

日本加速器学会 第18回年会(オンライン)
TUOA05

中電流イオン注入装置におけるニューラルネットワークを用いたビームチューニングパラメータの最適化

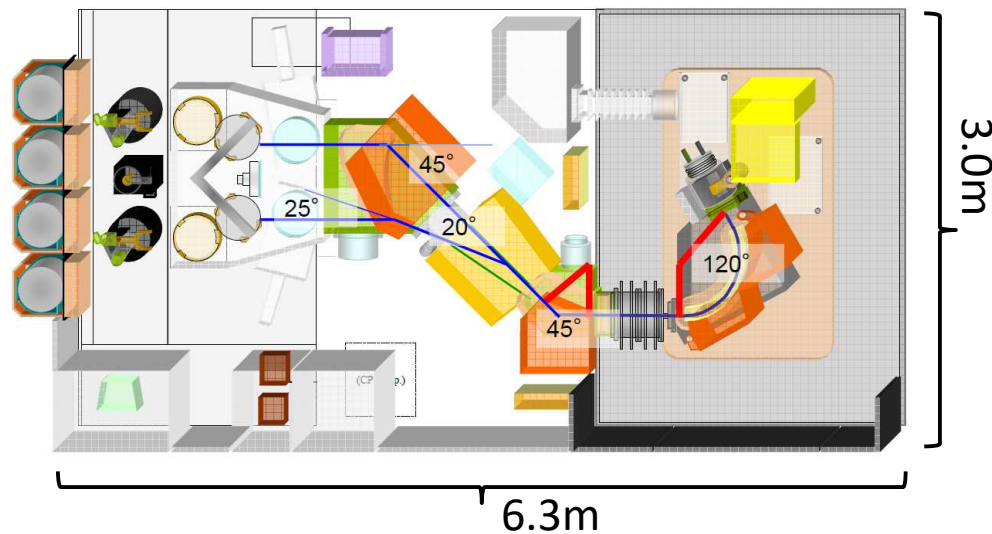
○竹村真哉¹, 酒井滋樹¹, 村山栄一¹, 太田康¹, 阪本崇¹, 高崎大輔², 伊村政志³
1)日新イオン機器, 2)メイテック, 3)フォーラムエンジニアリング

目次

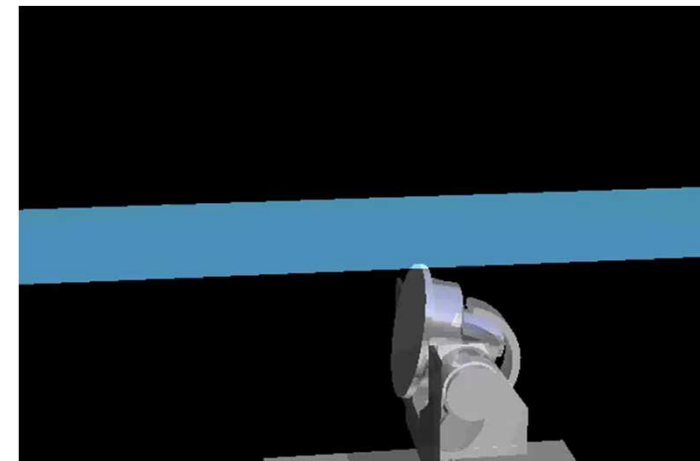
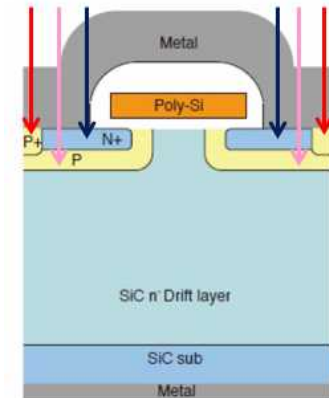
- 1 装置の紹介
- 2 本研究の目的
- 3 ビームセットアップモデルの仮説
- 4 NNの作成および机上・実機検証結果
- 5 まとめ

