SATAKE THAILAND（タイ）　研修報告書
1. 鋳造部品におけるエアバブル自動検出器開発・特徴量の定量化
2. 部品棚の通路はみ出し検知技術の実用化検討

先進理工系科学研究科　機械工学プログラム　中山翔生

1. はじめに

近年の製造業は内需型産業を中心とした事業構造を背景に，将来的な需要減退局面に備えて積極的に海外事業を拡大する企業が増加する．また，経済状況の悪化に伴った人件費の高騰・製造品供給の効率化の観点から，国内メーカーは東南アジアへの技術移転に注力する．
SATAKE 株式会社は広島県に本社を構える食品産業向け総合機械およびプラント設備の製造・販売企業で，製品の輸出国数は約 150 カ国・海外拠点を 14 カ国に有するグローバル企業である．特に、SATAKE (Thailand)は籾摺り精米プラント機器（籾摺機，精米機，研米機，選別機等）の一元的な生産・出荷を担う重要生産拠点である．SATAKE 様のもとで，現地ニーズに適応した製造体系の確立手法や，日本とは異なる環境・設備に起因する課題解決に注力したいとの思いから，本プログラムを志望するに至った．

2.　研修先の概要

会社名：サタケタイランド(STH: SATAKE (THAILAND) CO. LTD)
設立：1986 年
事業内容：穀物加工機械の製造販売
所在地：パトゥンタニ工業団地
従業員数：350 人（当時日本人駐在員 4 名）
敷地面積：23,000 m2



3. 研修スケジュール

7/18（金）　派遣前国内工場見学（サタケ豊栄工場）
8/27（水）　日本出国・タイ入国
8/29（木）　研修開始
9/11（木）　中間報告会
9/19（金）　最終報告会
9/21（日）　タイ出国・日本帰国

4. 研修テーマの決定

4.1　テーマ 1「鋳造部品におけるエアバブル自動検出器開発・特徴量の定量化」に関して

現地工場見学を実施した際，加工後の不良により NCR（Non Conformance Report）が発行された部品が多数散見された．特に鋳造工程においては、湯流れの不良や冷却速度の差異に起因して材料内部に空気泡（エアバブル）が形成される事例が多く，これが加工後に発見されることで，再加工や部品交換を余儀なくされるケースが頻発していた．

さらに調査を進めたところ，鋳物メーカーに対してエアバブル改善を要求しても，その発生状況を目視で確認するに留まっており，部品内部における発生位置や発生量を定量的に把握・説明することが困難であることが判明した．その結果、改善要求が十分に進展せず，品質改善の取り組みが停滞している現状が明らかとなった．

そこで本研修では，機械学習によるコンピュータビジョンを活用し，エアバブルの自動検出および定量化を簡易かつ定量的に実現可能な手法を確立することを目的とする．
さらに本取り組みを通じて、将来的にはエアバブルに限らず、他の材料欠陥に対しても完全自動で検出・定量化が可能となる AI システムの構築へと発展させるための足掛かりすることを目指す．

4.2　テーマ 2「部品棚の通路はみ出し検知技術の実用化検討」に関して
　本テーマを選定した背景として，現場課題を統計的に把握することを目的に，従業員を対象とした労働環境改善アンケート調査を実施した．回答者は作業者および事務スタッフを含む計 67 名である．以下にアンケート調査の結果を示す．

1. What causes you the most stress during work?

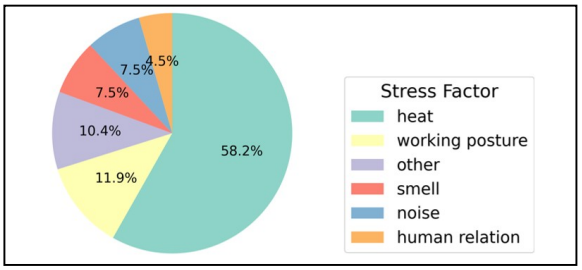


Fig. 4.1 the result of survey (Q1)

