

# フジクラにおけるAI(深層学習)の取組と 高出力半導体レーザウェハ外観検査への適用

2017年12月13日  
株式会社フジクラ

黒澤 公紀

- 第1章 株式会社フジクラのご紹介
- 第2章 ものづくり革新の取組み
- 第3章 ファイバレーザとは
- 第4章 AI(深層学習)を用いた外観検査システムの開発
- 第5章 他のAI案件、今後の取組み

# 1. 1 株式会社フジクラのご紹介



本社(東京木場)



フジクラグループ: 29か国、約140社

■ 会社名

株式会社フジクラ

■ 本社所在地

東京都江東区木場1-5-1

■ 取締役社長

伊藤 雅彦

■ 創業

1885年2月(132年目)

■ 設立

1910年3月18日

■ 資本金(2017年3月現在)

530 億円

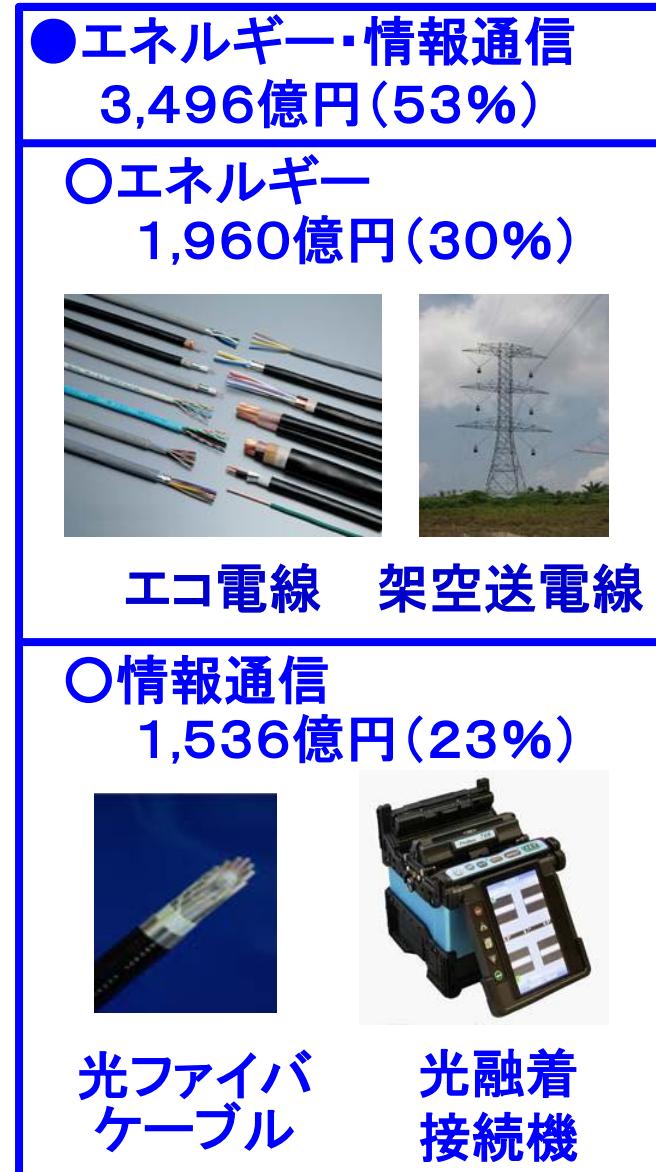
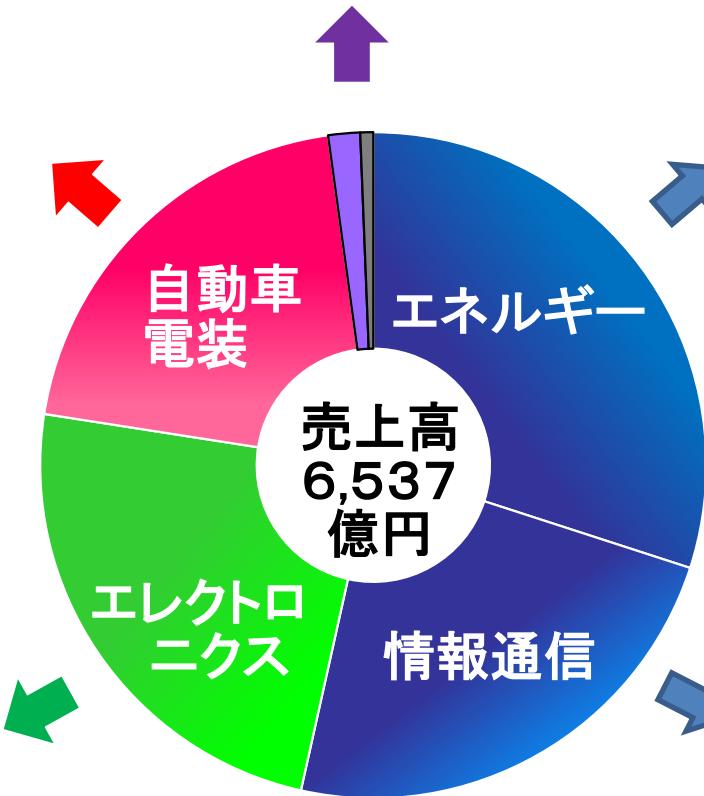
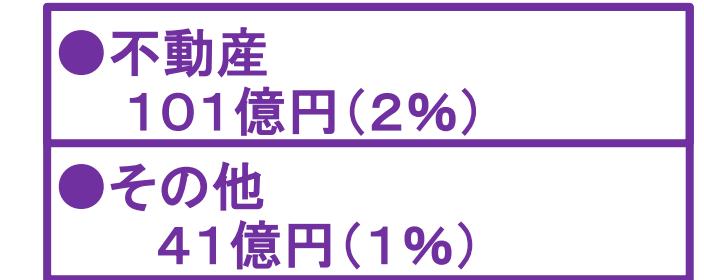
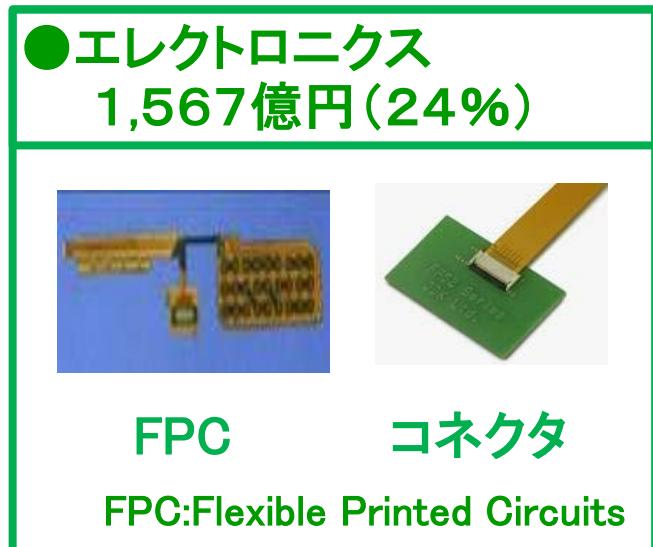
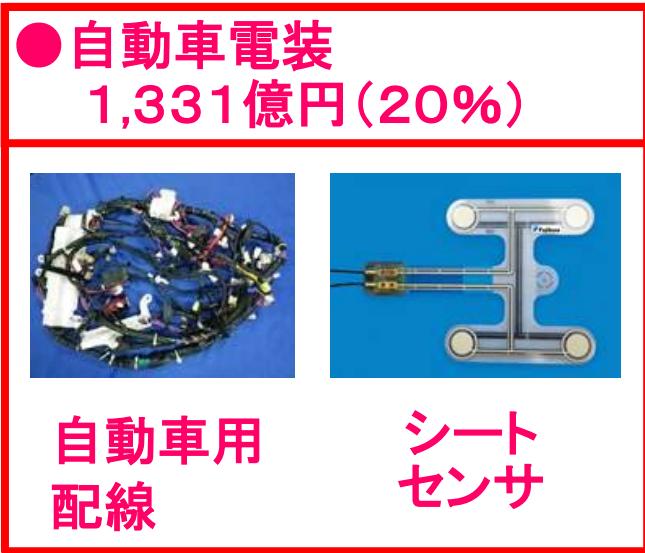
■ 従業員数(連結)(2017年3月現在)

56,961人

■ 売上高

6,537億円 (連結、2016年度)

