

AI を活用した金属缶と食品の適応性評価

大和製罐株式会社 総合研究所 又吉 りえ / 赤地 利幸

● 1. 序論

近年 SDGs (Sustainable Development Goals : 持続可能な開発目標) の取り組みの一つである「14: 海の豊かさを守ろう」に対する問題として、海洋へのプラスチックごみ流出問題が課題に挙げられている。海洋中での自然分解速度は、飲料用ペットボトルの場合で約400年である(出典: NOAA/Woods Hole Sea Grant)。また、PETなどのプラスチック素材は、衝撃や紫外線、熱などの外的要因によって劣化してさらに細かく碎け、5ミリ以下のマイクロプラスチックとなり、それらを誤食した海洋生物に対して摂餌能力の低下や生殖機能への悪影響が懸念されている等、プラスチックによる生態系への悪影響が話題となっている。これが要因となって、海外(特にヨーロッパ)を中心に、ペットボトルから他の素材(金属、紙など)への移行が進んでいる。国内でも、2019年2月には省庁や国立大学など国の全209機関で、会議などでのペットボトル飲料の配布を取りやめる等、環境に配慮した方針を定める組織も出てきている。

このような状況は、金属缶容器メーカーにとっては金属缶の長所を見直して頂く良い機会であり、どのような食品、飲料にも金属缶を活用できるように対応していくことが求められている。

金属缶の主素材であるスチールやアルミニウムは、強度や耐久性、コストの面で優れている。しかし、金属素材の宿命として、内容物と直接的に接触すると金属がイオン化し食品中に溶け出すという懸念がある。そのため、直接的な接触を防ぐために、金属缶の内面には、合成樹脂を塗装したり、フィルムを被覆したりしている。そうするこ

とにより、缶内面の金属と内容物が直接接することを妨げ、金属がイオン化し内容物中に溶け出して、内容物の味や香りなどが変化することを防いでいる。

食品・飲料の種類も様々であり、炭酸を有するもの、酸度が高いもの、塩化物イオン量が多いもの、アルコールを含むもの等、特徴は多岐にわたる。そのため、一般的に金属缶の内面の被覆素材は、様々な食品・飲料種に対応できるよう、またコストメリットや環境対応の面からも多くの仕様がある。つまり、食品成分によって適した内面仕様、不適な内面仕様が存在する。その食品成分と内面仕様の適切な選定には、食品成分と塗料やフィルムの特性の多くを把握しなければならず、熟練の技術を要した。

しかし、熟練者の高齢化による技術の損失懸念や技術伝承にかかるコストの観点から、年々この熟練技の維持が困難になってきた。技術伝承を困難にしている要因は、熟練者のノウハウが長年積み上げた経験やコツなどの感覚を主としており、数値化・見える化されていないことだと考えられた。そのノウハウを習得・伝承していくためには、感覚を養い OJT などにより長期間学ぶ必要があるため、多大な工数やコストを要していた。本開発では、この感覚的な熟練の技を数値化・見える化し、さらに AI を利用することで判定をスピードアップし工数を削減していくことを目標とした。

● 2. 食品成分に対して適切な金属缶の内面仕様を選定する今までの方法

貯蔵試験を実施し選定する方法

中性食品、酸性食品、アルコール飲料、果汁飲料、炭酸飲料、濃縮飲料、ゼリー飲料、ゼリー炭

酸飲料など、食品・飲料商品の多様化に伴って、食品メーカーから発売される新商品の中には、金属缶容器メーカーとして対応したことの無い物性の食品種が出てくる。顧客が安心して使える金属缶を供給する責務から、食品・飲料種に対して適切な金属缶の内面仕様を提供する必要がある。

適切な内面仕様を選定しなければ、塗料やフィルムなどの内面素材の被覆機能が低下し、食品成分と缶の主素材であるスチールやアルミニウムとの接触を完全に防止できずに、賞味期限前に缶内面金属に腐食が発生してしまう。

そのため、金属缶容器メーカーとして対応したことの無い新たな物性の食品・飲料であった場合は金属面の腐食の状態を確認するために販売予定の製品を実際にテスト充填し、その製品を数カ月ないしは十数カ月の間、所定の貯蔵条件の下に貯蔵し、その後に開封して腐食等の劣化状態を調査(貯蔵試験)して確認を行ってきた。