2. Have you ever felt any safety concerns in your workplace?

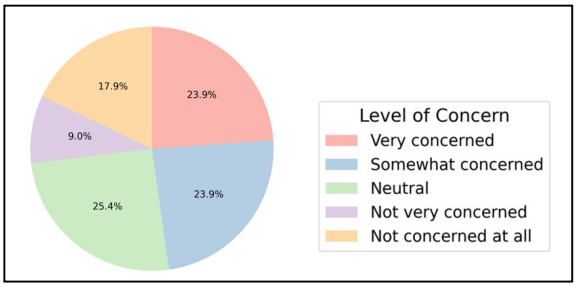


Fig. 4.2 the result of survey (Q2)

3. How do you feel about your break times and break area?

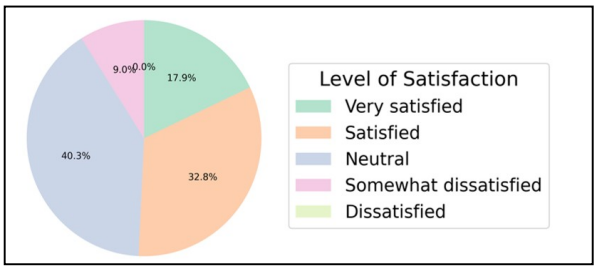


Fig. 4.3 the result of survey (Q3)

4. Are the work procedures and manuals easy to understand?

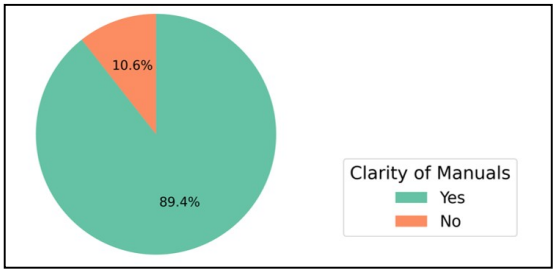


Fig. 4.4 the result of survey (Q4)

　この中で，設問 2「これまで工場内で安全上の懸念を感じたことはありますか？」に着目する．Fig. 2 に示すように，約半数の従業員が作業場において危険を感じた経験があると回答した．さらに具体的状況を精査すると，より明確な安全上の課題が抽出された．特に多く挙げられたのは，作業物や部品の配置が乱雑で通路にはみ出すという指摘である．これに付随して、フォークリフト運転時の危険性や作業スペースの不足など，複数の関連問題が発生していることが明らかとなった．
近年，STH 内部では 5S 活動を通じて従業員の安全確保・モラル向上を図っている．しかし現状では，従業員一人ひとりの安全意識に差があり，危機管理が作業者個々の判断に依存しているという課題が顕在化する．そこで，本研修では部品の通路はみ出しを自動検知する枠組みを構築することで，ヒトの感覚・意識に依存しない労働環境改善を実現し，危険因子の排除に寄与することを目的とする．

5.1　研修内容（鋳造部品におけるエアバブル自動検出器開発・特徴量の定量化）

5.1.1　検出対象となる部品について

以下に本研修の対象とする鋳造部品及び，それが使用される研米機を示す．



Fig.5.1 Casting parts of Rice polishing machine



Fig.5.2 Overview of Rice polishing machine

研米機とは，精米後の米を磨き外観を美しくするための機械である．日本ではあまり馴染みが薄いものの，海外市場においては米の外観が商品価値や売り上げに直結するため，国外で高い需要を有しており，SATAKE の主力製品の一つとなっている．
Fig.5.1 に示す鋳造部品は白銑鋳鉄で製作されており，耐摩耗性が求められる研米機の中心軸に用いられる．しかし，既に言及したとおり，白線鋳鉄は溶湯不足や凝固収縮，部材厚みの不均一さなど複数の要因により内部にエアーが残存しやすい．その結果，加工後にエアバブルが表面に顕在化し，製品の品質・外観に多大な影響を及ぼす．本研修では当該鋳造部品を対象とし，エアバブルの自動検出装置を開発するとともに，その特徴量の定量化を試みる．

5.1.2　検出器開発の流れ

本研修ではオープンソースの物体検出アルゴリズム「Detectron2」を実装し，自作データを用いた機械学習によりエアバブル検出器の開発を行った．Fig5.3 に検出器開発に至る模式図を示す．