# 1. 2 フジクラの主要事業・製品



第1章 株式会社フジクラのご紹介

第2章 フジクラにおける”ものづくり革新”の取組み

第3章 ファイバレーザとは

第4章 AI(深層学習)を用いた外観検査システムの開発

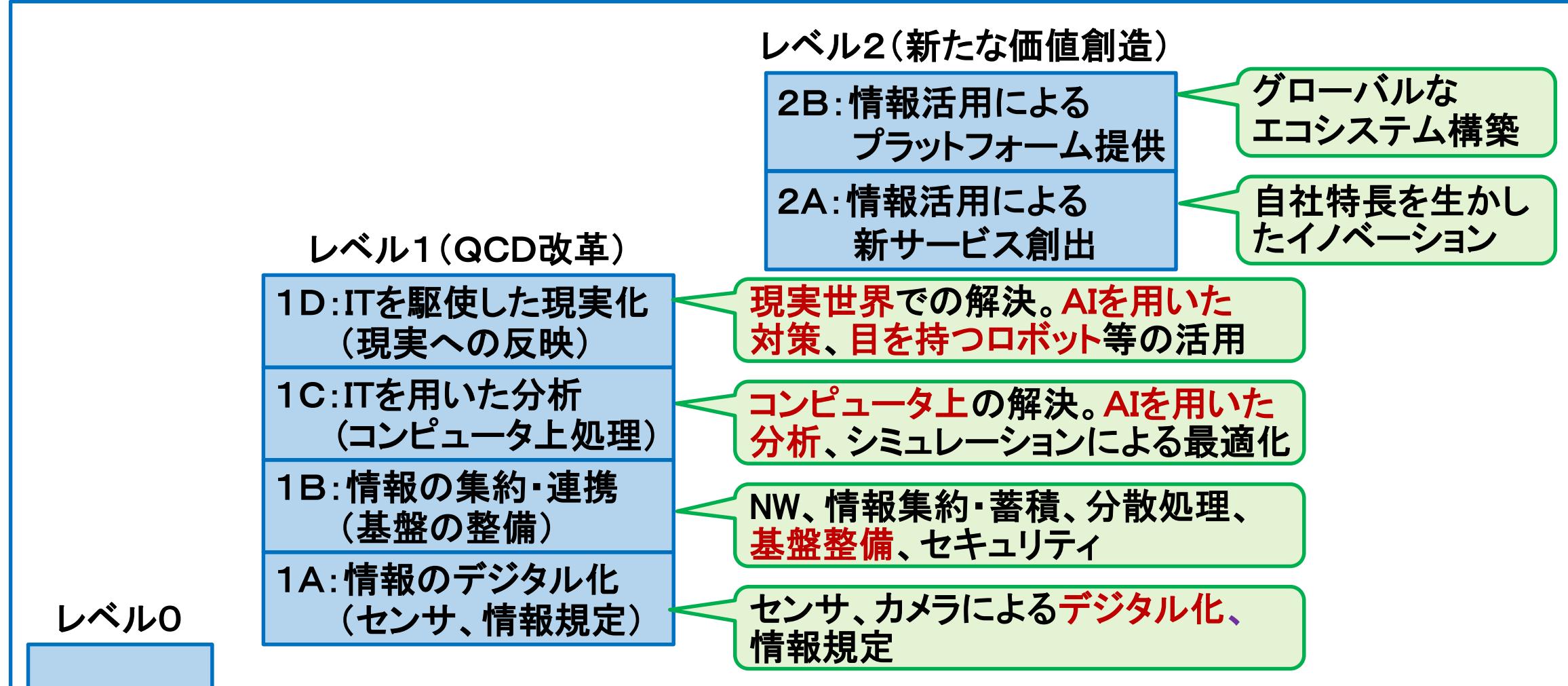
第5章 他のAI案件、今後の取組み

## 2. 1 フジクラの”ものづくり革新”概念

●フジクラで進めている、”ものづくり革新”の概念紹介

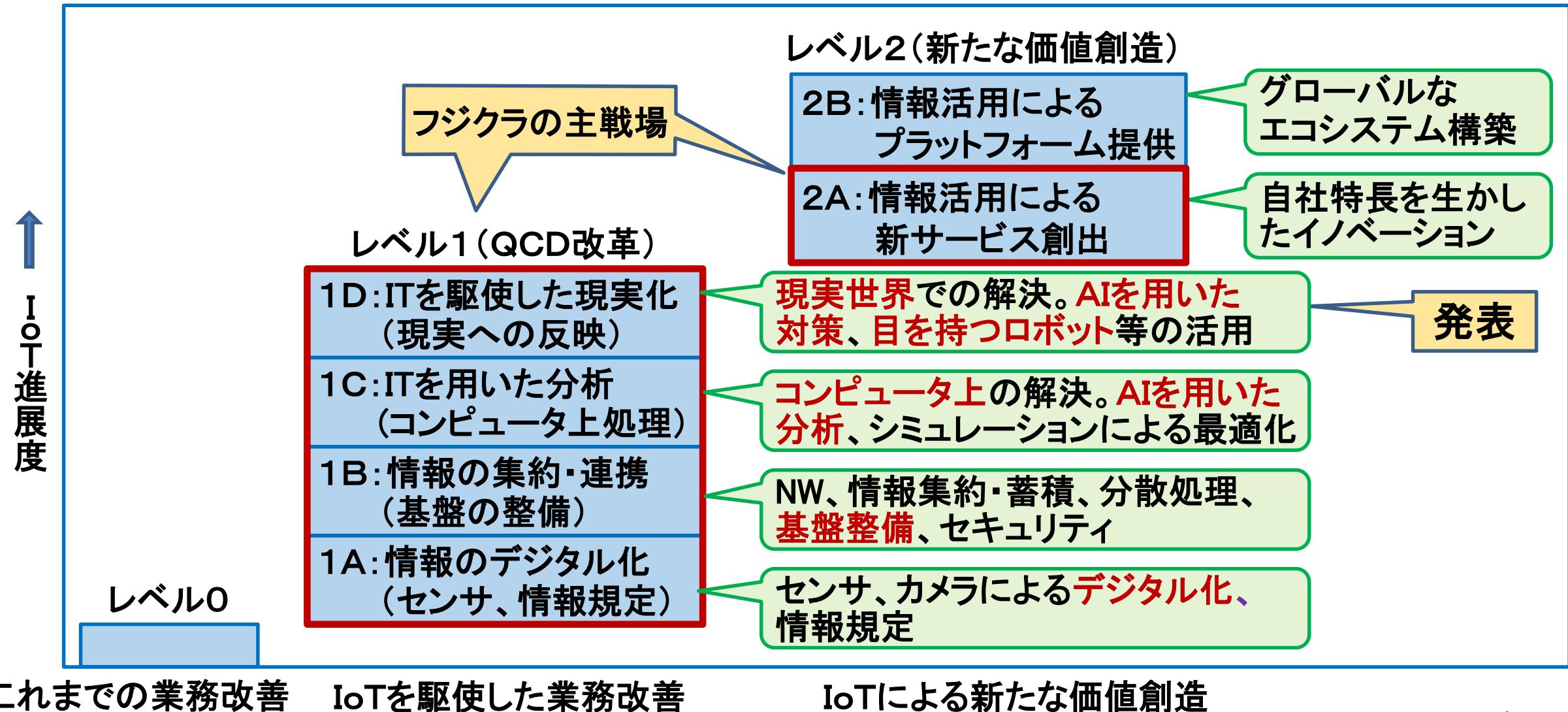
●主戦場は、レベル1:QCD改革、レベル2A:新サービス創出

↑  
IoT進展度



## 2. 1 フジクラの”ものづくり革新”概念

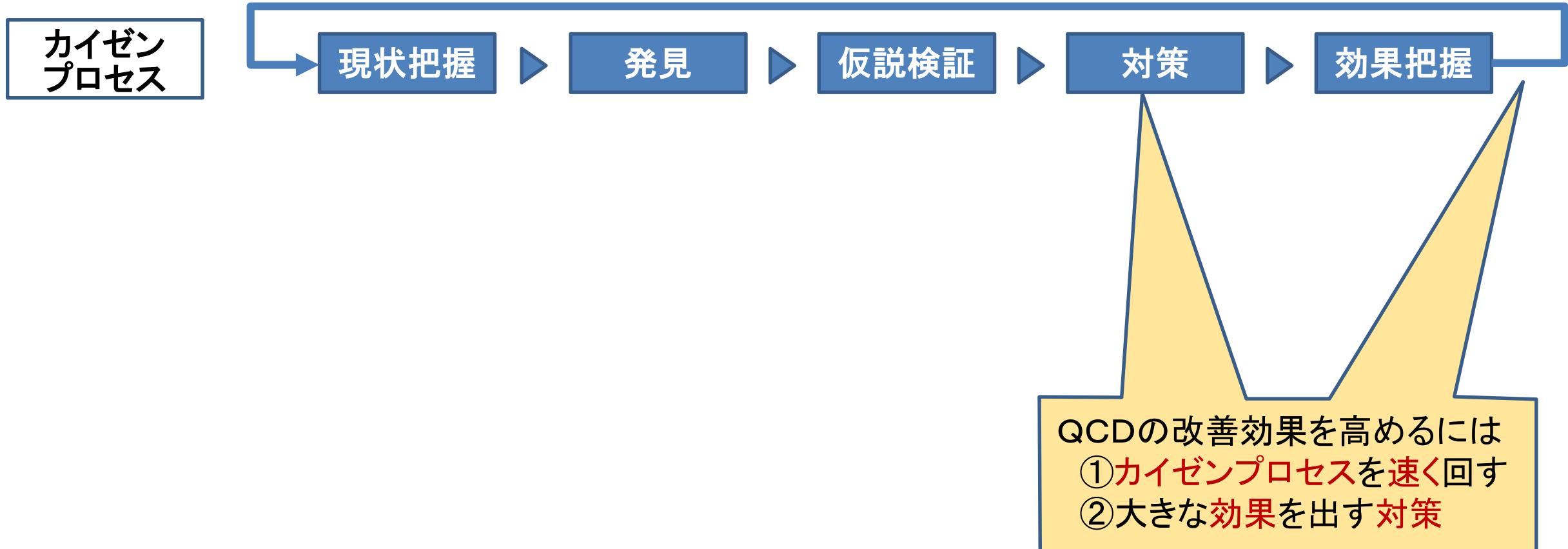
- フジクラで進めている、”ものづくり革新”の概念紹介
- 主戦場は、レベル1:QCD改革、レベル2A:新サービス創出



## 2. 2 “ものづくり革新”(レベル1)のポイント

### ●これまでのカイゼンプロセス

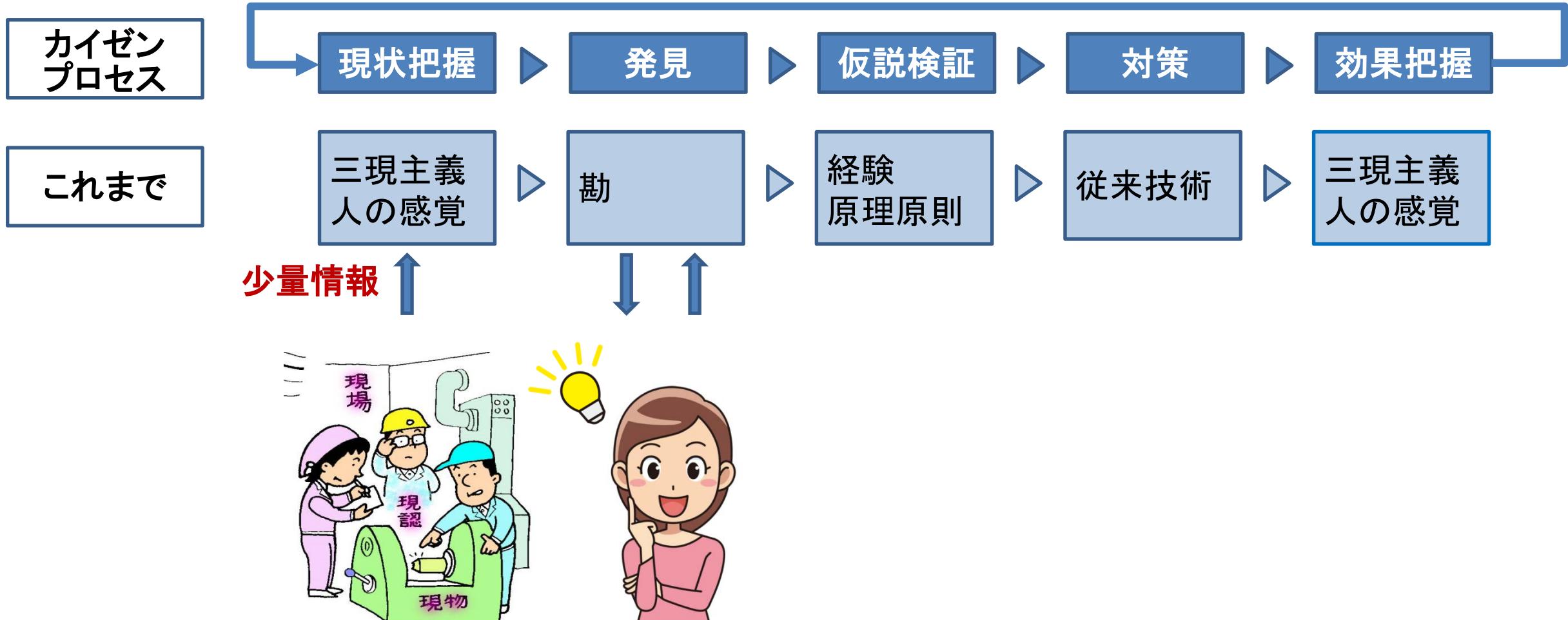
三現主義(現場、現物、現実)、技術者の勘など、**人が回す**プロセス  
⇒**人の処理速度・処理量が全体の速度に影響**



## 2. 2 “ものづくり革新”(レベル1)のポイント

### ●これまでのカイゼンプロセス

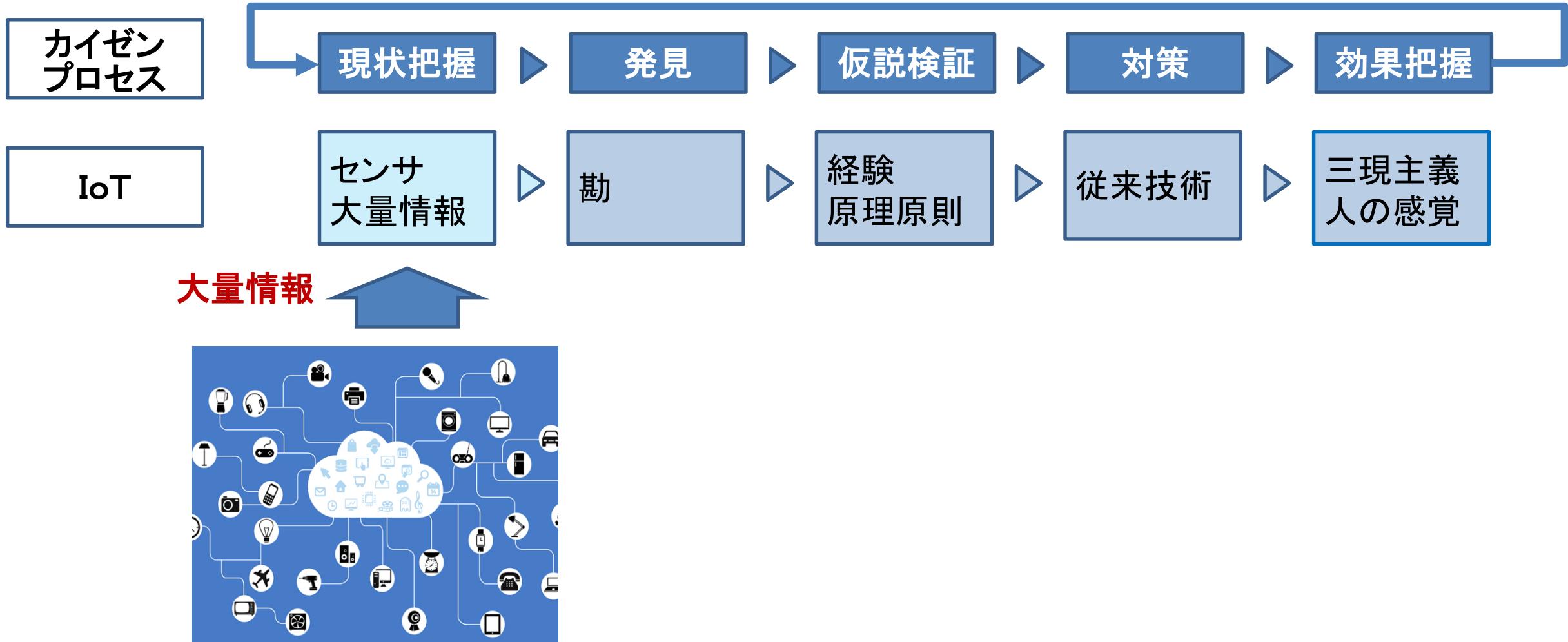
三現主義(現場、現物、現実)、技術者の勘など、**人が回す**プロセス  
⇒**人の処理速度・処理量が全体の速度に影響**



## 2. 2 “ものづくり革新”(レベル1)のポイント

### ● IoTにおけるカイゼンプロセス(AI無し)

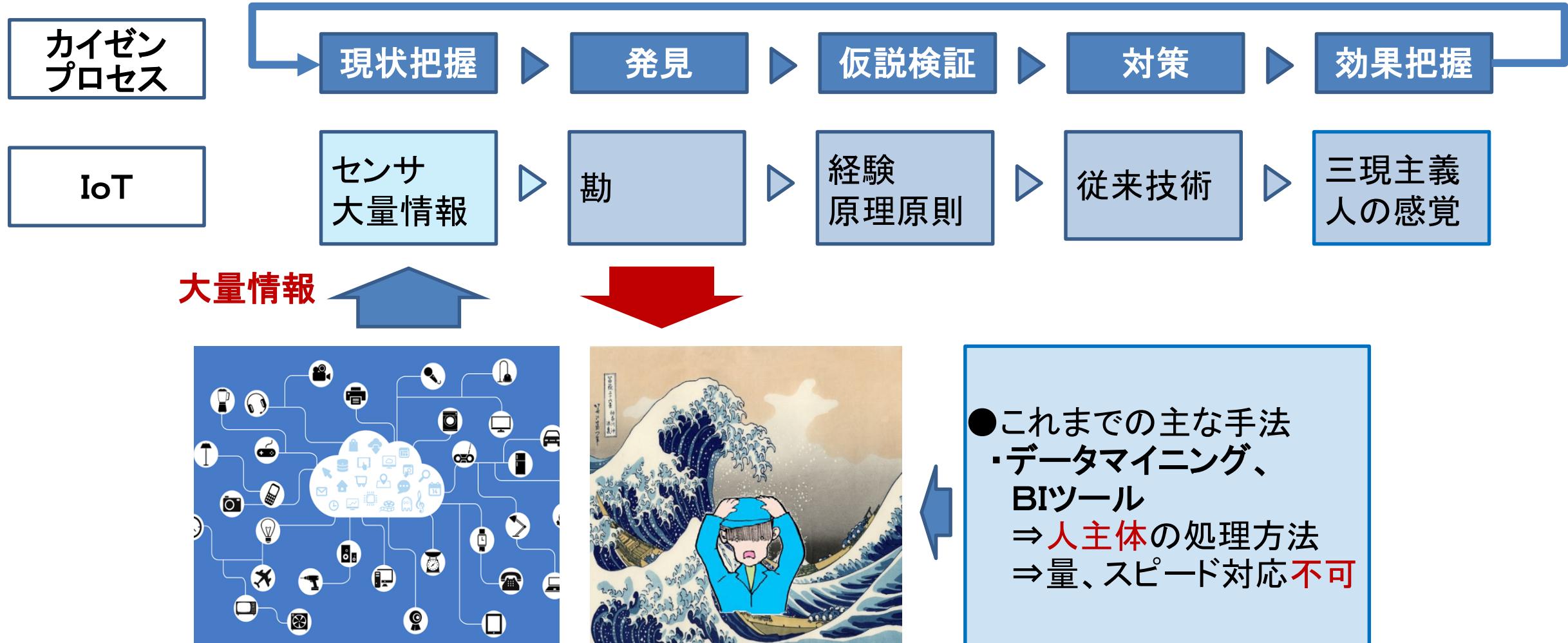
センサからの多種大量情報は、人では処理できない ⇒ 改善プロセスが回らない  
⇒ 大量データを、高速で処理する仕組みが必要 ⇒ AI



