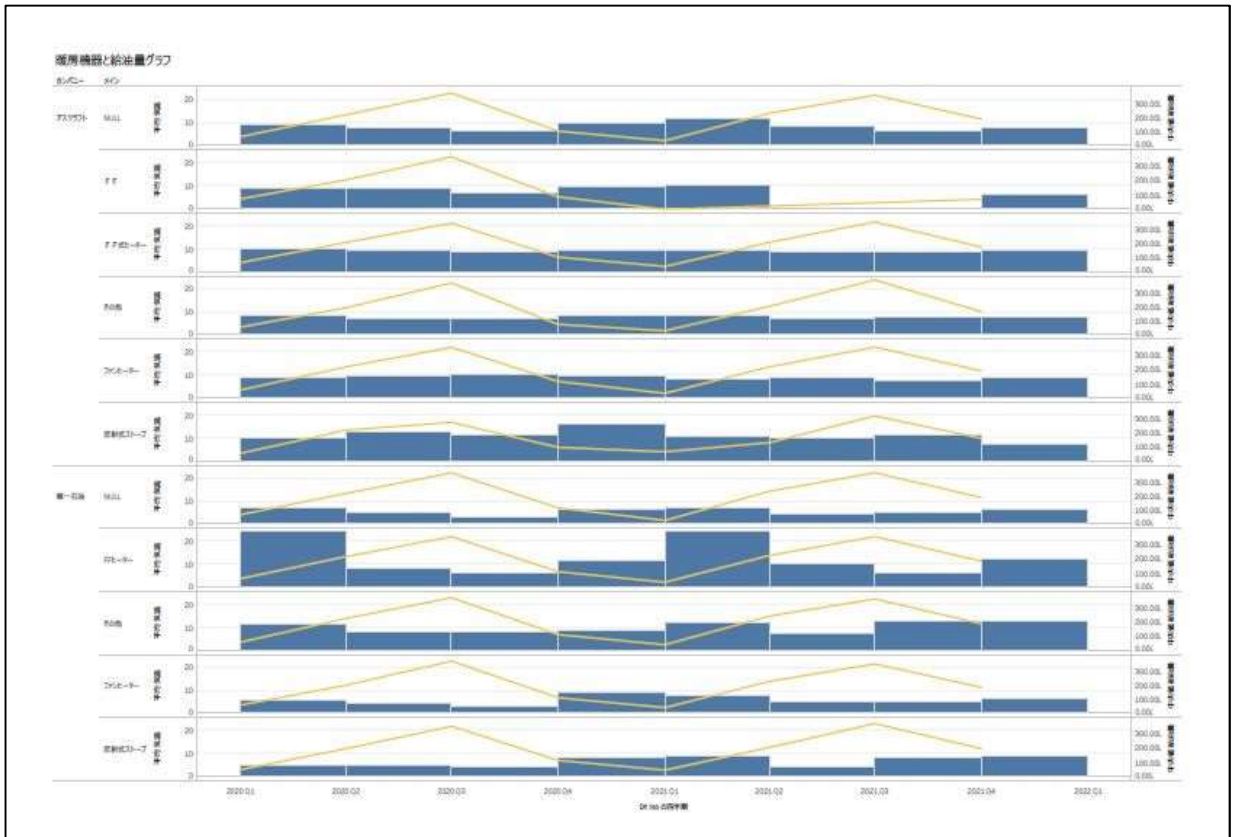
②窓サッシ種類、気温と灯油消費との関係

久慈市・奥州市とも窓サッシの種類による消費傾向差は見られなかった。



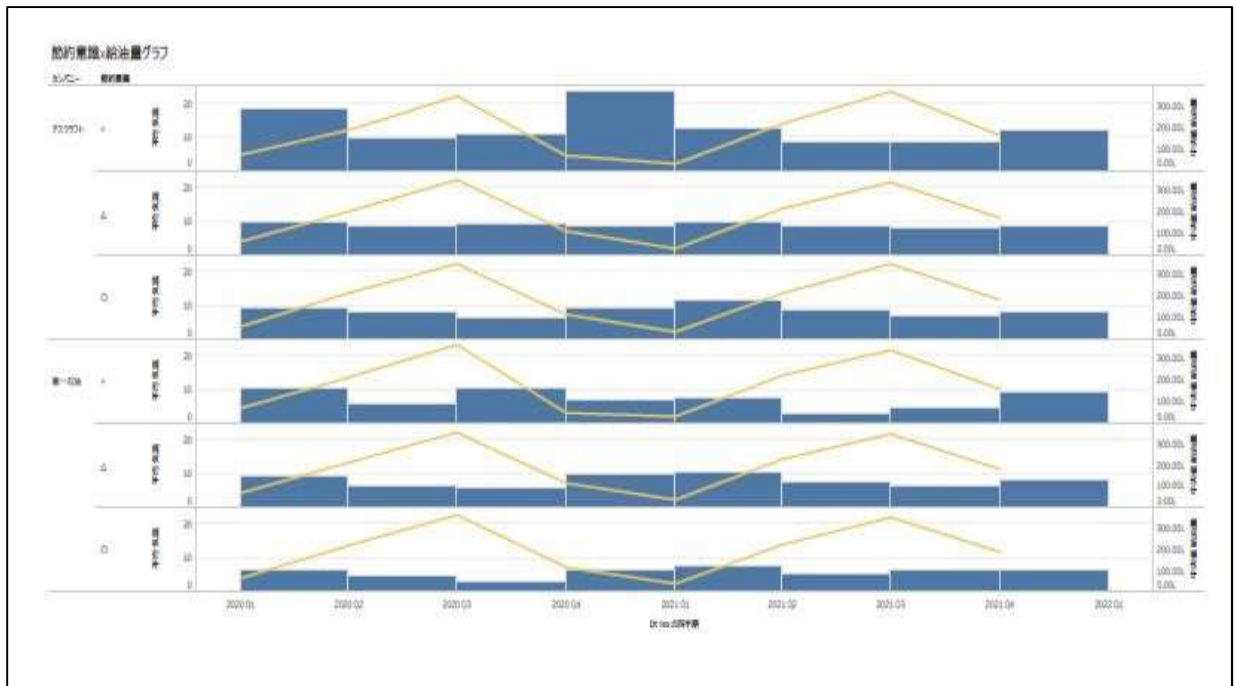
③暖房機器、気温と灯油消費との関係

奥州市においては使用暖房機器の種類による消費傾向差は見られなかったが、久慈市においてはFF式ヒーターに関しては他の暖房機器に比較し気温の低下に伴う消費量が高い結果となった。



