

# 2023年度ロボット学会オープンフォーラム OF-15 製造・加工業における熟練者技術のDX化～AI化

## レーザー加工技術者の技をAI化する

2023年9月11日



神奈川県立産業技術総合研究所  
特任研究員  
森 清和

**ものづくり技術とAI(機械加工)のインテグレーションは  
熟練技術者不足のモノづくり現場に役立ってるか？**



ものづくり技術者の視点で考える

レーザー加工技術とは？

レーザー粉体肉盛  
(LMD)

レーザー光

金属粉末

肉盛ビード

母材(試験片)

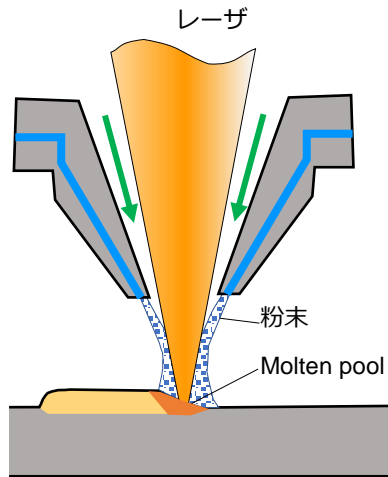


# レーザー加工のメリット



## レーザー粉体肉盛(LMD)のメリット

必要な部位に必要な材料を付加  
大型部品も可能で、省エネルギーに貢献

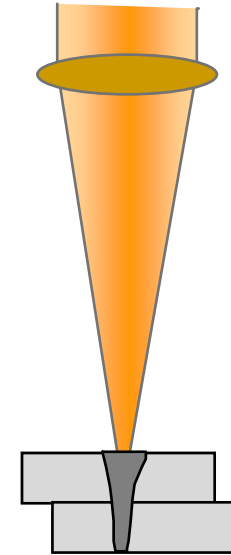


発電用タービン



## レーザー溶接のメリット

非接触・高速・低入熱・低歪



電池



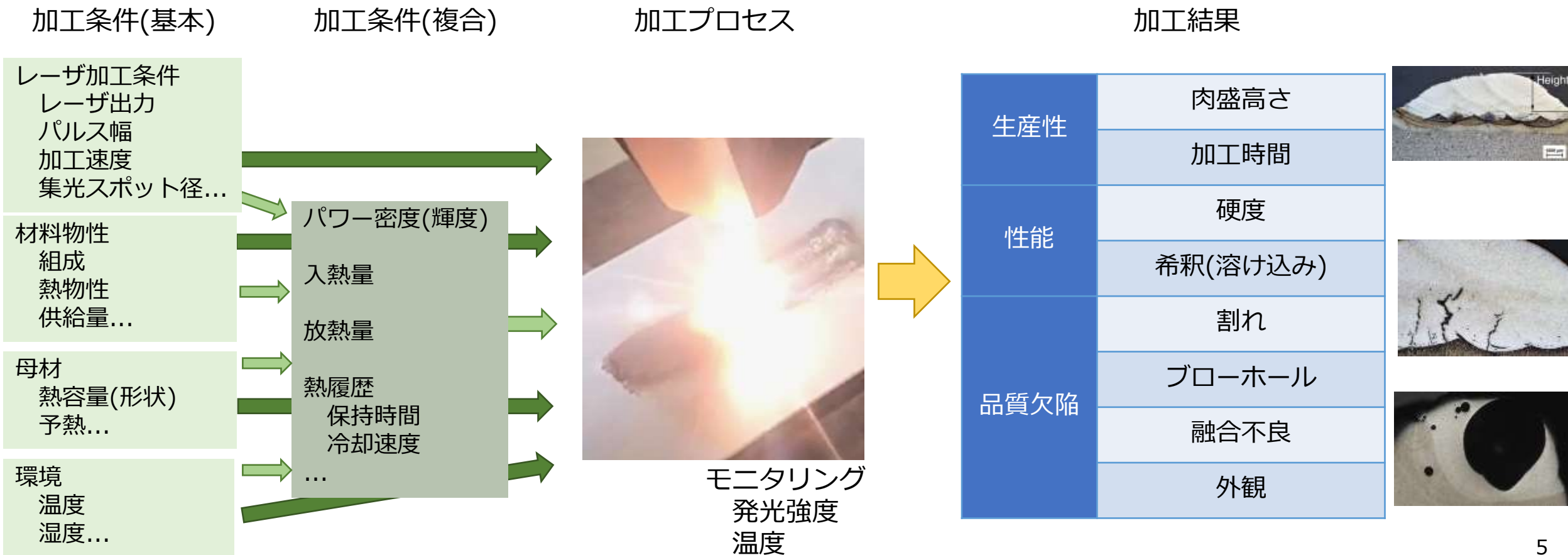
自動車

# レーザー加工の課題

- 加工条件(基本+複合)の数が多い
- 非線形で依存関係 (親子関係)が複雑
- 加工結果の評価項目も多い



- 熟練技術者が必要
- 加工条件の設定(**条件出し**)
  - 品質の**トラブルシューティング**



# 熟練技術者にAIの条件出しを納得して使ってもらうためには



数式, プログラム, 数字の羅列  
ピンポイント条件の提示

徹底した可視化

```

for item, val in self.config['NUMERICAL_y'].items():
    if item in self.param['Weight'].keys():
        print( item, end=' ')

```

$$\text{average MAE} = \frac{1}{k} \sum \text{MAE}^{(i)}$$

```

        print( item, end=' ')
        print( self.config['NUMERICAL_y'][item] )
        print( self.config['Weight'][item] )
        print( self.config['num_target( z, th_vals) #0.0