## 2. 2 “ものづくり革新”(レベル1)のポイント

### ● IoTにおけるカイゼンプロセス(AI無し)

センサからの多種**大量情報**は、人では**処理できない** ⇒ 改善プロセスが**回らない**  
⇒ **大量データを、高速で処理する仕組みが必要** ⇒ **AI**

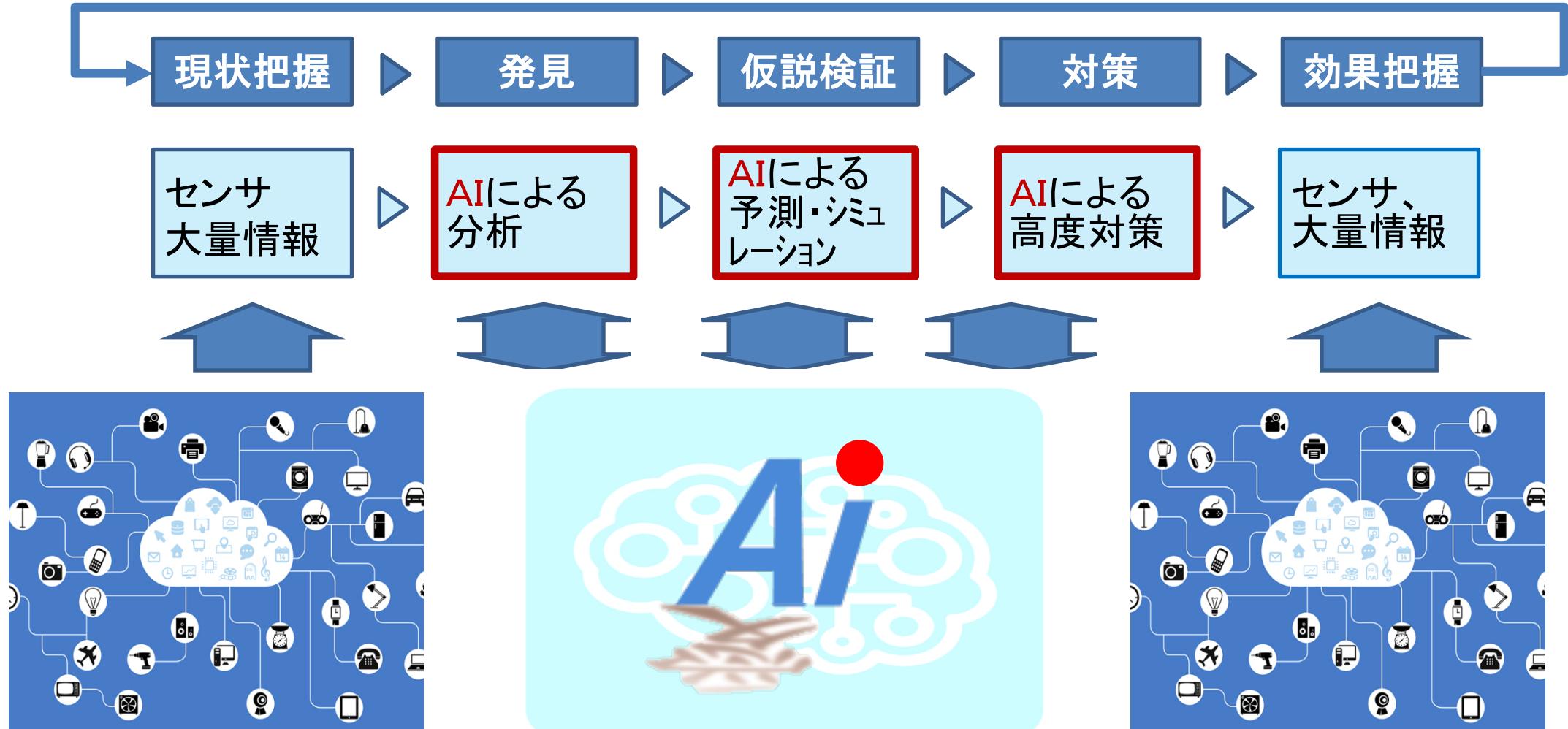


## 2. 2 ”ものづくり革新”(レベル1)のポイント

### ●フジクラの”ものづくり革新”

改善プロセスにおいて、異次元の**スピードアップ**、異次元の**対策効果を実現**

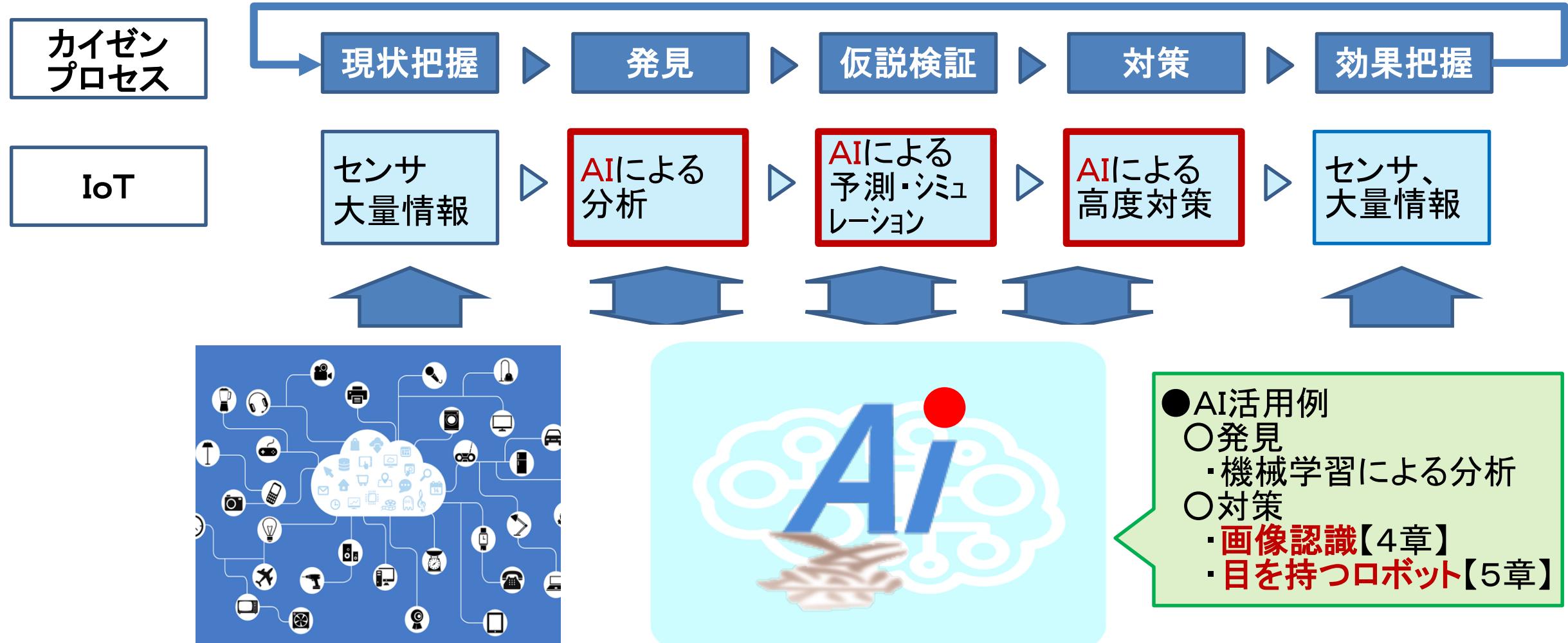
⇒ ”**IoTとAIは、補完関係**”と位置づけ、”**両方一体**”として進める



## 2. 2 ”ものづくり革新”(レベル1)のポイント

### ●フジクラの”ものづくり革新”

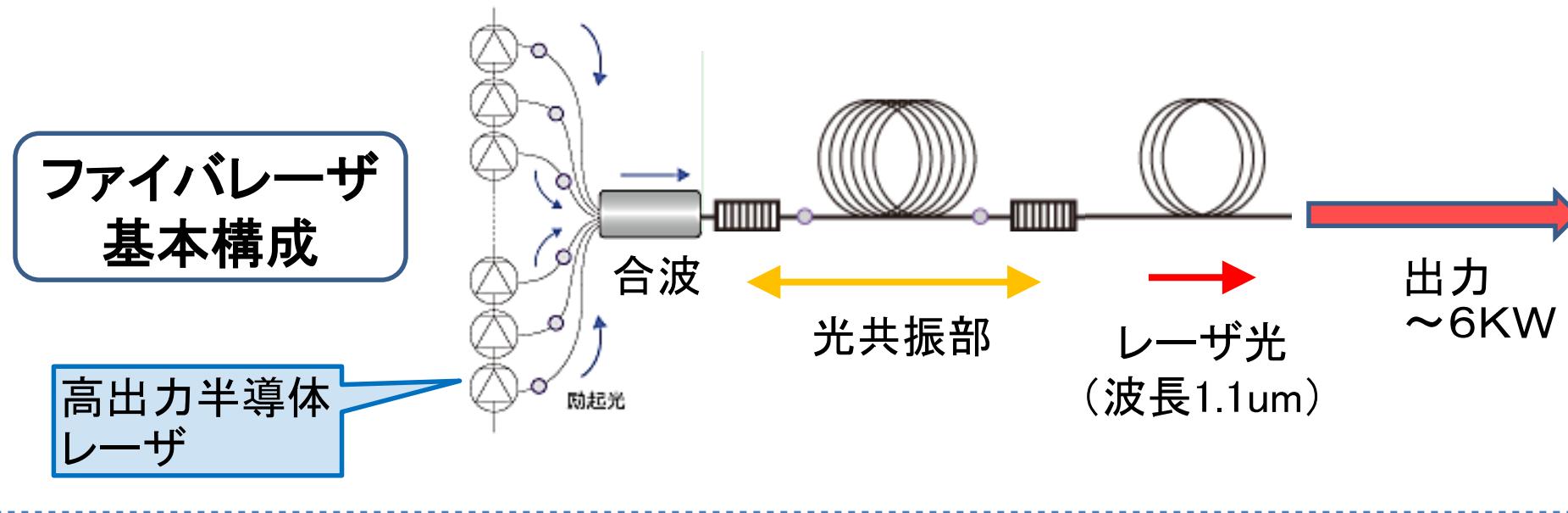
改善プロセスにおいて、異次元の**スピードアップ**、異次元の**対策効果を実現**  
⇒ **”IoTとAIは、補完関係”**と位置づけ、**”両方一体”**として進める



- 第1章 株式会社フジクラのご紹介
- 第2章 フジクラにおける”ものづくり革新”の取組み
- 第3章 ファイバレーザとは**
- 第4章 AI(深層学習)を用いた外観検査システムの開発
- 第5章 他のAI案件、今後の取組み