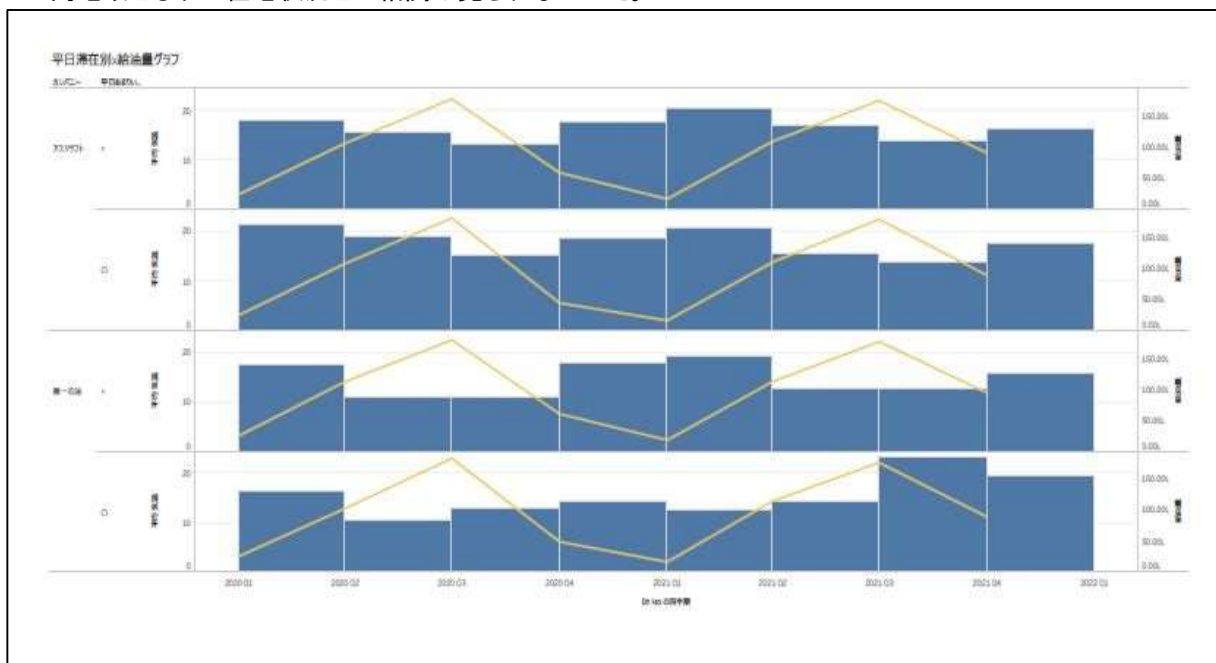
④節約意識、気温と灯油消費との関係

両地域とも節約意識が低い世帯において、気温の低下とともに消費量が大きく増加する傾向が見られ、節約意識が高い世帯は増加幅が低い結果となった。



⑤平日在宅状況、気温と灯油消費との関係

両地域とも平日在宅状況との相関は見られなかった。



2) 顧客世帯内容と消費傾向の相関についてのまとめ

本事業においてAIによる灯油消費モデルを策定するために、過去2年間の灯油配送データをAIに読み込ませ、更に上記①～⑤の世帯調査内容を学習させることで、それぞれの地域における世帯内容・気温と消費に相関が見られるかを分析し、相関が見られた場合には一つの消費モデルとして考えられるものと推測し調査・分析を実施した。その結果、全般的には久慈市(沿岸部)・奥州市(内陸部)で大きな消費傾向差は見られないことから、今後AIによる消費モデルを作成するうえで、沿岸部・内陸部と区別し消費モデルを策定する必要は無いのではないと思われる。但し、世帯調査項目の①に記載したとおり奥州市の築30年以上木造住宅において、気温低下と消費量増加に相関が見られ、また③に記載のとおり久慈市のFF式ヒーター使用世帯に気温低下と消費量増加に相関が見られた。

これら①③について特定のモデルとして区分する必要があるか検証したが、後に記載しているAI消費予測値と実配送数量との平均誤差に対し①③対象顧客の誤差値を比較検証した結果、全体の平均誤差値に比較し誤差が大きく出ている傾向は見られず、①③の事象はAI消費モデルに大きく影響するものではないと判断した。しかし、今後更に消費データの積み重ねを実施し①③対象顧客の分析を進めることで消費モデルの改善に活用できる余地があるものと思われる。

【平均誤差値と①③対象顧客誤差値の比較】

	第一石油 平均誤差値	③顧客誤差値	アスクラフト 平均誤差値	①顧客誤差値
週1	56.95	46.93	40.21	39.94
週2	43.04	14.59	34.69	38.83
週3	69.71	69.07	78.92	90.88
週4	24.28	56.95	41.11	16.00
週5	47.61	33.42	14.51	16.19