当社イオン注入装置の概要

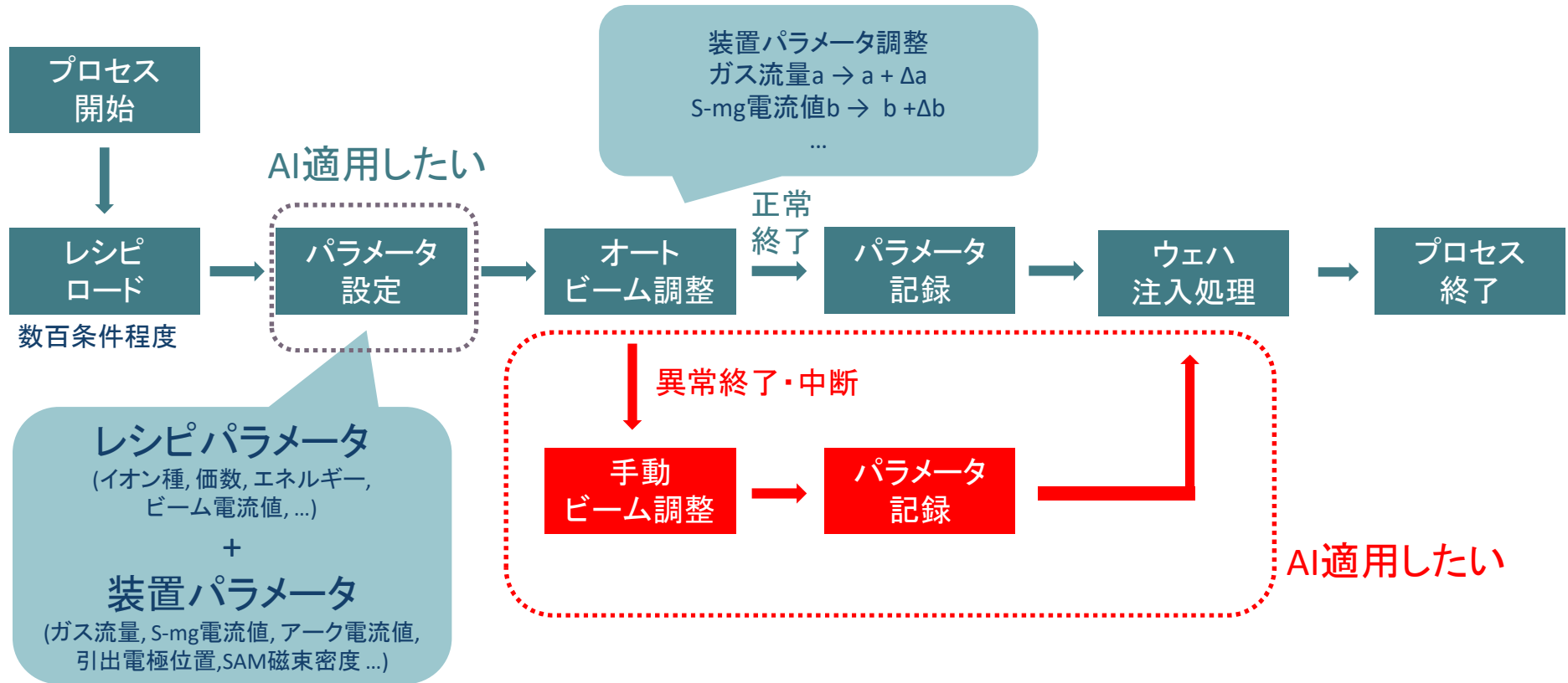
	EXCEED/BeyEX Spec
Ion Type	B ⁺ , P ⁺ , BF ₂ ⁺ , As ⁺ , ...
Energy Range (single charge)	3 keV – 260keV
Beam Current	1 – 1000uA order



5	6	7	8	
B 10.81	C 12.011	N 14.007	O 15.999	
13	14	15	16	
Al 26.982	Si 28.085	P 30.974	S 32.96	
30	31	32	33	34
Zn 65.38	Ga 69.723	Ge 72.63	As 74.922	Se 78.96
48	49	50	51	52
Cd 112.41	In 114.82	Sn 118.71	Sb 121.76	Te 127.60



ビームセットアップフロー



ビームセットアップモデルの仮説



- ① Δ 装置状態が大きすぎるとき、セットアップ失敗
- ② Δ 装置状態を最小にする装置パラメータを設定することで、セットアップ時間最小となる
- ③ セットアップ後装置状態は装置パラメータに依存する。
- ④ 機械学習で相関をとることができる。