### 3. 1 ファイバレーザ

- 半導体レーザダイオードからの光を合波、共振させ、高出力のレーザ光をファイバから出射  
⇒ 品質、効率、信頼性に優れたレーザ



産業用ファイバレーザ製品



パルス

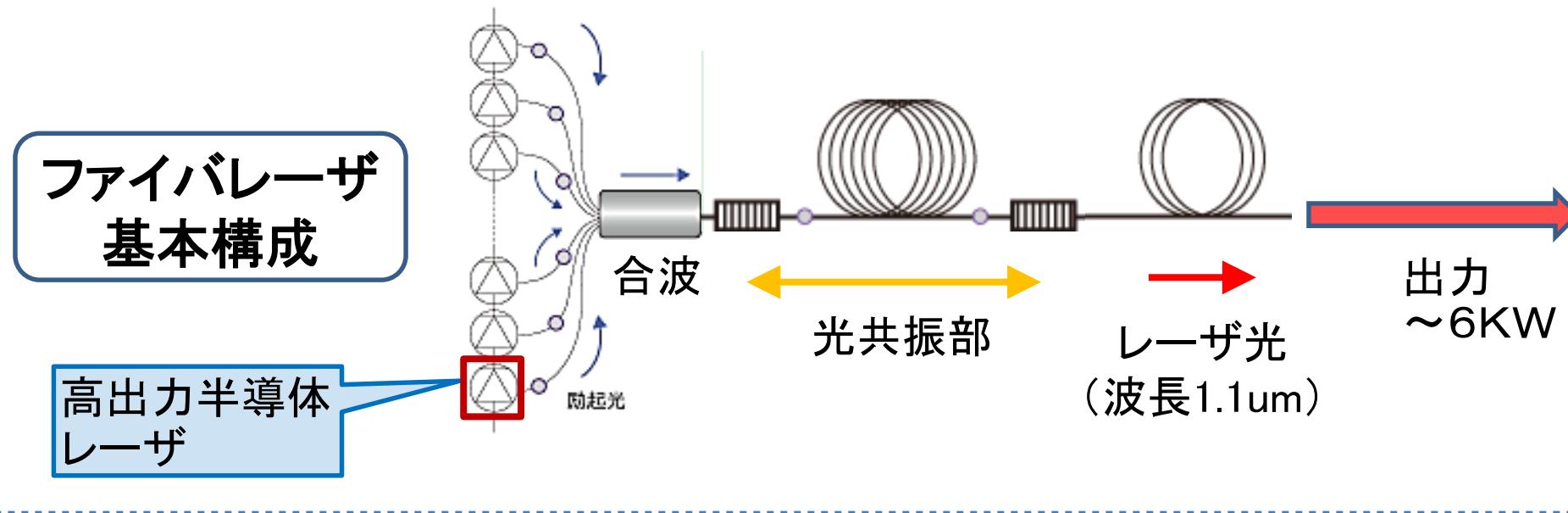
シングルモード

kw高出力



### 3. 1 ファイバレーザ

- 半導体レーザダイオードからの光を合波、共振させ、高出力のレーザ光をファイバから出射  
⇒ 品質、効率、信頼性に優れたレーザ



産業用ファイバレーザ製品



パルス

シングルモード

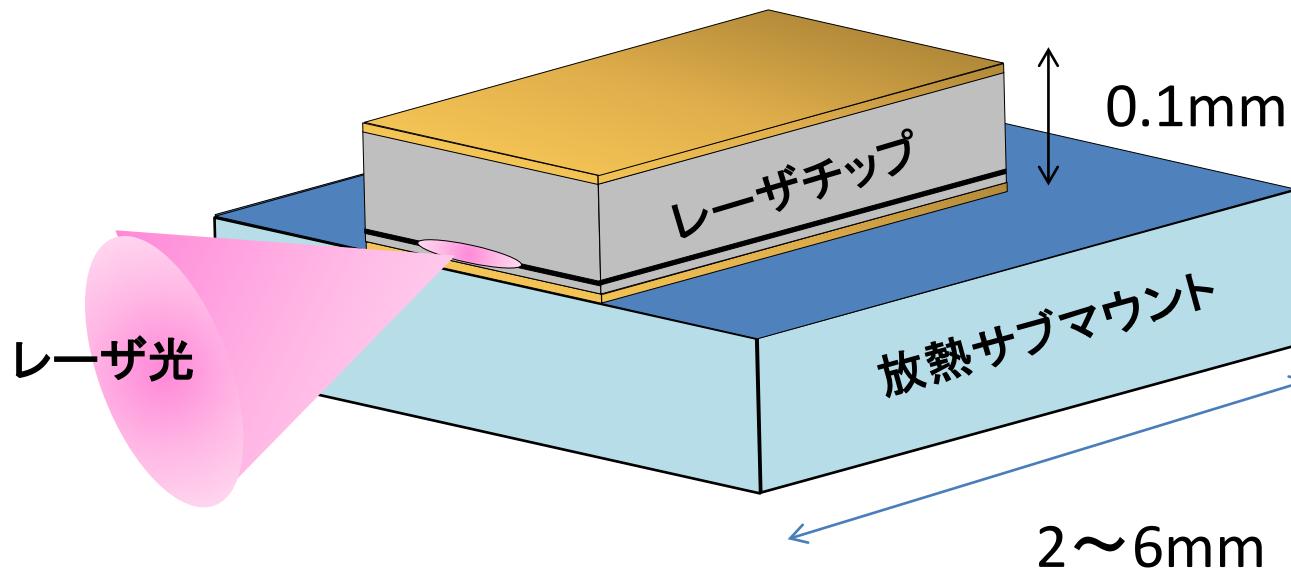
kw高出力



### 3. 2 ファイバレーザ用高出力半導体レーザ

- ファイバレーザ励起用に最適化。高効率、高出力であることが特徴

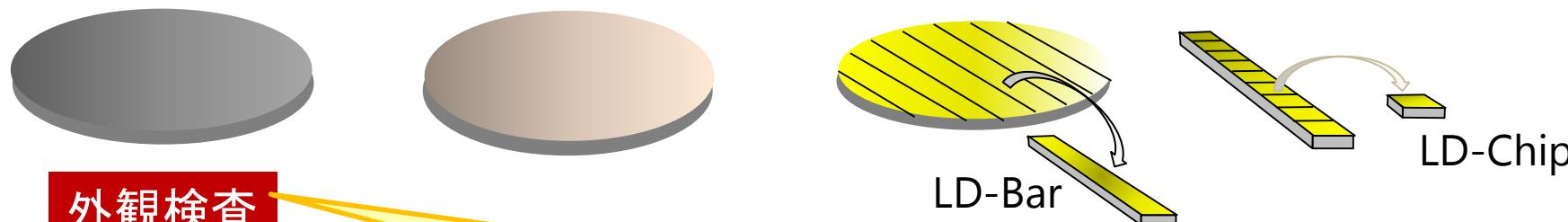
波長 : 900nm 帯  
光出力 : 10~20W



### 3. 3 ファイバーレーザ用高出力半導体レーザ製造プロセス

#### 前工程

結晶成長 → 電極プロセス → 素子化プロセス

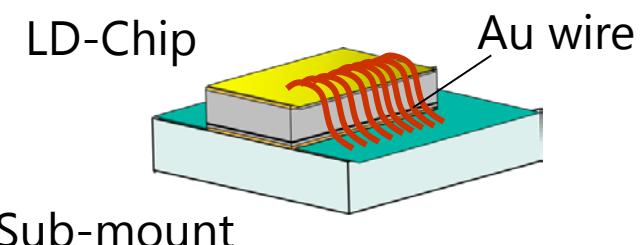


外観検査

技術者が顕微鏡で目視検査

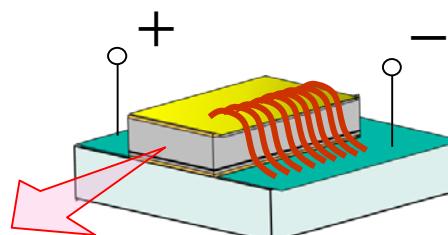
#### 後工程

##### 組立



→

##### 測定・評価



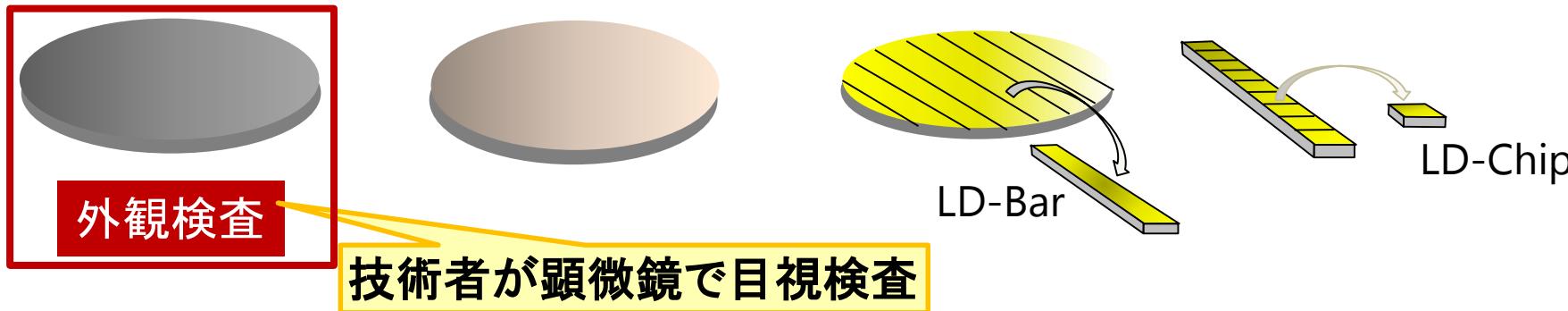
自動検査

特性検査

### 3. 3 ファイバーレーザ用高出力半導体レーザ製造プロセス

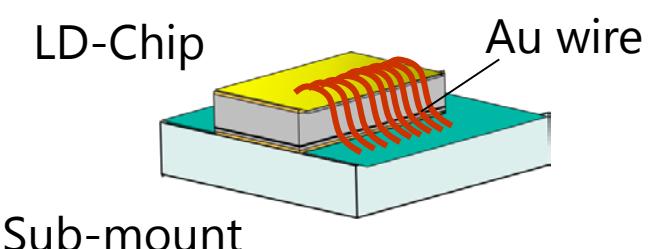
#### 前工程

結晶成長 → 電極プロセス → 素子化プロセス



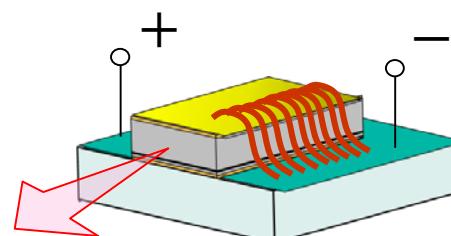
#### 後工程

##### 組立



→

##### 測定・評価

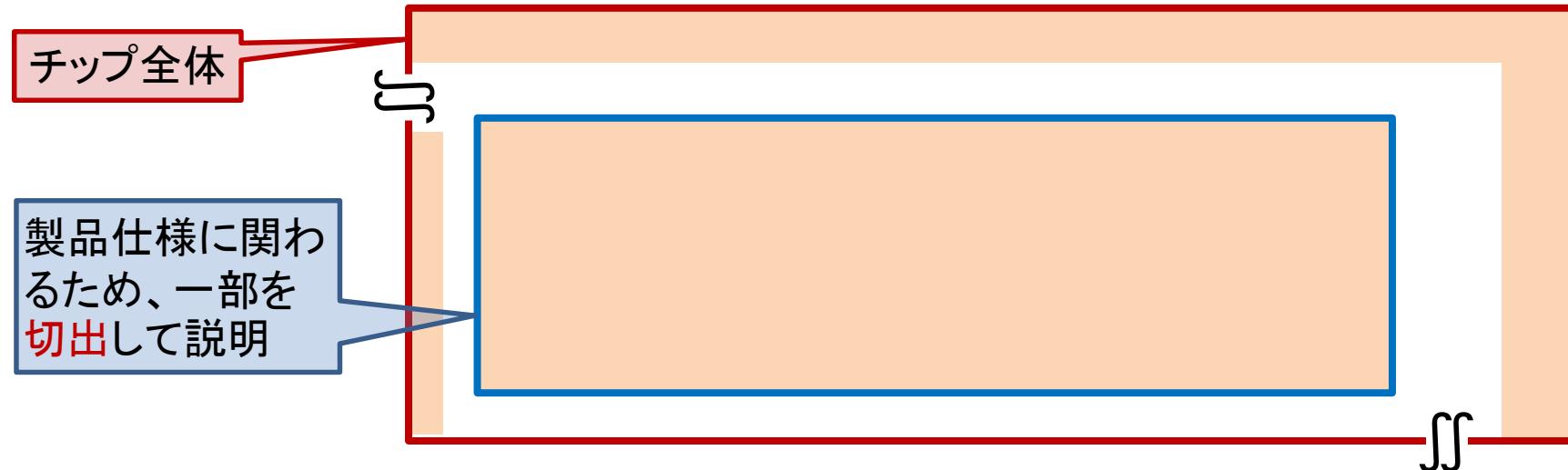


自動検査

特性検査

### 3. 4 半導体レーザウエハ外観検査の基準

- ①チップ単位で人が判定（人の精度 良/不良=95%）
- ②同形事象でも、エリアやサイズにより、良/不良、クラスが異なる！
- ③”その他”クラスがある！
- ④チップサイズと対比して、極小(面積比:50万分の1)の事象がある！