(2) AI策定配送計画と実配送実績との誤差についての結果

配送特殊期間(年末年始)を除いた1月6日～2月9日の間における検証結果は以下の通り。

なお、AI策定配送計画と実配送実績の誤差を分析するうえで、誤差量の許容範囲を以下の考えから50Lとした。

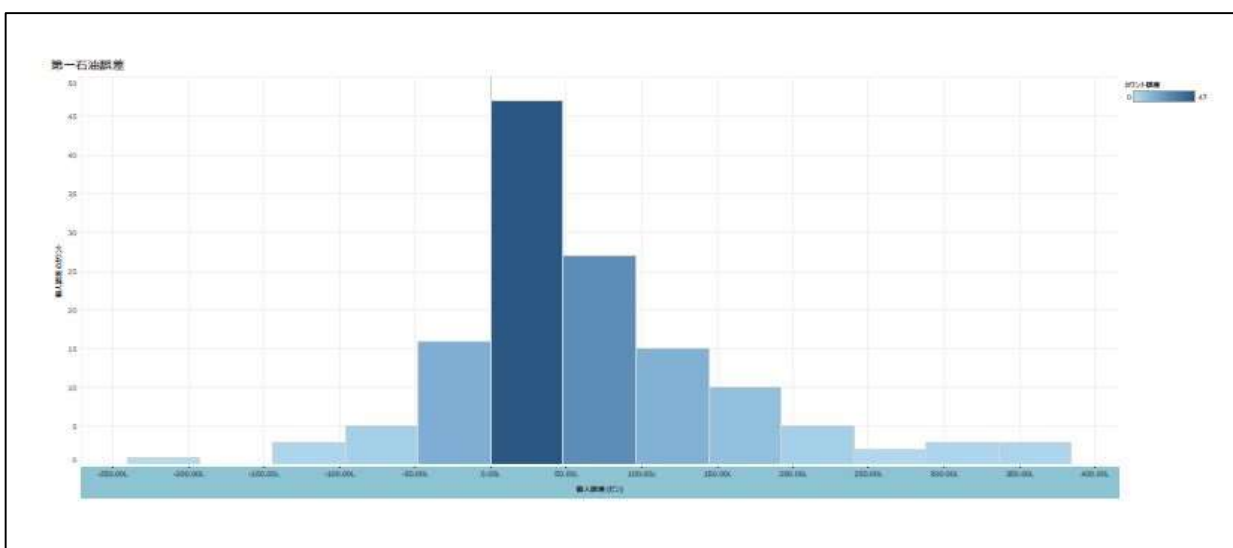
(誤差量の50Lの考え方)

東北地方におけるホームタンク容量は200Lタンクが主流である。本実証事業では、AI予測による次回配送のタイミングを60%消費を超えると想定した日としている(3頁に記載)。つまり200Lタンクにおいては在庫量が40%の80L前後時に配送を実施しているが、過去の配送事例で在庫量が30Lを切ると圧力の関係から在庫があるにも関わらずホームタンクから暖房機器に灯油が上手く流れて行かず、結果在庫切れ状態となってしまう事例があり、この過去事例を踏まえ誤差量50L程度以内(80L-30L)であれば、在庫切れを起さず効率的配送が可能となると判断し、誤差量50L程度とした。

1) 5週間分の配送回数別の誤差量

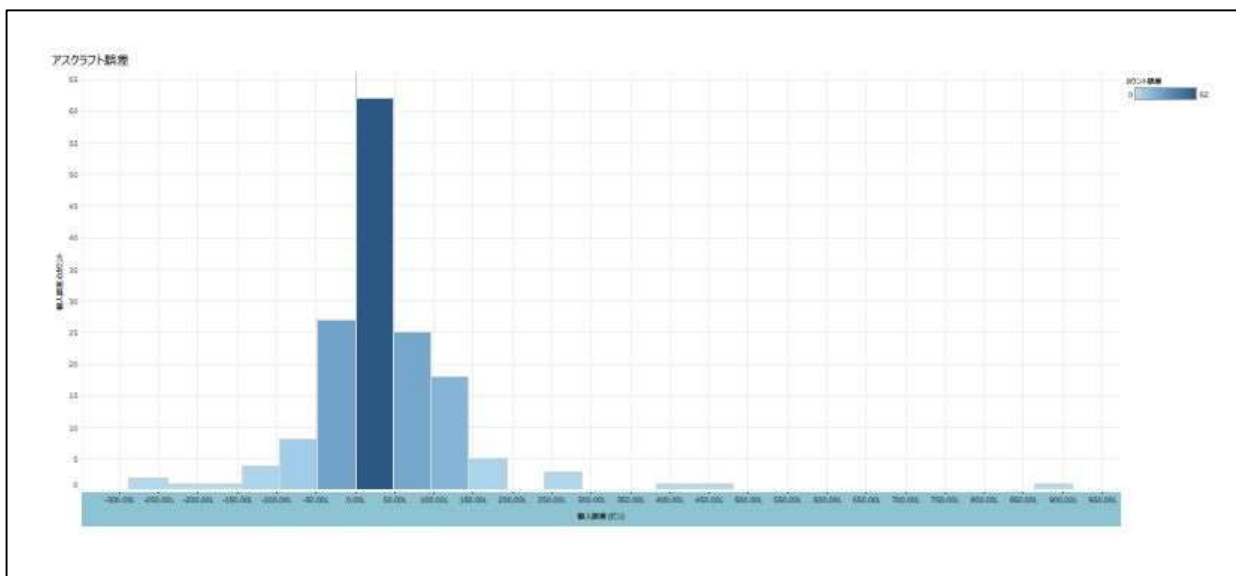
①久慈市において、検証期間配送の誤差が±50L以内と少なかった配送数が、全体の46%という結果となり、半数以上が50L以上の誤差を生じていた。

