

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エ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

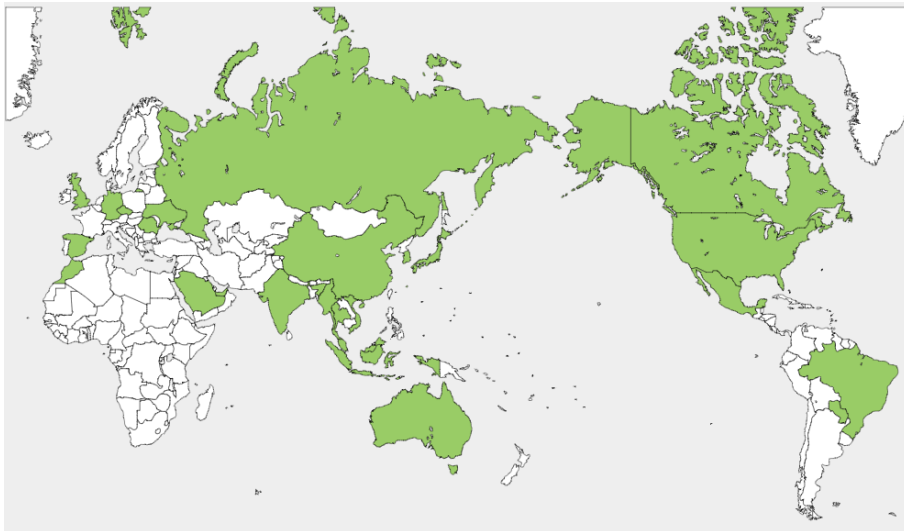
第4章 AI(深層学習)を用いた外観検査システムの開発

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

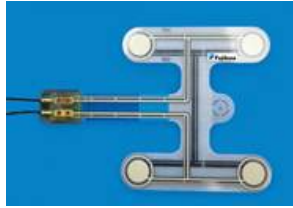
- 会社名
株式会社フジクラ
- 本社所在地
東京都江東区木場1-5-1
- 取締役社長
伊藤 雅彦
- 創業
1885年2月(132年目)
- 設立
1910年3月18日
- 資本金(2017年3月現在)
530 億円
- 従業員数(連結)(2017年3月現在)
56,961人
- 売上高
6,537億円(連結、2016年度)

1. 2 フジクラの主要事業・製品

●自動車電装
1,331億円(20%)



自動車用
配線



シート
センサ

●エレクトロニクス
1,567億円(24%)



FPC

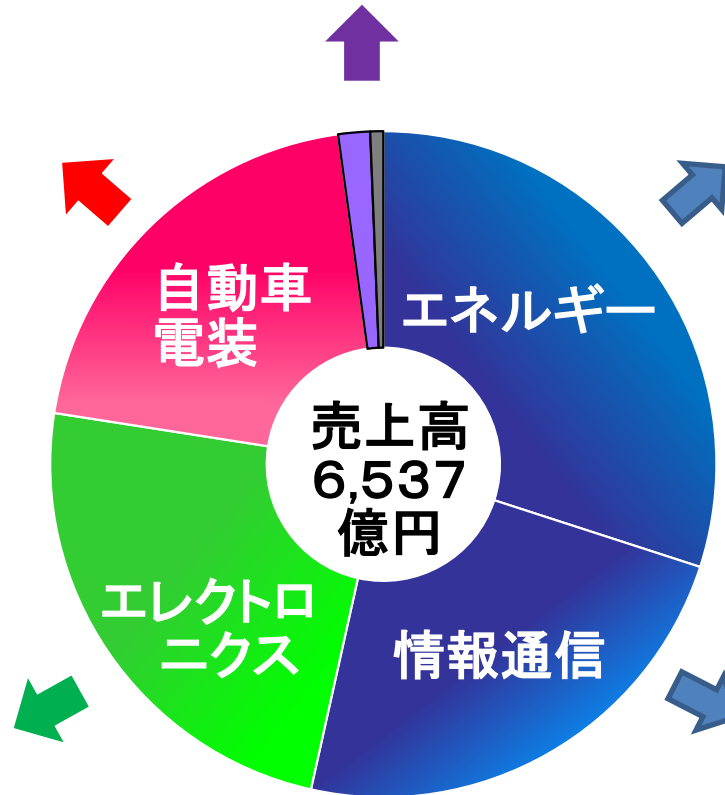


コネクタ

FPC:Flexible Printed Circuits

●不動産
101億円(2%)

●その他
41億円(1%)



●エネルギー・情報通信
3,496億円(53%)

○エネルギー
1,960億円(30%)



エコ電線



架空送電線

○情報通信
1,536億円(23%)