過去の製造データや貯蔵試験結果をもとに

選定する方法

物性値的に既存の食品成分と同等の食品種に関しては、我々は過去の知見をもとに適切な内面仕様を把握している。その場合は敢えて貯蔵試験は行わずに、該当の食品種に対して適切な金属缶の内面仕様を過去の貯蔵試験データを参考にし、選定している。

● 3. 食品成分に対して適切な金属缶の内面仕様を選定する方法の課題

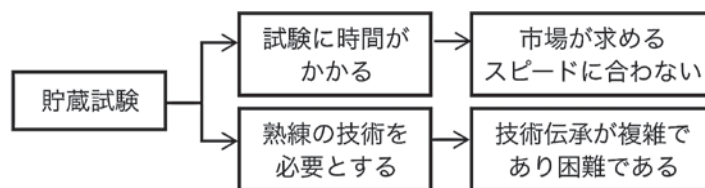
(第1図)

物性値的に既存の食品成分と同等の食品種に関しては適切な内面仕様を選定できるため、内面仕様の選定に対しては問題となるものは少ない。

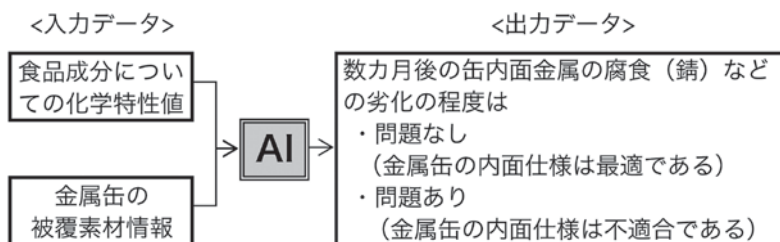
しかし、先に記載した貯蔵試験を必要とする食品種は、賞味期限の期間中貯蔵し缶内面金属の腐食の状態を観察する必要があることから、膨大な時間と工数がかかる。大抵の食品種の場合、貯蔵する期間を短縮(促進試験)し長期保存した際の状態を推察しているが、それでも数カ月を必要とする。この長期間に及ぶ貯蔵試験は、食品・飲料メーカーが求めるスピードでの金属缶の内面仕様の決定を困難にし、タイムリーな市場ニーズには合致できない。また技術伝承の複雑さも課題である。熟練者は感覚的なノウハウをもとに内面仕様の選定を行っており、そのノウハウは数値化・見える化されていない。そのため、ノウハウを習得するためには長期間学び感覚を養う必要がある。

● 4. 課題に対する解決策としての AI 技術の活用

これら課題の解決策として、機械学習型の AI を利用することにした。我々は、AI にこれまで熟練者しかできなかった認識や推論についての手順(アルゴリズム)と情報や知識(教師データ)



第1図 食品種に対して適切な金属缶の内面仕様を選定する上での課題



第2図 AI 利用時のイメージ

第1表 教師データ（説明変数と目的変数）

説明変数	金属缶の使用に関するデータ
	食品成分に関するデータ, 性状値
	貯蔵した環境についてのデータ
目的変数	金属缶の劣化指標A
	金属缶の劣化指標B
	金属缶の劣化指標C

第2表 AI 利用時のイメージ

目的変数	容器劣化のレベル			
劣化指標A	G1	G2	G3	G4
劣化指標B	G1	G2	G3	G4
劣化指標C	G1	G2	G3	G4

を学習させることで、機械的に推論結果を出力させることを目指した。AI の構築にあたっては下記のような手順で行った。

(1) 目的設計

貯蔵試験を実施せずに、数カ月後の缶内面金属の劣化程度を予測できる AI を構築することを目的とした。具体的には、食品成分についての化学特性値と金属缶の被覆素材情報を入力するだけで、数カ月後の缶内面金属の腐食などの劣化程度を予測する AI の構築を試みた (第2図)。

