

多目的特性達成のための 効率的・効果的問題解決法

— 方策系統図と応答曲面法の併用活用法 —

アイシン精機株式会社
TQM・PM推進室
花村 和男



当社の紹介

アイシン精機の事業領域

品質至上

自動車部品事業

走行系

駆動系

機関系

車体系

情報系

住生活関連事業

住空間分野

ファッション分野

介護機器分野

エネルギー
関連事業



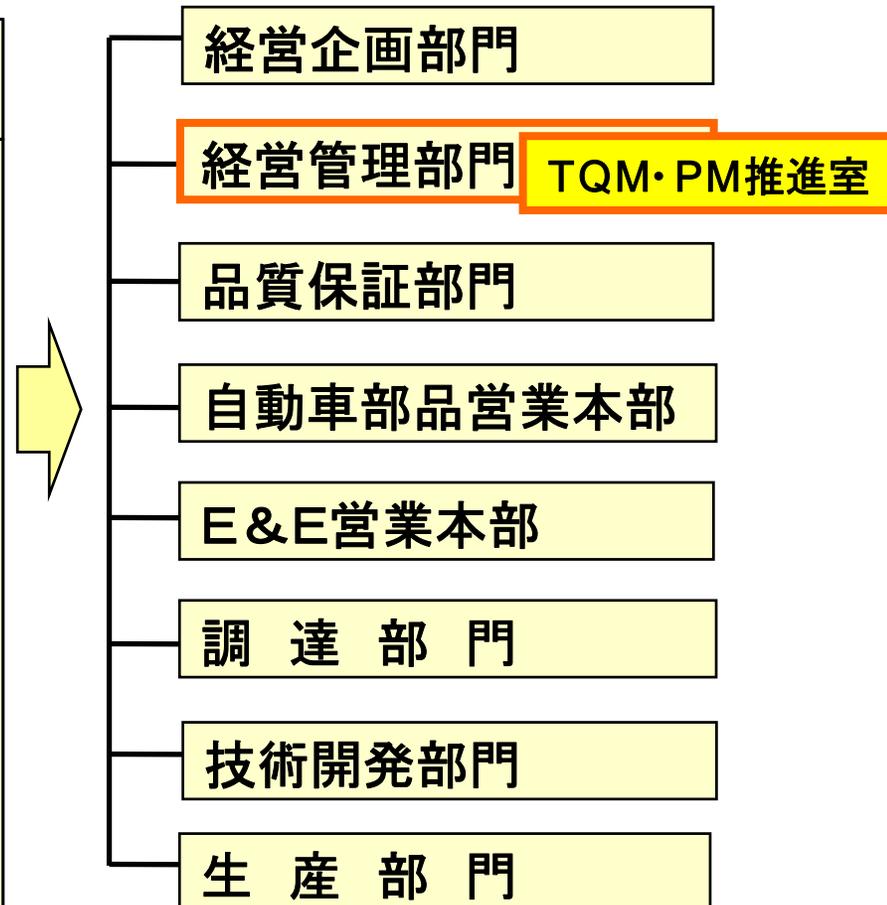
当社の紹介

会社概要と組織

【会社概要】

項目	内容
所在地	愛知県刈谷市 朝日町2-1
資本金	411億円
売上高	5,408億円
従業員数	11,100名
土地面積	9,135,000m ²
建物面積	727,000m ²
工場	11工場
事務/営業所	国内32ヶ所 海外3ヶ所
海外法人	25社

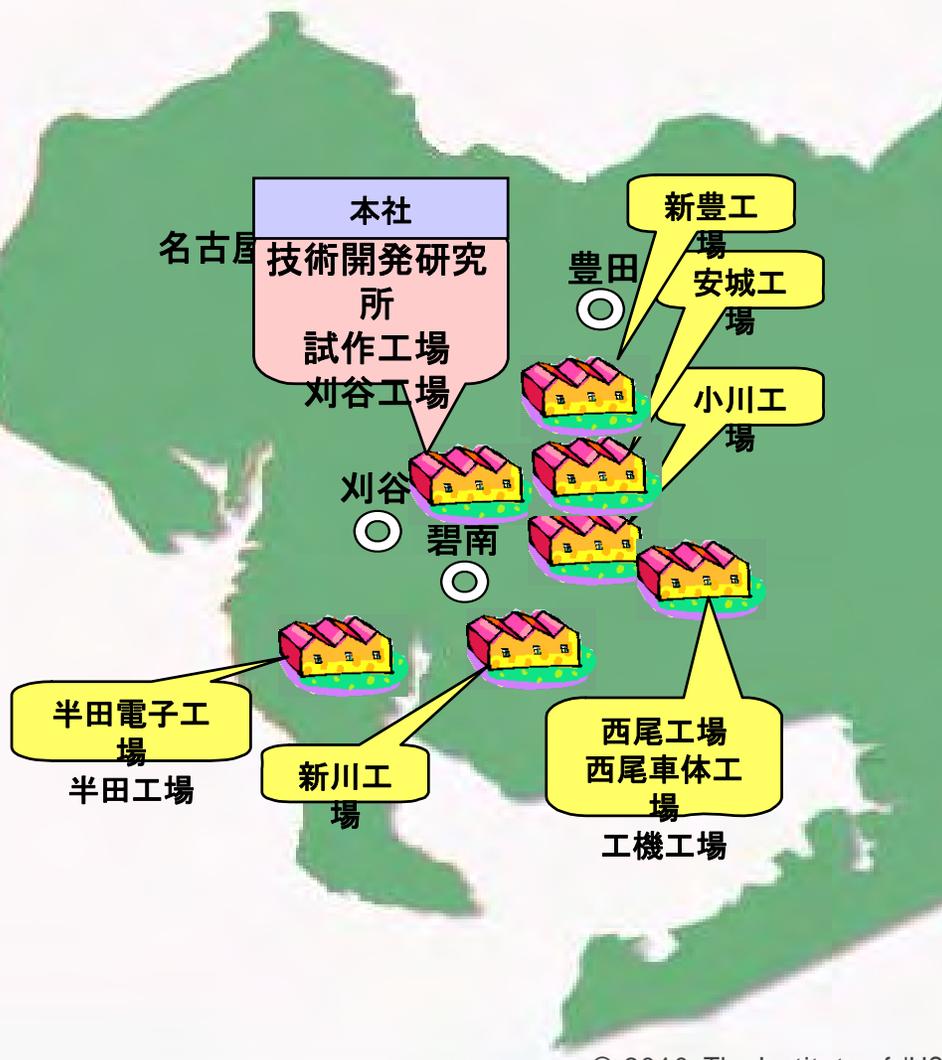
【組織】





当社の紹介

主な生産品目



◎自動車部品

- ◇走行系(ブレーキシリンダ,ABSなど)
- ◇駆動系(ATM,クラッチなど)
- ◇機関係(ピストン,O/P,W/Pなど)
- ◇車体系(シート,サンルーフ,ドアロックなど)
- ◇電子系(コンピュータ,センサなど)

◎住生活関連機器

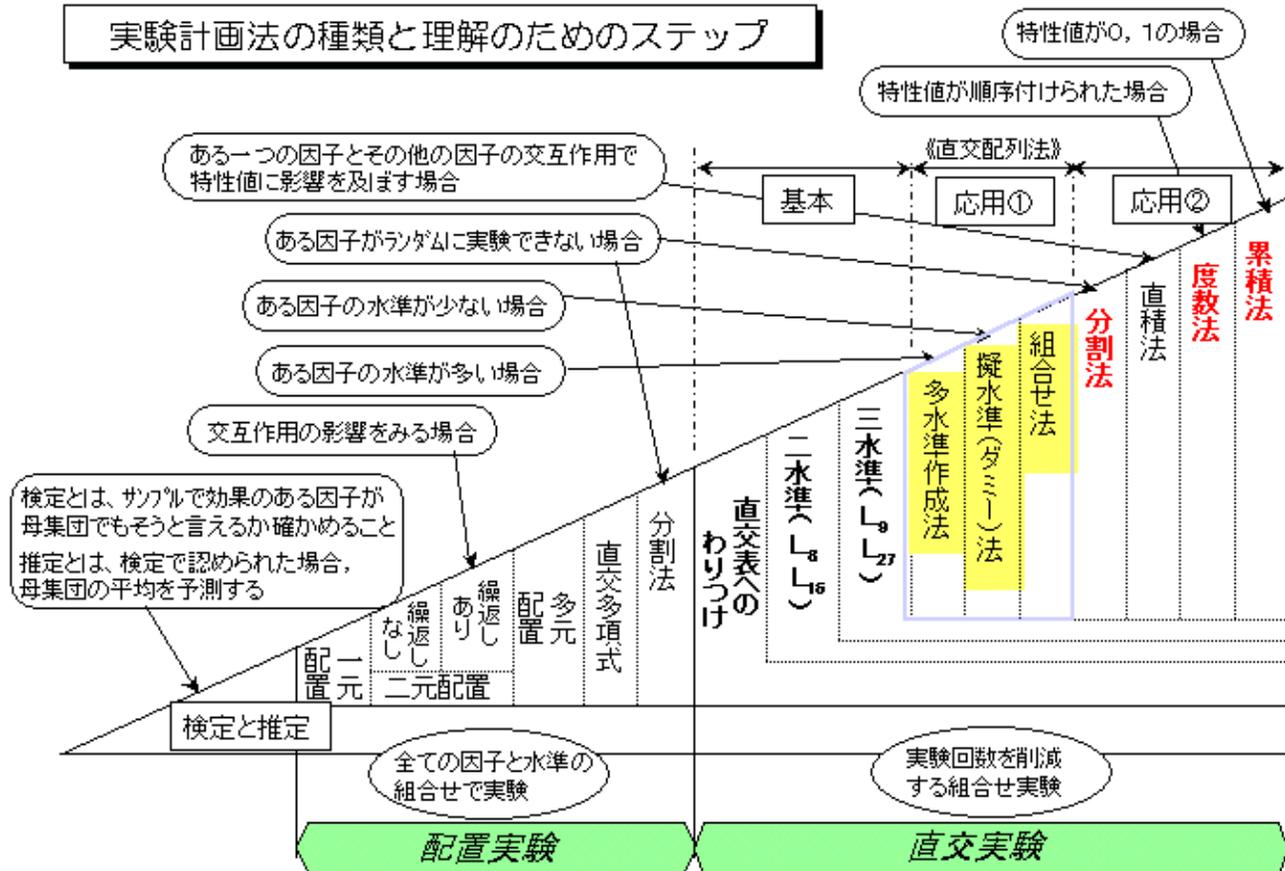
- (シャワートイレ,ベッド,GHPなど)
- ◇住空間分野
(家庭用ミシ,刺しゅう機など)
- ◇ファッション分野
(バルーンポンプなど)
- ◇医療機器分野