光ファイバ
ケーブル



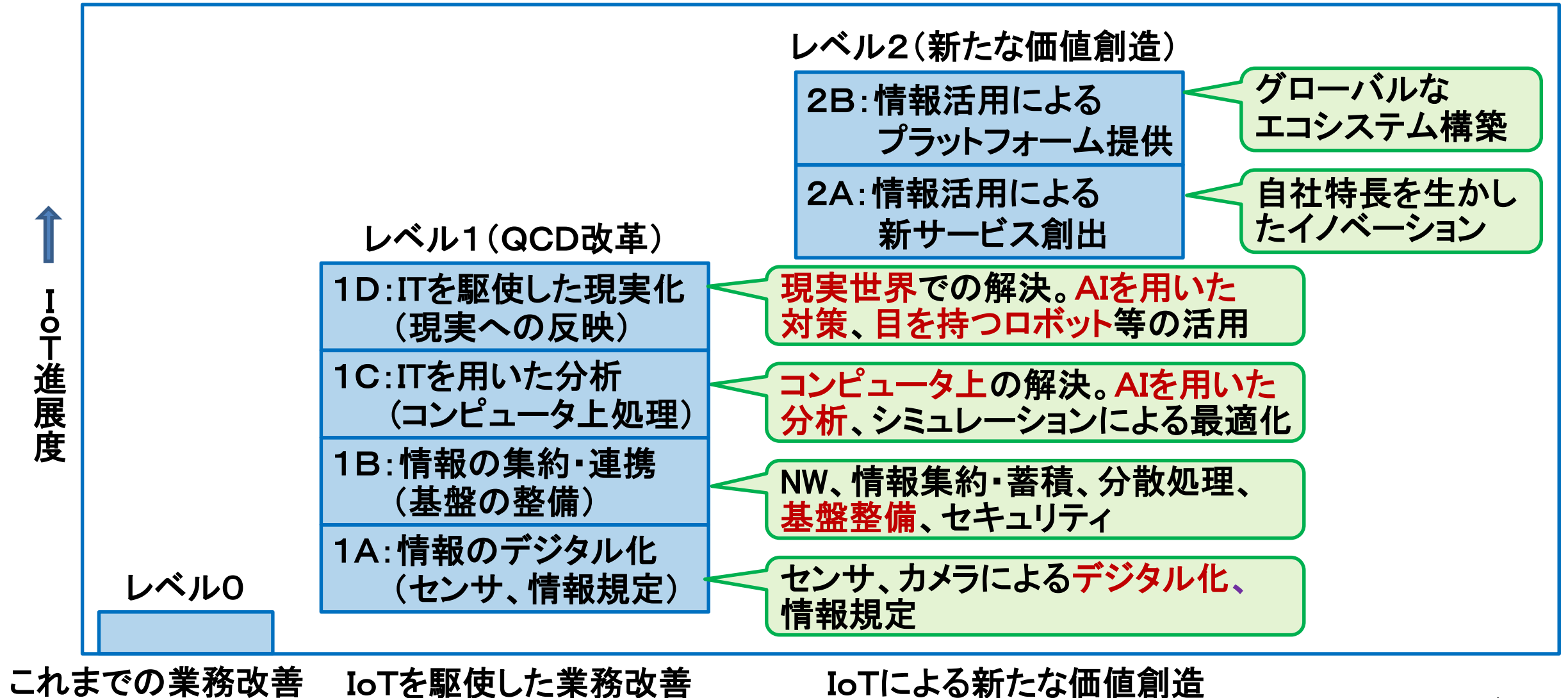
光融着
接続機

- 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

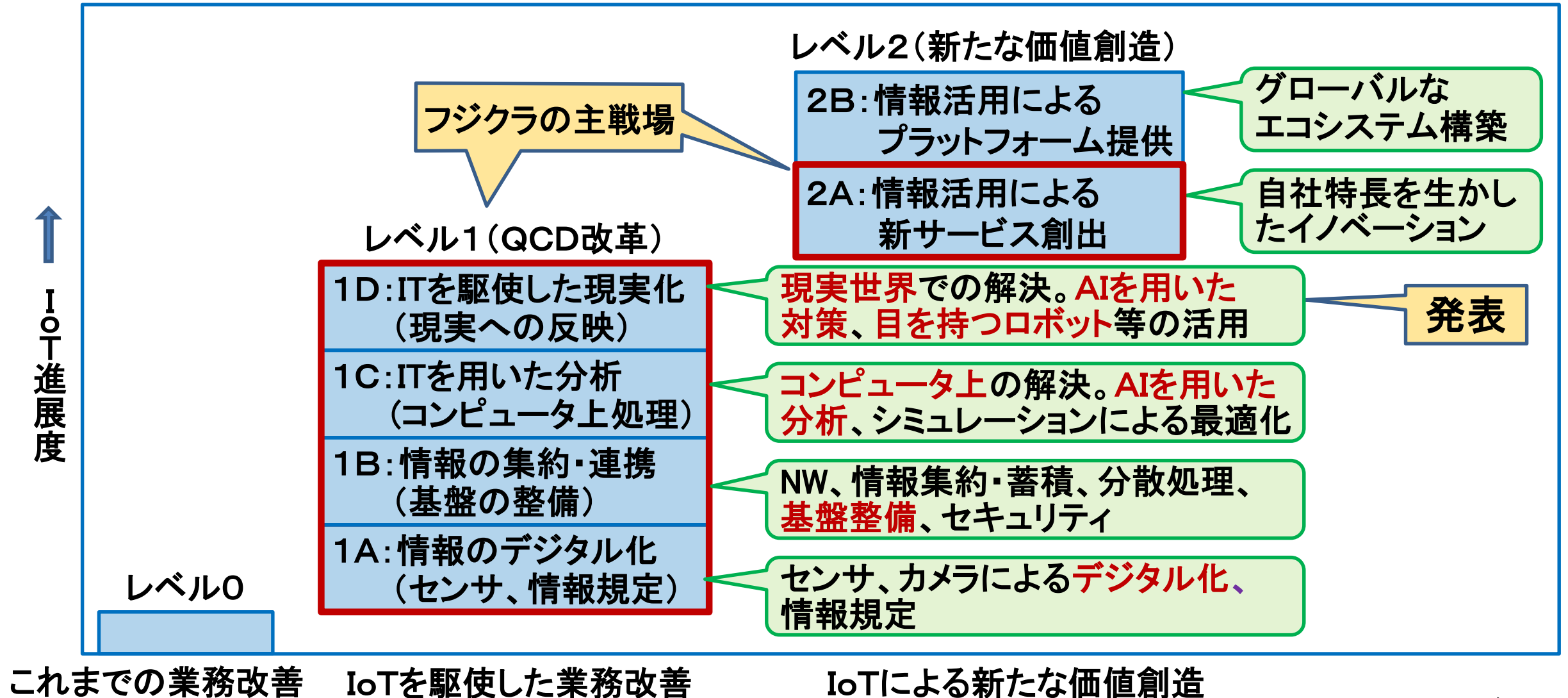
●フジクラで進めている、”ものづくり革新”の概念紹介

●主戦場は、レベル1：QCD改革、レベル2A：新サービス創出



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

カイゼン
プロセス

現状把握

発見

仮説検証

対策

効果把握

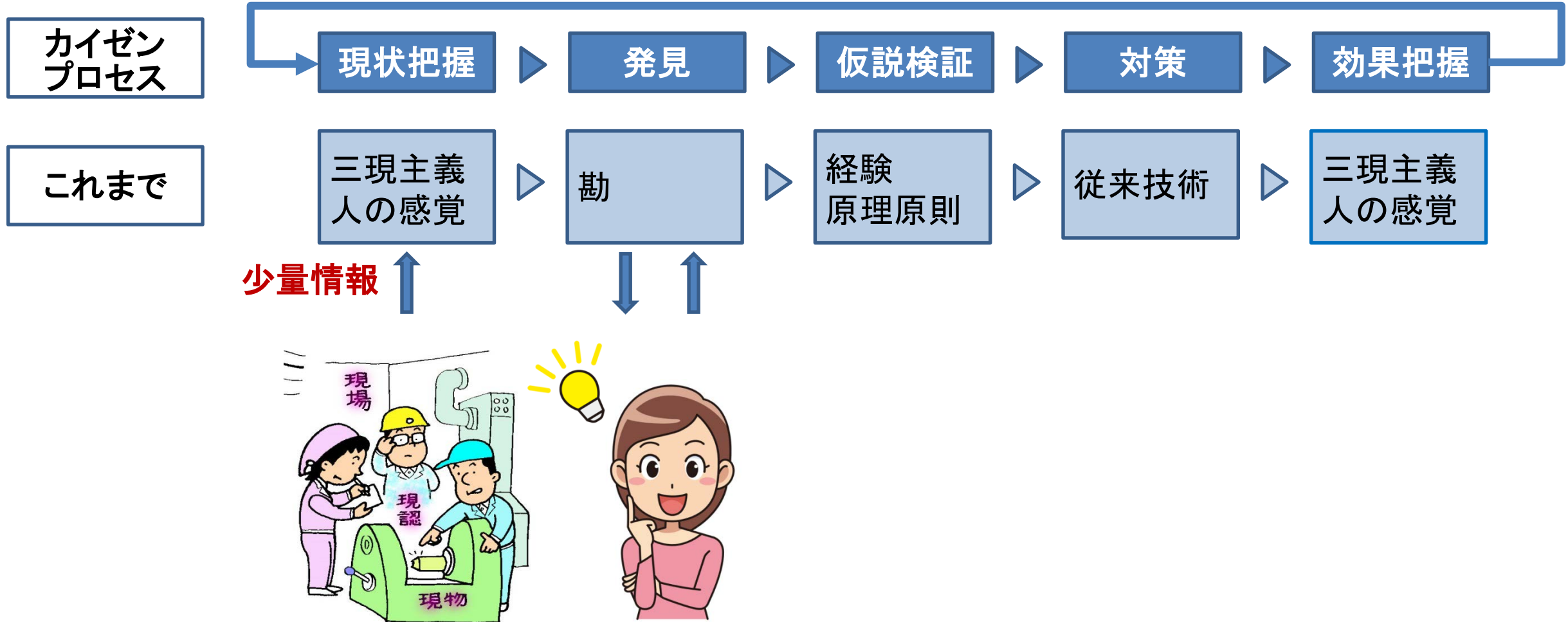
QCDの改善効果を高めるには
①**カイゼンプロセス**を**速く**回す
②大きな**効果**を出す**対策**

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

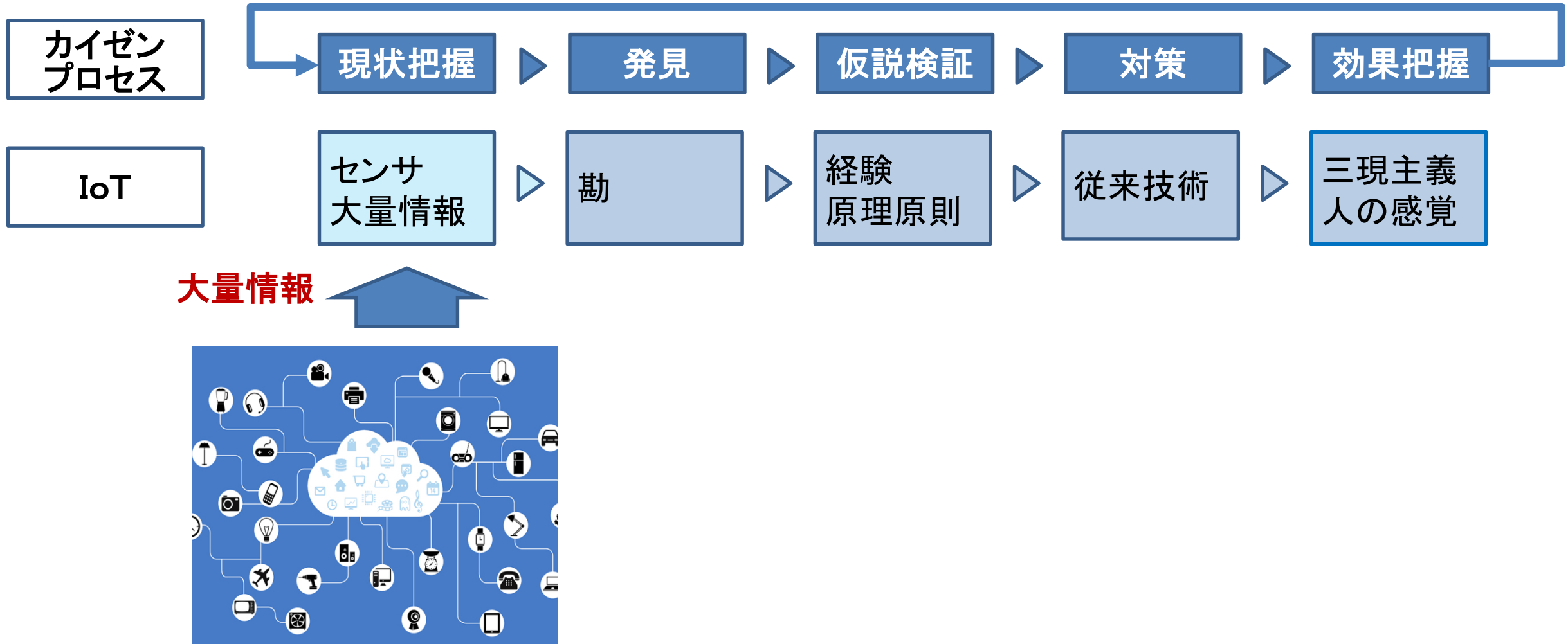
⇒**人の処理速度・処理量**が全体の**速度**に影響



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)

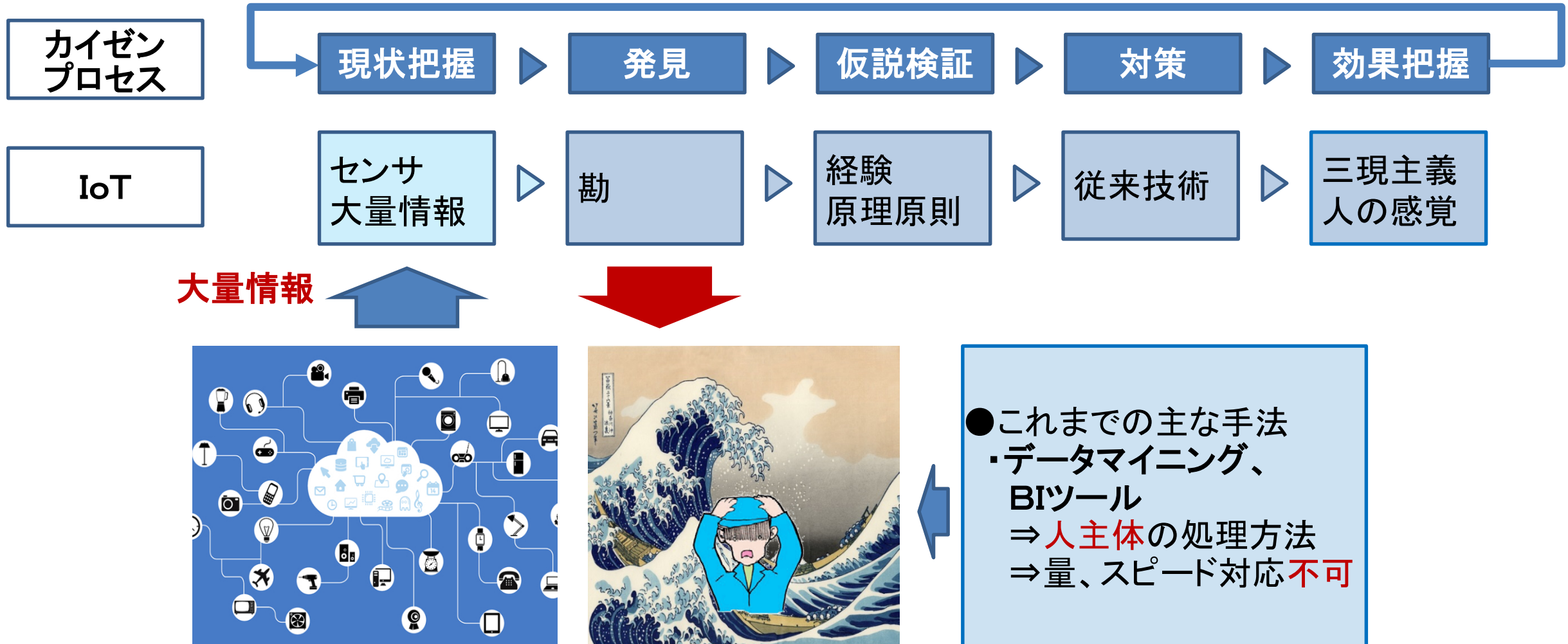
センサからの多種大量情報は、人では処理できない ⇒ 改善プロセスが回らない
⇒ 大量データを、高速で処理する仕組みが必要 ⇒ AI