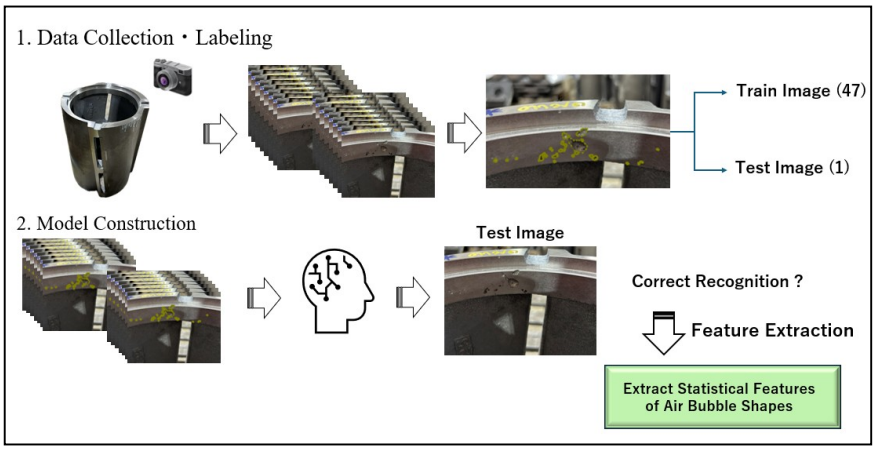


Fig.5.3 Schematic of Detector Development

本手法は教師あり機械学習を前提とするため，最初に教師データの作成を行う必要がある．Fig5.3 の手順 1 に示すように，鋳鉄部材に対し不特定の位置・角度・距離からバブル発生箇所を撮影し，画像で確認されたバブルの輪郭をラベル付け（アノテーション）した．全ての撮像に対しアノテーション作業を実施した後，得られたデータを 47 枚の訓練データセットと 1 枚のテストデータセットに分割した．訓練データを多く割り当てた理由は，本検出対象のエアバブルが小型かつ発生頻度が低いため，テストデータに多く枚数を割くとモデルの学習が不十分となる懸念

があったためである．その後，訓練データセットを Detectron2 モデルに入力し，機械学習を行った．最後に，作成された検出器に対してテスト画像を入力し，モデルが正しく認識・分類できているか検証後，バブルの特徴量を抽出する．
なお，本来は検出精度最大化のため，検出器の開発前に最適モデルの選定やハイパーパラータのチューニングが必要だが，本研修では時間的制約によりこれらの工程は省略した．

5.1.3 実験結果

以下に，テスト画像，自動検出器による推論結果，および検出精度可視化結果を示す．



Fig.5.4 Test image



Fig.5.5 Inference result

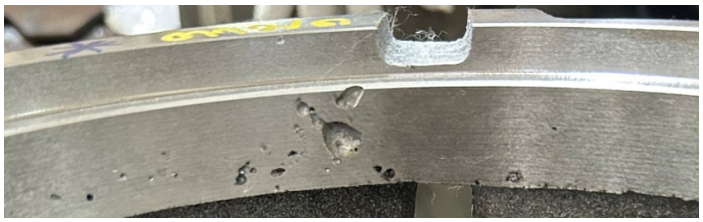


Fig.5.6 Test image (Enlargement)

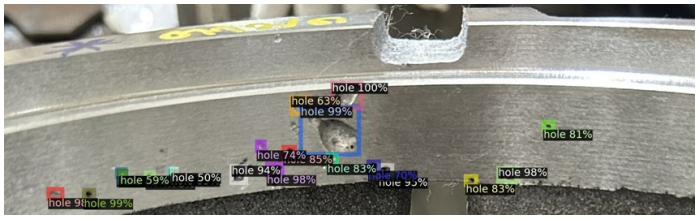


Fig.5.7 Inference result (Enlargement)

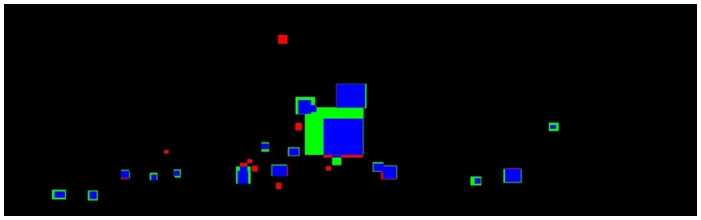


Fig.5.8 Visualized inference result (Enlargement)