良/不良	良品			不良品		
クラス	A	B	C	その他1	その他2	

第1章 株式会社フジクラのご紹介

第2章 フジクラにおける”ものづくり革新”の取組み

第3章 ファイバレーザとは

第4章 AI(深層学習)を用いた外観検査システム

第5章 他のAI案件、今後の取組み

# 4. 1 外観検査システム化の概要

## ●取組みの目的(会社レベル)

- ①検査工程の自動化推進
- ②知見を整理し AI導入促進

→ “ものづくり革新”、企業としての競争力強化

## ●取組みの目的(案件レベル)

- ①半導体レーザの生産性、品質向上

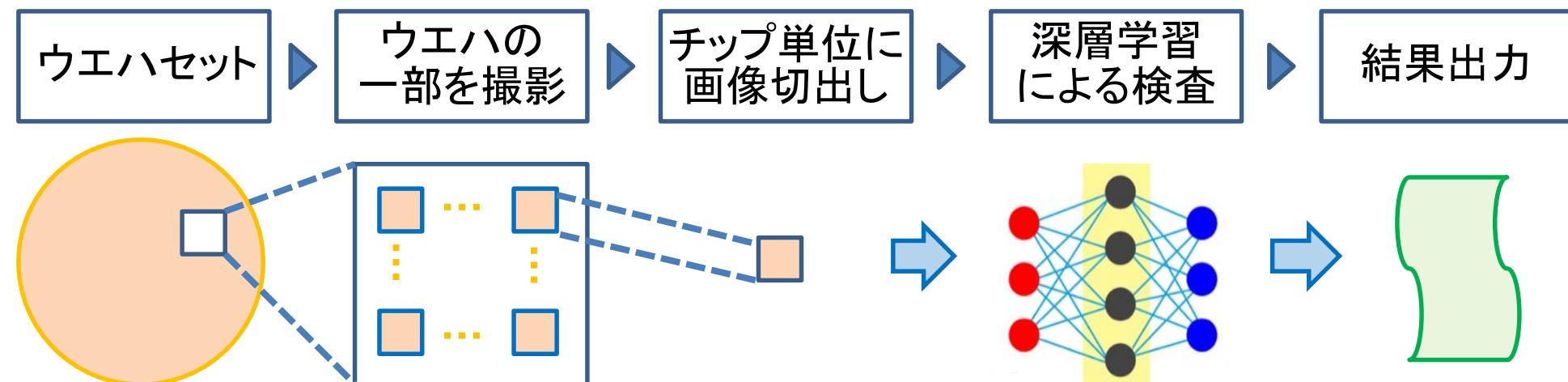
→ ファイバレーザ競争力強化

## ●チーム体制 プロジェクトAi(愛)

- ①オプトエナジー株式会社
- ②フジクラ 研究組織
- ③フジクラ 生産設備組織

ユーザ企業(画像情報用意、クラス判定)  
AI技術支援、コンピュータ用意  
AI実装、システム開発

## ●システム概要



## 4. 2 システム開発の流れ

- 本取組における深層学習のチューニングの流れを整理する
- 深層学習構築を終え、結合1を実施中

### ●深層学習構築

#### ①準備

4. 3  
要件整理

4. 4  
リソース評価

データ準備

#### ②学習

4. 5  
モデルチューニング

パラメータ  
チューニング

4. 6  
データチューニング

4. 7  
学習分析

#### ③評価

4. 8  
性能評価

4. 9  
推論精度

Now

結合1

学習改善

結合2

学習改善

製造ライン利用開始

●深層学習-製造設備  
連携ソフト

4. 10  
信頼性対策

●製造設備(ハード)

●製造設備(ソフト)

## 4. 2 システム開発の流れ

- 本取組における深層学習のチューニングの流れを整理する
- 深層学習構築を終え、結合1を実施中

### ●深層学習構築

#### ①準備

4. 3  
要件整理

4. 4  
リソース評価

データ準備

#### ②学習

4. 5  
モデルチューニング

パラメータ  
チューニング

4. 6  
データチューニング

4. 7  
学習分析

#### ③評価

4. 8  
性能評価

4. 9  
推論精度

Now

結合1

学習改善

結合2

学習改善

製造ライン利用開始

発表のスコープ

●深層学習-製造設備  
連携ソフト

4. 10  
信頼性対策

●製造設備(ハード)

●製造設備(ソフト)

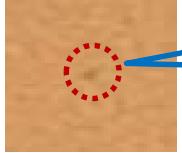
## 4. 3 深層学習要件の整理

●深層学習を用いた画像認識として、特異性のある要件を記載

No	特異な要件	具体的課題	備考
1	事象とチップのサイズ差が大 <b>(面積比 50万倍)</b>	・ピクセルサイズの決定 ・コンピュータリソースの確認	4. 4項
		・大規模画像の深層学習モデル	4. 5項
2	”その他”クラスの扱い	・”その他”クラスをサブクラス分類	
3	エリア、サイズにより同形の事象で、 事象 <b>クラスが異なる</b>	・事象画像の分類整理	4. 6項
4	事象画像の蓄積が少ない	・不足する事象画像の増やし方	
5	深層学習判断が <b>正しいことの説明</b>	・深層学習の着目点の確認 ・精度改善の進め方	4. 7項
6	製造ライン組込のため、性能検証、 <b>高信頼性</b> 確保	・性能評価	4. 8項
		・高信頼性対策	4. 10項

## 4. 4 ピクセル設定とコンピュータリソース評価のポイント

- コンピュータリソースを検証しつつ、ピクセルサイズを決定する
- ピクセルサイズ ⇒ 最小事象:  $2 \times 2$ ピクセル、チップ全体: 200万ピクセル



最小の事象を $2 \times 2$ ピクセル  
⇒ **ミニマムサイズ**

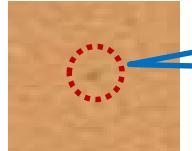
50万倍

チップ全体

200万ピクセル  
⇒ **10倍の画像サイズ**  
(一般的:  $512 \times 512 = 26$ 万)

## 4.4 ピクセル設定とコンピュータリソース評価のポイント

- コンピュータリソースを検証しつつ、ピクセルサイズを決定する
- ピクセルサイズ ⇒ 最小事象:  $2 \times 2$ ピクセル、チップ全体: 200万ピクセル



最小の事象を $2 \times 2$ ピクセル  
⇒ **ミニマムサイズ**

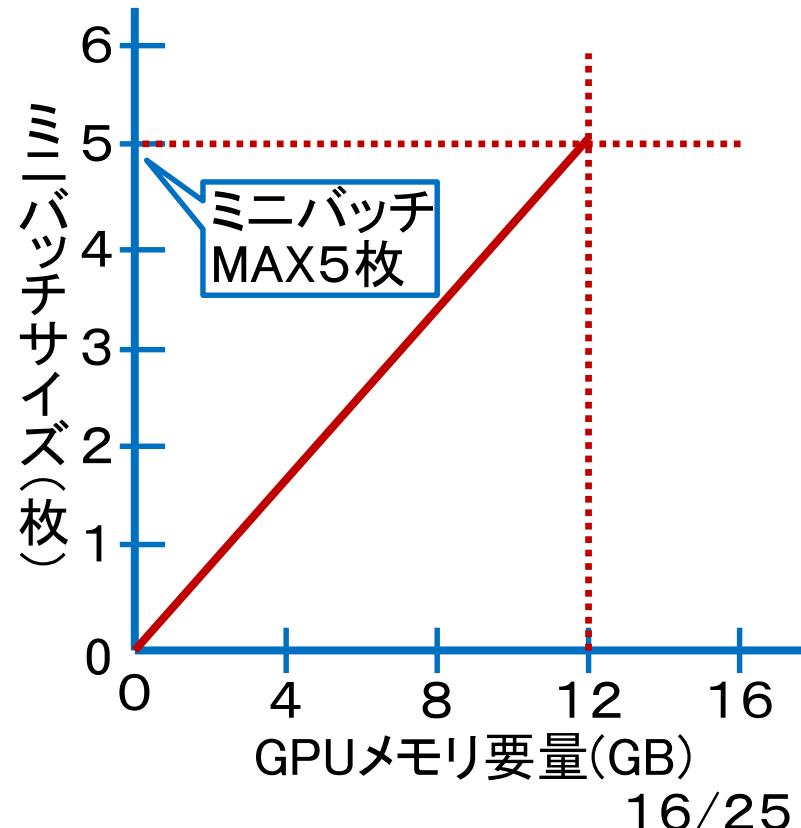
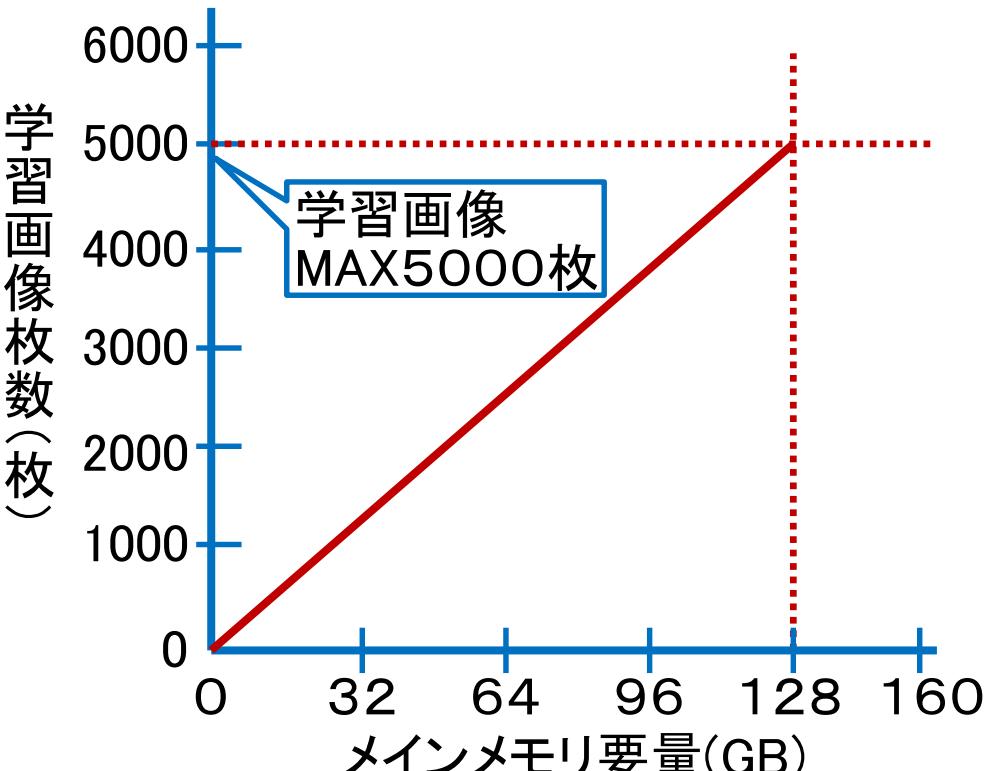
50万倍

チップ全体

200万ピクセル  
⇒ **10倍の画像サイズ**  
(一般的:  $512 \times 512 = 26$ 万)

### ●コンピュータリソース

WS	
OS	Ubuntu
メインメモリ	128GB
GPU	3枚
GPUメモリ	12GB



## 4.5 深層学習モデルチューニングのポイント

- 一般的深層学習モデルでは覚醒せず
- モデルの層数を一つずつ変化

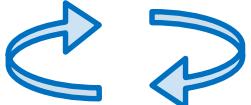


- ゼロからのモデル組立て
- 学習状況、CAM画像より絞込み

一般的モデル(VGG等) NG



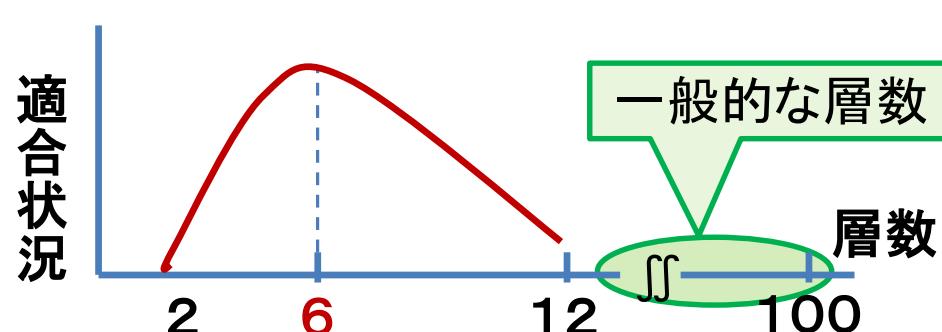
層数等を順次増やす



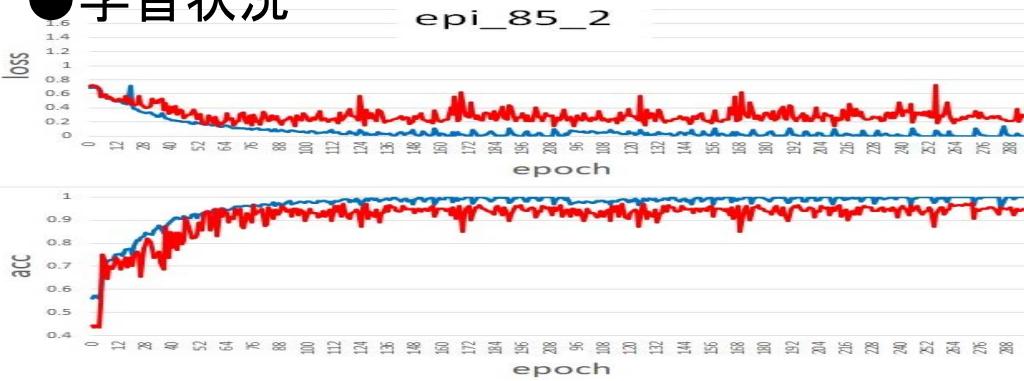
学習状況、CAM画像確認



適合モデルを絞込み



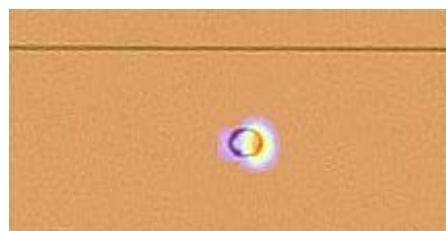
### ● 学習状況



オリジナル画像

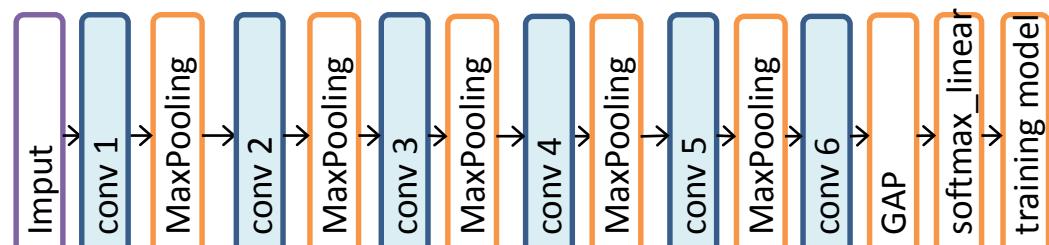


CAM画像



CAM: class activation map

### ● 適合モデル

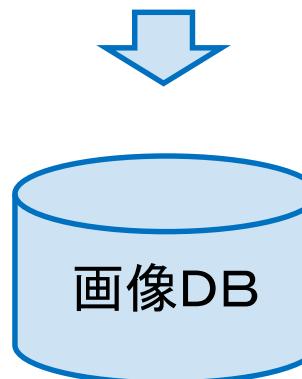


## 4. 6 データチューニングのポイント

- 画像情報を管理するために、DBを作成 → 画像の特徴等をDBに蓄積し、改善に活用
- 画像が不足する場合、画像合成を行う(偽造レベル1、2)