(2) AI 構築における教師データの設計

目的に沿った AI を構築するにあたり、熟練者の持つ知識や推論の方法を学習させる必要がある。まず、学習データとなる知識について第1表のように説明変数（目的変数を予測する際に利用する変数）と目的変数（予測したい変数）に分類した。説明変数は、金属缶の素材、食品成分の化学特性値、貯蔵環境に関するデータであり、目的変数は、所定期間後に容器の劣化を考察する際の指標データである。

次に、熟練者の持つ上記知識の活用ロジック（判断基準）を明確化した。熟練者は、所定期間後の容器の劣化を第2表のように劣化の良し悪しをグレード分けして解釈していることが分かった。しかし、このグレードの境目の基準は熟練者によって異なり、さらに感覚的に判断されていることも分かった。AI に判断させるためには、その判断基準を数値化、見える化する必要があるため、

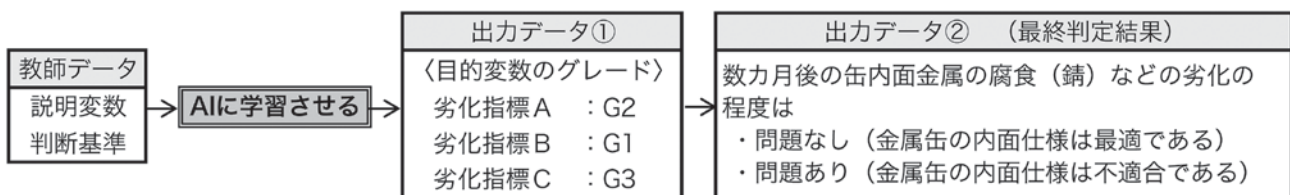
熟練者の推論過程や結果と過去の研究結果との関連性を考察した。何度も考察を重ねることで、熟練者の総意を得られる判断基準を構築することができた。第2表では具体的数値は省略しているが、グレードの境目には明確な数値基準を設けた。

(3) PoC (Proof of Concept ; 概念実証)

モデル構築の一段階目として PoC を行った。今回の目的である、金属缶と食品成分の適応性評価に AI を利用するという概念は初めての試みであった。そのため、この新しい概念が実現可能なものか、目的に沿う結果が出力されるのか、結果の精度は求めるレベルであるのかを確認する作業を必要とする。PoC では説明変数と判断基準をもとに作成した教師データを AI に学習させ、目的変数のグレードを出力させた。この出力結果を我々の独自の基準で再解釈させ、我々の今までの知見をもとに最終判定結果を導き出せるかどうか検証を行った (第3図)。

(4) PoC 精度評価

PoC の結果、数カ月後の缶内面金属の腐食の劣化程度を「A 区分：問題なし（当該金属缶の内面仕様は当該食品種に対し最適である）」と「B 区分：問題あり（当該金属缶の内面仕様は当該食品に対し不適合である）」に分類して出力可能であることを確認した。しかし、結果の精度は我々の求めるレベルには至らなかった。第4図のように貯蔵試験での結果が「A 区分」でかつ AI の推論結果が「A 区分」の場合と、正解が「B 区分」でかつ AI の推論結果が「B 区分」の場合は、貯



第3図 PoC の工程

蔵試験の結果と AI の推論結果が一致しているため、AI は正しく判断できていることになる（第 4 図の灰色箇所）。しかし、貯蔵試験の結果が「A 区分」でかつ AI の推論結果が「B 区分」、貯蔵試験の結果が「B 区分」でかつ AI の推論結果が「A 区分」の場合は、貯蔵試験の結果と AI の推論結果が一致していないため、AI の推論は誤っている（第 4 図の白色箇所）。第 4 図の数値は実際の推論結果ではなくモデル値であるが、実際我々が行った PoC では 92% 程度しか AI は正しく推論できなかった。PoC として、推論が可能であることは分かったが、精度は未だ不足していた。

実際の貯蔵試験の結果	A区分	70	7
	B区分	3	20
		A区分	B区分
		AIの推論結果	

A区分：問題なし
 (金属缶の内面仕様は食品・飲料種に対し最適である)

B区分：問題あり
 (金属缶の内面仕様は食品・飲料種に対し不適合である)