ビームセットアップデータの前処理について

初期値 立上結果 セットアップ設定

レシビ	処理開始時間	終了状態	セットアップ時間	param A	param B	param C	...	param A	param B	param C	...	config1	config2	...
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:30	正常終了	40	0.1	1234	2.31	...	0.1	1430	2.31	...	TRUE	A	...
As+ 40keV 300uA	2021/8/10 12:33	正常終了	23	0.3	231	1.2	...	0.3	230	1.2	...	TRUE	A	...
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:36	正常終了	123	0.4	1134	2.31	...	0.4	1140	2.31	...	FALSE	A	...
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:39	正常終了	650	0.1	1132	2.31	...	0.1	1300	2.31	...	FALSE	B	...
As+ 40keV 300uA	2021/8/10 12:42	正常終了	54	0.1	210	1.23	...	0.1	212	1.23	...	TRUE	C	...
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:45	正常終了	320	0.1	1340	2.31	...	0.1	1300	2.31	...	TRUE	A	...
P+ 43keV 23uA	2021/8/10 12:48	正常終了	80	0.2	450	2.2	...	0.2	402	2.2	...	FALSE	A	...



レシビ	処理開始時間	終了状態	セットアップ時間	param A	param B	param C	...	param A	param B	param C	...	config1_A	config1_B	config2_A	...	前回レシビ	前回param A	param B	param C	...	前回config1_A	config1_B	config2_A	...	
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:30	正常終了	40	0.1	1234	2.31	...	0.1	1430	2.31	...	1	0	1	...										
As+ 40keV 300uA	2021/8/10 12:33	正常終了	23	0.3	231	1.2	...	0.3	230	1.2	...	1	0	1	...	B+ 20keV 23uA	0.1	1430	2.31	...	1	0	1	...	
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:36	正常終了	123	0.4	1134	2.31	...	0.4	1140	2.31	...	0	1	1	...	As+ 40keV 300uA	0.3	230	1.2	...	1	0	1	...	
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:39	正常終了	650	0.1	1132	2.31	...	0.1	1300	2.31	...	0	1	0	...	B+ 20keV 23uA	0.4	1140	2.31	...	0	1	1	...	
As+ 40keV 300uA	2021/8/10 12:42	正常終了	54	0.1	210	1.23	...	0.1	212	1.23	...	1	0	0	...	B+ 20keV 23uA	0.1	1300	2.31	...	0	1	0	...	
B+ 20keV 23uA	2021/8/10 12:45	正常終了	320	0.1	1340	2.31	...	0.1	1300	2.31	...	1	0	1	...	As+ 40keV 300uA	0.1	212	1.23	...	1	0	0	...	
P+ 43keV 23uA	2021/8/10 12:48	正常終了	80	0.2	450	2.2	...	0.2	402	2.2	...	0	1	1	...	B+ 20keV 23uA	0.1	1300	2.31	...	1	0	1	...	