### ● DB項目(例)

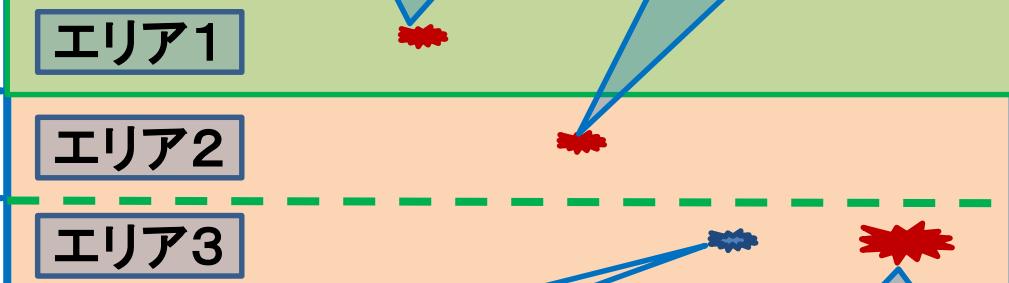
チップID	製造ロット	事象クラス	サブクラス	事象位置	事象サイズ	合成情報	推論結果	…
-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	---



学習、推論  
結果の反映

エリア、サイズにより事象クラスが異なる  
⇒ 事象のエリア、サイズを記録

不良品:その他1 不良品:その他2



良品:クラスA

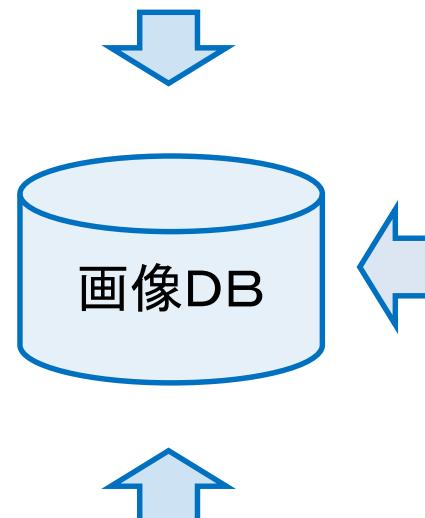
不良品:その他2

## 4. 6 データチューニングのポイント

- 画像情報を管理するために、DBを作成 → 画像の特徴等をDBに蓄積し、改善に活用
- 画像が不足する場合、画像合成を行う(合成レベル1、2)

### ●DB項目(例)

チップID	製造ロット	事象クラス	サブクラス	事象位置	事象サイズ	合成情報	推論結果	…
-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	---

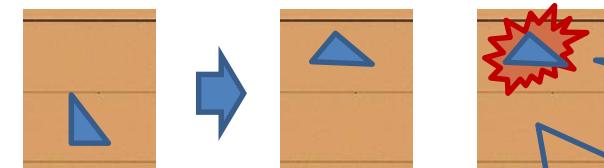


学習、推論  
結果の反映

●合成レベル1：回転、上下左右入替え 等

●合成レベル2：事象移植

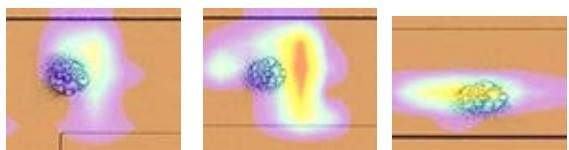
元画像 移植 移植CAM



合成による悪影響有無を確認

- ①他の判定が変わらないか？
- ②CAMの反応が適切か？

合成+CAM



## 4.7 学習分析のポイント

- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** → **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけ、精度改善を進める

①人の判定  
=X



## 4.7 学習分析のポイント

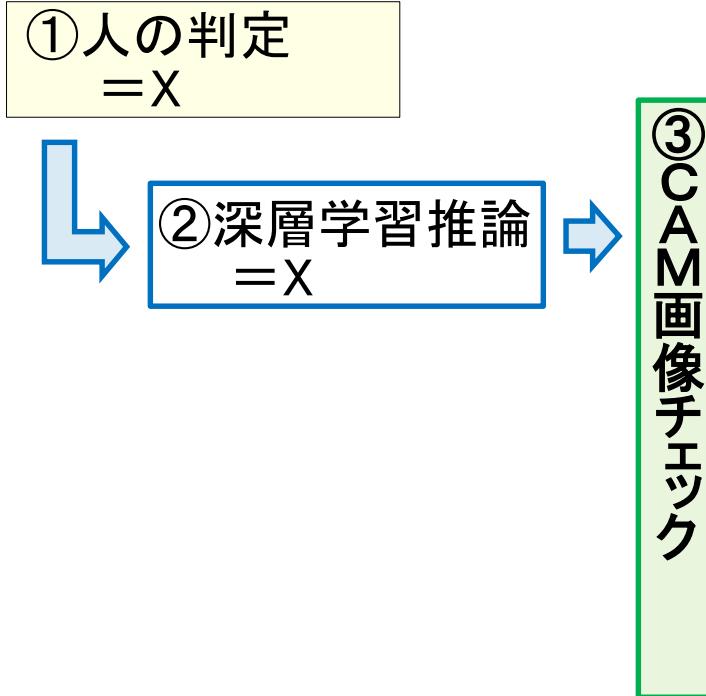
- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** → **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけ、精度改善を進める

①人の判定  
=X



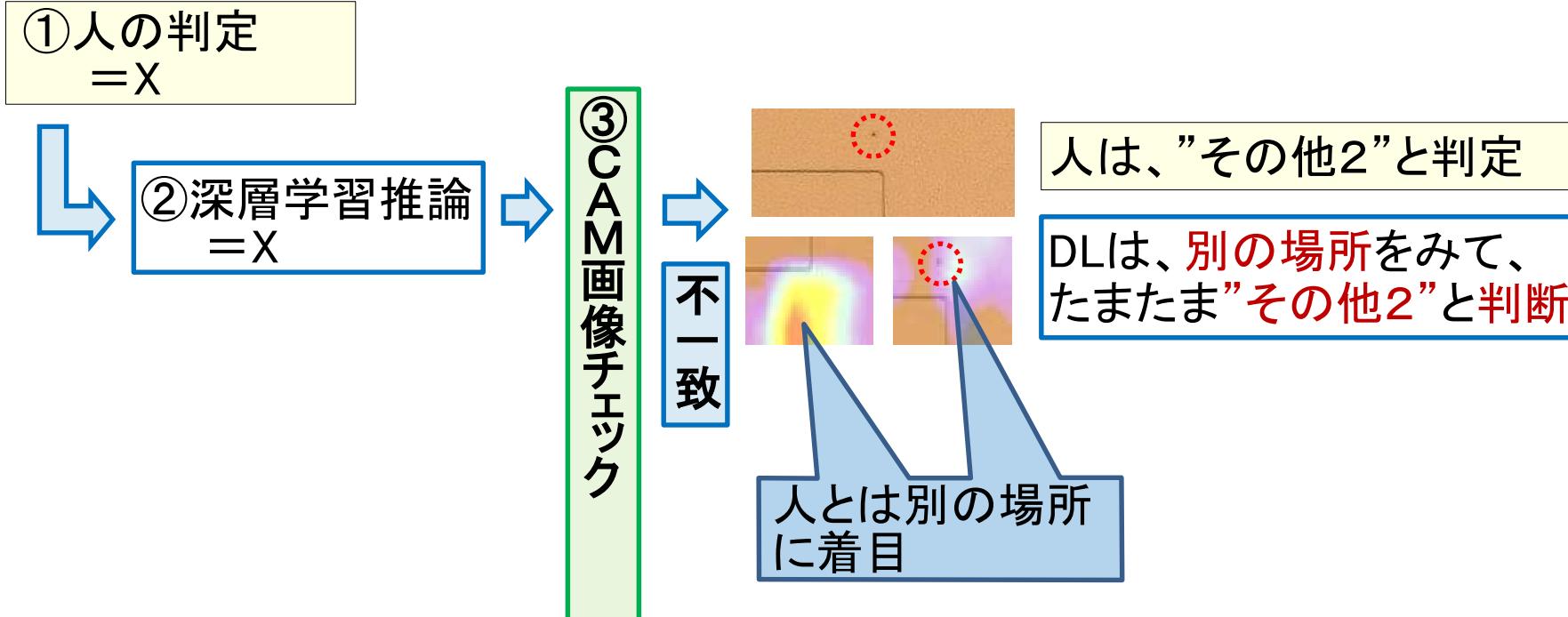
## 4.7 学習分析のポイント

- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** → **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけ、精度改善を進める



## 4.7 学習分析のポイント

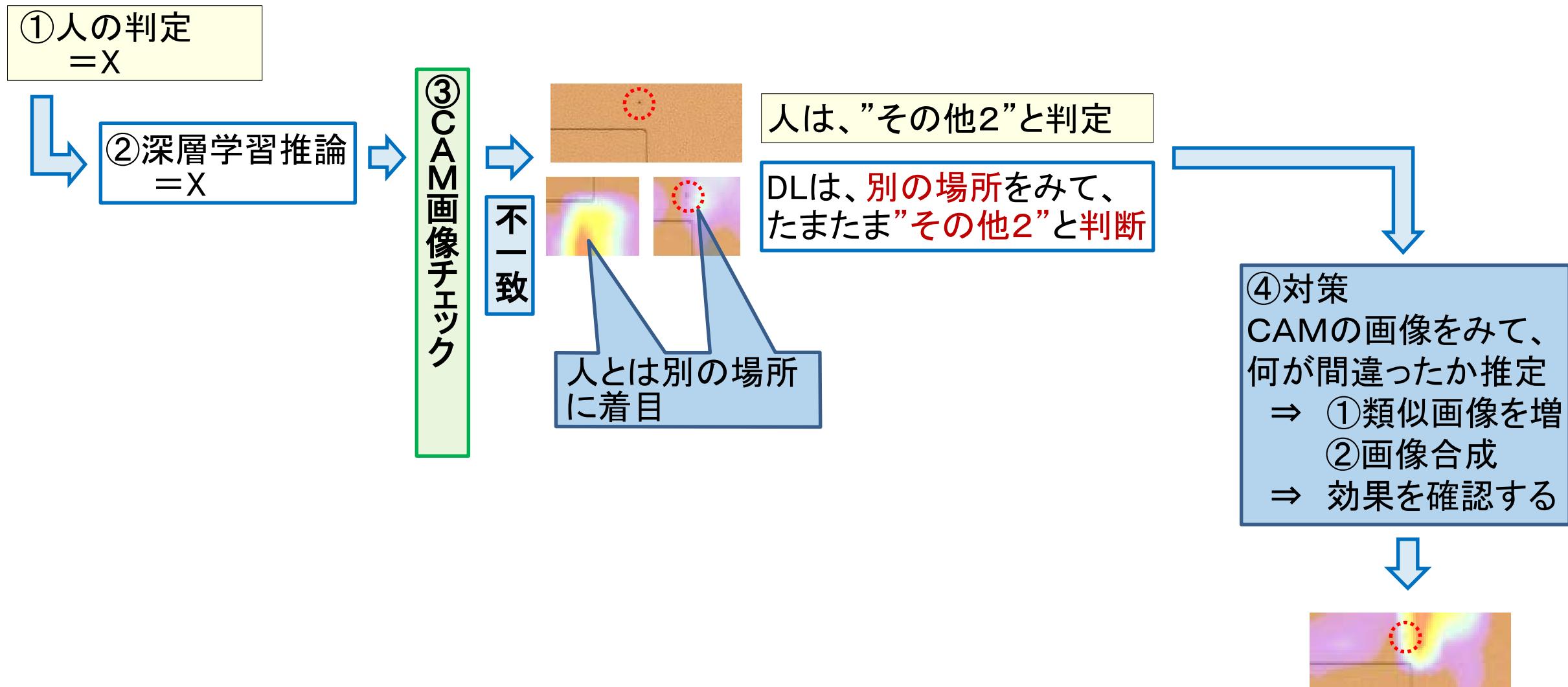
- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** → **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけ、精度改善を進める