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**

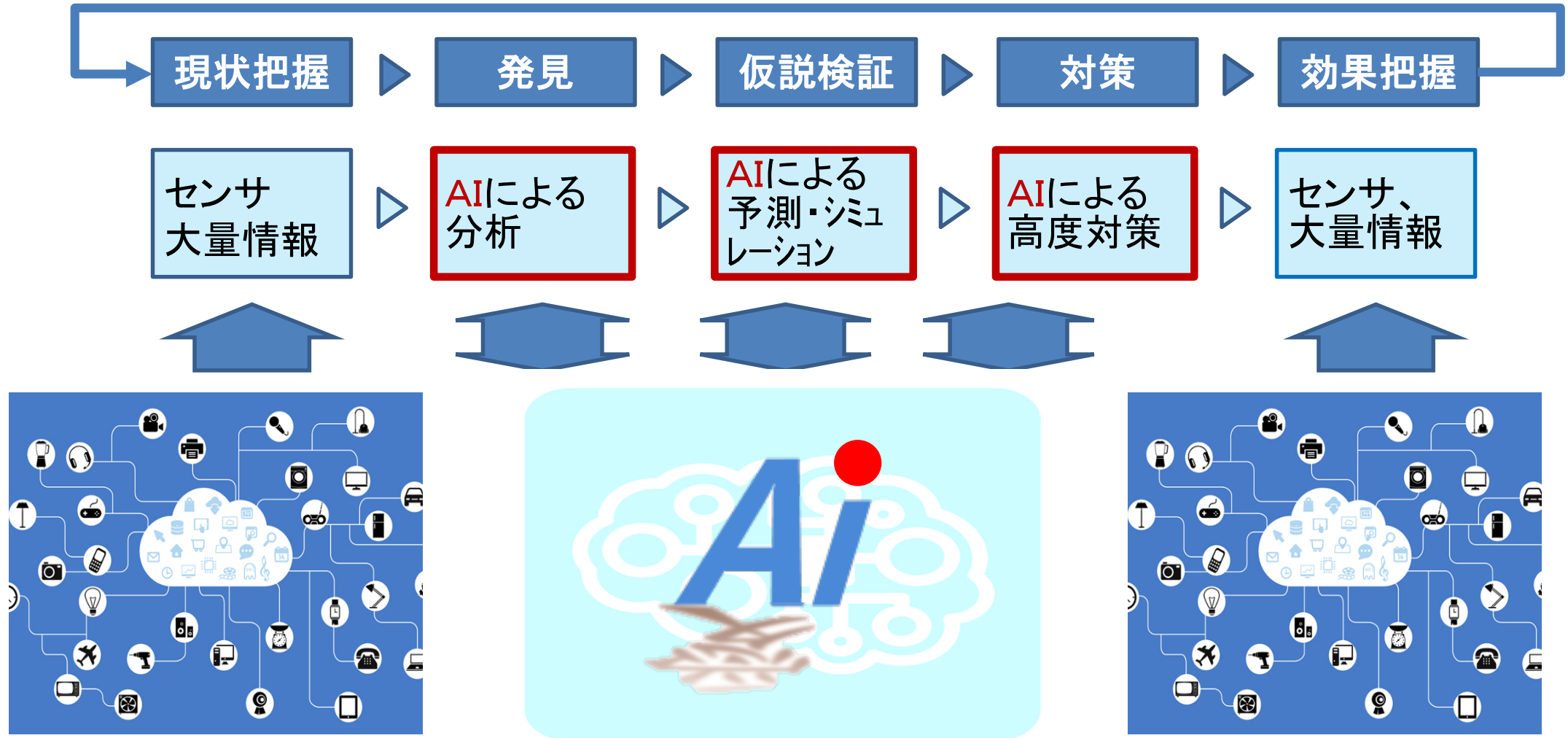


2. 2 ”ものづくり革新”(レベル1)のポイント

●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

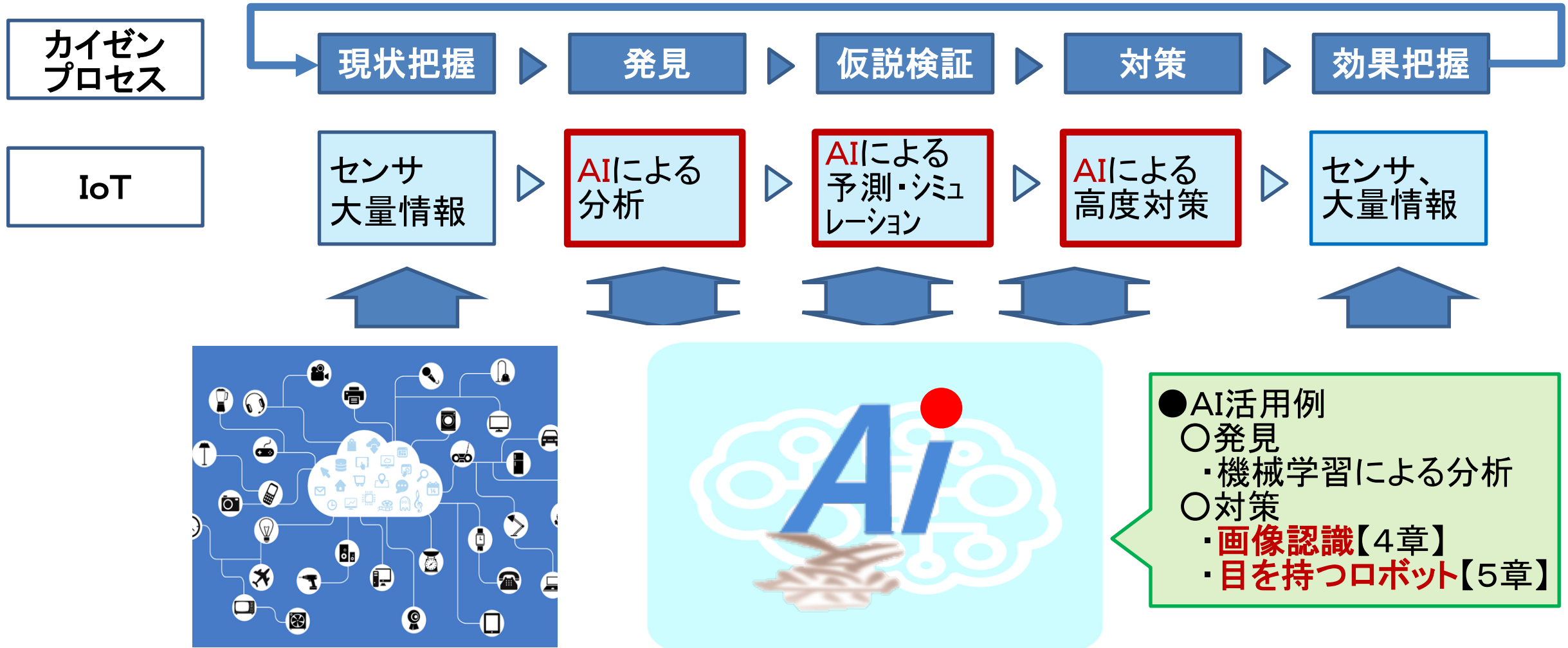


2. 2 ”ものづくり革新”(レベル1)のポイント

●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

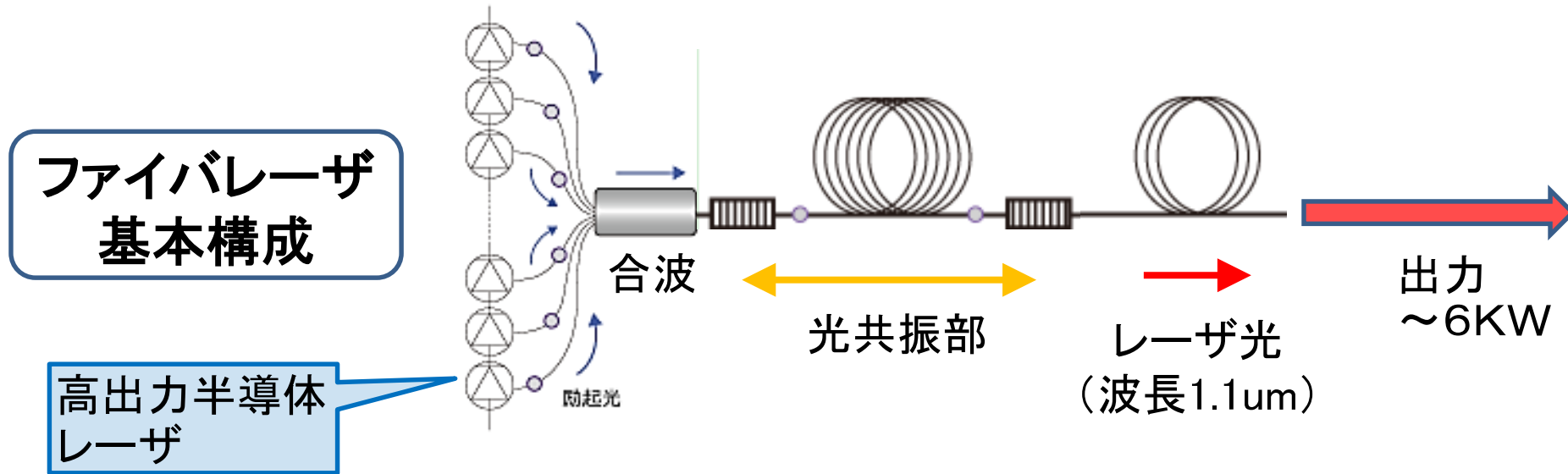
⇒ **”IoTとAIは、補完関係”**と位置づけ、**”両方一体”**として進める



- 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”の取り組み
- 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、今後の取り組み