第 4 図 貯蔵試験の結果と AI の推論結果の行列表

(5) 精度向上のためのモデルの改良と

データの質向上とデータ量増加

PoC で 92% の精度を確保できたことから、金属缶と食品成分の適応性評価に AI を利用するという概念は実現可能なものであると結論付けた。しかし、92% の精度は顧客に安心した金属缶を供給する責務から、実用化レベルには達していないと判断した。そのため、精度向上のためのモデル改良とデータの質向上、データ量の増加を行った。

<モデルの改良>

目的変数のグレードの閾値しきいちに対する調整を行い、PoC 時より最適化した。

<データの質向上とデータ量増加>

データの一部が欠損しているなど信頼性の低いデータを削除し、さらに AI に学習させる信頼のおけるデータ数を増加させた。

(6) PoC の精度の再検証

モデルの改良とデータの質向上とデータ量増加を行ったことで、PoC 時は 92% 程度の正解率であった AI は、97% 以上の精度で正しく推論できるようになった。現在モデルの精度向上を継続しているため、今後はさらなる向上を見込んでいる。

(7) UI (ユーザーインターフェース) の設計

実用化に向けて「AI に推論させる操作 UI」、
 「教師データを追加する管理 UI」、
 「AI の精度を監視する監視 UI」の 3UI を設計した。「AI に推論させる操作 UI」は、今回の AI 構築の目的である食品成分に対して適切な金属缶の内面仕様を選定する際に利用する。「教師データを追加する管理 UI」は AI に継続的に新たなデータを追加学習させることで、さらなる精度向上をさせる際に利用する。金属缶の新たな仕様や新しい内容物が発生した場合にもデータのメンテナンスを行う際に利用する。「AI の精度を監視する監視 UI」は常に精度良く AI が推論結果を出しているか監視し、精度の検証を常時行う。

(8) 実用化

現在の 97% の精度は、顧客に安心した金属缶を供給する責務からも満足はしていない。

この先、一定の期間は熟練者と AI の両者で並行運用し、AI に独立させて良いと我々が納得した際に実用化に移行する予定である。

● 5. まとめ

現段階では AI を構築したことにより、貯蔵試験せずとも、97% の精度で数カ月後の缶内面金属の腐食状態を推定することができるようになった。そのため、市場が求めるスピードで、食品・飲料種に対して適切な金属缶の内面仕様を選定することが可能となり、さらに工数削減も可能になる。技術伝承の困難さにおける課題については、熟練者の感覚的なデータの活用ロジック（判断基準）を数値化・見える化したことで、腐食に関するメカニズムを論理的に解釈でき、さらに AI にもこれらのロジックを教え込むことに成功した。

●6. 特許について

記載の内容については、2020年7月1日に特許出願している。

●7. 最後に

今回 AI の構築で一番苦勞した部分は、熟練者の感覚的なノウハウを数値化・見える化するプロセスであった。人間は無意識に感覚的学習ができるが、AI は全ての数値やロジックを明確に指定しなければ学習はできない。そのため、人間の感覚をいかに正確に数値として表現できるかは困難を極めることであった。しかし、熟練者が数十年かけて蓄積したビックデータがあったため、一つ一つのデータを精査し、根気よく熟練者にヒアリングを行って考察を進めること

でノウハウの数値化・見える化ができた。さらに、これらビックデータを活用し現代の新たなツールである AI を利用できたことで、技術の伝承、蓄積や判断のスピードアップを実現することができた。

今後も引き続き、市場のニーズにマッチする製品を適切なタイミングで世に送り出すため、そして熟練者の高齢化による技術の損失を防ぐためにも、AI を利用して我々の技術を保持しつつ効率的に活用していきたい。

※本件に関するお問い合わせ先

大和製罐株式会社

〒100-7009 東京都千代田区丸の内2-7-2

www.daiwa-can.co.jp

身近にいつも
E のチカラ

皆様の暮らしに寄り添い、もっと喜ばれる「ビタミンE」を作りたい。ビタミンEの良さをもっと多くの人にお伝えしたい・・・。

この夢や理想とこれまで積み重ねてきた技術と知識を礎に、三菱ケミカルフーズはこれから信頼されるビタミンE製品をお届けいたします。

その先のKAITEKI社会の扉を開く
Vitamin E

三菱ケミカルフーズ株式会社