◎エネルギー・環境関連機器

1. はじめに

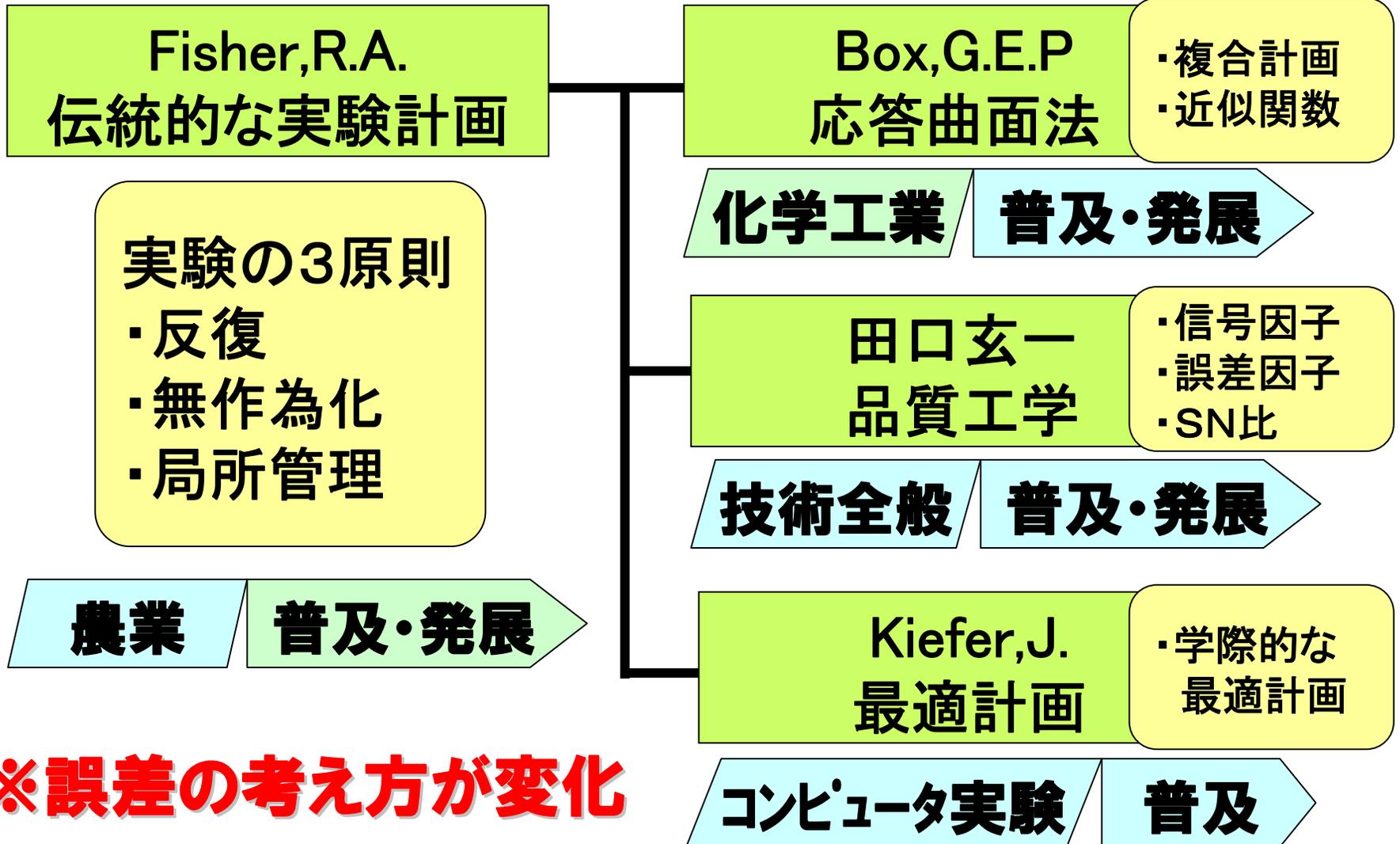
実験計画法

実験計画法の種類と理解のためのステップ



“SQC
=実験計画”
と言われる程
普及・発展

実験計画法の潮流

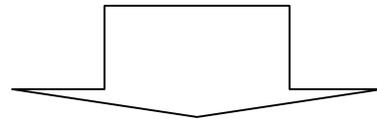


※誤差の考え方が変化

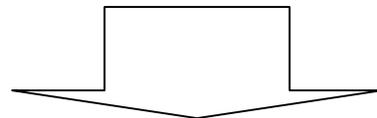
実験計画法の再見直し

【企業における課題】

- ・要求品質の高度化・多様化、および低コスト化



高難度な問題・課題解決の増加



**新たな潮流も研究し
幅広い活用力が必要！**

実験計画適用上の難しさ

■品質における多特性の最適化をはかる場合
⇒それぞれに効くと考えた要因を(全て)取り上げ、
実験計画法を活用し最適条件を設定



■品質と生産性というような異なった目的の多特性
(ここでは多目的特性と言う)の目標を達成するためには、
多回数、あるいは大規模な実験計画が必要となり、
問題解決に多大な労力と費用がかかる。

研究事例の紹介

今回の研究テーマ

生産性
向上

可動率
向上

＜阻害要因＞
アーク溶接
スパッタ除去

スパッタ回数

スパッタ程度

多目的特性

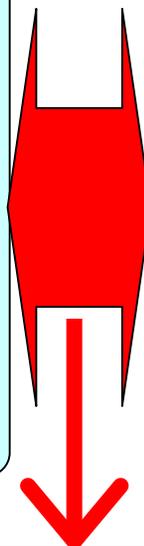
品質
向上

不良率
低減

＜阻害要因＞
ブローホール
アンダーカット
溶込み不良

外観不良

設備条件の最適化

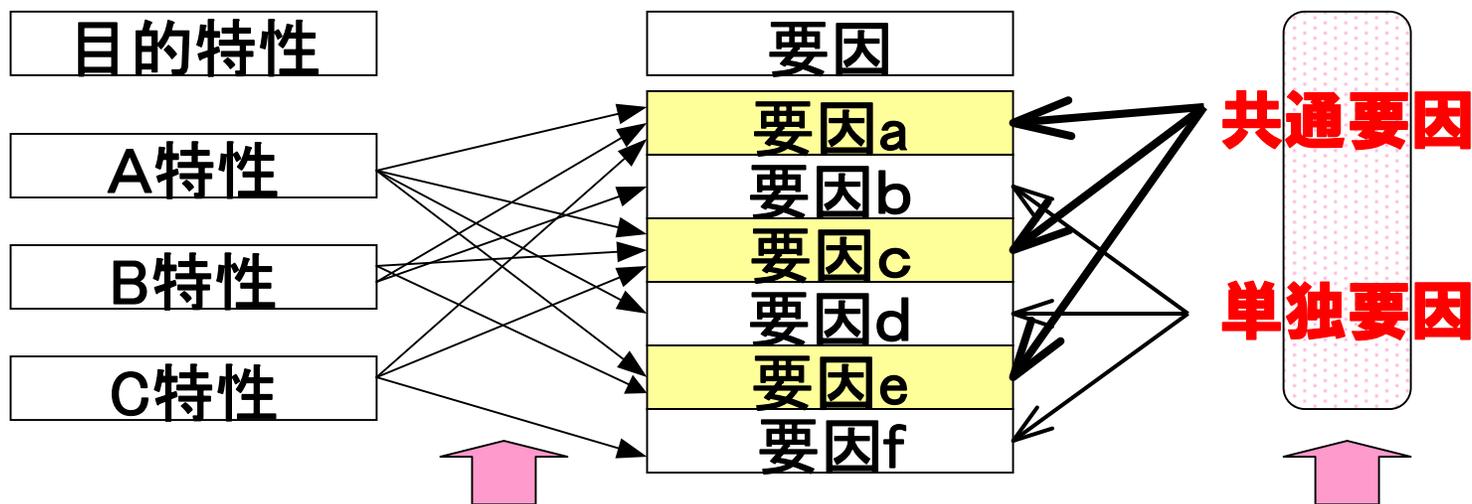


■多目的特性達成のための効率的・効果的
問題解決法を研究したので紹介する

2. 多目的特性達成のための効率的・効果的問題解決のアプローチ

2.1 多目的特性達成のための課題

(1) 目標への合わせ込み(チューニング)に時間がかかる



要因の組合せは異なる！

目標の合わせ込みが困難！

(2) 各目的特性の変量が異なる

離散量・質的データ

連続量・量的データ

異種データが混在！

2.2 効率的・効果的問題解決法の提案

(1) 対策の立案のステップで、

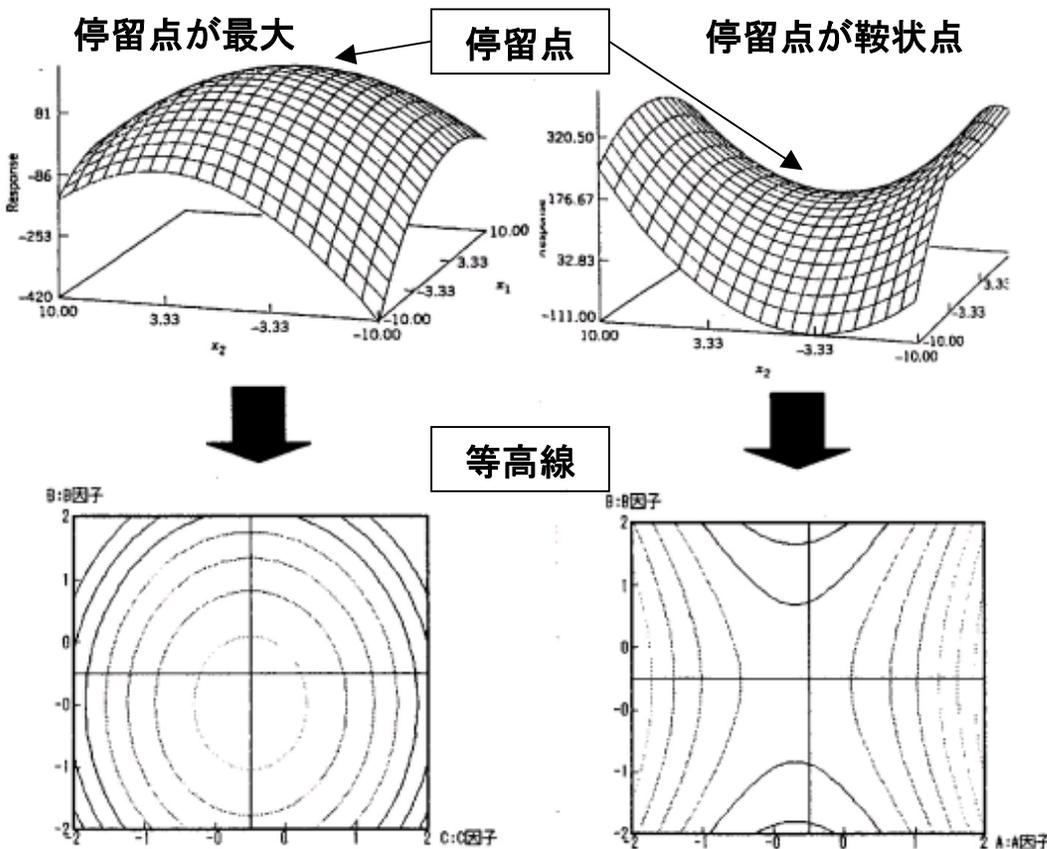
- ① 要因解析において絞り込んだ要因群に対し、共通要因、単独要因の順に最適化のための最短方策を、方策系統図により明確化