```

継承モード median  
継承する探索結果ファイル ../result/Search\_Al\_Power\_Speed\_full\_20230822-09551

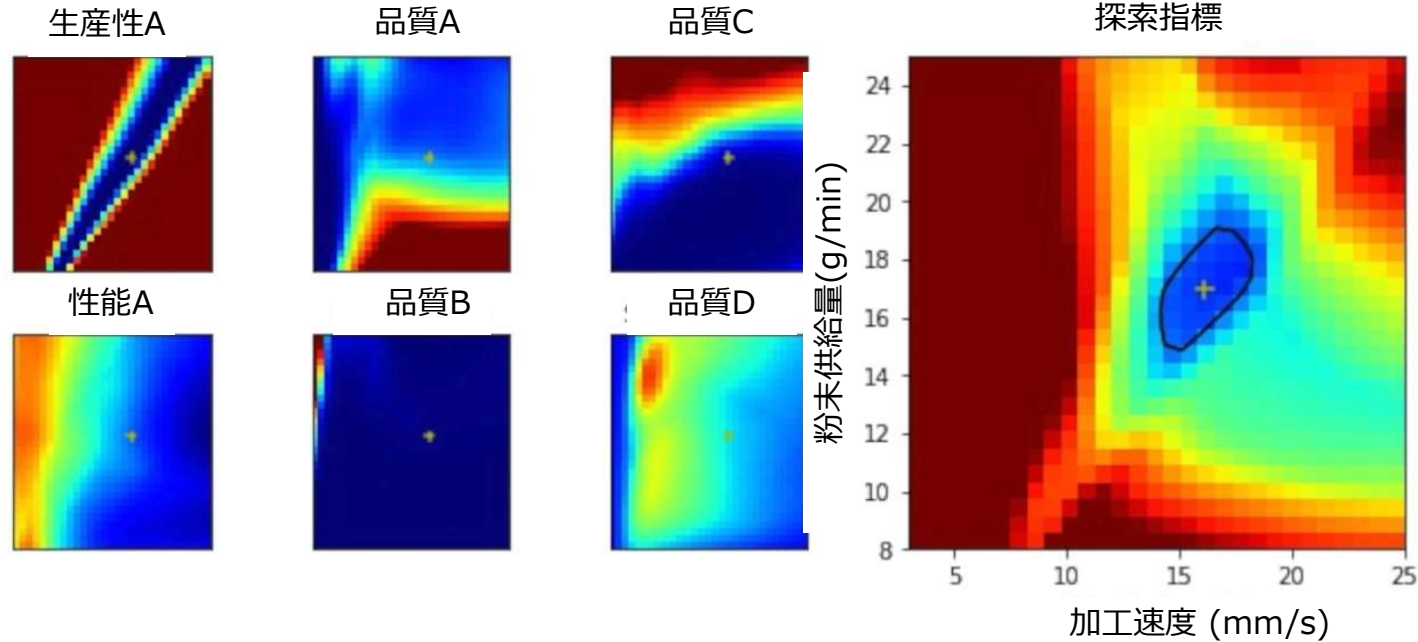
ITEM	VALUE	RANGE	MODE
X	Power 1154.112145	(800,1800,30)	normal
Y	Speed 43.411908	(5,50,30)	normal
Xother1	Ls_l1 0.186	(0.044,0.186,30)	NaN
Xother2	GAP 0.0	[0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4]	NaN
Xother3	WD 1.0	(-1.0,1.0,9)	NaN
BEST_MODE	BEST_MODE	NaN	normal
th_value	th_value	0.05424	NaN
min_value	min_value	0.007232	NaN
V	V	0.996517	NaN

Xmesh + Xfix	Ls_l1	Power	Mode	Welding_form	UPR_sheet	LWR_sheet	Bead_length
0	0.044000	800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
1	0.048897	800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
2	0.053793	800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
3	0.058690	800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
4	0.063586	800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
...	...	...	...	...	...	...	...
895	0.166414	1800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
896	0.171310	1800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
897	0.176207	1800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
898	0.181103	1800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.
899	0.186000	1800.0	CW	Lap	Al_test02	Al_test02	50.

Gas_material	Gas_flowR	Wobbling	...	Peripheral_velo	Max_Lvelo	\
0	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
1	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
2	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
3	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
4	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
...	...	...	...	...	...	...
895	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
896	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
897	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
898	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN
899	N2	15.0	unused	...	NaN	NaN