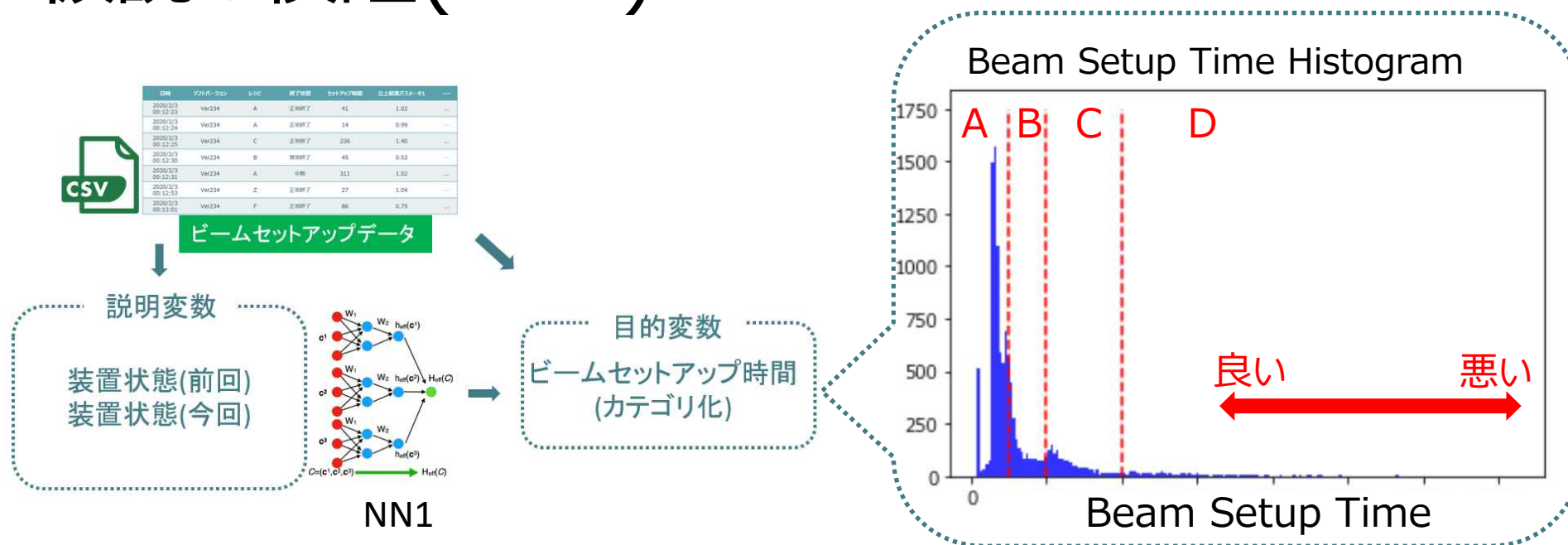
↓
NN1
 目的変数

↓
NN2
 目的変数

カテゴリ化

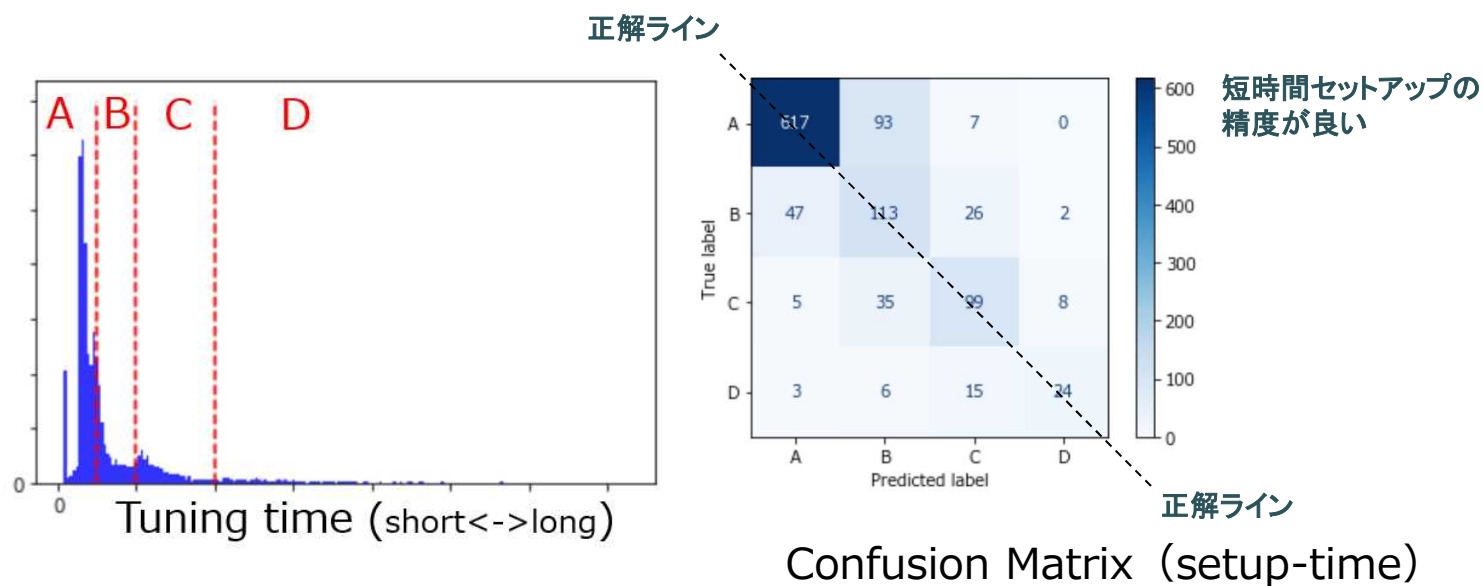
前セットアップ結果

仮説の検証(NN1)



ビームセットアップの立上結果と装置パラメータを記録したcsvファイルで学習実施
 説明変数はΔ装置状態(装置パラメータ含む)
 当社社内機(BeyEXF01935)上にて検証を実施

NN1推論結果



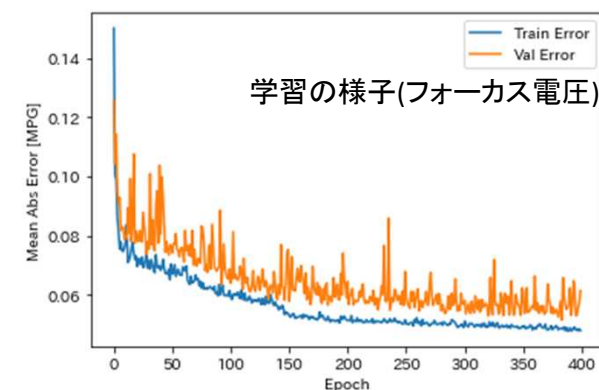
精度良く推論したいAゾーンの推論には成功している。
 全体の正解率は75%。Aゾーンに関しては91%。