(第一石油の配送回数別誤差)



②奥州市においては、誤差量±50L以内の配送回数比率は56%となっており、久慈市に比較し若干AI配送精度が高い結果となった。

(アスクラフトの配送回数別誤差)



2) 週単位での誤差の推移状況

実証期間	AIと実配送数量の誤差量(L)	
	久慈市	奥州市
第1週	56.95	40.21
第2週	43.04	34.69
第3週	69.71	78.92
第4週	24.28	41.11
第5週	47.61	14.51

左記のとおり、誤差はAIの学習量が上がるに伴い徐々に改善されており、久慈市・奥州市とも50Lを切る平均誤差量となっている。

3) AI策定配送計画と実配送実績との誤差についてのまとめ

(誤差改善が出来た要因)

上記2)に記載のとおり、実証期間の推移とともにAI予測値と実配送数値との誤差が大きく改善している。改善の要因としては、まずAIに過去2年間の全配送データを入力学習させた事で、AIが仮説の消費モデルを作成しているが、実証期間中の実配送量がこの仮説モデルの範囲に収まったケースが多く、AIが混乱せずに消費予測を出せた事が要因と考える。また当然のことながら、期間が進むにつれ学習量も増加しより消費予測の精度が高まったものと想定される。

(誤差が大きく残った配送先の要因)

上記の通り全体的には誤差の改善が進んでいるが、一方で実証期間後半においても誤差の改善が進まない配送先も存在する。

要因としては、AIが立てている消費モデルの幅に対し、極端に消費量が大きかったり、反対に少なかったりする特殊な配送先があり、これら特殊先は現段階ではAIによる消費モデル外となってしまう、予測が出来にくい状態であることにある。

極端に消費量が大きくなるケースの要因としては、新型コロナウイルス感染拡大対策としてリモートワークや学校休校措置等により平日日中の暖房機器使用時間が増加し、想定以上の消費量に繋がった事などが想定される。また反対に消費量が少なくなったケースの要因としては、対象顧客がスポットで他社より灯油購入したり、ホームタンク以外にポリ缶等で備蓄していた灯油を自らホームタンクに注油したため、ホームタンク在庫量が予測値以上に減少しなかったため、配送数量＝消費量が極端に少なかった事などが想定される。

このように在宅者数や在宅率の増加、顧客がスポットで購入を行った場合等、顧客が通常の状態と異なる消費行動を取った場合は、その期間の在庫量をAI消費モデルにより予測することが困難である。

そのため、顧客が通常の状態と異なる消費行動を取った期間については、在庫量を別途把握する必要があることから、顧客から在庫量を事業者連絡をしてもらう等の契約や約定をあらかじめ交わしておく等の対応を行う必要がある。なお、こうした顧客については、通常の状態と異なる消費行動を取った期間の配送実績をAIへの入力・学習から除く等、異常値として処理することで、通常の状態に戻った際には消費モデルの活用が改めて可能になる。

6. 本事業の成果と課題

本実証事業は、久慈市(沿岸部)、奥州市(内陸部)において、世帯内容調査と灯油消費量をAIに学習させ、AIによる消費モデルおよびAIによる配送計画の策定を行い、AI配送計画と実配送の比較検証を行うことにより、東北地方の他の過疎地域においても広く活用できるモデルとなりうるかを実証することを目的として実施した。