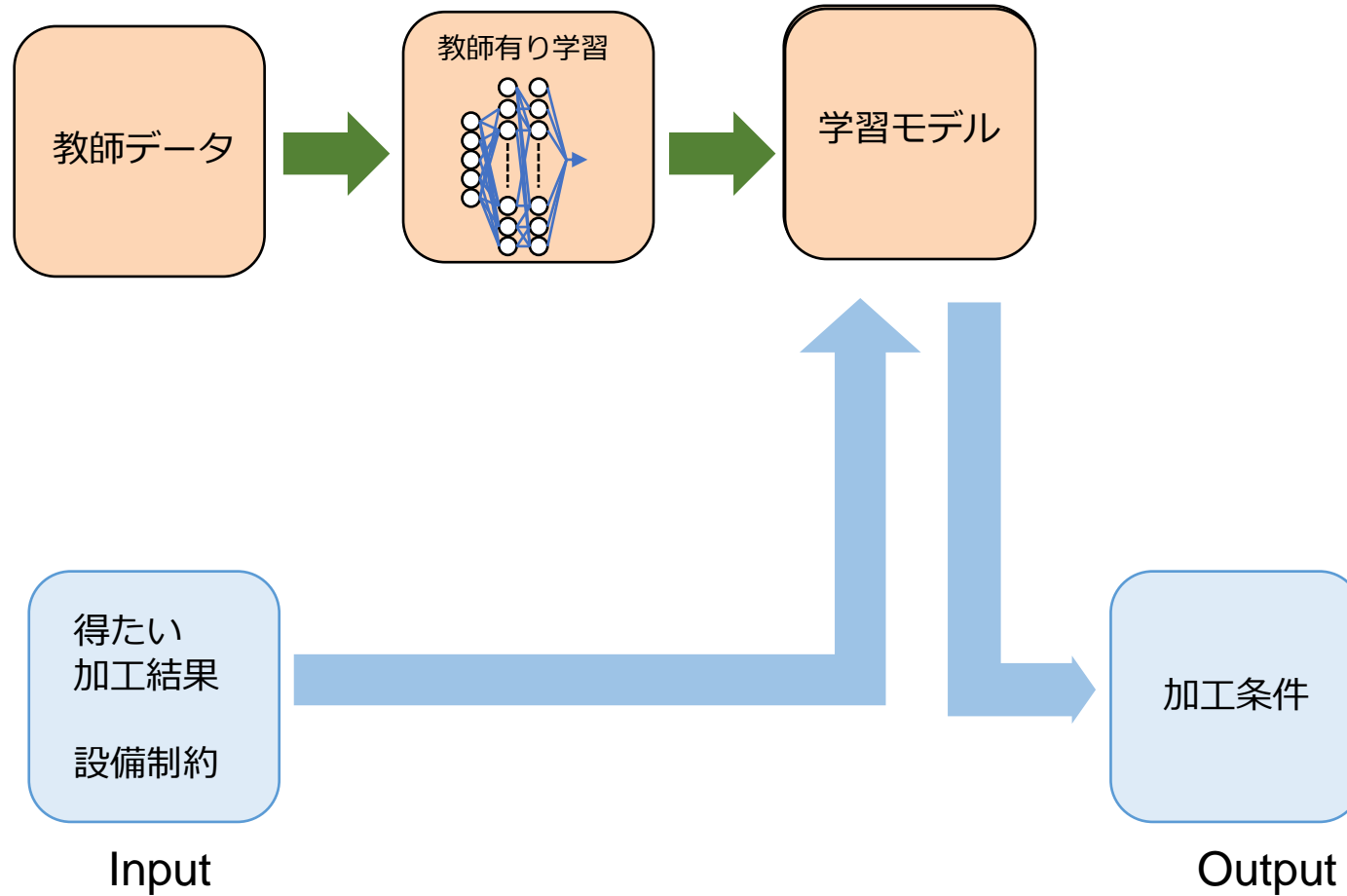
Min_Lvelo	Round_per_Len	Energy_per_Len	Process_time	Total_heat_inpu
0	NaN	NaN	1.0	0.25
...	...	...	...	...
895	NaN	NaN	1.0	0.25
896	NaN	NaN	1.0	0.25
897	NaN	NaN	1.0	0.25
898	NaN	NaN	1.0	0.25
899	NaN	NaN	1.0	0.25