(2) 対策の実施のステップで、

- ① 共通要因に対して小規模な実験計画による最適化
- ② 最適化した水準の付近で多水準を設定して単独要因ごとに実験
- ③ 応答曲面法により探索し最適化

3. 応答曲面法による最適化

3.1 1特性の最適化



- モデルに含まれている2つの量的変数と特性値との関係をグラフ上に等高線として表示

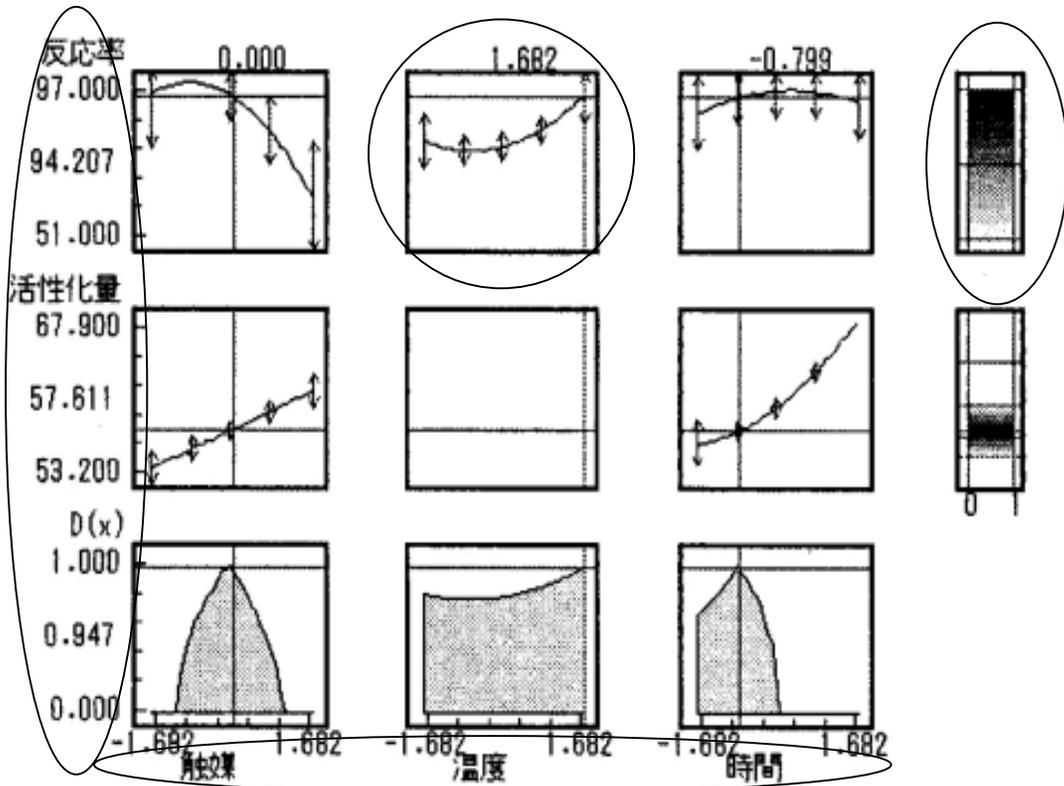
- 曲面の形状や停留点や最適条件を視覚的に確認・検討

3.2 多特性の最適化

特性値

推定値と95%信頼区間

$D(x)$ パラメータの変換



説明変数

望ましさ関数 $D(x)$ グラフ

- **複数個**の目的変数 (特性)を好ましいレベルにする方法
- **望ましさの関数** $D(x)$ に基づくアプローチを中心に解析
- **視覚的な確認・検**