## 4.7 学習分析のポイント

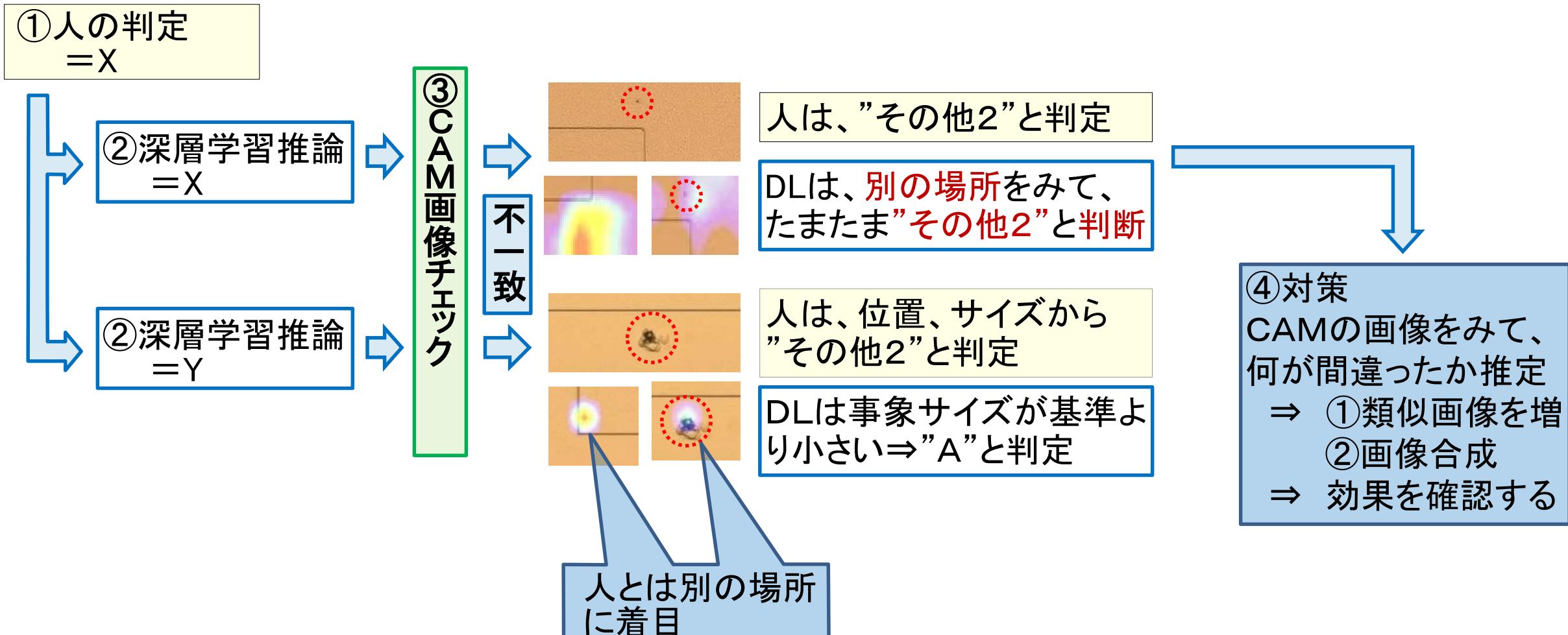
- 人と深層学習の判定が一致しても、信用してはいけない
  - 不一致を一つ一つ追いかけ、精度改善を進める

➡ CAMで確認を



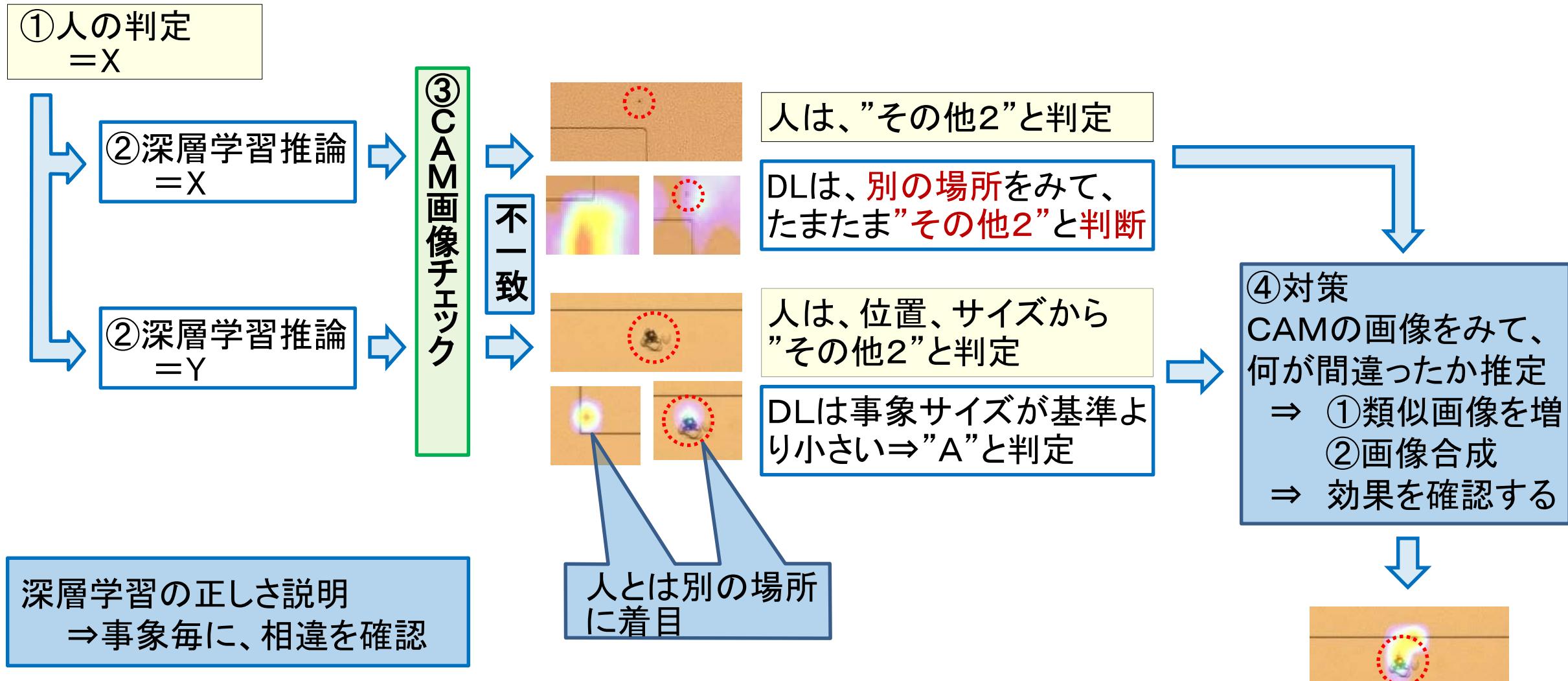
## 4.7 学習分析のポイント

- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** → **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけ、精度改善を進める



## 4.7 学習分析のポイント

- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** → **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけ、精度改善を進める



## 4. 8 性能評価

●学習: GPU効果大だが、絶対的時間が長い

●推論: 製造ラインの要件を考慮し、GPU有無、場所を検討



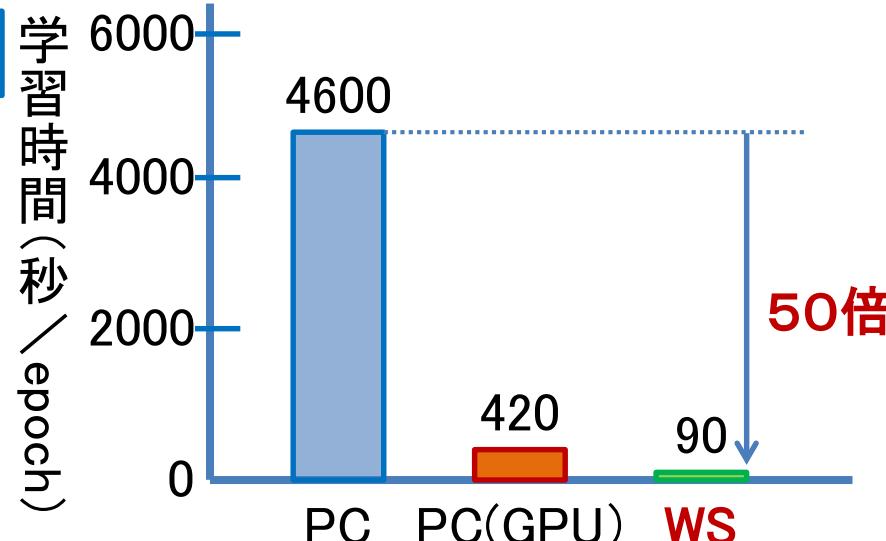
高速マシン(DGX-1)準備中



PC(GPU)を、エッジに導入

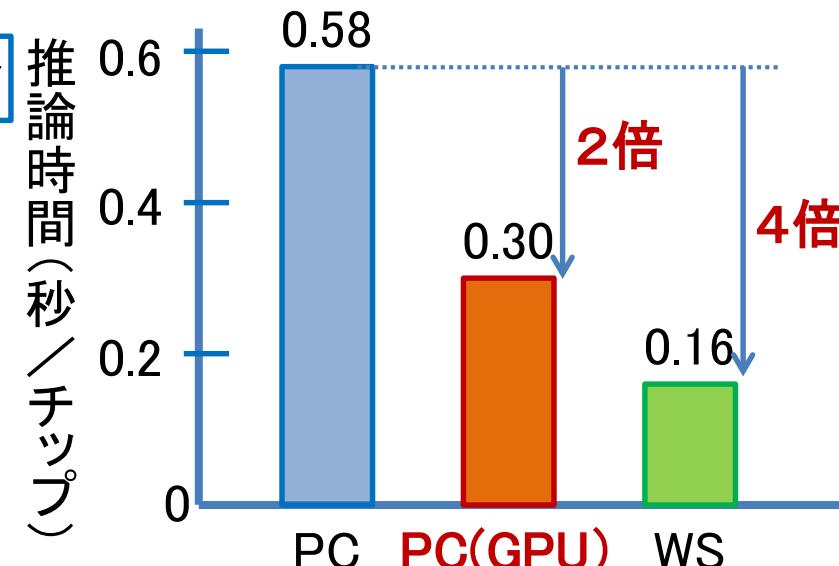
	PC	PC(GPU)	WS
OS	Windows 10	Windows 10	Ubuntu
メモリ	4GB	32GB	128GB
CPU	core i5	core i7	Xeon × 1
GPU(メモリ)	なし	1枚(×4GB)	3枚(×12GB)

●学習



WSでも、300epochで勤務時間  
(7.5H)終了

●推論



製造の要件を考慮  
→ PC(GPU)をエッジに導入

## 4. 8 性能評価

●学習: GPU効果大だが、絶対的時間が長い

●推論: 製造ラインの要件を考慮し、GPU有無、場所を検討



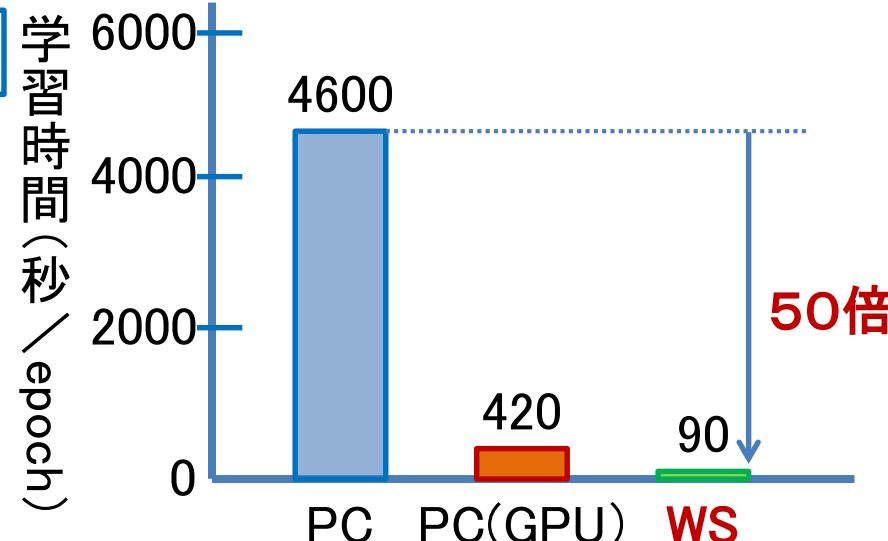
高速マシン(DGX-1)準備中



PC(GPU)を、エッジに導入

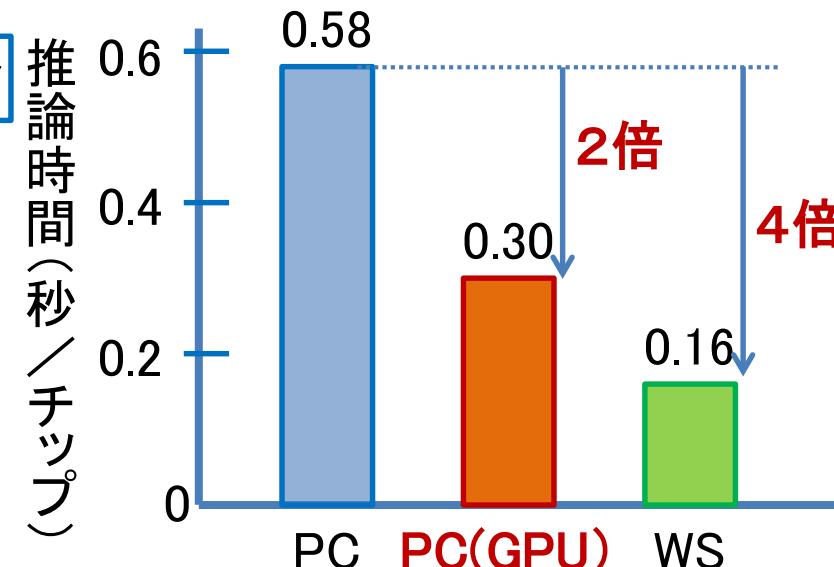
	PC	PC(GPU)	WS	DGX-1
OS	Windows 10	Windows 10	Ubuntu	Ubuntu Server
メモリ	4GB	32GB	128GB	512GB
CPU	core i5	core i7	Xeon × 1	Dual20C-Xeon × 1
GPU(メモリ)	なし	1枚(×4GB)	3枚(×12GB)	8枚(×16GB)