G2.40/2.40/2.40kW V:0.285 v:16.1mm/s p:16.9g/min



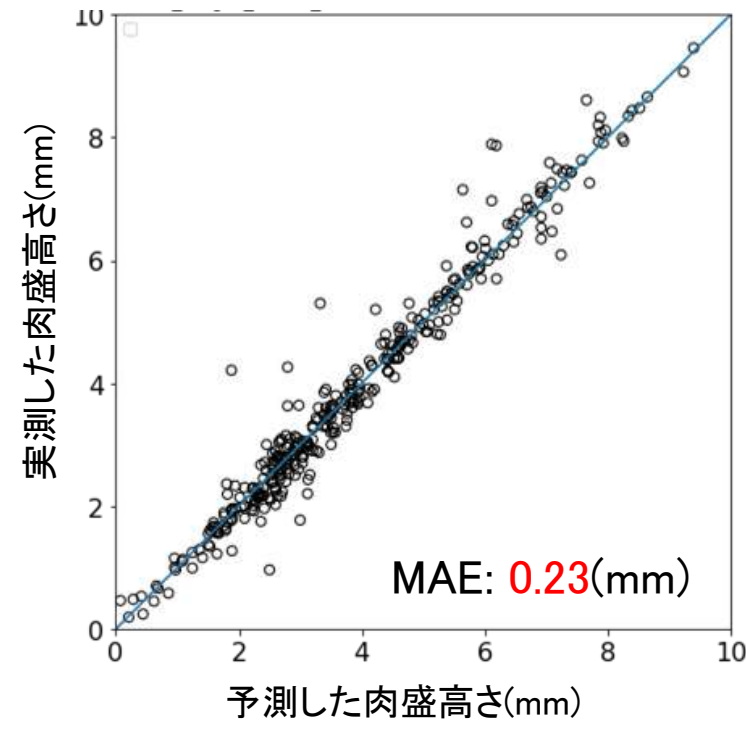
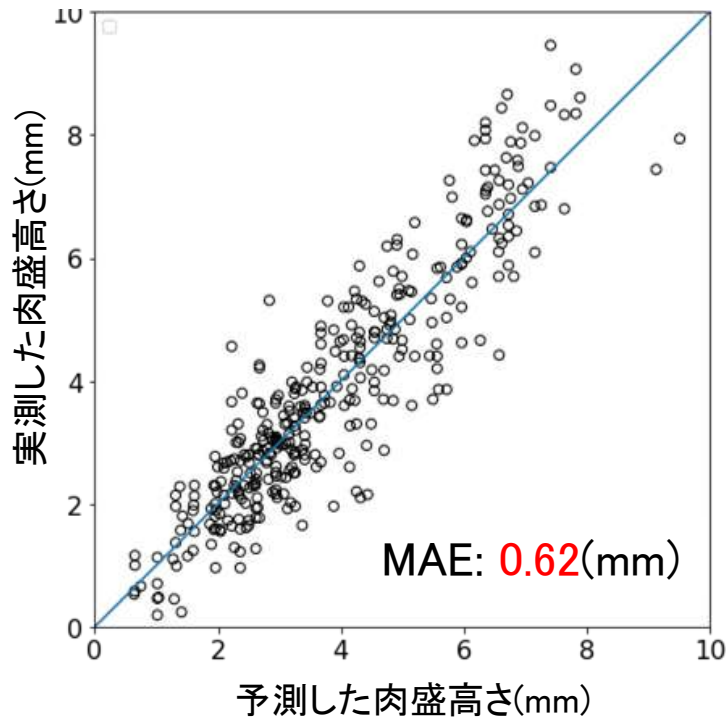
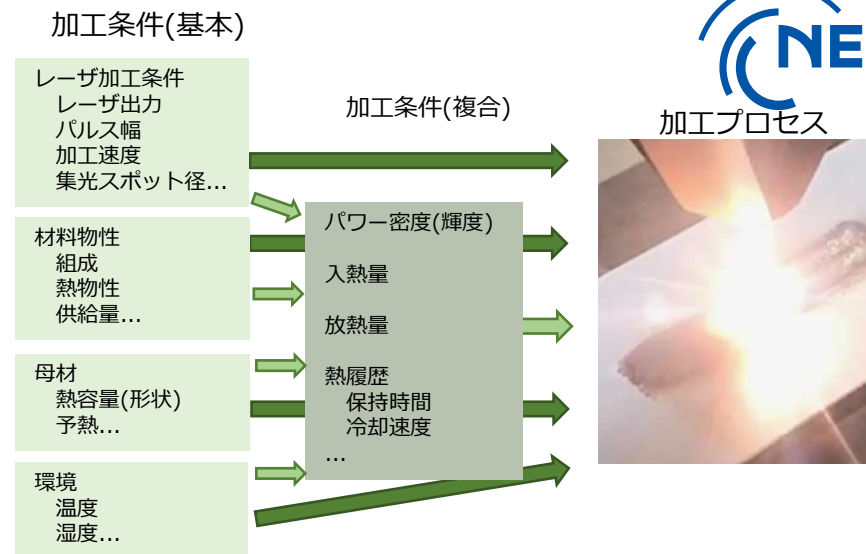
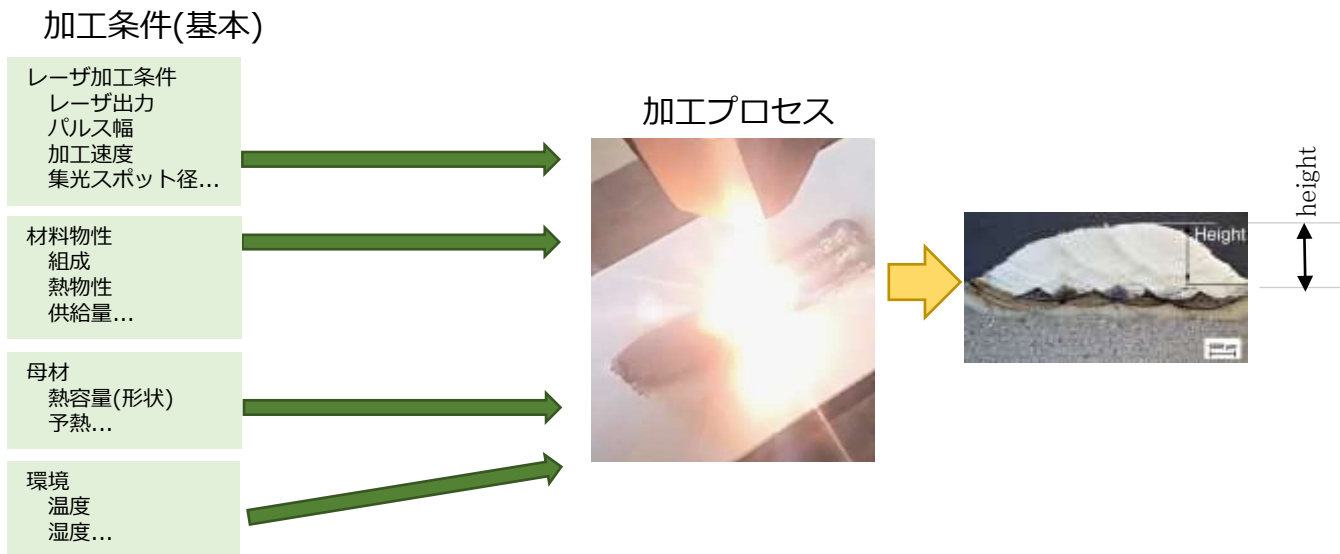
傾向を可視化  
トレードオフを可視化  
良好領域を可視化  
動画化

モデル作成 (教師あり学習)