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**

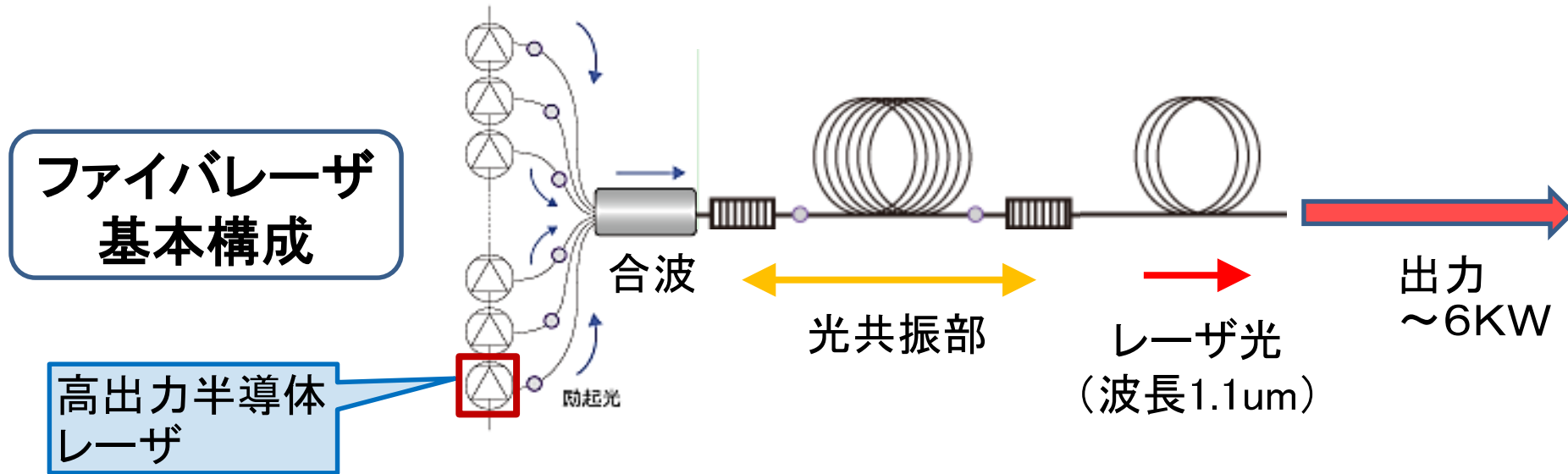


産業用ファイバレーザ製品



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**



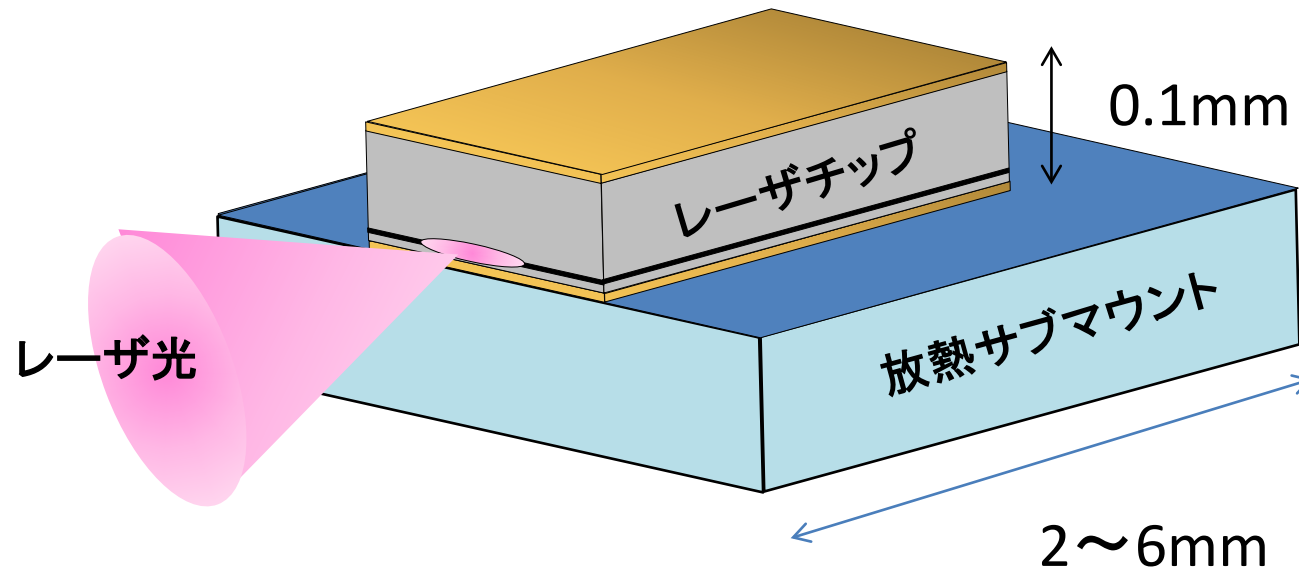
産業用ファイバレーザ製品



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

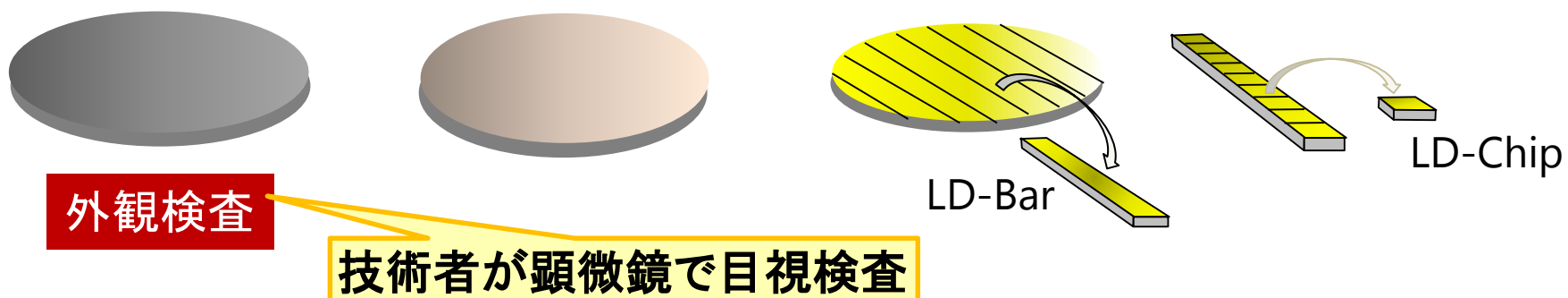
波長 : 900nm 帯
光出力 : 10~20W



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

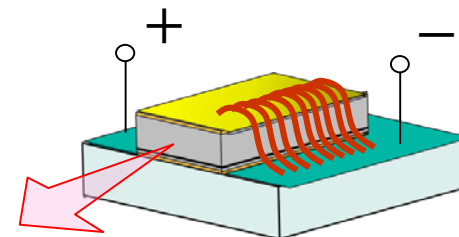
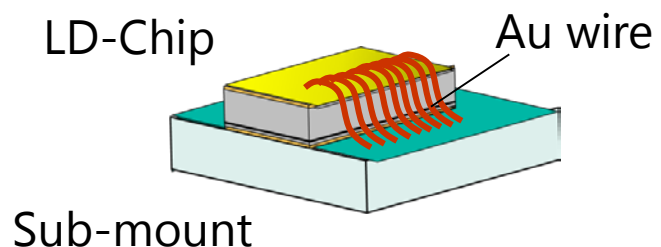


後工程

組立



測定・評価



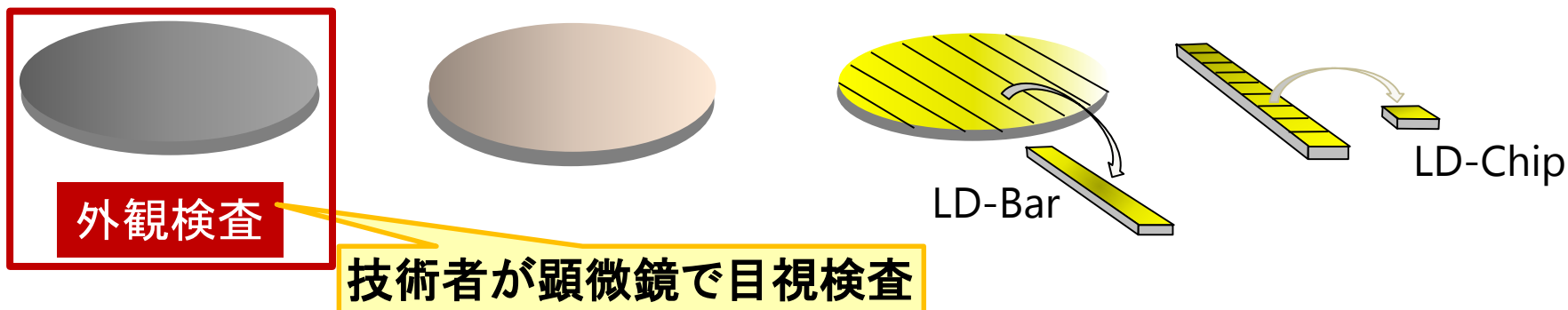
自動検査

特性検査

3. 3 ファイバ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

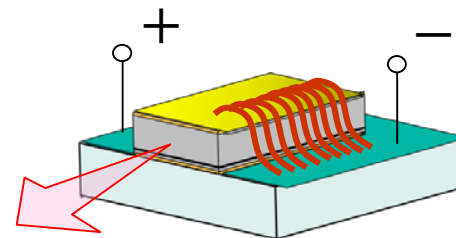
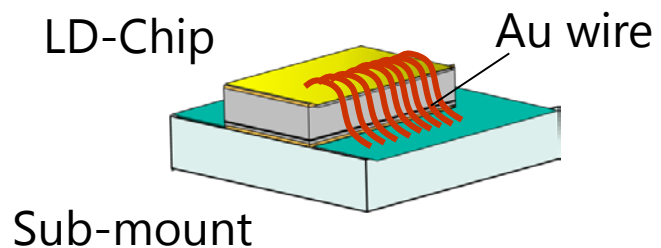