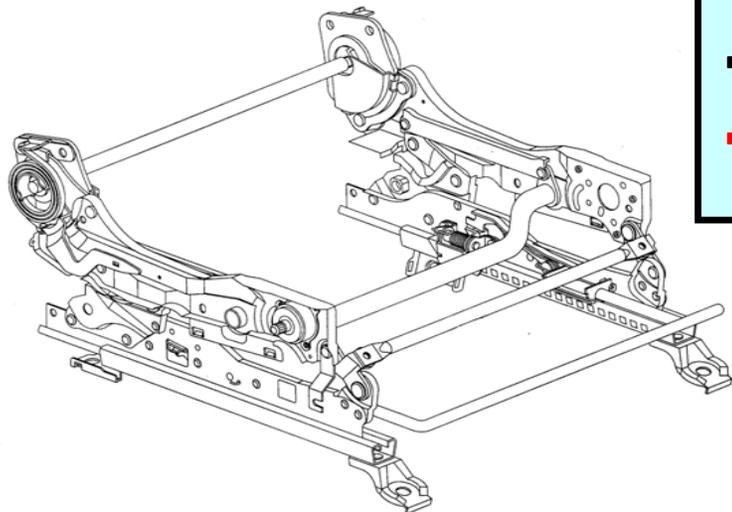
4. 研究テーマ

4.1 研究テーマの背景

(1) 新骨格シートの商品化

【従来シート】

かしめ、ボルト締結



- ・軽量化
- ・高強度化
- ・低価格化

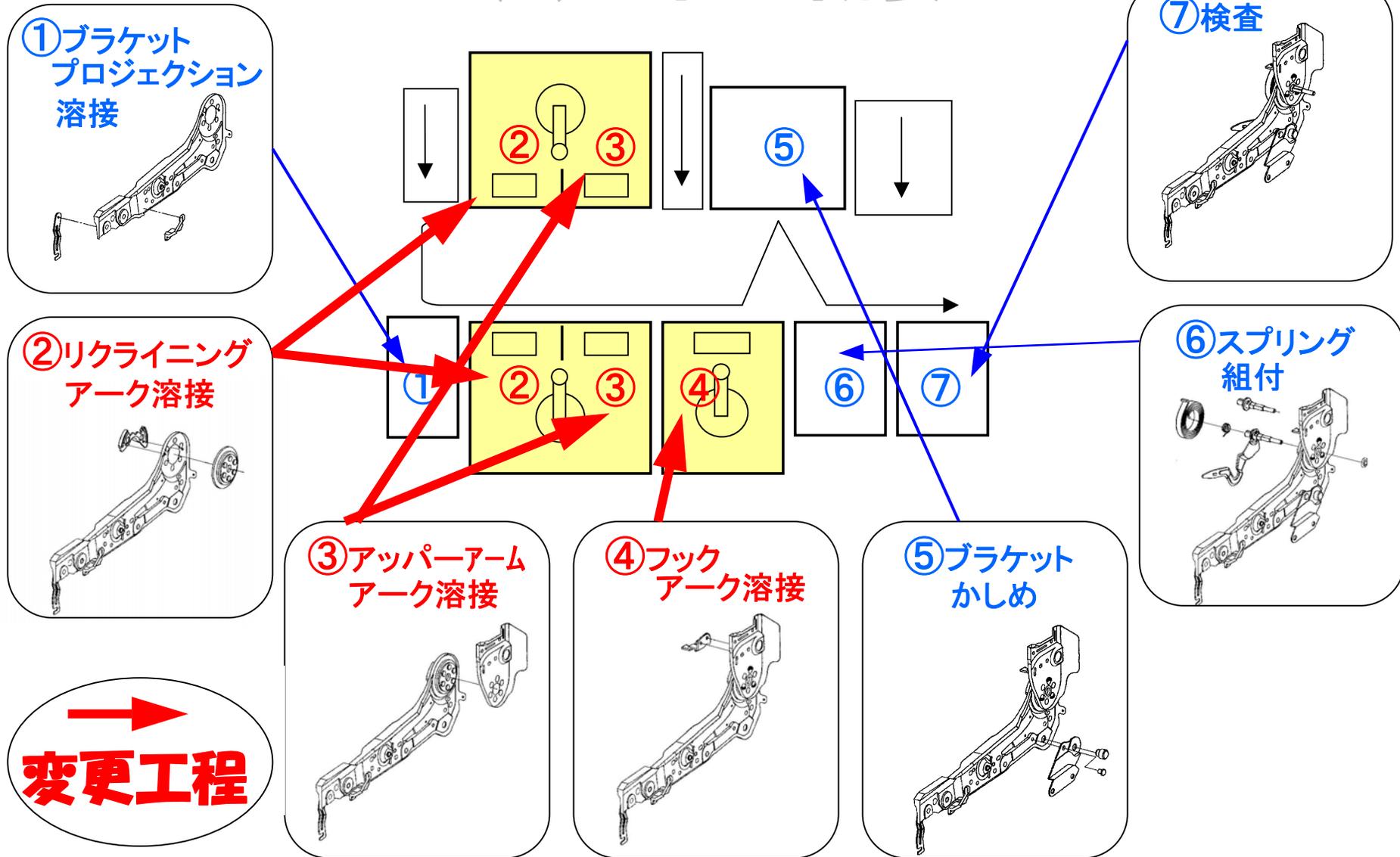
【新骨格シート】

溶接締結



締結部品削減

(2) 工程の概要



ラインの完成品



溶接機



セット風景



治具



電極管理台



溶接破壊品置き棚



ポカヨケマップ



4.2 研究テーマのねらい

アーク溶接では、スパッタが出て当然！

製品にスパッタ付着！

品質のロス！

スパッタカバー取り付け

スパッタ除去

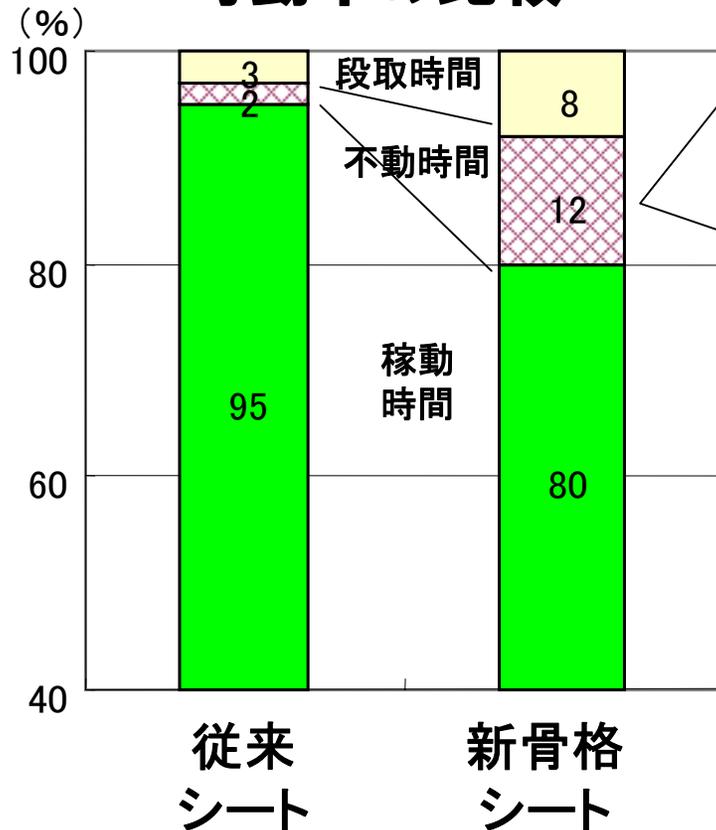
工数のロス！

**生産ロス低減により新商品に適應した
工程・設備の確立をはかるため
「アーク溶接工程スパッタ低減」に取り組み**

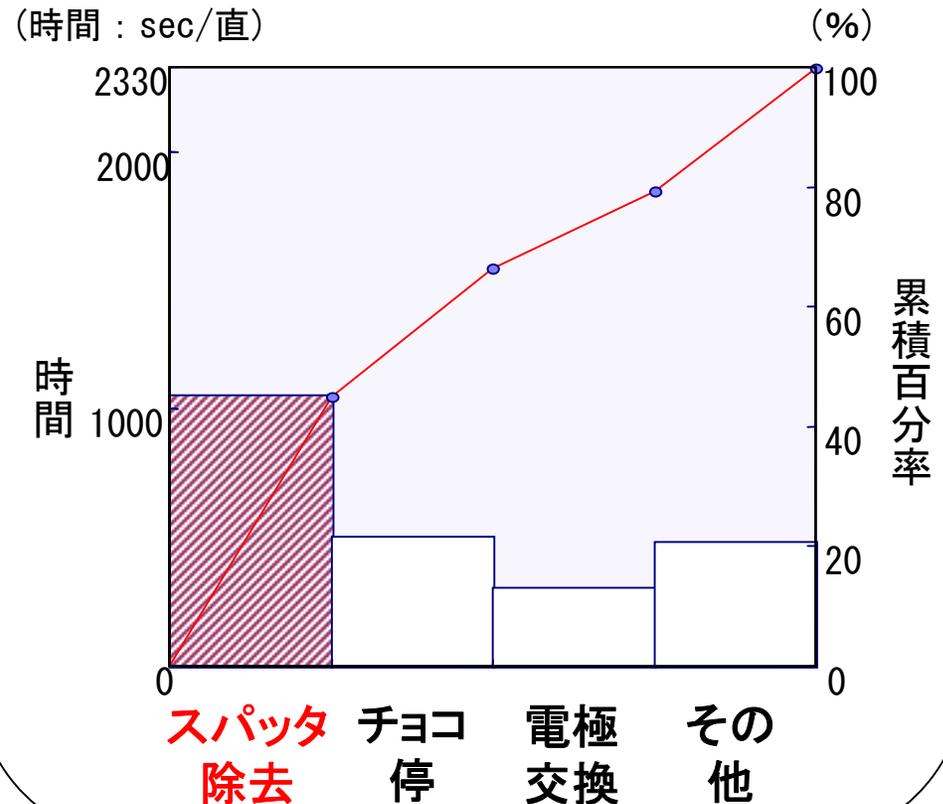
5. 現状把握と目標の設定

(1) 現状把握

従来製品と新骨格シートの可動率の比較



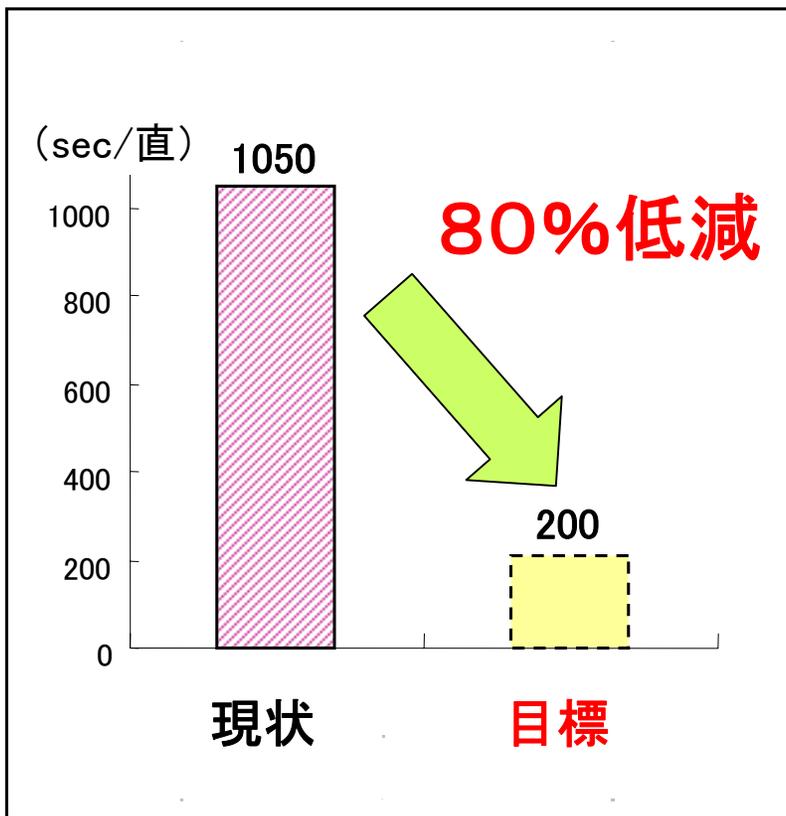
不動時間の内訳



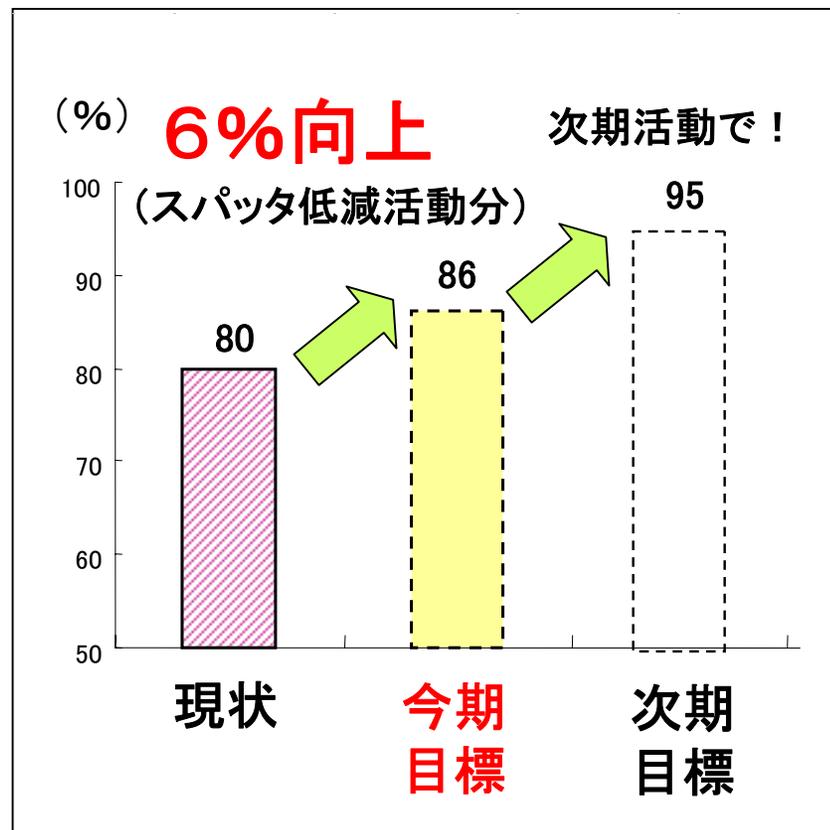
(2) 目標の設定

まず、最大のネックであるスパッタ低減をめざす！

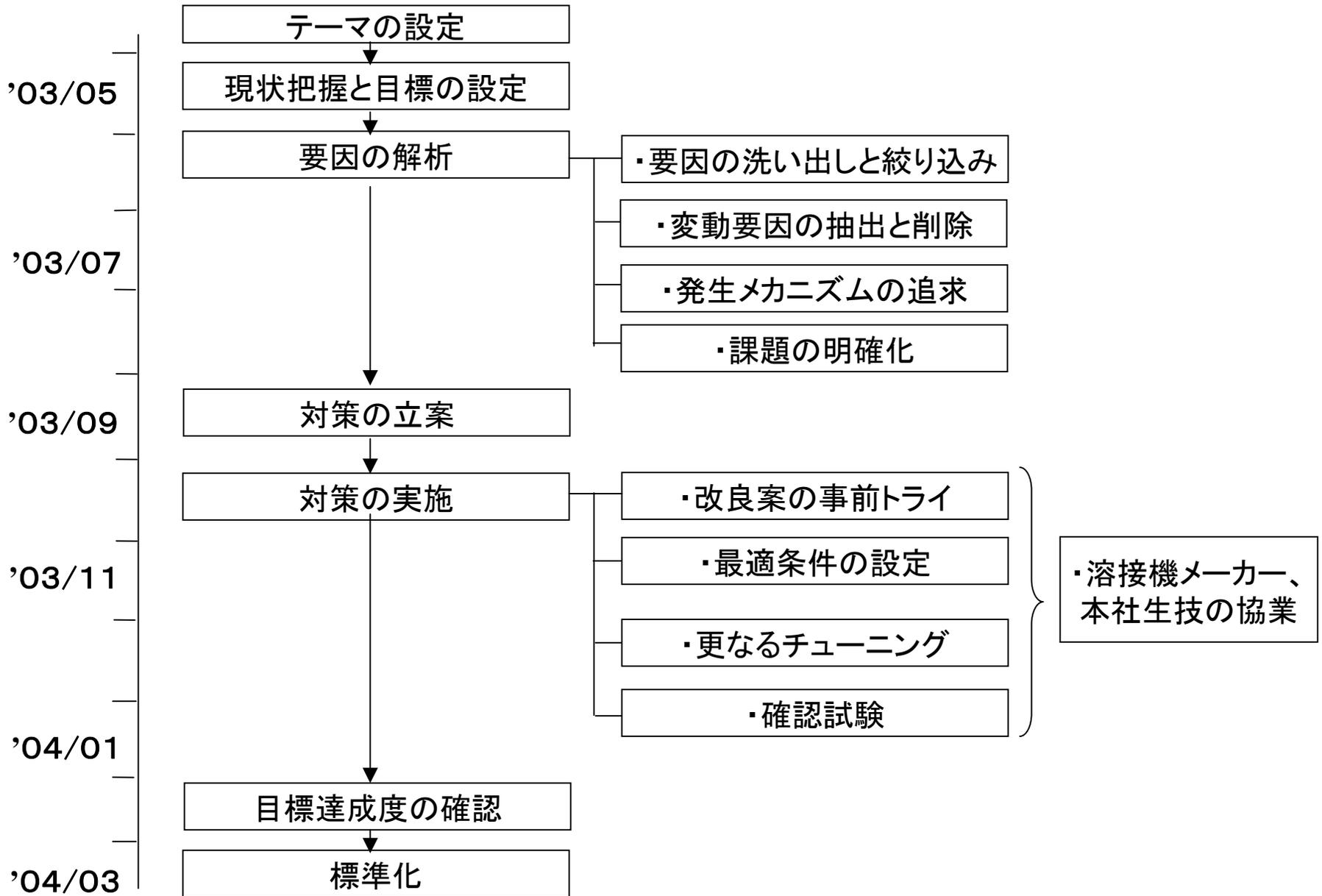
【スパッタ除去工数】



【可動率】



(3) 活動の進め方



6. 要因の解析

6.1 要因の洗い出しと絞り込み



■スパッタ発生の重要6要因を基に T型マトリックス図を用い、スパッタ 発生と溶接品質の両面で影響整理

スパッタ発生	◎	◎	△	○	○	△
現象	電 流	電 圧	溶 接 速 度	シ ー ル ド ガ ス 流 量	チ ツ プ 母 材 間 距 離	ト ー チ ノ ズ ル 形 状
要因						
溶接品質						
ブローホール	○	○	△	△	○	
アンダーカット	○	○				
溶け込み深さ	◎	◎	△			△