# 肉盛高さ(形状)の学習結果

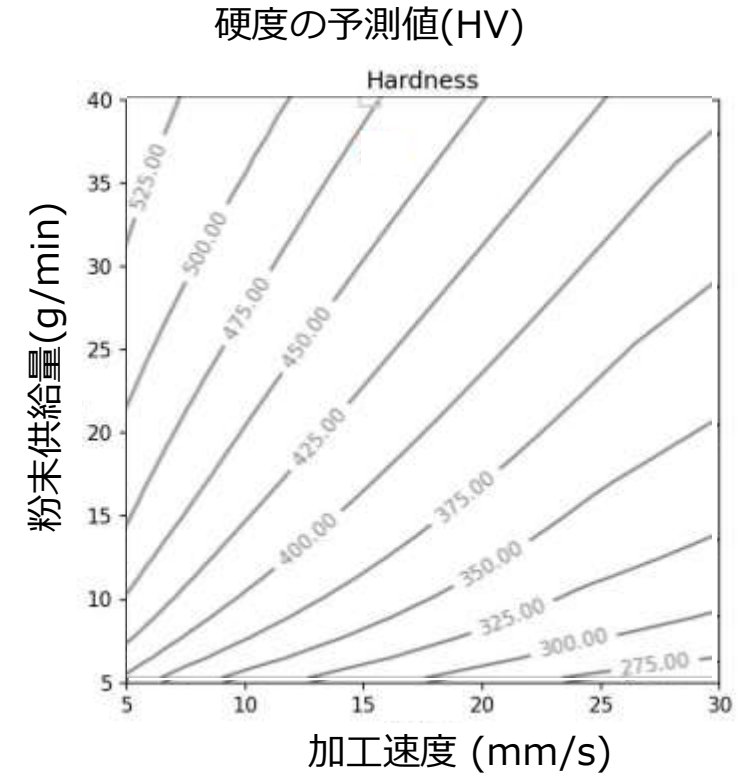
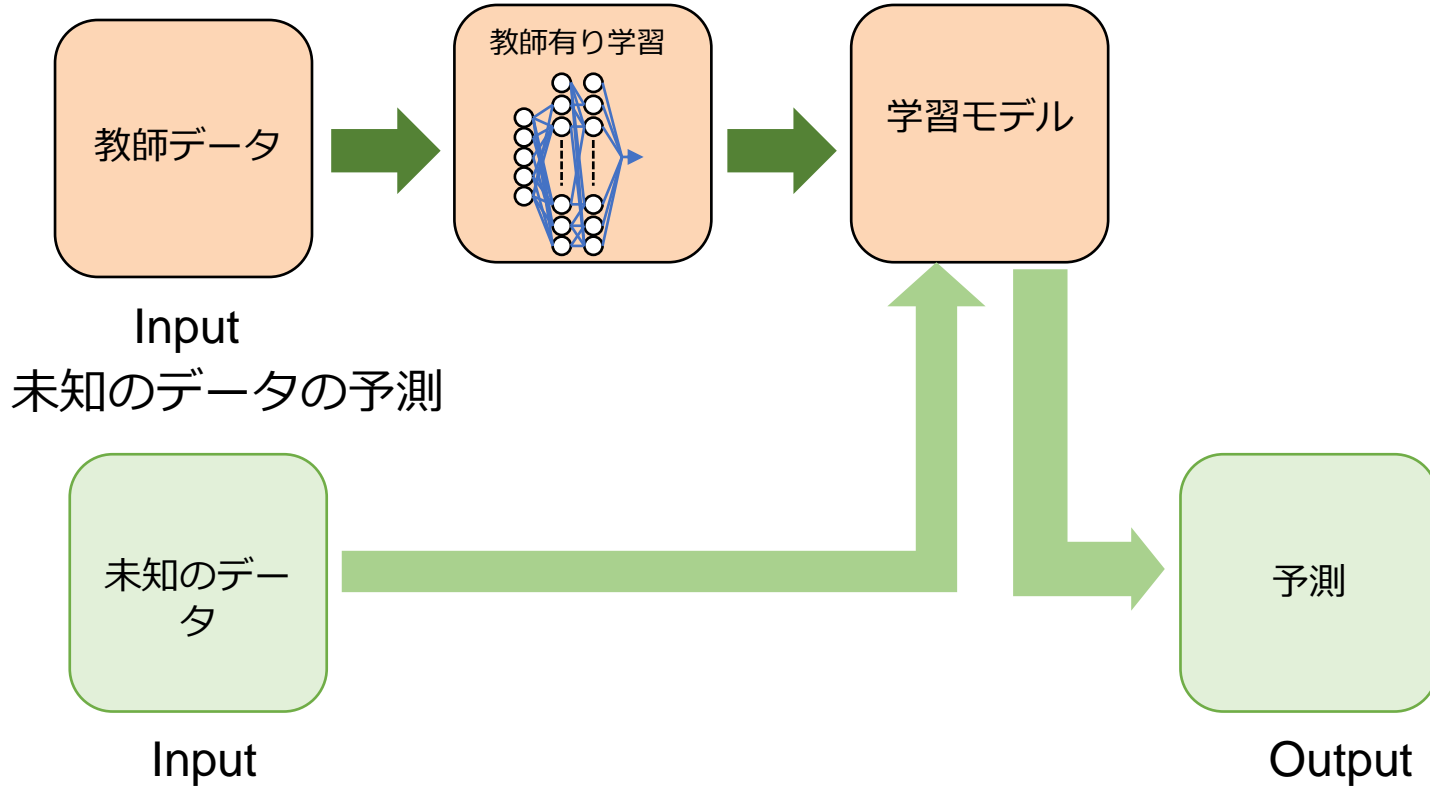
## 加工現象に関係の深い複合説明変数が重要