パラメータ調整NN2の作成

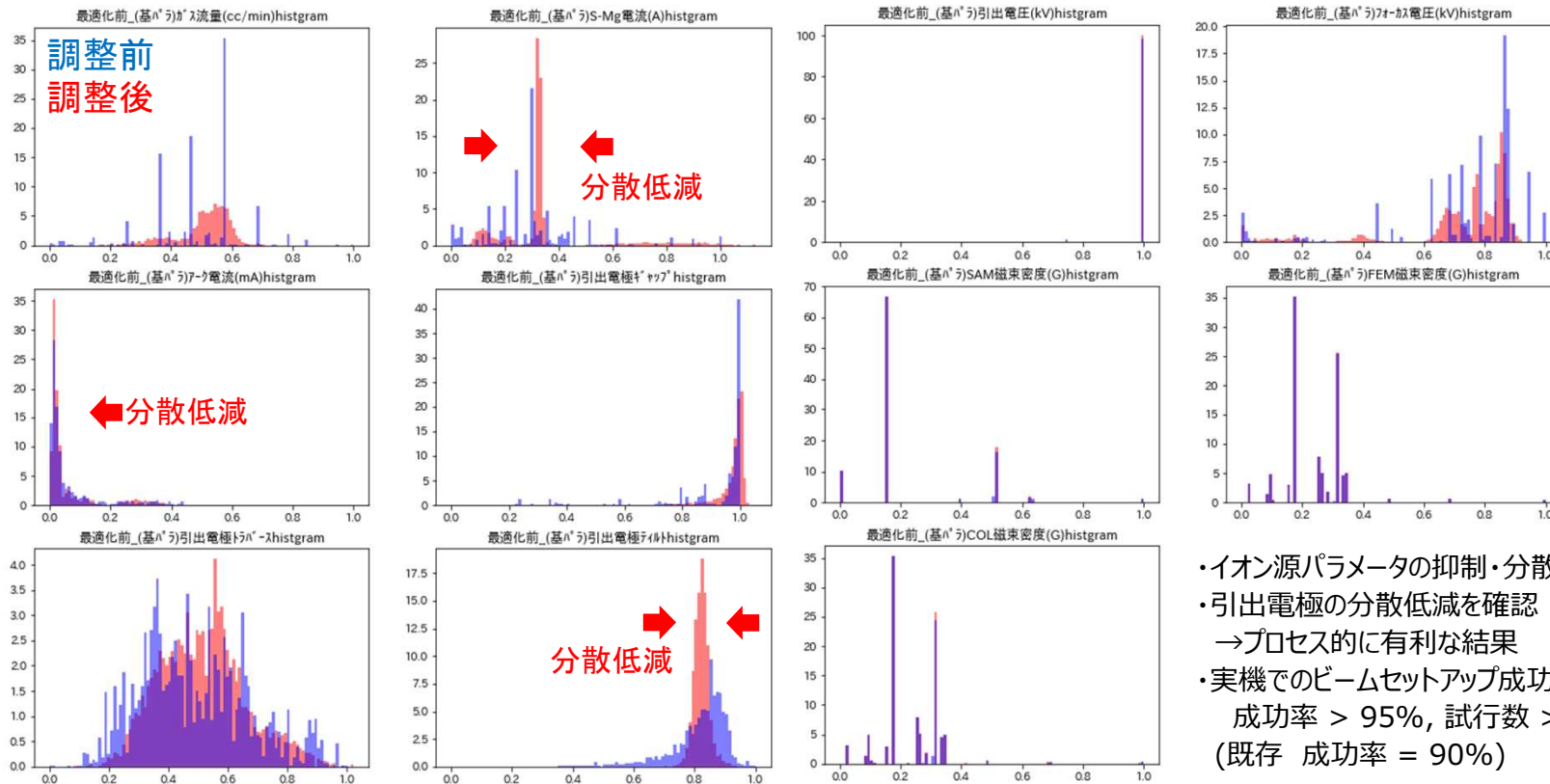
基パラ	ガス流量(cc/min)	S-Mg電流(A)	アーク電流(mA)	引出電極キャップ	引出電極トランス	引出電極フィル	引出電圧(kV)	フォーカス電圧(kV)	SAM磁束密度(G)	FEM磁束密度(G)	COL磁束密度(G)
入力変数の個数	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
セットアップ回数	5185	5185	5185	5185	5185	5185	5185	5185	5185	5185	5185
Layer1	Activation	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP	tanhEXP
	output	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	l2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Layer2	Activation		linear	linear	linear						
	output		100	100	100						
	l2		0.0001	0.0001	0.0001						
Layer2	Activation							relu			
	output	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	l2										
Loss	Adam	RMSprop	RMSprop	RMSprop	Adam	Adam	Adam	Adam	Adam	Adam	Adam
epoch	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