スパッタ発生
の抽出した
要因

◎:大いに影響あり ○:影響あり △:多少影響あり

6.2 変動要因の抽出と削除

6要因について機差を調査した結果

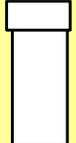
「トーチノズル形状」、「チップ母材間距離」、
「ガス流量」について、条件設定に変動(違い)

変動要因について比較実験を実施

＜実験の固定条件＞

電流・電圧、トーチ姿勢、溶接速度は溶接品質を満足した条件(120A・24V・70cm/min)で固定。

変動要因の比較実験評価結果

要因	A トーチノズル形状		B チップ母材間距離			C ガス流量			
		 ストレート	 先端細り	12mm (やや短い)	15mm (通常)	20mm (やや長い)	15ml (やや少ない)	20ml (通常)	25ml (やや多い)
スパッタ状況	○	×	△	○	×	△	○	△	
備考							差異がないため 通常を選択		

統一

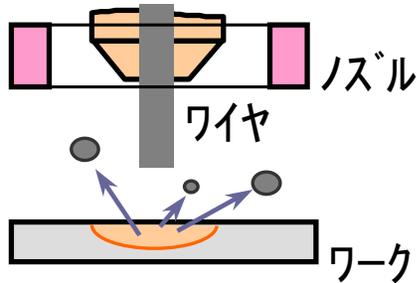
**スパッタ発生
極小化できず!**

**設備改善
が必要!**

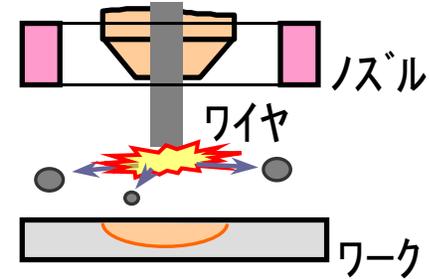
6.3 発生メカニズムの追求と課題の明確化

(1) スパッタ発生メカニズムとは？(一般論)