後工程

組立



測定・評価

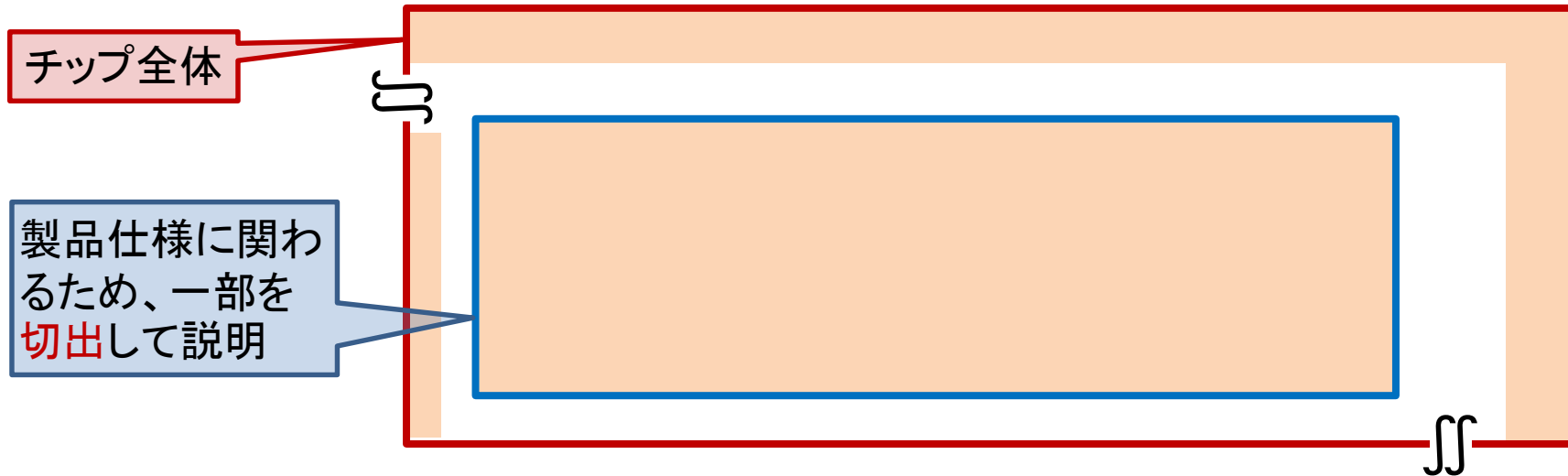


自動検査

特性検査

3. 4 半導体レーザウエハ外觀検査の基準

- 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



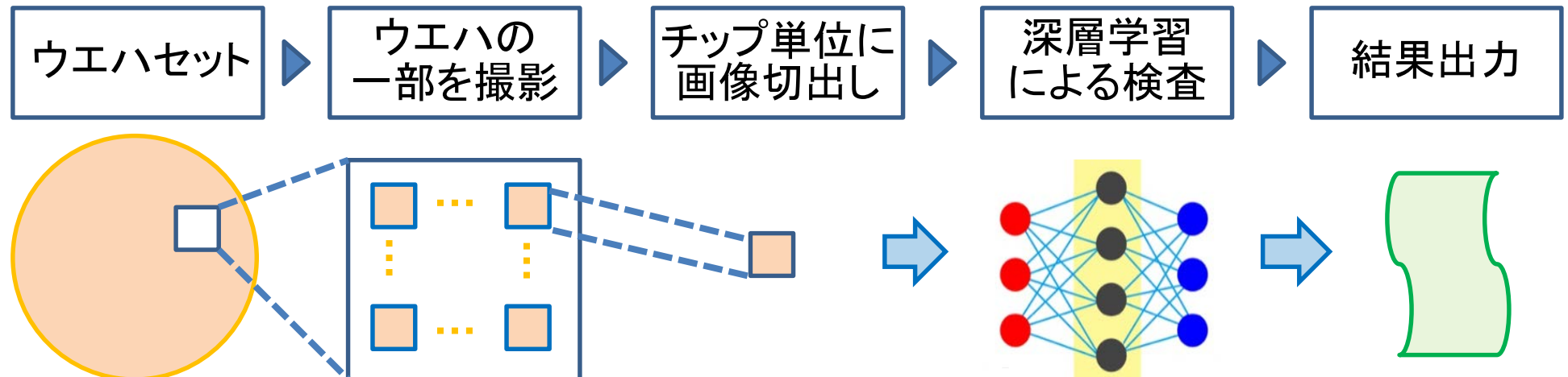
ファイバレーザ競争力強化

●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

- 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)

Now

結合1

学習改善

結合2

学習改善

製造ライン利用開始

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

発表のスコップ

- 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)

Now

結合1

学習改善

結合2

学習改善

製造ライン利用開始

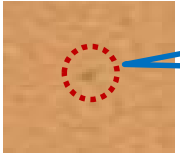
4. 3 深層学習要件の整理

●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 (面積比 50万倍)	・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	4. 6項
3	エリア、サイズにより同形の事象で、 事象クラスが異なる	・事象画像の分類整理	
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	深層学習判断が正しいことの説明	・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、 高信頼性確保	・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: 2×2 ピクセル、チップ全体: 200万ピクセル



最小の事象を 2×2 ピクセル
⇒ **ミニマムサイズ**

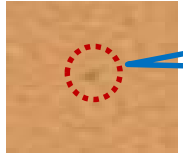
→
50万倍

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: 2×2 ピクセル、チップ全体: 200万ピクセル



最小の事象を 2×2 ピクセル
⇒ **ミニマムサイズ**

50万倍

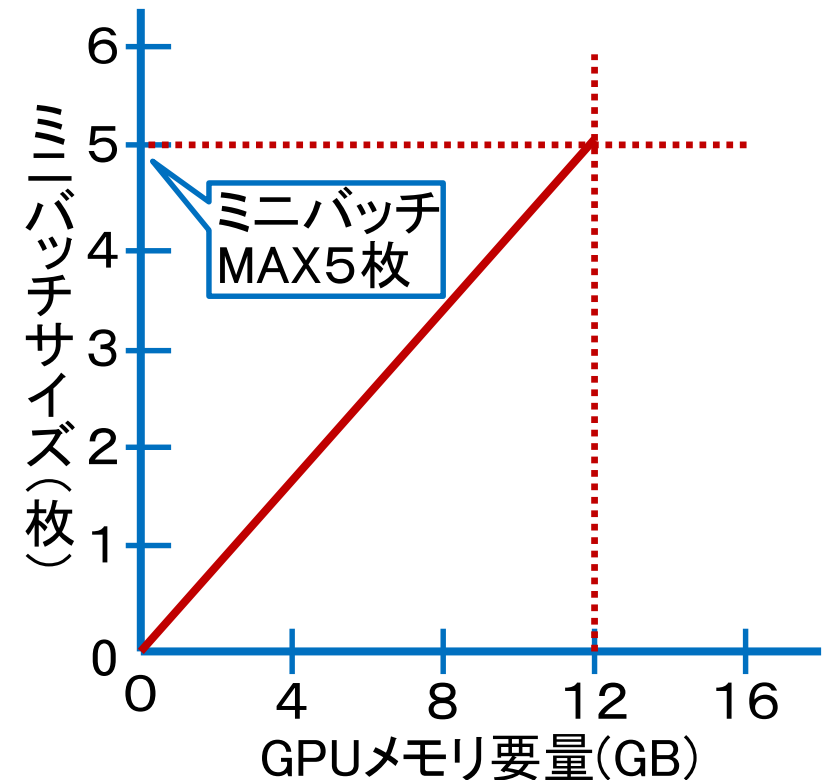
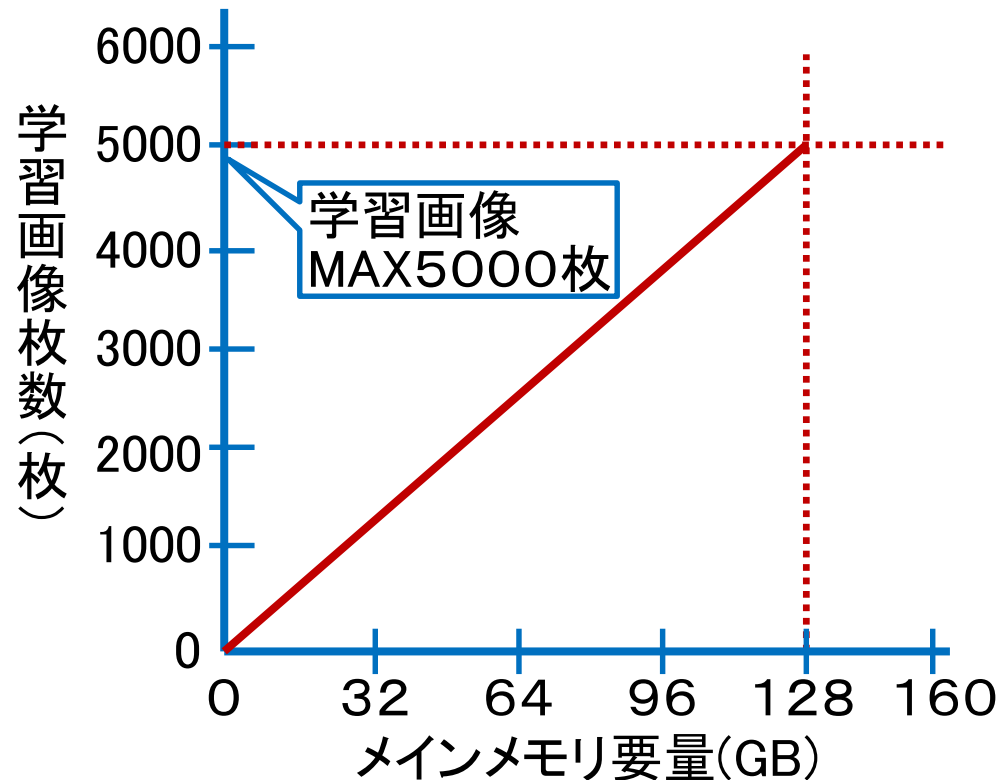
チップ全体