活動内容および結果は前述のとおりであるが、その成果と課題を以下にまとめた。

(1) 本事業の成果

①実証地域である久慈市(沿岸部)、奥州市(内陸部)において、灯油消費傾向の差の有無を検証するため、両地域で調査対象世帯(各150軒)の世帯内容調査を実施し、世帯特性と灯油消費との相関関係について検証を行った結果、一部項目に消費傾向差が見られたものの、全般的には沿岸部・内陸部の消費傾向差は見られず、消費モデルを沿岸部・内陸部で区別する必要がない事が分かった。

②東北地方における消費モデルの実用化に当たり、消費予測値と実配送数量の誤差量が50L以内であれば在庫切れを起こさず(8頁「誤差量の50Lの考え方」参照)、実用に耐えられると考えられるが、本実証期間中の平均誤差量を1週間単位での推移で分析すると、実証期間後半になるに従い誤差量が大きく改善されており、久慈市においては最小値24.3L、奥州市においては14.5Lまで改善し、在庫切れを起こさない誤差量と想定した50L以内を平均値では達成できた。

これは、消費モデルの策定にあたって、過去2年間の全配送データを入力・学習させるとともに、実証期間中の配送データを入力・学習させたことで、予測精度を向上できたことによるものと考えており、今後モデルとして実用化に耐えるものが出来たと評価している。

しかし、下記(2)①に記載のとおり、顧客が通常と異なる消費行動を取る場合があり、その場合は当該顧客の在庫状況を把握するための対応が必要となる。

(2) 今後の課題

①今回実証を行った消費モデルについては、今後モデルとして実用化に耐えるものが出来たと評価しているが、5.(2)3)に記載の通り、在宅者数や在宅率の増加、顧客がスポットで購入を行った場合等、顧客が通常の状態と異なる消費行動を取った場合は、その期間の在庫量をAI消費モデルにより予測することが困難である。そのため、顧客が通常の状態と異なる消費行動を取った期間については、在庫量を別途把握する必要があることから、顧客から在庫量を事業者連絡してもらおう等の契約や約定をあらかじめ交わしておく等の対応を行う必要がある。

なお、こうした顧客については、通常の状態と異なる消費行動を取った期間の配送実績をAIへの入力・学習から除く等、異常値として処理することで、通常の状態に戻った際には消費モデルの活用が改めて可能になる。

②本AI消費モデルを活用する場合には、顧客の過去の配送データ(本実証では2年分)をAIに学習させる必要があるが、過疎地域等のSSにおいてはデジタル化が進んでおらず、過去の配送データ(日付別・顧客別・配送数量)は配送伝票や配送日報等の紙ベースでしか保管されていないケースが多いと想定される。その場合、配送伝票等の情報のデジタルデータ化に相応の時間を要し、大きな負担と受け止められる場合もあるものと考えられる。

一方で、本AIシステムは、従業員の熟練度によらずに在庫切れを起こさない効率的・計画的な配送が可能となり、人材不足の対応にも寄与するものであるため、その点についての理解を得つつ、デジタル化を促し、本AIシステムの普及を図っていく必要がある。

7. まとめ

まとめに当り、今回の実証事業を展開させて頂く機会を与えてくださった、資源エネルギー庁様、全国石油商業組合連合会様に心より御礼申し上げます。

本実証事業は、東北地方の寒冷過疎地においてホームタンク在庫センサー受信網の有無に関わらず、燃料供給不安を解消するためのAIによる灯油消費予測および配送計画策定の実証でありました。

限られた実証期間の中で、可能な限りの取組みを実施し一定の成果を得ることが出来たと考えております。

本実証で得ました経験・データ・成果等を活かし、AIモデルが実用化されることが今後の東北地方寒冷過疎地における燃料供給体制の維持に寄与するものと思っております。

今後も継続しデータの蓄積を行い、AIモデルの実用化に役立つよう研鑽を重ねてまいります。

資源エネルギー庁様、全国石油商業組合連合会様には、今後ともご指導を賜りますれば幸いです。

以上