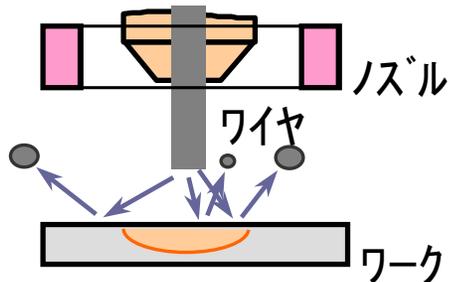
気泡の飛び散り



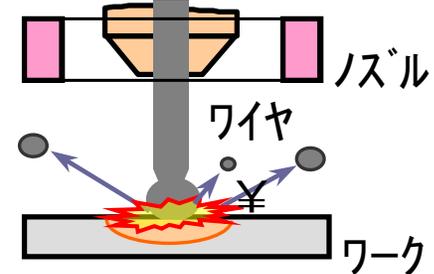
大気の爆発



溶滴の跳ね返り



短絡時の爆発

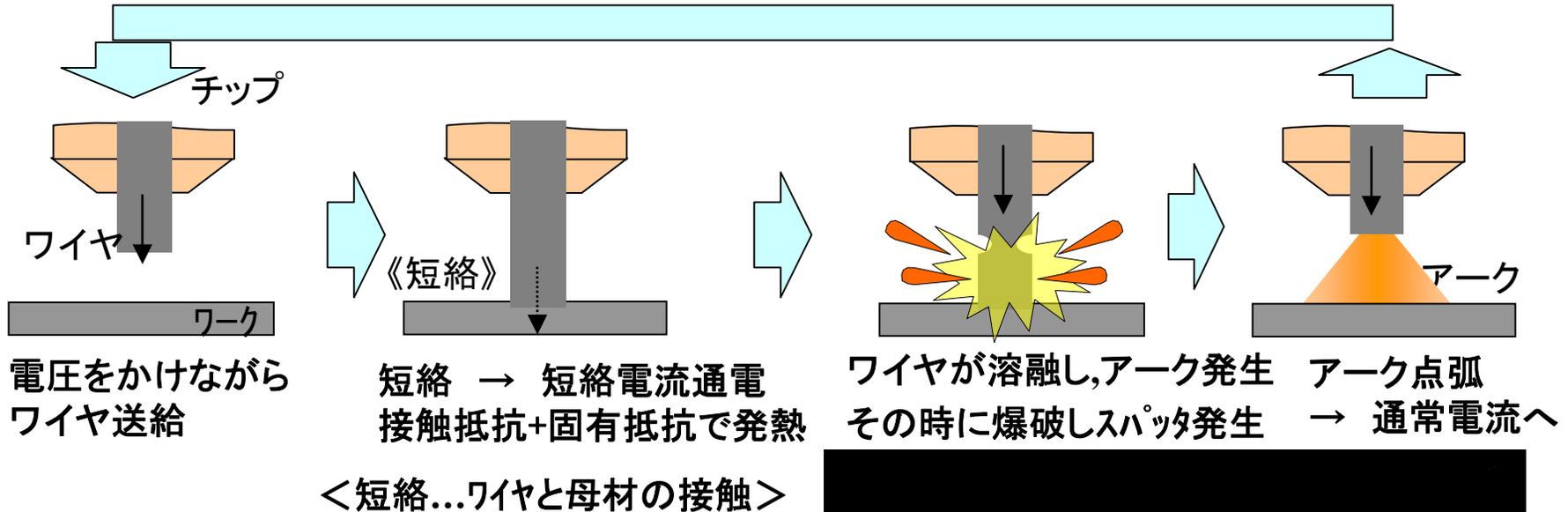


多くは、ワイヤー母材短絡時。

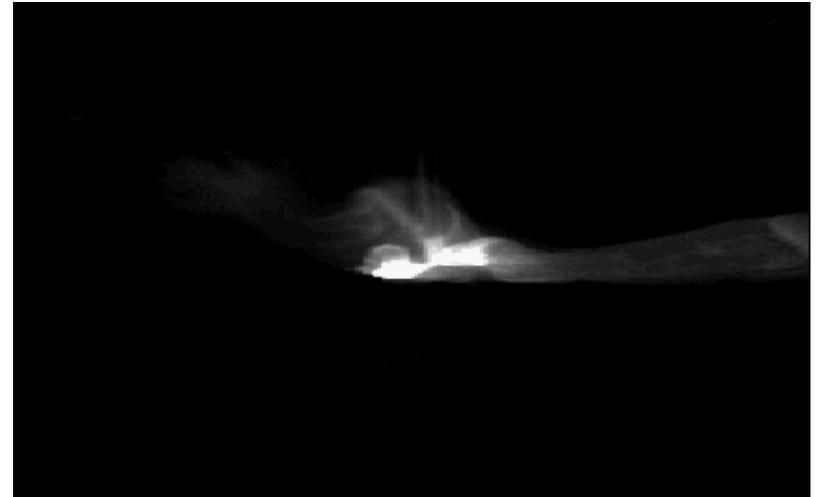
(2) 加工点の可視化

【既存のショートアーク溶接機の溶接方法】

短絡を繰り返す



加工点の可視化



短絡溶接現象(フルテン知GB2).avi

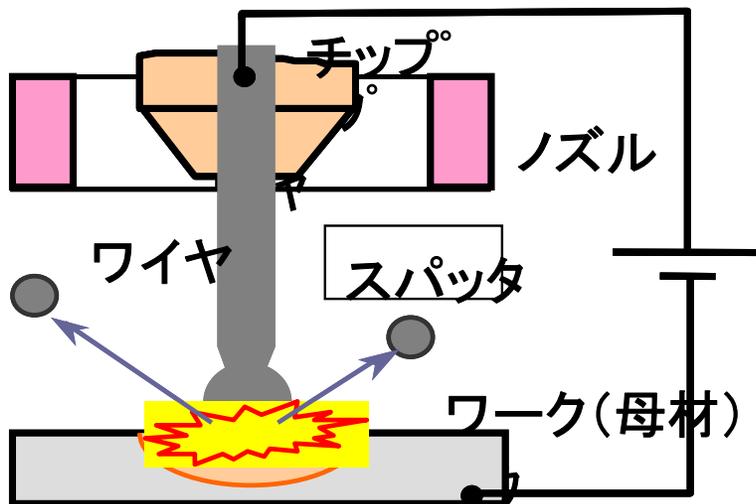
(3) スパッタ発生メカニズムの推定

<短絡時の爆発>

▽スパッタの発生タイミング

スパッタの多くは、ワイヤと母材の短絡(接触)直後の瞬間に発生する

▽スパッタの発生現象



ワイヤと母材の短絡→アークが消弧

抵抗が少なくなり、電流増加

ワイヤ先端がジュール発熱で加熱・
溶融

ワイヤ先端が溶融プールに溶け落ち
ワイヤ母材間に距離が発生

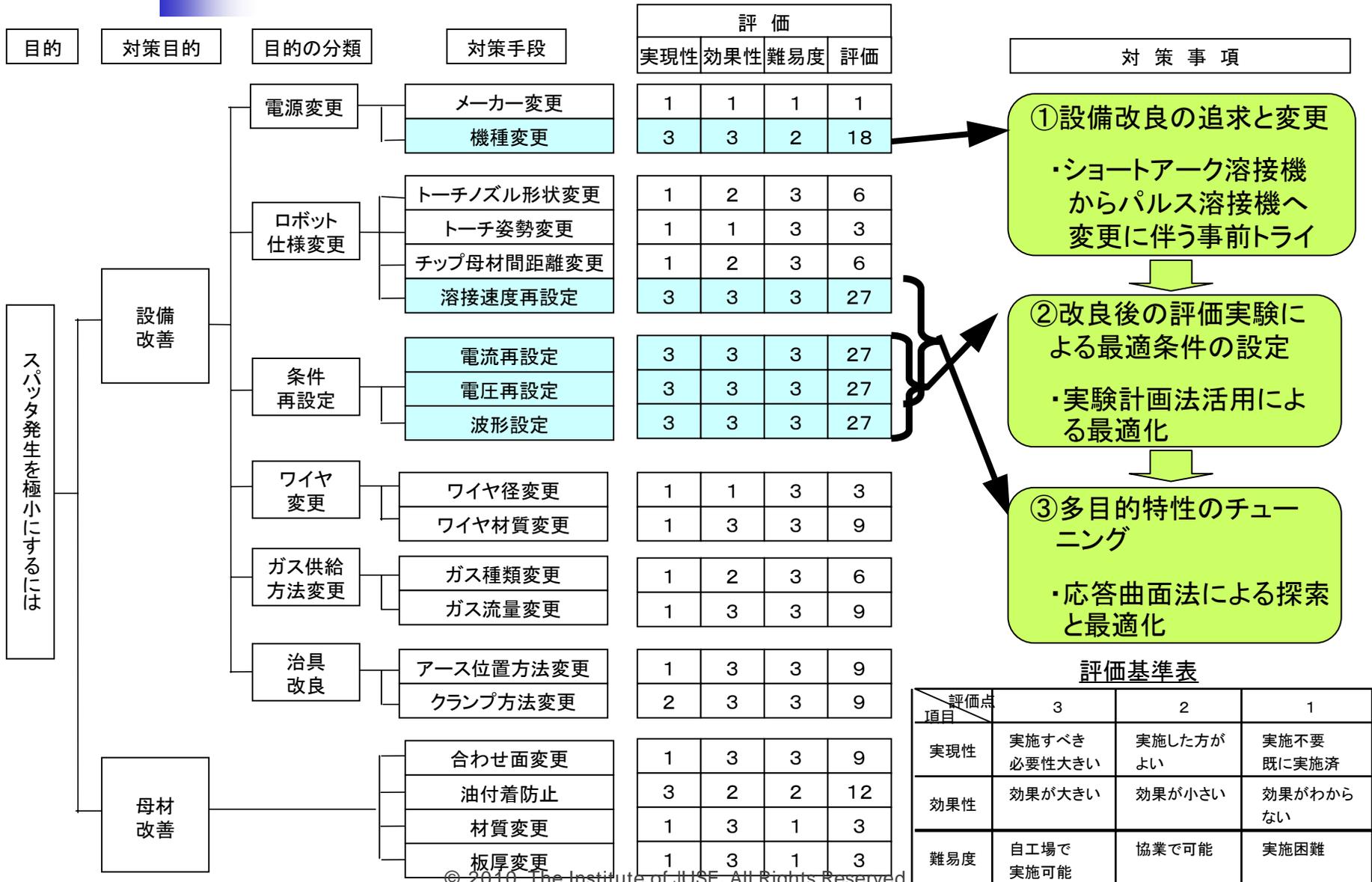
アークが再点弧し、気体が急激に
体積膨張

スパッタ発生(溶融金属飛散)