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

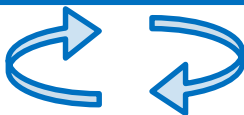


ゼロからのモデル組立て
学習状況、CAM画像より絞込み

一般的モデル(VGG等) ➡ NG



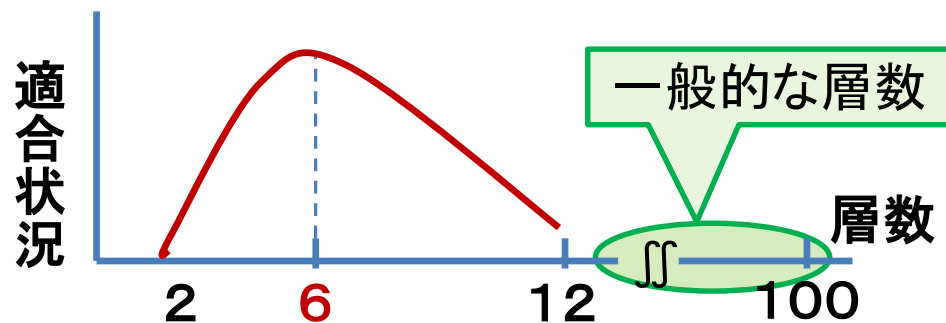
層数等を順次増やす



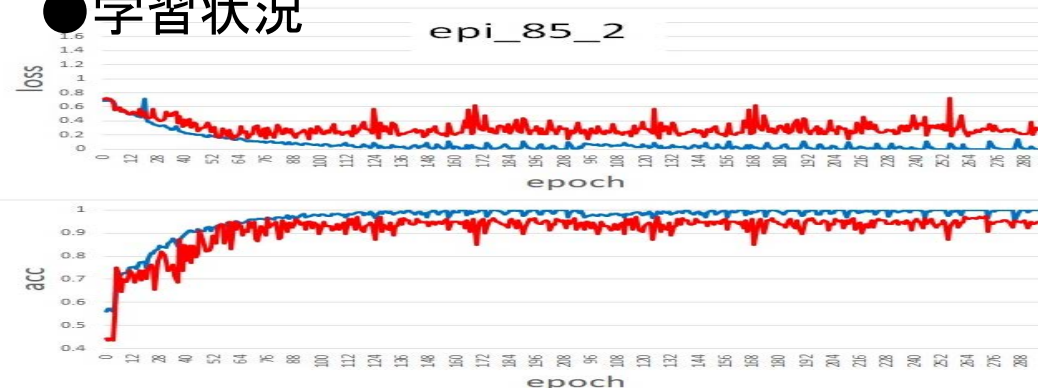
学習状況、CAM画像確認



適合モデルを絞込み



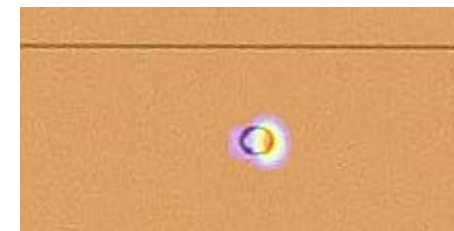
● 学習状況



オリジナル画像

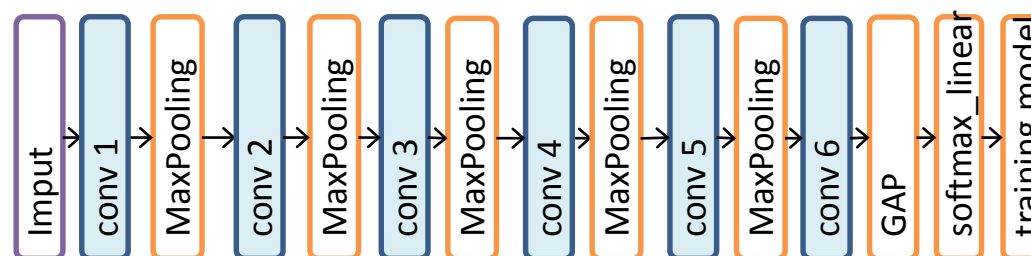


CAM画像



CAM: class activation map

● 適合モデル



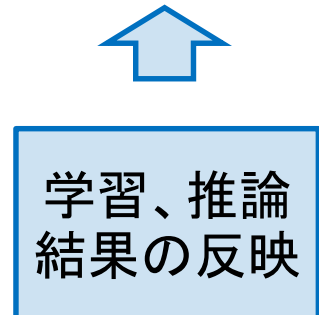
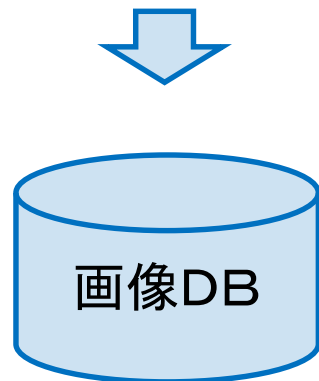
4. 6 データチューニングのポイント

● **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

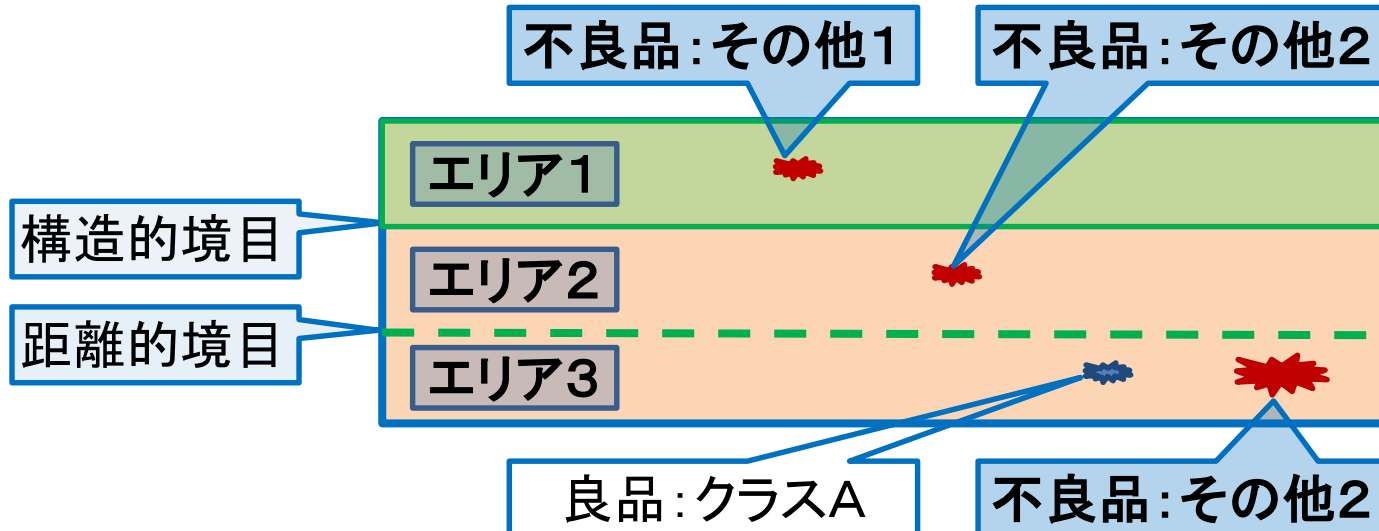
● 画像が不足する場合、画像合成を行う(偽造レベル1、2)

● 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	...
-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-----



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

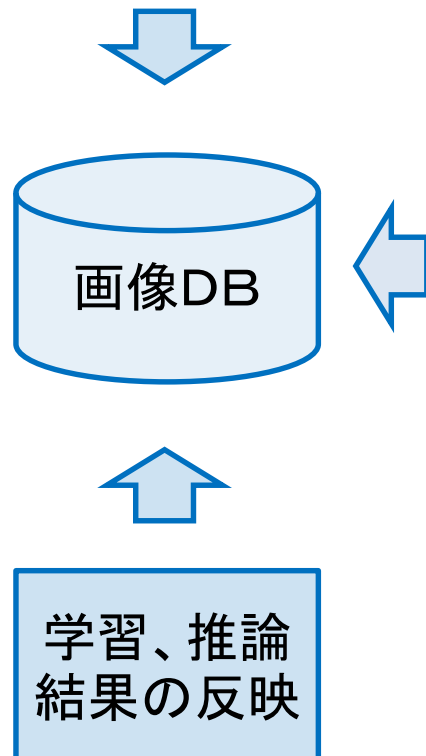


4. 6 データチューニングのポイント

- **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)

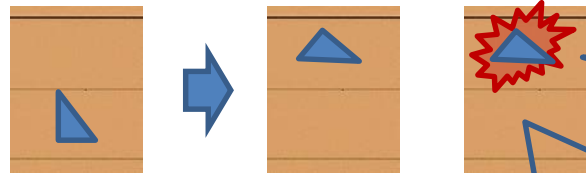
●DB項目(例)

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	...
-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-----



- 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?**
②**CAM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て、精度改善を進める

①人の判定
=X



②深層学習推論
=X



完了

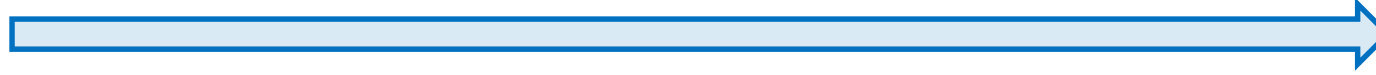
4. 7 学習分析のポイント

- 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て、精度改善を進める

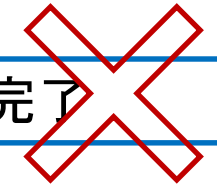
①人の判定
=X



②深層学習推論
=X



完了



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て、精度改善を進める

①人の判定
=X



②深層学習推論
=X



③CAM画像チェック

4.7 学習分析のポイント

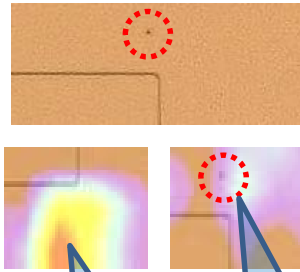
- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** ➡ **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけて、精度改善を進める

①人の判定
=X

②深層学習推論
=X

③CAM画像チェック

不一致



人は、「その他2」と判定

DLは、**別の場所**をみて、
たまたま「**その他2**」と判断

人とは別の場所
に着目

4.7 学習分析のポイント

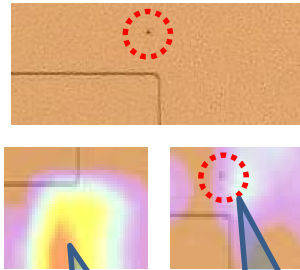
- 人と深層学習の判定が一致しても、**信用してはいけない** → **CAMで確認を**
- 不一致を一つ一つ追いかけて、精度改善を進める

①人の判定
=X

②深層学習推論
=X

③CAM画像チェック

不一致



人とは別の場所
に着目

人は、"その他2"と判定

DLは、別の場所をみて、
たまたま"その他2"と判断

④対策

CAMの画像をみて、
何が間違ったか推定
⇒ ①類似画像を増
⇒ ②画像合成
⇒ 効果を確認する



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て、精度改善を進める

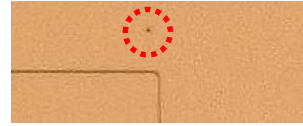
①人の判定
=X

②深層学習推論
=X

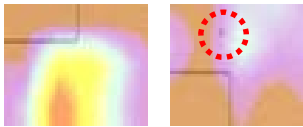
②深層学習推論
=Y

③CAM画像チェック

不一致



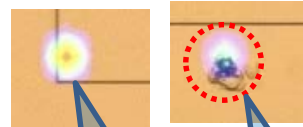
人は、"その他2"と判定



DLは、**別の場所**をみて、
たまたま**"その他2"**と判断



人は、位置、サイズから
"その他2"と判定



DLは事象サイズが基準より小さい⇒"A"と判定

人とは別の場所
に着目

④対策
CAMの画像をみて、
何が間違ったか推定
⇒ ①類似画像を増
⇒ ②画像合成
⇒ 効果を確認する

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て、精度改善を進める

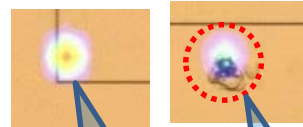
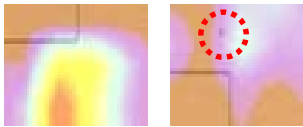
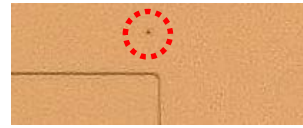
①人の判定
=X