●学習



WSでも、300epochで勤務時間  
(7.5H)終了 ➡ 高速環境準備中

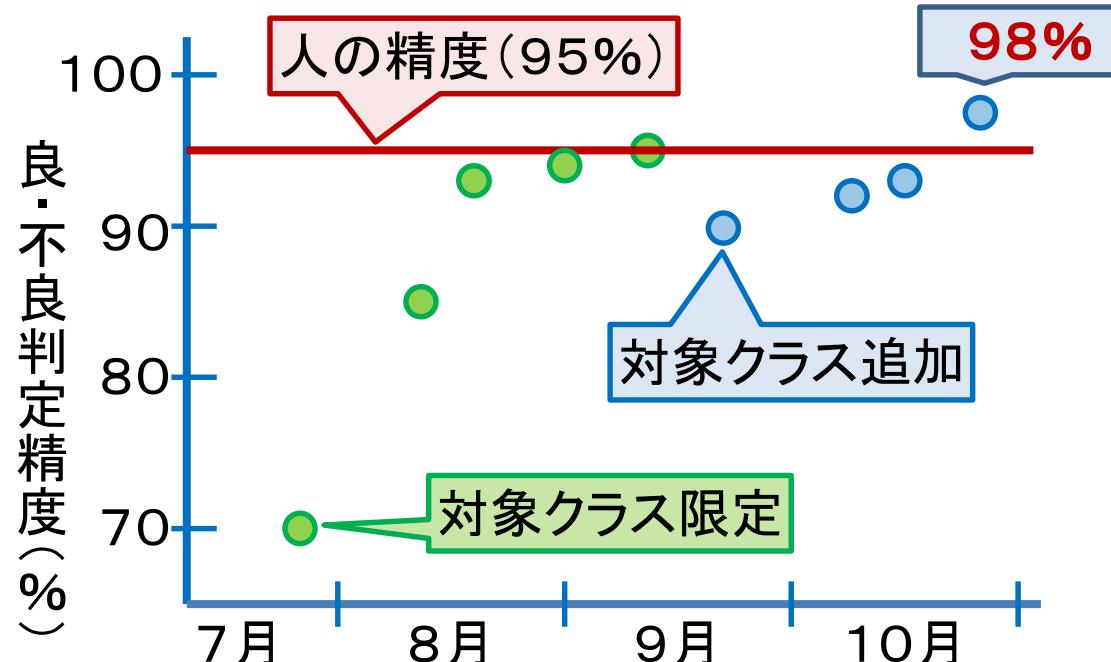
●推論



製造の要件を考慮  
➡ PC(GPU)をエッジに導入

# 4. 9 推論結果

- チューニングの結果、人の良品/不良品判定精度(95%)を超えを達成  
⇒ 良品・不良品判定:98%、クラス判定:95%



## ●良品／不良品判定精度

評価データ		深層学習	
	良品	不良品	
正解	良品	46%	1%
	不良品	1%	52%

## ●クラス判定精度

	良品		不良品		
クラス	A	B	C	その他1	その他2
判定精度	97%	100%	95%	86%	88%

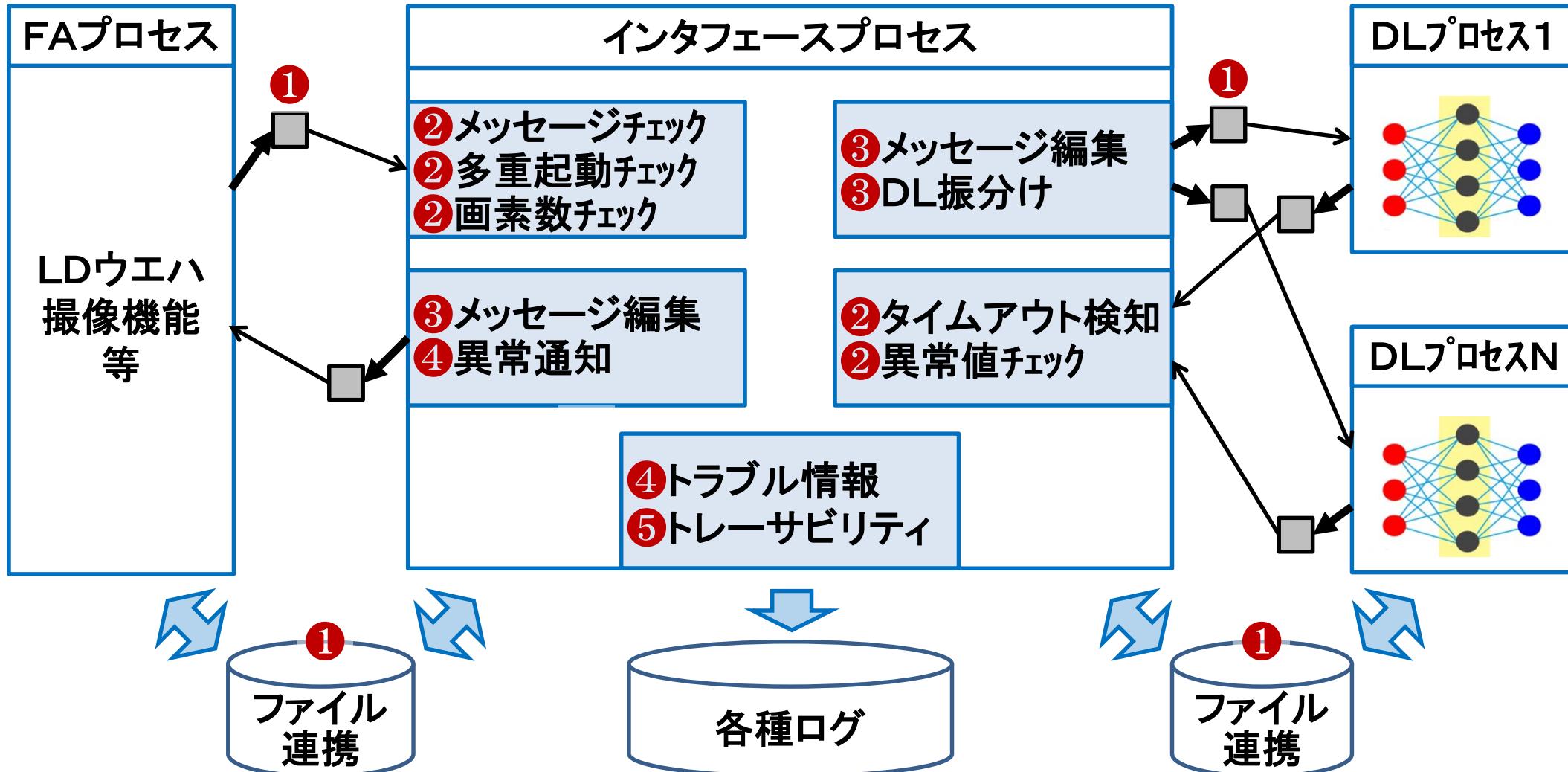


## 4. 10 システム信頼性対策

●製造ライン利用  
のための対策



- ①疎結合、
- ②高信頼性、
- ③変更拡張性、
- ④トラブル復旧の迅速性、
- ⑤トレーサビリティ 等



**第1章 株式会社フジクラのご紹介**

**第2章 フジクラにおける”ものづくり革新”の取組み**

**第3章 ファイバレーザとは**

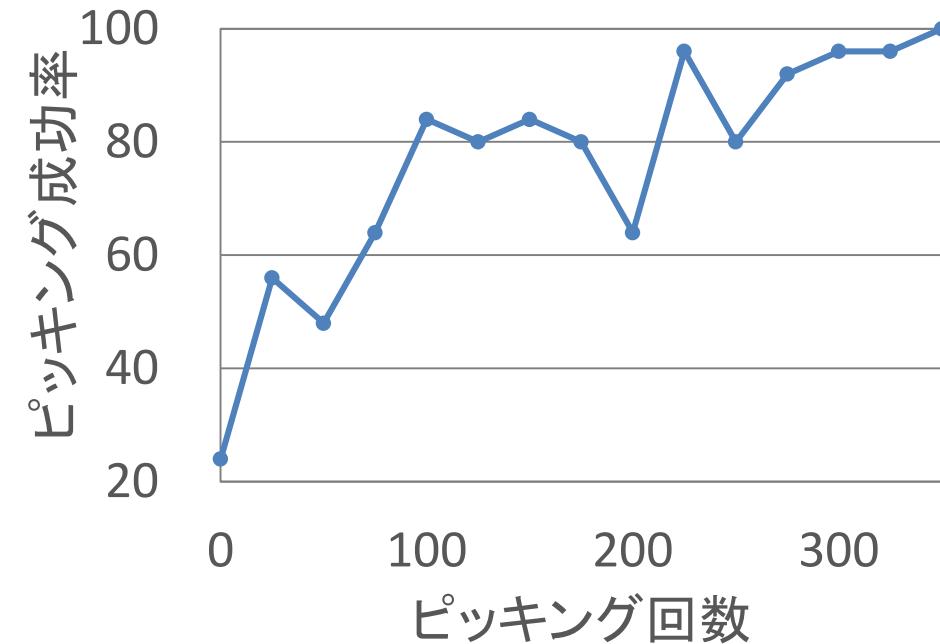
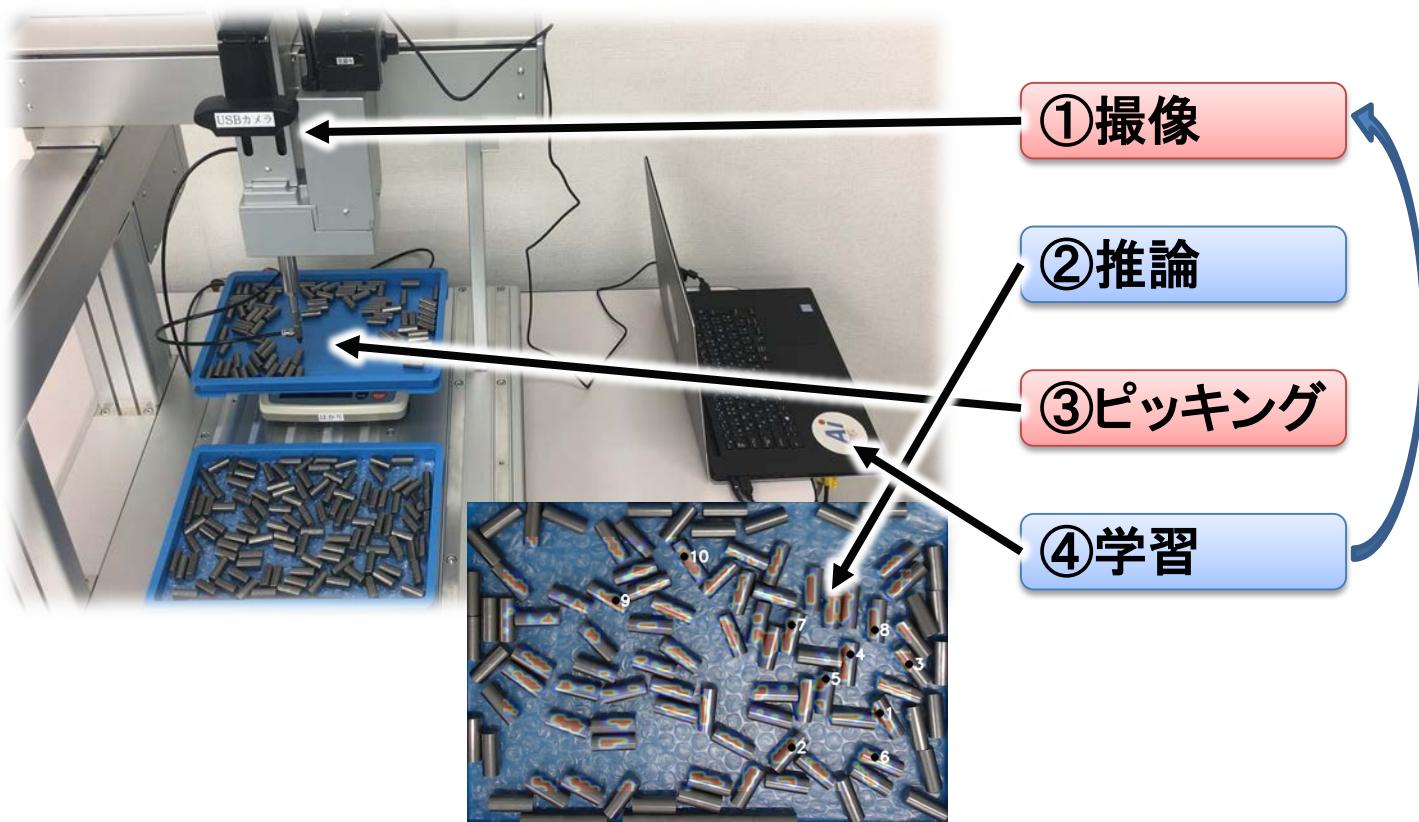
**第4章 AI(深層学習)を用いた外観検査システム**

**第5章 他のAI案件、今後の取組み**

# 5. 1 深層学習の目を持つロボット

## ●目を持つロボット：

ロボットが外界の画像情報を自律的に入手、深層学習により画像を認識、認識結果を元に判断、次の行動を決定する



300回のピッキングで  
95%以上の成功率を達成

## ●目を持つロボットの今後の展開

…人の動作に合わせて(モーションキャプチャ)、働くロボット

## 5. 2 発表内容のまとめ

- フジクラにおける”ものづくり革新”の取組み

- AI取組事例の紹介

- ①AI(深層学習)を用いた、高出力半導体レーザウエハ外観検査

- ・AI(深層学習)を製造ラインへ適用(性能、信頼性対策など)
    - ・大規模画像の深層学習適用(リソース評価、モデルチューニング)
    - ・CAMを利用した偽造データ作成・推論結果の評価  
(データチューニング、学習分析)

- ②AI(深層学習の目を持つロボット)

- ”ものづくり革新”に向け、Project Ai(愛)では他のAI案件も取組み中

# ご清聴ありがとうございました



●連絡先1:技術的な内容

[ai-info@jp.fujikura.com](mailto:ai-info@jp.fujikura.com)

●連絡先2:

Project Ai(愛)では、メンバ(社員)募集中  
興味ある方は、以下にご連絡を！

[fjk.career@jp.fujikura.com](mailto:fjk.career@jp.fujikura.com)