(4) 課題の明確化

**既存のショートアーク溶接機では、
電源自体、短絡が繰り返される機種で
あり、スパッタ発生をなくすためには、
「短絡レス化」が課題である！**

7. 対策の立案



対策事項の決定

(1) 設備の改良の追求と変更

- ・・ショートアーク溶接機からパルス溶接機
への変更に伴う事前トライ

(2) 改良後の評価実験による最適条件 の設定

- ・・実験計画法活用による最適化

(3) 多目的特性のチューニング

- ・・応答曲面法を活用した最適化

8. 対策の実施

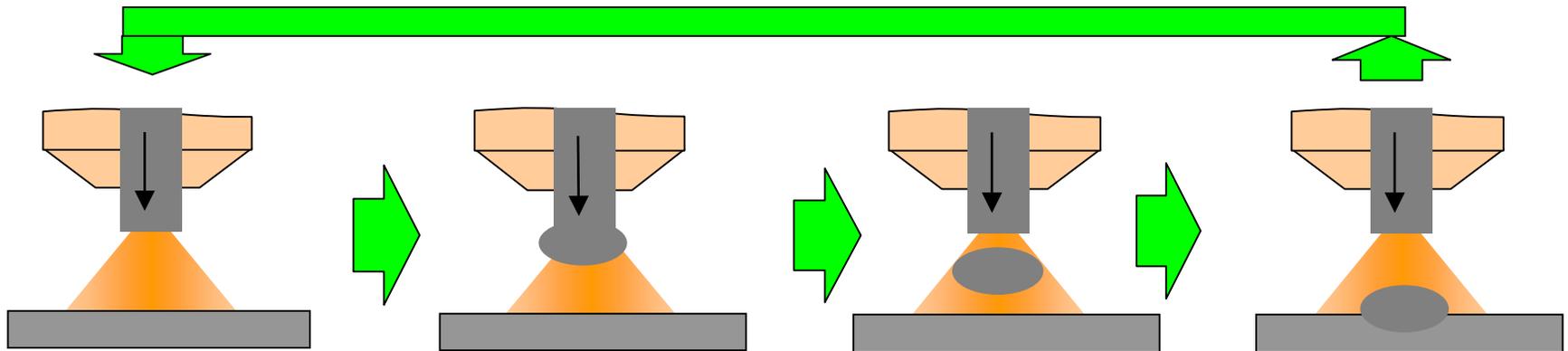
8.1 設備の改良の追求と変更

(1) パルス溶接機の採用

【パルス溶接機の溶接方法】

“1パルス1ドロップ方式”⇒1回のパルス(1周期)で1滴の溶滴を落下

スプレー移行（短絡レス）



① 入熱コントロール

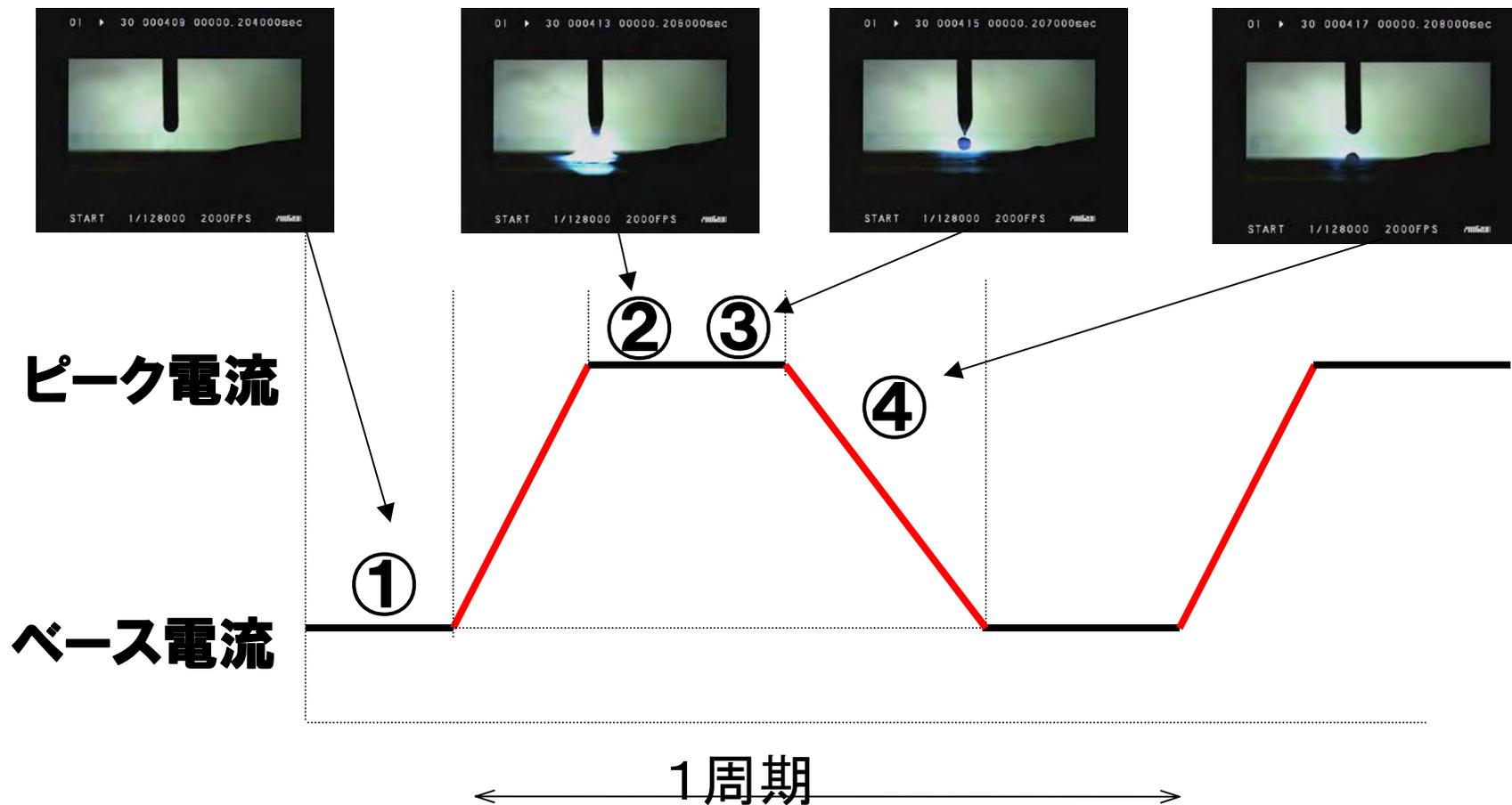
② 溶滴成長
粒が大きくなる

③ 溶滴がピンチ
力により離脱

④ 溶滴がワー
クに移行

(2) 加工点の可視化

パルス波形と移行の状態



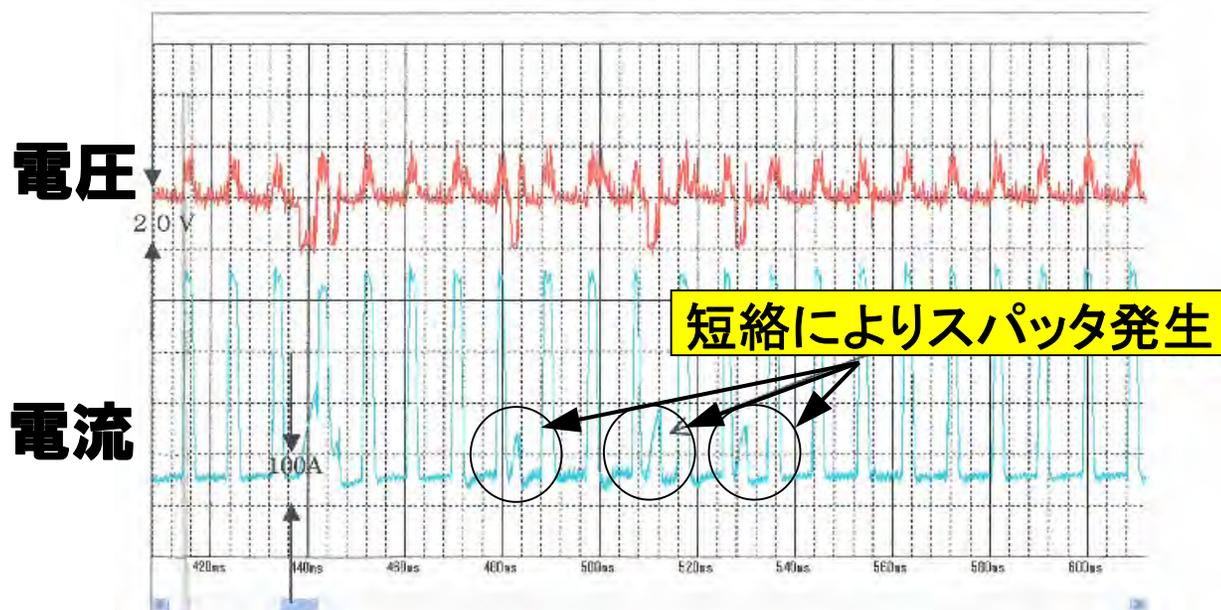
パルス溶接の状態

加工点の可視化



スパッタ発生時の波形

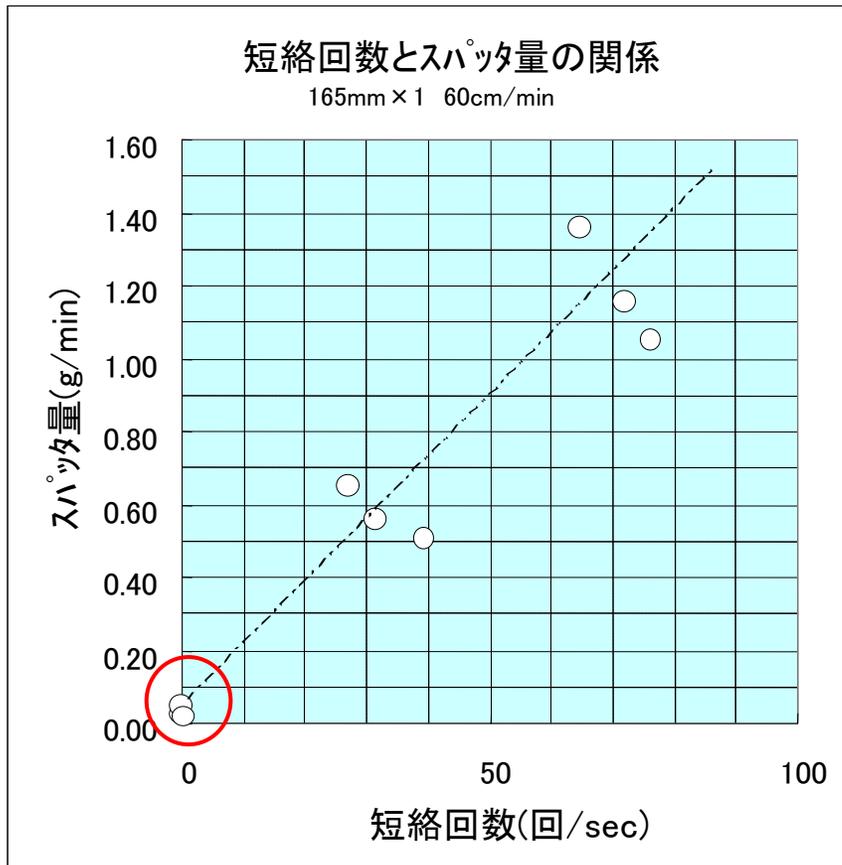
= 特徴 =
波形データ
採取可能
(別途計測機器要)



(3) 改良案の事前トライ

■短絡回数とスパッタ量の関係調査

スパッタ発生には、母材とワイヤの短絡によるものが起因！



スパッタ量と短絡回数には相関がある。

スパッタ量を短絡回数と捉えることで
定量的に評価できる。

スパッタ無くすには短絡を無くせばよい

目標

短絡回数 0回
を目指す！

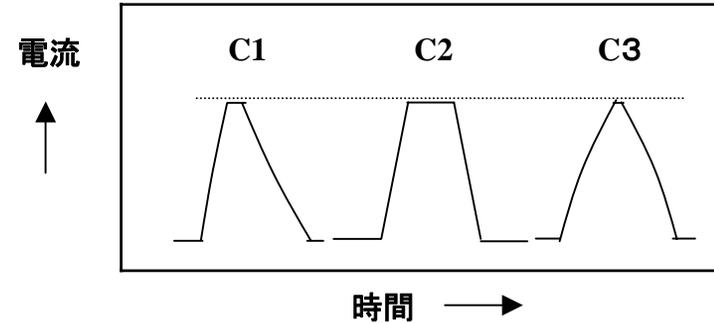
8.2 改良後の評価実験による最適条件の設定

(1) 電流、電圧、波形形状の3要因で直交実験

因子と水準

	A		B		C	
	電流(A)		電圧(V)		波形形状	
1	A1	110	B1	23	C1	1
2	A2	120	B2	24	C2	2
3	A3	130	B3	25	C3	3

波形形状イメージ



L₉直交表へのわりつけと実験データ

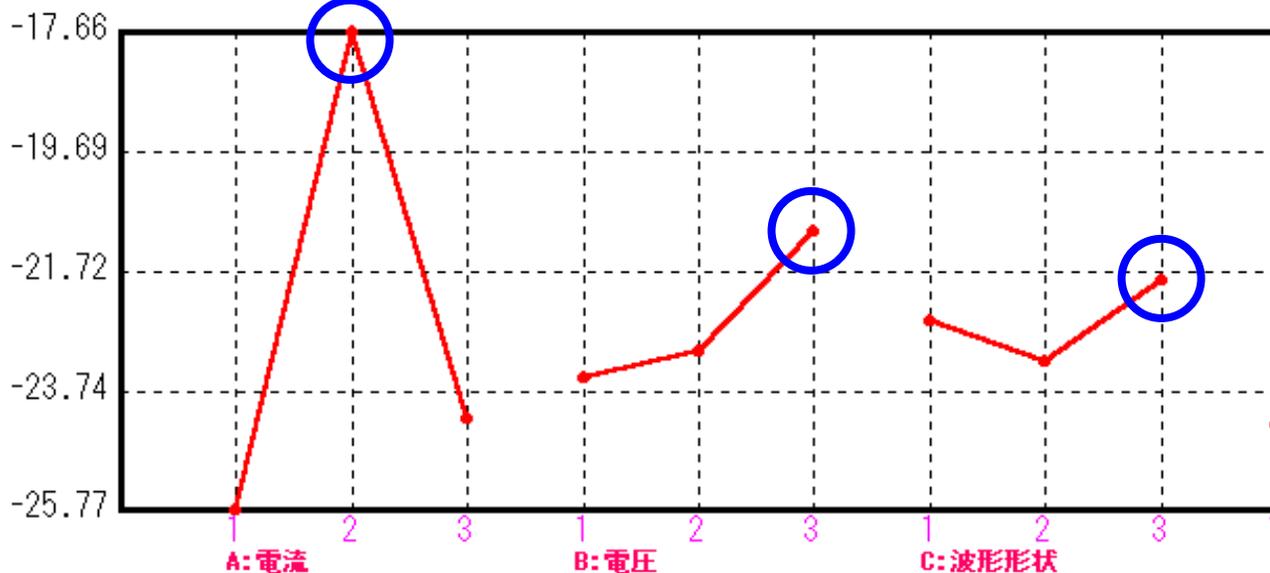
	因子			データ	
	電流(A)	電圧(V)	波形形状	短絡回数(回)	
1	110	23	1	20	32
2	110	24	2	12	22
3	110	25	3	15	16
4	120	23	3	10	9
5	120	24	1	12	5
6	120	25	2	6	4
7	130	23	2	16	10
8	130	24	3	22	12
9	130	25	1	20	16

分散分析表

Source	f	S	V	F0	S'	ρ (%)
A:電流	2	111.04	55.519	9.52 *	99.372	68.05
e	6	34.998	5.8329	-	46.664	31.95
T	8	146.04			146.04	100

(2) 要因効果図

☆☆ 要因効果図 望小特性 《 $-10 \cdot \text{Log}(VT)$ 》 (db) ☆☆



工程平均の推定値… -22.5469 —…採用した水準

(3) 利得

現行水準	-22.0181
最適水準	-15.4689
利得	6.5496

要因効果図より、電流の振れ巾が一番大きいいため、スパッタには電流が一番起因していると考えられる。
最適条件は 電流：2 電圧：3 波形形状：3

8.3 多目的特性のチューニング

SQCを知らないとしたどのようなチューニングになるか？

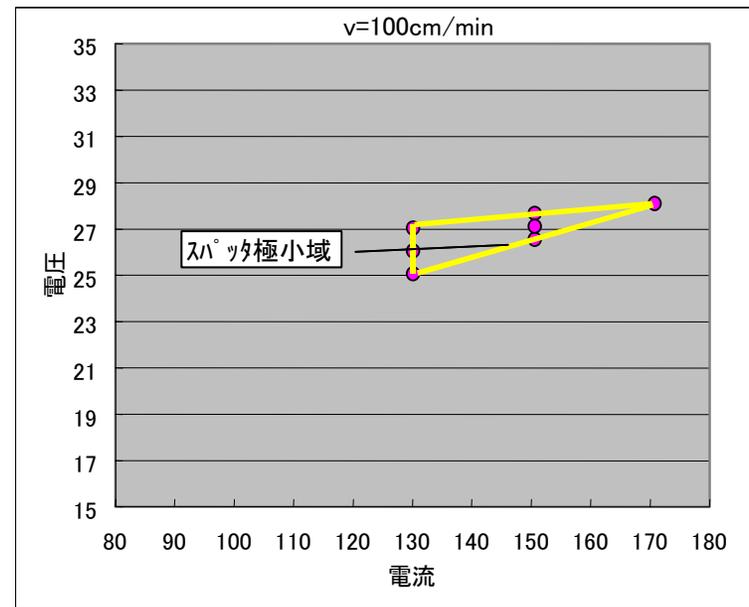
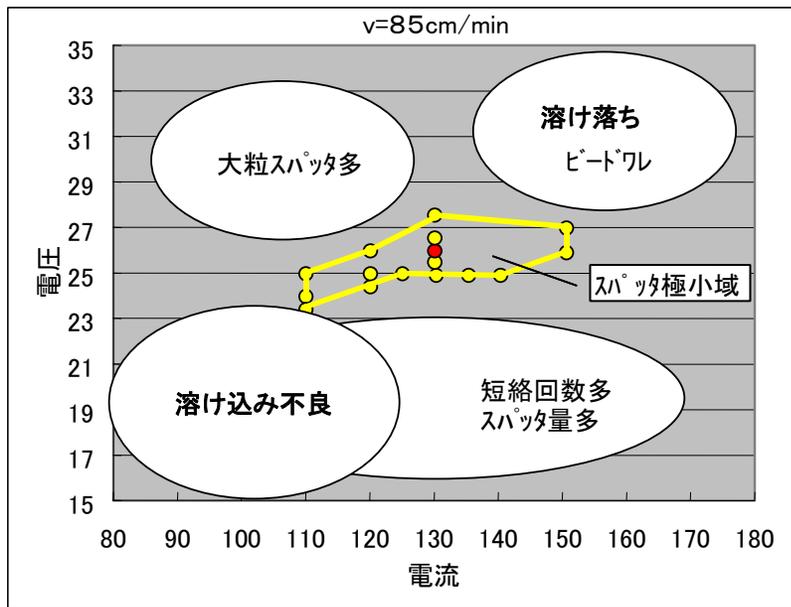
溶接速度の影響調査