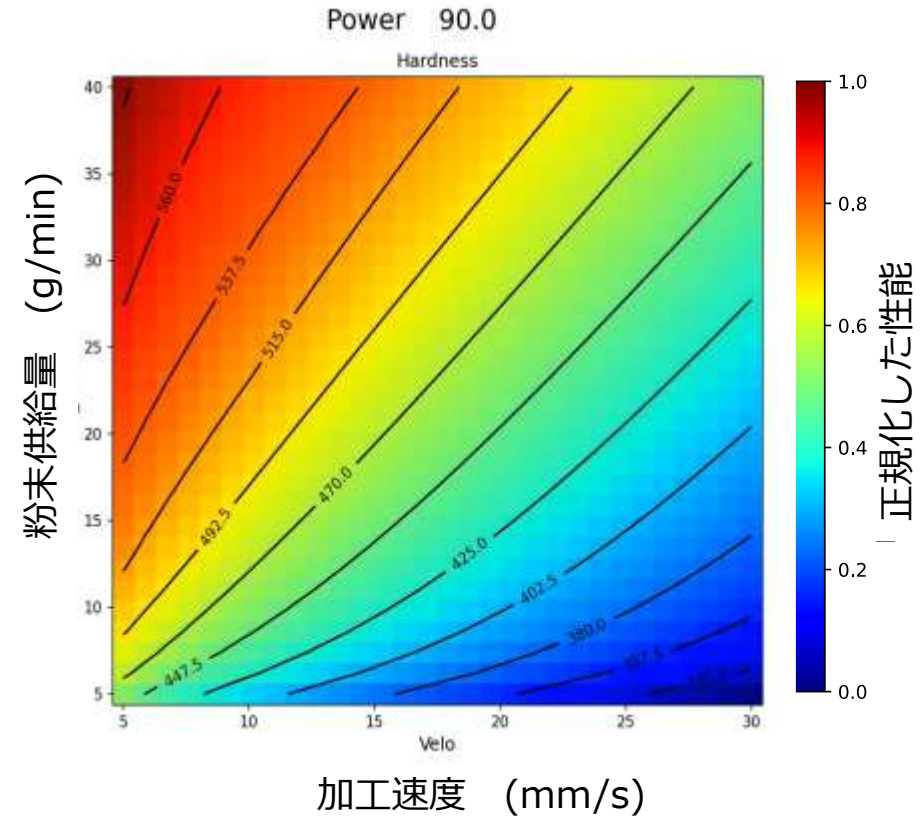
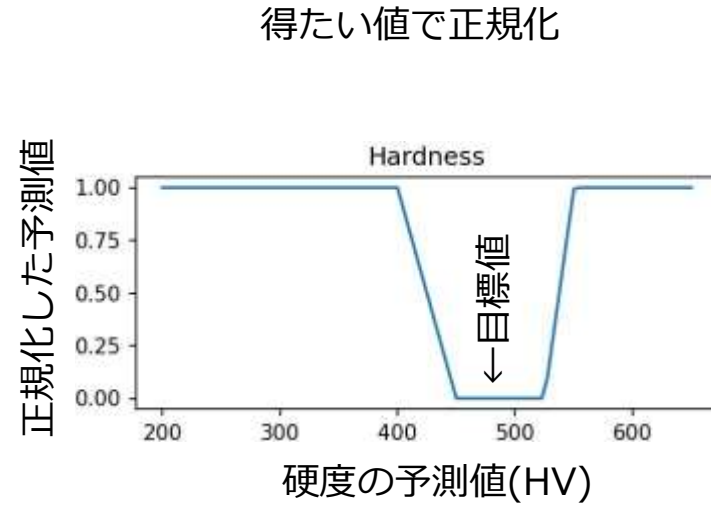
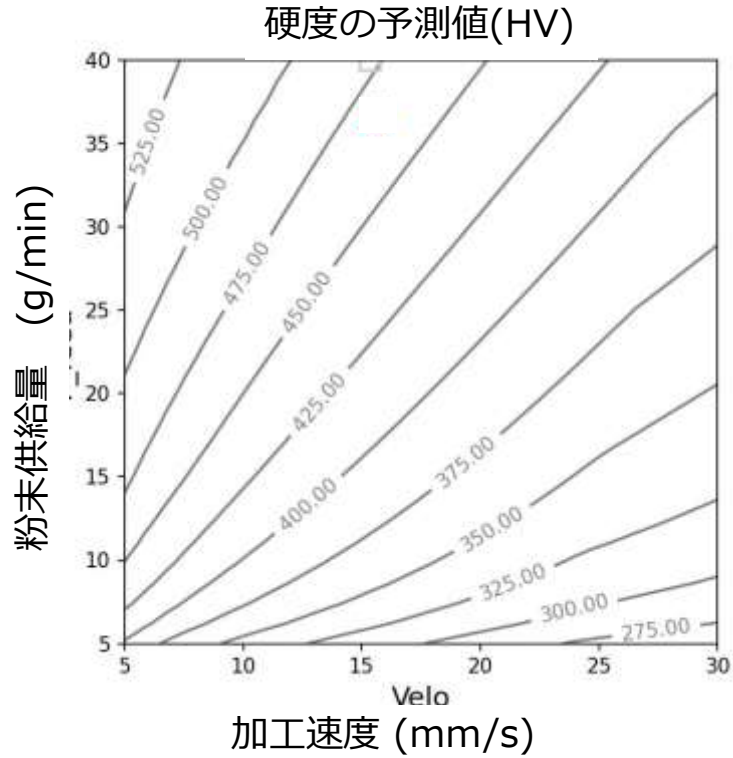


# 学習済みモデルによる予測

モデル作成 (教師あり学習)