②深層学習推論
=X

②深層学習推論
=Y

③CAM画像チェック

不一致



人は、"その他2"と判定

DLは、**別の場所**をみて、
たまたま**"その他2"**と判断

人は、位置、サイズから
"その他2"と判定

DLは事象サイズが基準より小さい⇒"A"と判定

人とは別の場所
に着目

④対策
CAMの画像をみて、
何が間違ったか推定
⇒ ①類似画像を増
⇒ ②画像合成
⇒ 効果を確認する

深層学習の正しさ説明
⇒事象毎に、相違を確認



4.8 性能評価

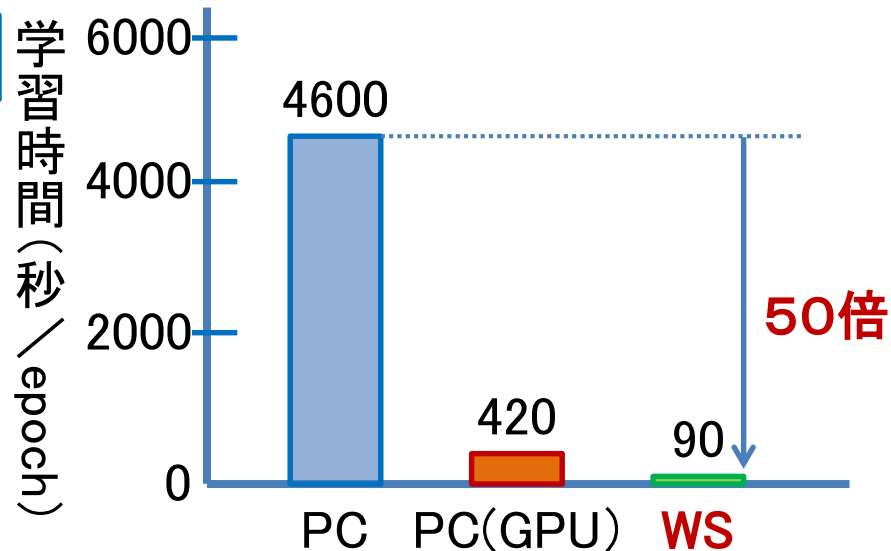
- 学習: GPU効果大だが、絶対的時間が長い
- 推論: 製造ラインの要件を考慮し、GPU有無、場所を検討



高速マシン(DGX-1)準備中
PC(GPU)を、エッジに導入

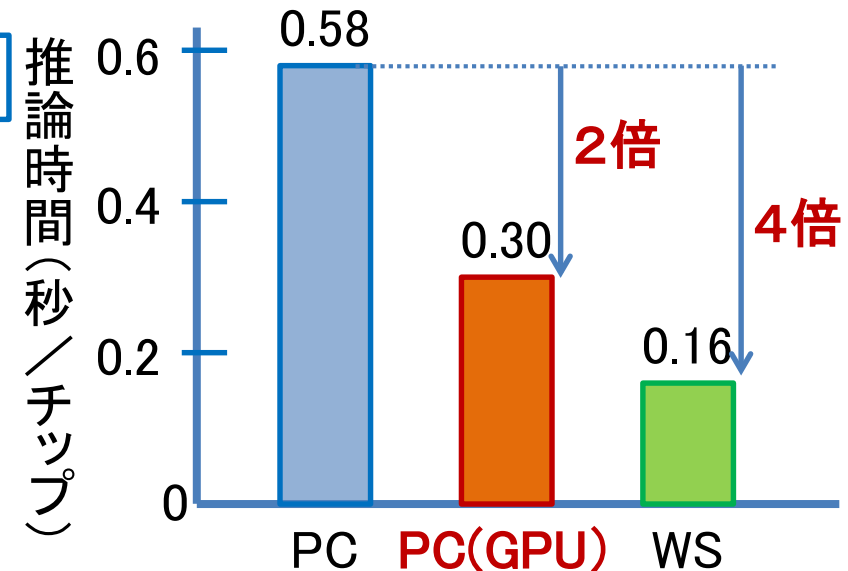
	PC	PC(GPU)	WS
OS	Windows 10	Windows 10	Ubuntu
メモリ	4GB	32GB	128GB
CPU	core i5	core i7	Xeon × 1
GPU(メモリ)	なし	1枚(× 4GB)	3枚(× 12GB)

●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

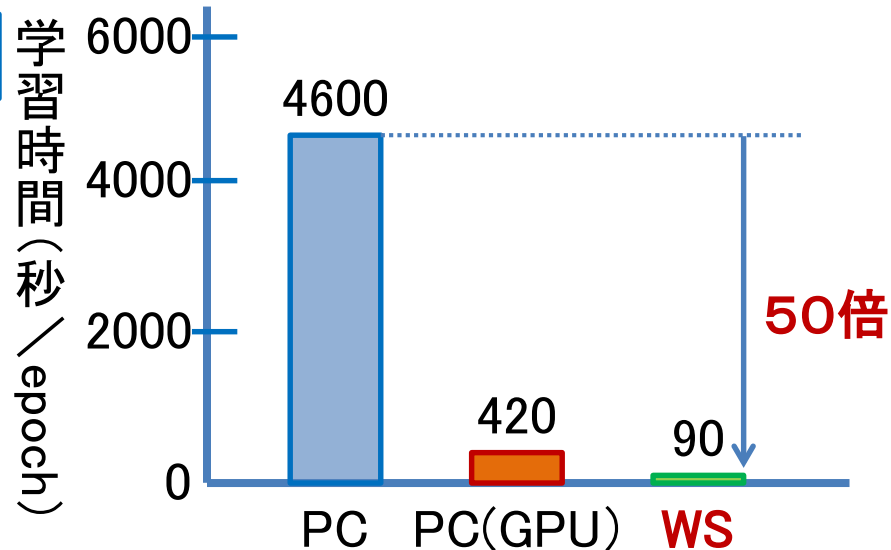


高速マシン(DGX-1)準備中
PC(GPU)を、エッジに導入

	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)

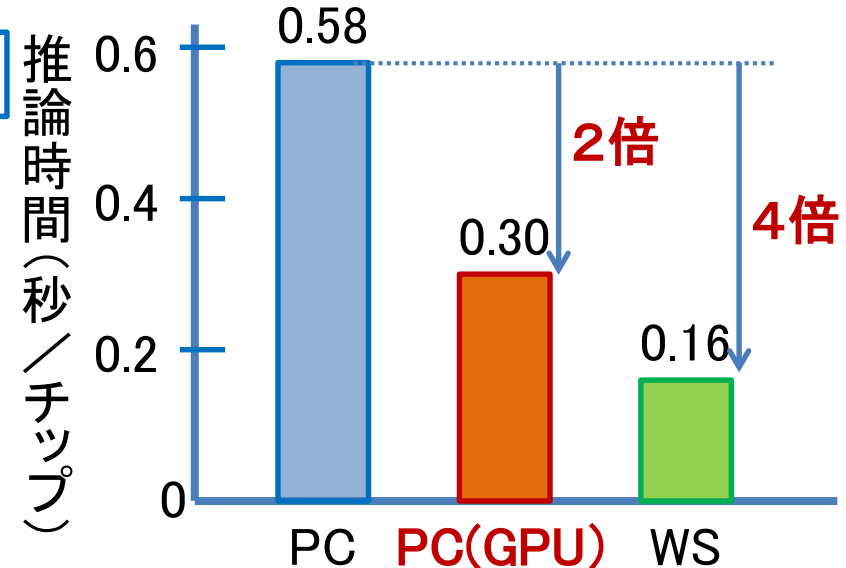
環境構築中

●学習



WSでも、300epochで勤務時間(7.5H)終了
⇒ 高速環境準備中

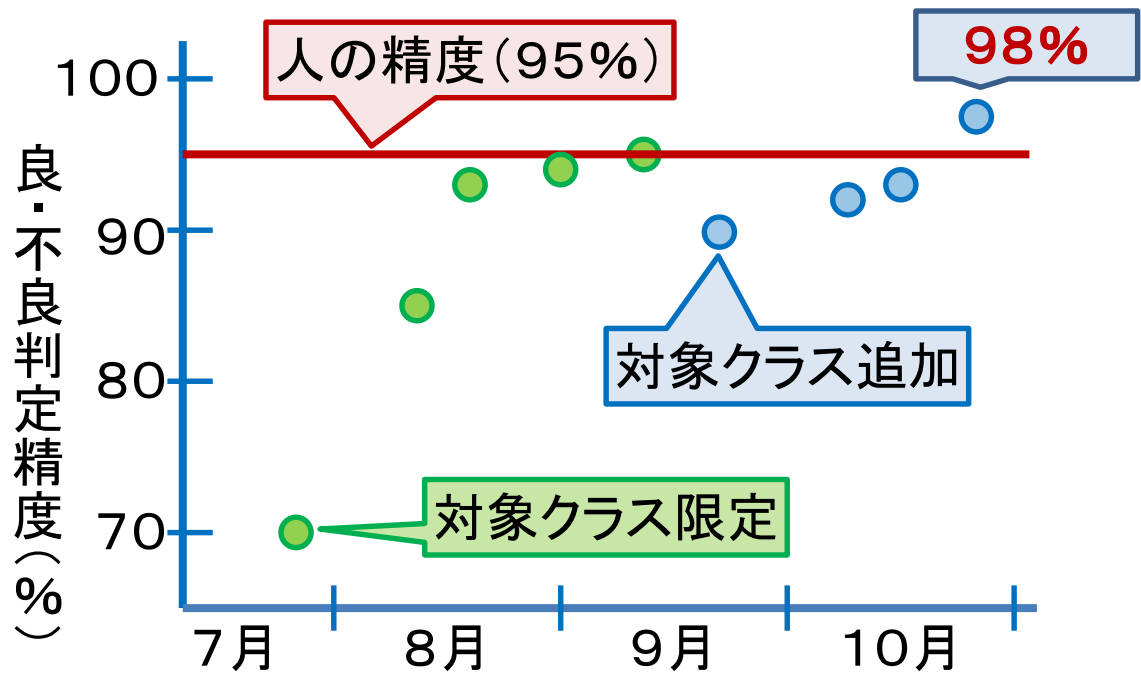
●推論



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 良品:47% 不良:53%		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%