Fig.5.8 に示す検出精度の可視化画像では，青色（TP，True Positive）が正しく検出されたピクセル領域で、赤色（FN，False Negative）が未検出・緑色（FP，False Positive）が誤検出の領域である．これらのピクセル面積値を基に，以下の計算式を用いて検出精度を算出した．

$$\text{Precision} = TP/(TP+FP) \quad (5.1)$$

$$\text{Recall} = TP/(TP+FN) \quad (5.2)$$

$$\text{IoU} = TP/(TP+FP+FN) \quad (5.3)$$

その結果，本検出器の推論精度は以下の通りとなった．

Precision＝0.633，　Recall＝0.890，　IoU＝0.587

この結果から特にエアバブルの見逃し（FP）が非常に少ないことが確認された．また，訓練データ数が限られていたことを考慮しても，十分に高い検出性能が得られたと評価できる．

5.1.4 エアバブルの特徴量・パターン抽出

本モデルによって開発されたエアバブル自動検出器の二次的応用として，エアバブルの中心座標・面積値を抽出するプログラムを作成した．以下に，テスト画像のエアバブル位置分布図と粒子径のヒストグラムを示す．

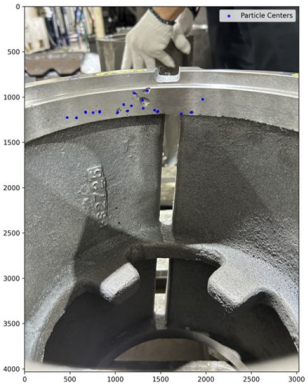


Fig.5.9 Test image sizes

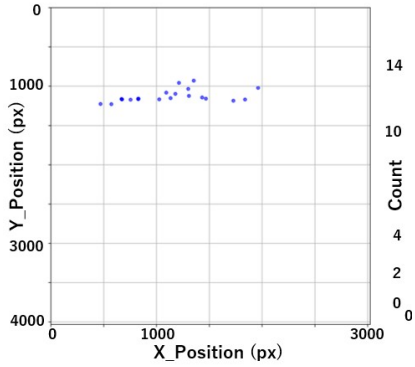


Fig.5.10 Distribution map of air bubble positions

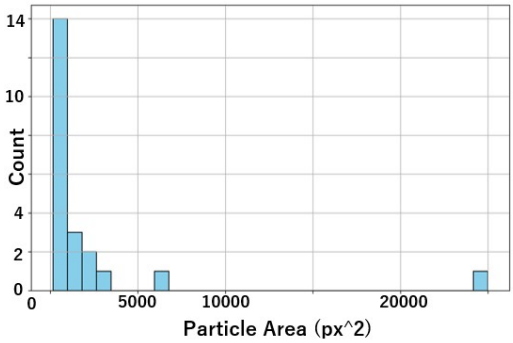


Fig.5.11 Histogram of bubble

Fig.5.9，5.10 に示すように，推論画像から得られたエアバブルの中心位置を X-Y 座標系にプロットすることで，画像内におけるエアバブルの分布傾向を定量的に明らかにすることに成功した．また，Fig.5.11 では，検出されたエアバブルのサイズをヒストグラムによって分類し，その分布特性を把握した．

しかしながら，これらの画像は撮影位置・角度・焦点距離等を一切考慮せず無作為に撮像したものであるため，各種値の真値算出には至らなかった．さらに，本対象は回転対称形状の鋳造部品であることから，エアバブルの発生位置を厳密に定量化できていない点も課題として残される．加えて，本研修では製品検査に用いられるような工業用カメラデバイスを利用することが叶わず，

現段階では実用化に直結する成果には至っていない．ただし，本取り組みは，将来的に特徴量の真値を取得するための実用化へ向けたアイデア検討として意義を有するものであると考える．最後に，これらの真値を算出するための実用的手法について検討を行う．