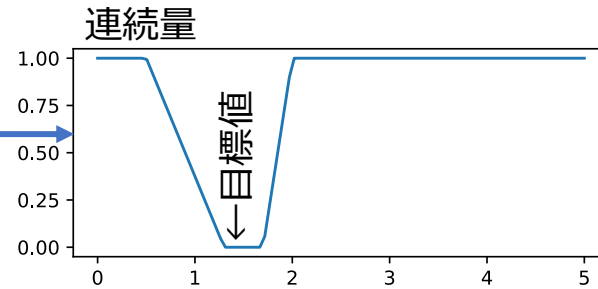
# 学習済みモデルによる予測



# 多目的変数を一つの探索指標へ変換

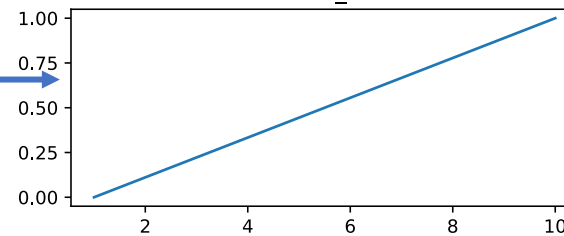


生産性	肉盛高さ	→
	加工時間	→
性能	硬度	→
	希釈(溶け込み)	→
品質欠陥	割れ	→
	ブローホール	→
	融合不良	→
	外観	→



肉盛高さの予測値(mm)