➡
実際の出現
分布を考慮

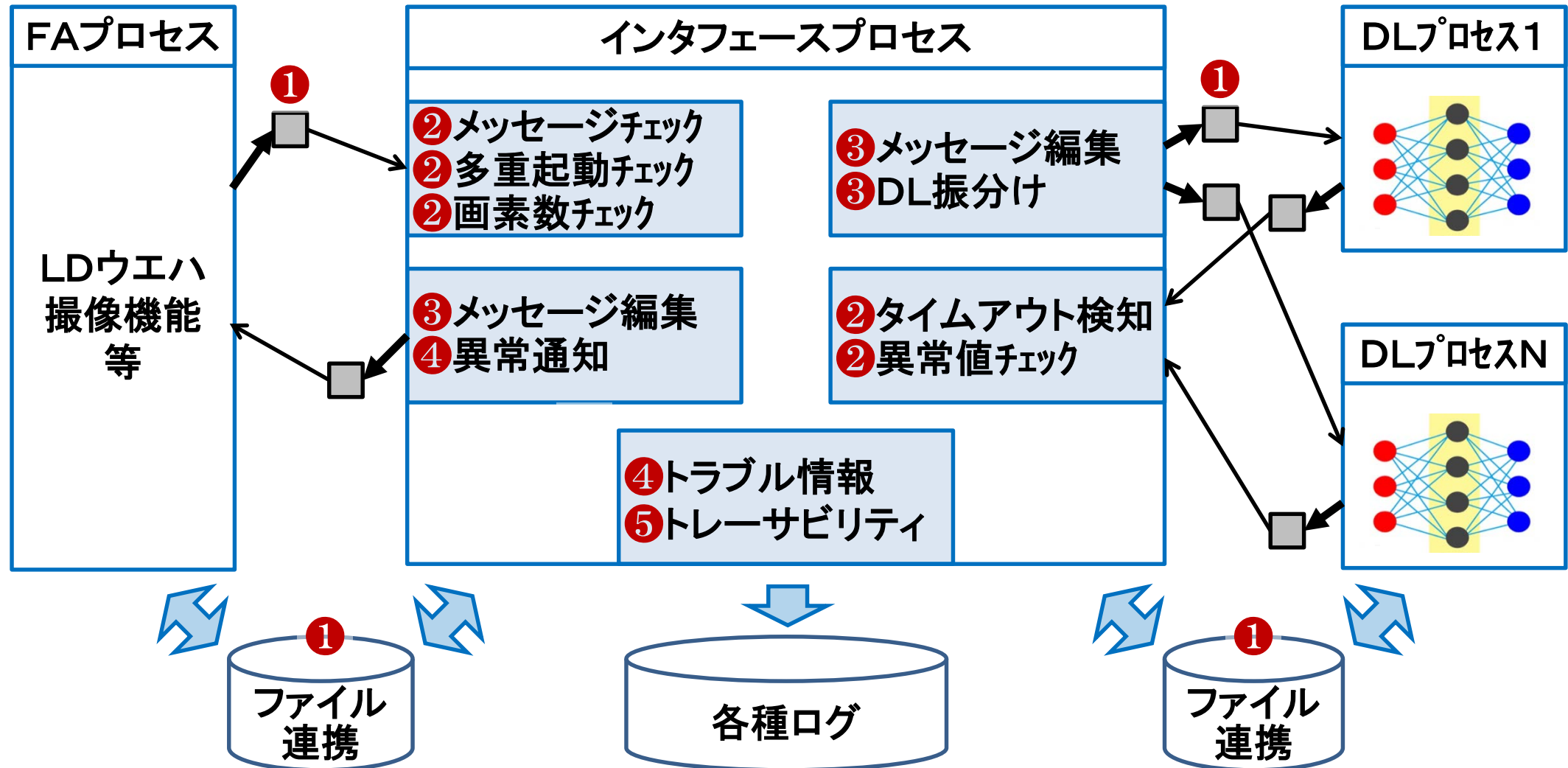
重み付け
判定精度
95%

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

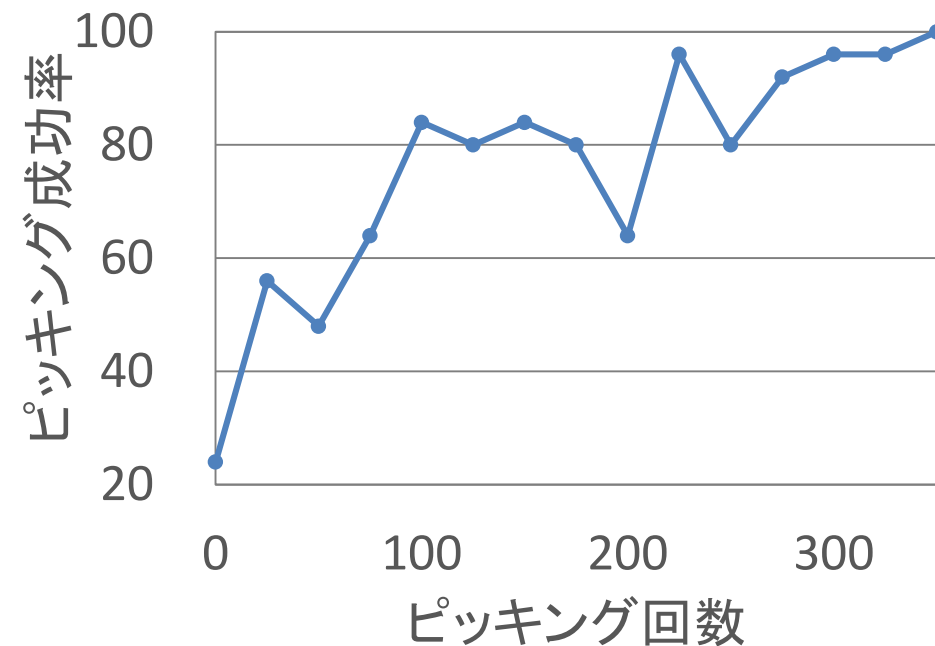
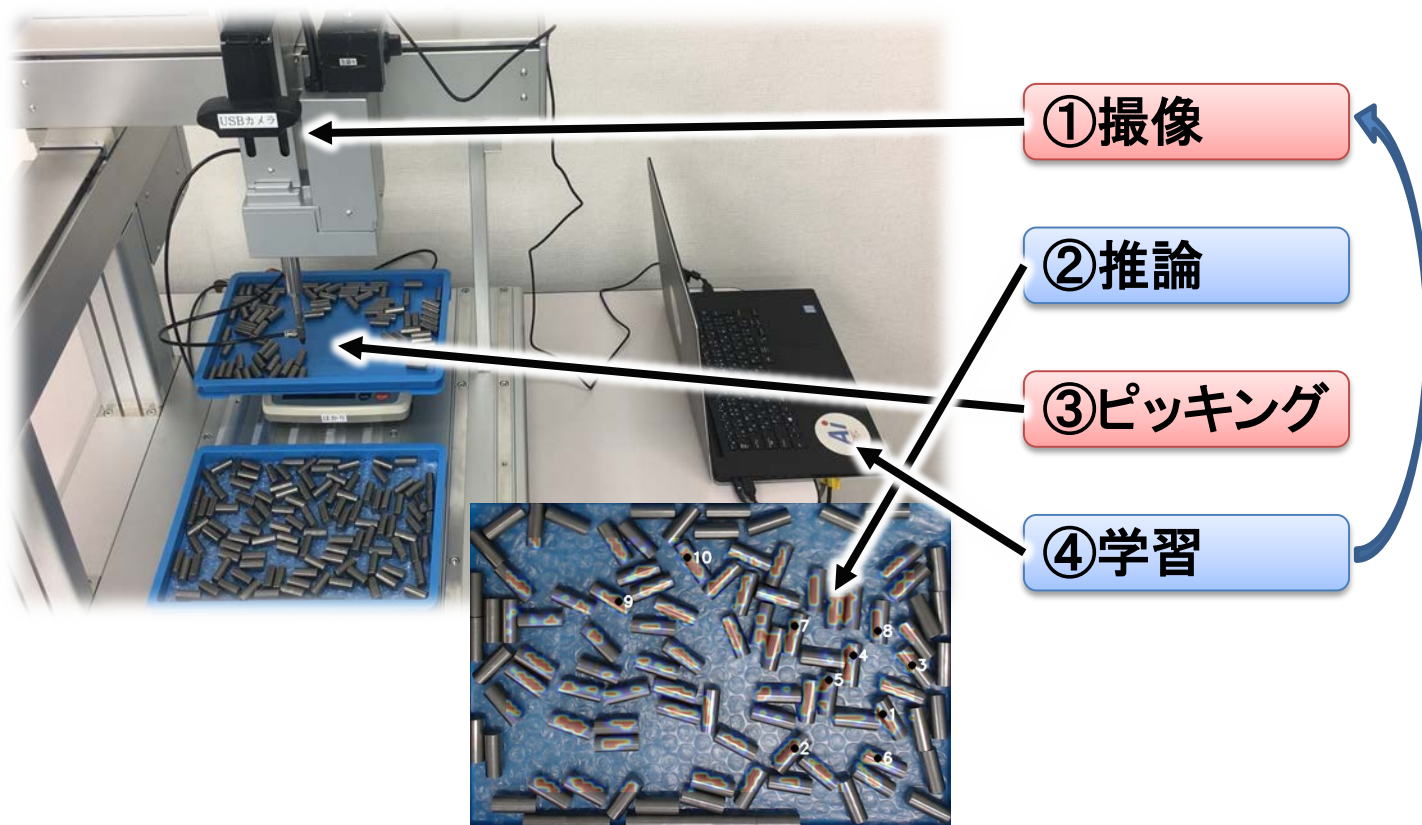


- 第1章 株式会社フジクラのご紹介
- 第2章 フジクラにおける”ものづくり革新”の取組み
- 第3章 ファイバレーザとは
- 第4章 AI(深層学習)を用いた外観検査システム
- 第5章 他のAI案件、今後の取組み**

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”の取り組み

●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ーウエハ外観検査

- ・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
- 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