5.1.5　実用化に向けた検討

以下に，実用化に向けた簡易的な模式図を示す．

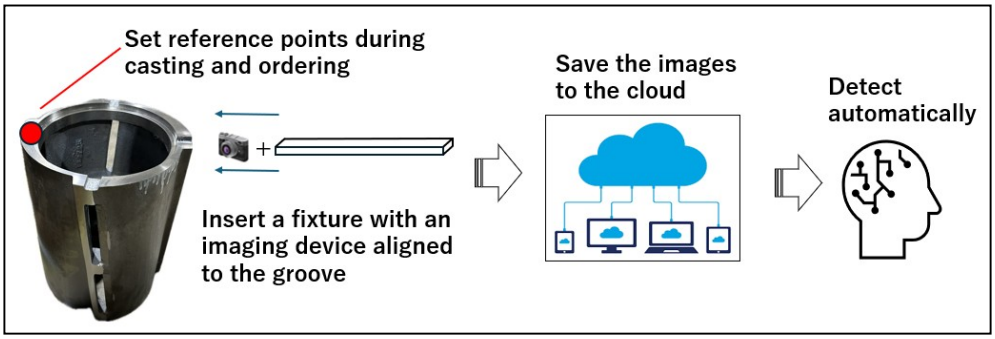


Fig. 5.12 Simplified Schematic for Practical Application of the Automatic Air-Bubble Detector in Cast Products

前述の通り，バブル発生位置と大きさの真値を特定するには，撮影距離・角度を固定する必要がある．加えて，回転対称形状であることを考慮して，部品のいずれかに基準点を設ける必要がある．

そこで，Fig.5.12 に示すように鋳造品上部にある窪みに適合するする細長の棒材固定具を設置，その先端に小型カメラデバイスを取り付ける．鋳造メーカーには鋳造品に基準点を設けてもらい，その基準点を起点として０度，90 度，180 度，270 度の４方向に，部品の円筒中心位置から撮像を行う．この手法により，エアバブルの分布傾向及び特性を正確に把握できると考える．さらに，撮影画像をクラウド上に自動アップロードし，検出器に入力する仕組みを構築することで，完全自動なエアバブル検出システムの実現が可能になると考える．

5.2 研修内容（部品棚の通路はみ出し検知技術の実用化検討）

5.2.1 撮影環境・検出対象および検出器開発について

実際の撮影画像および画像処理過程の様子を以下に示す．

撮影は，通路進行方向に対して垂直となる位置から，高さ約 2m の地点においてスマートフォンカメラを用いて実施した．本来であれば，工場天井にカメラデバイスを設置し，定点観測によるデータ収集を行うことが望ましいが，カメラデバイスを保有していないこと，および天井への設置が現実的に不可能であったことから，本手法を選択した．

検出対象は，緑色の部品棚および黄色の区画線に限定した．このように対象を限定した理由は，工場内に写り込む全オブジェクトを対象とするとラベル付け（アノテーション）作業に膨大な時間を要すること，また研修における時間的制約が存在したこと，さらに検出クラス数の増加がモデル精度の低下を招く可能性があるためである．

本研修では，合計 21 枚の工場内画像に対してアノテーションを実施し，20 枚を訓練データ，1 枚をテストデータに分割した．その後，前節と同様に Detectron2 モデルを用いて機械学習を行い，自作データによる検出器を構築した．



Fig. 5. 13 Actual STH factory environment image



Fig. 5. 14Image processing procedure

5. 2. 2 実験結果

以下に，テスト画像，自動検出器による推論結果，および検出精度可視化結果を示す.



Fig. 5. 16 Test image



Fig. 5. 17 Inference Result

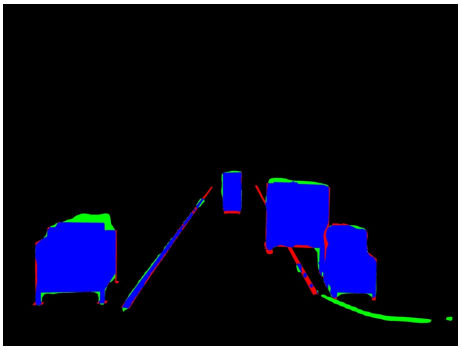


Fig. 5. 18 Visualized inference result

前節で示した式(5. 1)，(5. 2)，(5, 3)を Fig. 5. 18 の推論可視化領域に適用して検出精度指標を算出したところ，以下のような結果が得られた.