二値



割れ欠陥の発生確信度

重み  $\sum_i W^{(i)} = 1.0$

W1

W2

W3

W4

W5

W6

W7

W8

探索指標

$$I = \sum_{i=1}^8 Tf^{(i)}(y^{(i)}) \times W^{(i)}$$

小さいほど良い  
0~1 に標準化

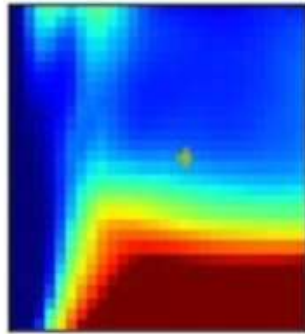
# 大型部品へのレーザー粉末肉盛(LMD)への適用事例

G2.40/2.40/2.40kW V:0.285 v:16.1mm/s p:16.9g/min

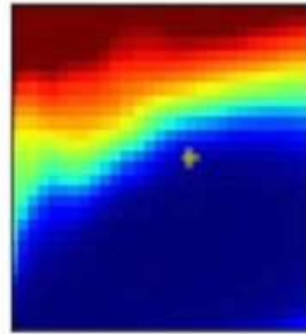
生産性A



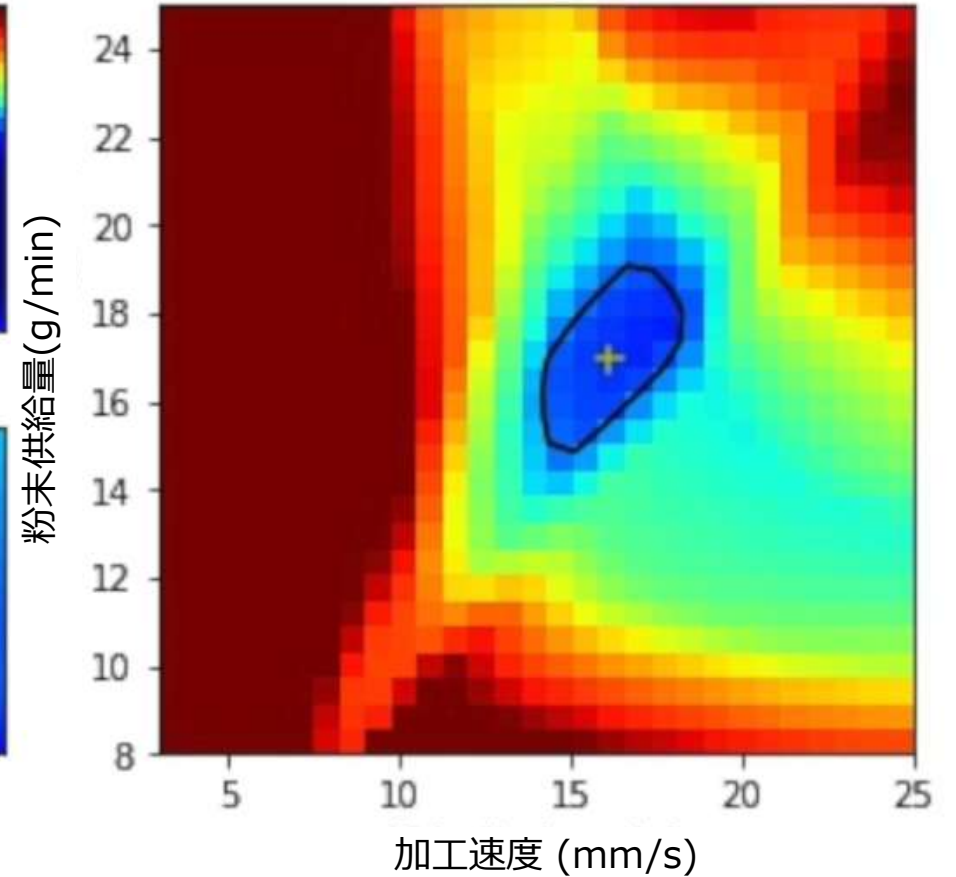
品質A



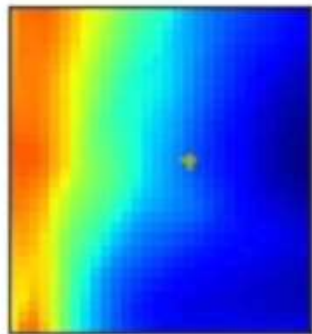
品質C



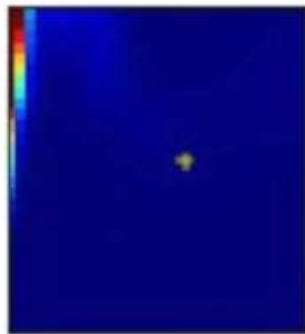
探索指標



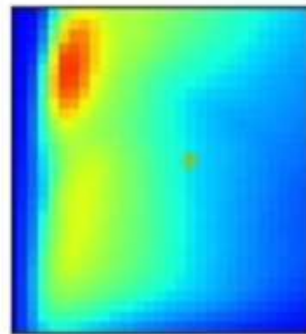
性能A



品質B



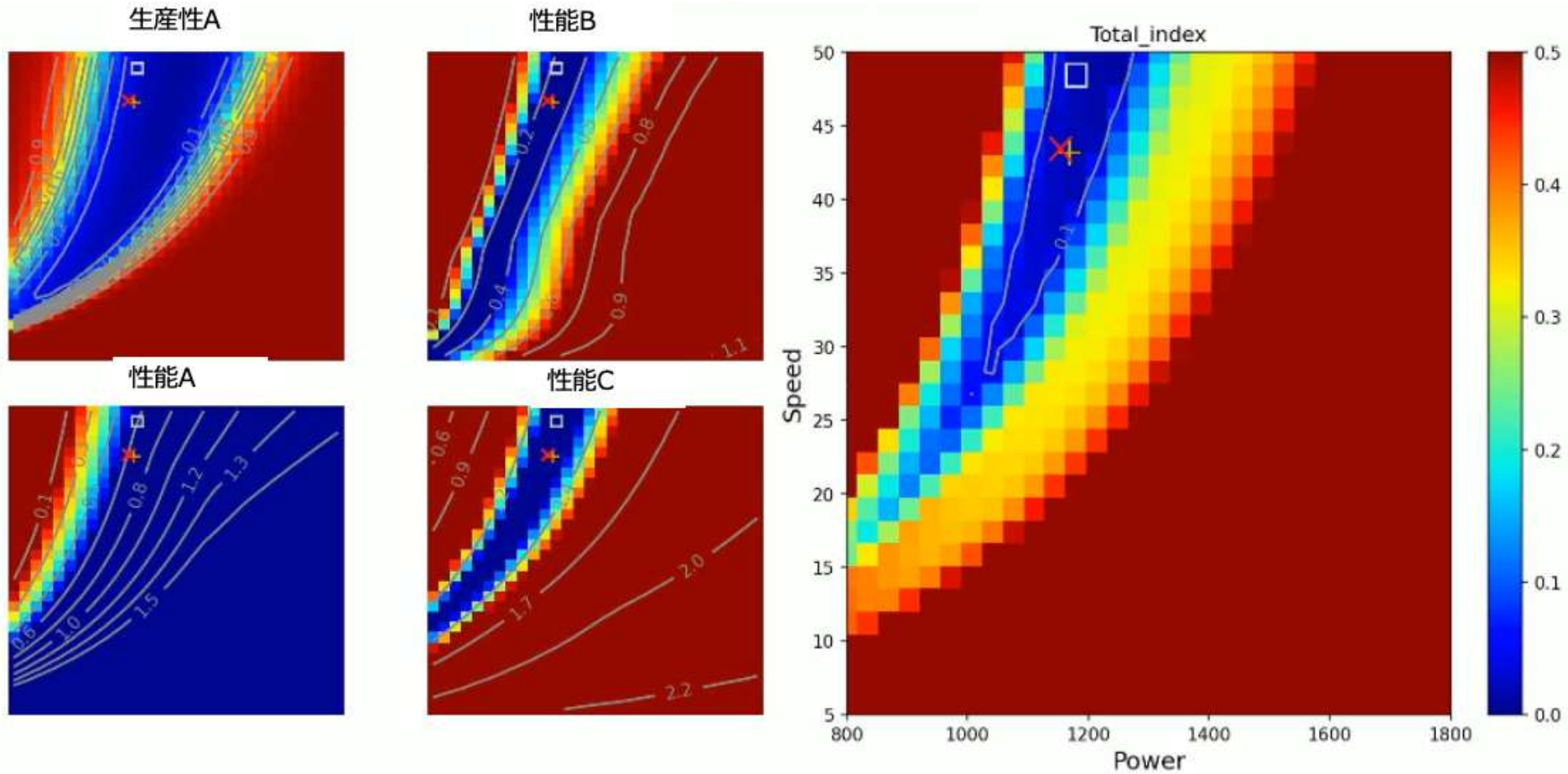
品質D



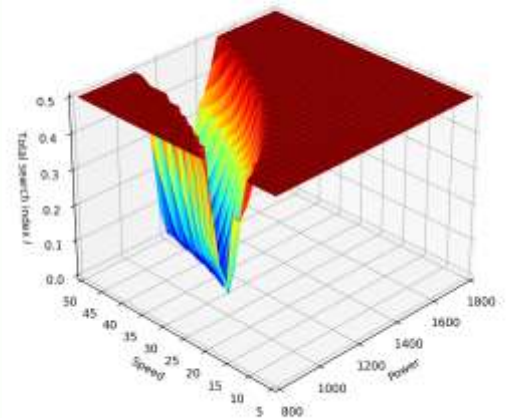
# e-Mobility部品のレーザー溶接への適用事例



数種類のレーザー加工で適用検証中



- 極小値
- + 重心
- × 確率的中点



## まとめ

- 熟練技術者にAIの出した最適条件を**納得**して使ってもらうために、徹底した**可視化**を行なった事例を示した。
  - 傾向を可視化
  - トレードオフを可視化
  - 良好領域を可視化
  - 動画化
- 研究会（研究期間，加工機メーカー，ユーザ）を立ち上げ，本技術の実用化検証を実施中
- 加工中の発光強度をモニタリングして，品質変化の検出と変動要因を推定するAIモニタリング技術を，並行して開発中。