※磁束密度系は理論値との差分で学習・推論

- ・制御パラメータごとに独立したニューラルネットワーク
 - …入力変数は共通、目的変数は1つ
- ・セットアップが異常終了・中断した実績は除外
- ・活性化関数系は実績値との精度比較を基に決定
- ・離散値やON/OFF値についてはベクトル化を実施
 - …マス・価数など。

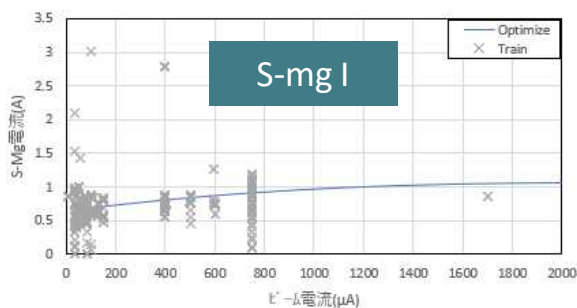
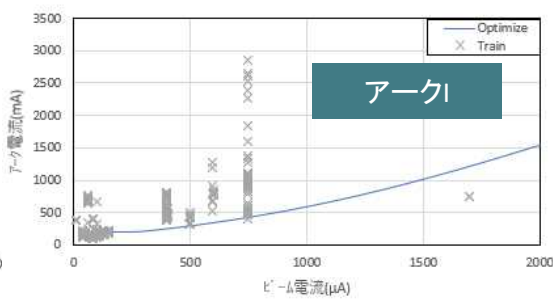
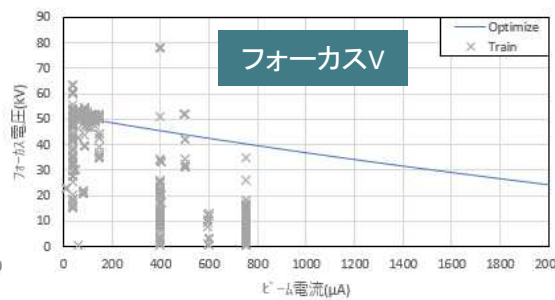
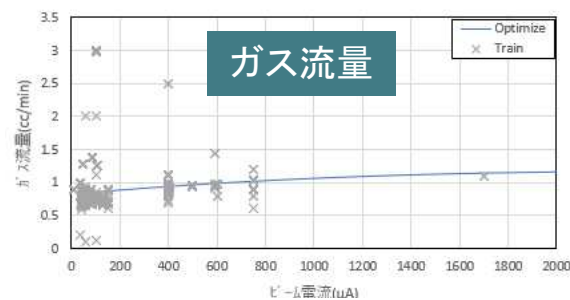


評価結果：ヒストグラム



- ・イオン源パラメータの抑制・分散低減を確認
- ・引出電極の分散低減を確認
→プロセス的に有利な結果
- ・実機でのビームセットアップ成功を確認
成功率 > 95%, 試行数 > 400
(既存 成功率 = 90%)

評価結果：ビーム電流の変動



レシピ条件P+ 60keVのビーム電流変動に対する基パラ依存性を評価した。

- 基本的には実績データにfittingされる結果となった。
たとえば、ビーム電流が多いほど、アーク電流が増える。
これは経験測に即した関係に合致している。

まとめ

- 1.当社イオン注入装置において、ニューラルネットワークを用いたビーム制御パラメータ自動作成システムを開発した。
- 2.ニューラルネットワークによる生成パラメータにてセットアップ成功率95%以上となり、学習データにおけるセットアップ成功実績90%を上回る結果が得られた。
- 3.チューニングパラメータの分散低減が同時に確認でき、プロセス的な副次効果が期待できることが分かった。
- 4.新規レシピに対する制御パラメータの生成が可能であることが分かった。