Precision＝0. 903,　Recall＝0. 945,　IoU＝0. 857

これらの結果から，本検出器は比較的高精度な検出性能を有していることが確認された. 一方で，Fig. 5. 17 および Fig. 5. 18 に示されるように，黄色区画線の正確な検出が困難であることも明らかとなった. この要因としては，黄色区画線と他オブジェクトとの重複，区画線の幅減少による検出の難しさ，さらには区画線自体の摩耗や消失が挙げられる.

5. 2. 3 後処理・本技術の実用化に向けた検討

現時点において，本検出器単独の適用では黄色区画線を正確に検出することができず，結果として黄色区画線からのはみ出し検知も困難である. そこで，本研究では黄色区画線を手作業でラベリングし，画像処理を施したうえで，その後に検出器による推論を行い，黄色区画線内部にオブジェクトが観察された場合に該当領域を赤色で表示するプログラムを作成した. 以下にその処理過程を示す.

まず，撮影方向と平行に位置する黄色区画線の直線部分を手作業でラベリング（アノテーション）する. この際，他のオブジェクトが区画線と重複している場合でも，重複部分を含めて黄色区画

線をアノテーションし，二本の長方形型ポリゴンを成形する．次に，各ポリゴンの点列データを用いて長手方向の中心線を描画する．最後に，二本の黄色区画線の中心線の端点同士を結び，Fig.5.19 に示すような黄色区画領域を作成した．
その後，同一画像に対して検出器による推論を行い，緑色の部品棚を検出した．検出領域が黄色区画領域と重複する場合は赤色で，そうでない場合は緑色で表示した結果を Fig.5.20 に示す．このプロセスにより，一部手作業を要するものの，部品棚はみ出し検知技術を実装することに成功した．ただし，本黄線ラベリング処理は同一画角で撮影する場合には一度のみ実施すればよく，労力は限定的であると考えられる．



Fig. 5.19 Creation of the Yellow Line Zone by Manual Annotation



Fig. 5.20 Detection of Objects within the Yellow Line Zone

一方で，本技術の実用化にあたってはいくつかの課題が残されている．第一にハードウェア面では，撮像装置の設置位置・角度・性能を適切に調整することが，本技術の有効性を最大限に発揮するために不可欠である．第二にソフトウェア面では，定点カメラで撮影した画像をどのように転送し，自動的に検出処理へと連携させるかというシステム構築が課題となる．さらに，このようなデジタル技術に精通した人材の登用・育成，およびシステムの保全・管理体制の確立も必要となる．
以上のように，実用化に至るまでには多くの課題が存在するものの，本研究における実験検証を通じて，AI 技術を活用した工場労働環境改善施策の有用性と適用可能性を示すことができた．

6. まとめ

本研修を通して，海外工場で直面する課題を抜本的に解決することの難しさを痛感した．また，自身が有する専門技術を現場課題に関連付けて技術検証を行ったが，実用化は至らず，特定の技術領域を現地に適用し，継続的に運用することの困難さも実感した．加えて，学生レベルの知識量・技術には限界があることも認識し，残りの学生生活はもちろん，社会人になってからも自身のスキル向上のため日々研鑽を重ねたい．
生活面においても，約一ヶ月の研修を経て日本とは異なる生活環境・食文化に触れることで，多くの貴重な体験をさせていただいた．慣れない環境に身を置き，日々働きつつ現地に適応することは過酷だったが非常に充実しており，将来海外で働くイメージを明確化することができた．

7. 謝辞

本研修を行うにあたり，小川先生・工学学生支援室の皆様，小中様をはじめとするサタケ豊栄工場の皆様，山本社長，川口様，原本様，中川様をはじめとするSTH日本人スタッフの方々には大変お世話になりました．
また，ワオ様，アラレ様には研修中や生活面での日本語通訳で常にサポートしていただきました．
さらに，副工場長のキティポン様やヌン様，ワン様をはじめとするSTHスタッフの方々には，公私ともに大変お世話になりました．
この場を借りて皆様に御礼申し上げます．誠にありがとうございました．

最後になりましたが，全体の研修を通して大きく成長させてくれたECBOプログラムが，来年度以降も益々発展していきますことを願いまして謝辞とさせて頂きます．