次に溶接速度の影響を調べるため、溶接速度を変更し実験を行う。

基本パラメーターの最適化

No.	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	短絡回数	外観	判定	備考
1	130	25	85	10	○		スタート条件
2	130	20	85	384	△		短絡多
3	130	22.5	85	210	△		短絡多
4	130	23.5	85	138	△		短絡多
5	130	24.5	85	108	△		短絡多
6	130	30	85	17	×		スパッタ大
7	130	27.5	85	6	○		
8	130	28.5	85	13	×		スパッタ大
9	130	26.5	85	21	○		
10	130	26.5	85	8	○		
11	130	26.5	85	12	○		
12	130	26	85	8	○		
13	130	26	85	3	○		
14	130	25.5	85	14	○		
15	130	25.5	85	9	○		
16	130	24.5	85	71	○		
17	110	25	85	8	○		
18	120	25	85	6	○		
19	125	25	85	21	○		
20	125	25	85	9	○		
21	120	25	85	3	○		
22	150	25	85	94	△		短絡多
23	140	25	85	27	○		
24	135	25	85	13	○		

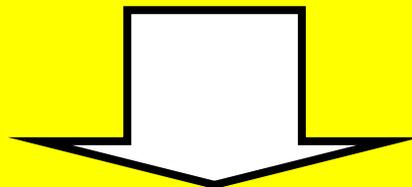
25	110	24	85	6	○		
26	110	22	85	120	△		短絡多
27	110	23	85	24	○		
28	110	26	85	0	×		スパッタ大
29	110	23.5	85	17	○		
30	150	26	85	18	○		
31	150	27	85	17	○		
32	150	28	85	7	×		ワレ
33	120	26	85	4	○		
34	120	23	85	95	△		短絡多
35	120	24	85	28	○		
36	120	24.5	85	17	○		
37	150	27	100	6	○		
38	150	25		56	○		
39	150	26		25	○		
40	150	28		8	×		スパッタ大
41	150	26.5		9	○		
42	150	27.5		7	○		
43	170	28		7	○		
44	170	29		15	×		ワレ
45	170	27		16	△		ワレ
46	130	26		3	○		
47	130	25		13	○		
48	130	27		15	○		
49	130	26	130	8	△		ビード細
50	130	26	160	4	×		ビード細
51	130	26	60	9	○		
52	130	26	85	3	○		最終条件



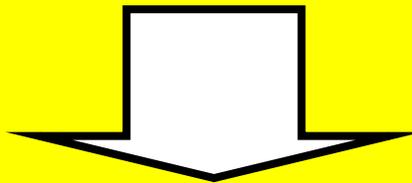
- 平均入熱量($H=60 \times I \times E / v$)が増減しないようにする必要有り
- 電圧を下げると短絡回数が増え、スパッタ発生量が多くなる
- 電圧を上げると短絡回数は減るが、発生スパッタの粒が大きくなり、ビード形状に割れが生じてくる
- 溶接速度85cm/minでは、電流130A・電圧26Vが最適条件と考える
- 溶接速度100cm/minで、85cm/minと同一ワイヤ供給量にするため130Aに対し150Aを中央に配置し、電流・電圧をふる
- 150Aでは電圧の良好幅が1.5Vしかない
- 85cm/minと同様に130Aが電圧の幅が広そうである
- マシンタイム、溶接品質の安定から、つぎの条件を最適条件に設定する。

溶接速度：85cm/min、電流：130A 電圧：26V

**たとえ技術的の正しかったとしても、
何となく説得力がない！**



**どんなにいいいかに説明しても
イメージのようにしか伝わらない！**



これが過去からの習性！

8.3 多目的特性のチューニング

(1) 評価実験とデータ取り

■品質と生産性を両立するには、「電流、電圧」に加え「溶接速度」の影響度把握が必要！

【スパッタと品質(外観)の評価結果】

1:短絡多 2:短絡少	1:スパッタ大 2:スパッタ小	1:× 2:△ 3:○
----------------	--------------------	-------------------

■データ取り

No.	電流(A)	電圧(V)	溶接速度 (cm/min)	短絡回数	短絡数	スパッタ程度	外観
1	130	25	85	10	2	2	3
2	130	20	85	384	1	2	2
3	130	22.5	85	210	1	2	2
4	130	23.5	85	138	1	2	2
5	130	24.5	85	108	1	2	2
6	130	30	85	17	2	1	1
7	130	27.5	85	6	2	2	3
8	130	28.5	85	13	2	1	1
9	130	26.5	85	21	2	2	3
10	130	26.5	85				
11	130	26.5	85				
12	130	26	85				
13	130	26	85				
14	130	25.5	85				
15	130	25.5	85				
16	130	24.5	85				
21	110	25	85				
22	120	25	85				
23	125	25	85				
24	125	25	85				

すべて数量化して
いわゆる基準化して
応答曲面法で解析

(2) 「多特性の最適化」の実施

【品質(外観)・スパッタ特性の3特性の最適化】

◇各特性の重回帰モデル式と寄与率

- 「品質(外観)」については、11%の寄与率の重回帰モデル式

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R* ²	R** ²	残差自由度	残差標準偏差
外観	23.669	0.343	0.118	0.063	0.01	48	0.702

変数名	偏回帰係数	標準誤差	t 値	P値 (両側)	標準偏回帰	トレランス
定数項	5.642	1.45	3.891	0		
電流 (A)	0.001	0.008	0.113	0.911	0.019	0.682
電圧 (V)	-0.077	0.065	-1.177	0.245	-0.19	0.705
速度 (cm/min)	-0.014	0.007	-1.838	0.072	-0.259	0.922

- 「短絡回数」については、41%の寄与率の重回帰モデル式

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R* ²	R** ²	残差自由度	残差標準偏差
短絡数	3.528	0.646	0.418	0.381	0.346	48	0.271

変数名	偏回帰係数	標準誤差	t 値	P値 (両側)	標準偏回帰	トレランス
定数項	-1.016	0.56	-1.816	0.076		
電流 (A)	-0.007	0.003	-2.342	0.023	-0.312	0.682
電圧 (V)	0.142	0.025	5.659	0	0.742	0.705
速度 (cm/min)	0.002	0.003	0.747	0.459	0.086	0.922

- 「スパッタ程度」については、28%の寄与率の重回帰モデル式

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R* ²	R** ²	残差自由度	残差標準偏差
スパッタ程度	2.676	0.525	0.275	0.23	0.186	48	0.236

変数名	偏回帰係数	標準誤差	t 値	P値 (両側)	標準偏回帰	トレランス
定数項	3.306	0.488	6.78	0		
電流 (A)	0.007	0.003	2.507	0.016	0.373	0.682
電圧 (V)	-0.093	0.022	-4.243	0	-0.621	0.705
速度 (cm/min)	0.001	0.003	0.468	0.642	0.06	0.922

◇最適化グラフ

最適条件

特性値

電流 : 130A

電圧 : 26V

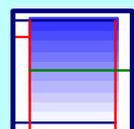
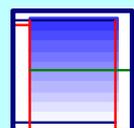
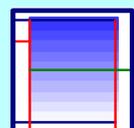
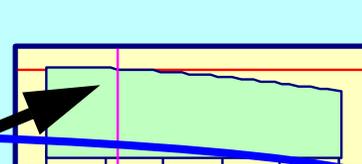
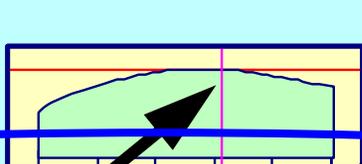
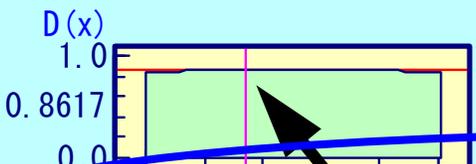
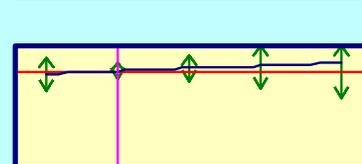
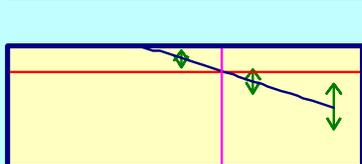
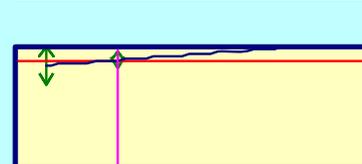
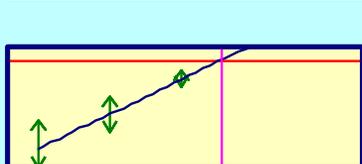
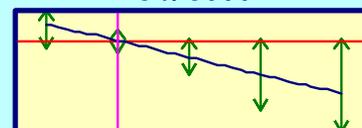
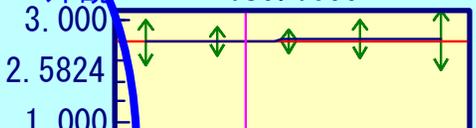
速度 : 85cm/min

外観
3.000
2.5824
1.000
短絡数
2.000
1.9624
1.000
スパッタ程度
2.000
1.8403
1.000

130.1600

26.2400

84.8000



0 1

電流 (A)

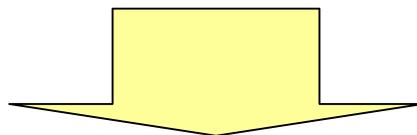
電圧 (V)

速度 (cm/min)

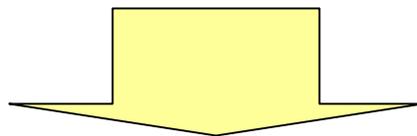
説明変数
(因子)

望ましさの関数 $D(x)$ が最大となる位置を設定

☆品質(外観)への影響とスパッタ特性への影響が良くわからない？
両面から一目でわかるものが欲しい！



(2)「溶接速度=85cm/min」を固定して
「電流×電圧」の最適ポイントの見える化

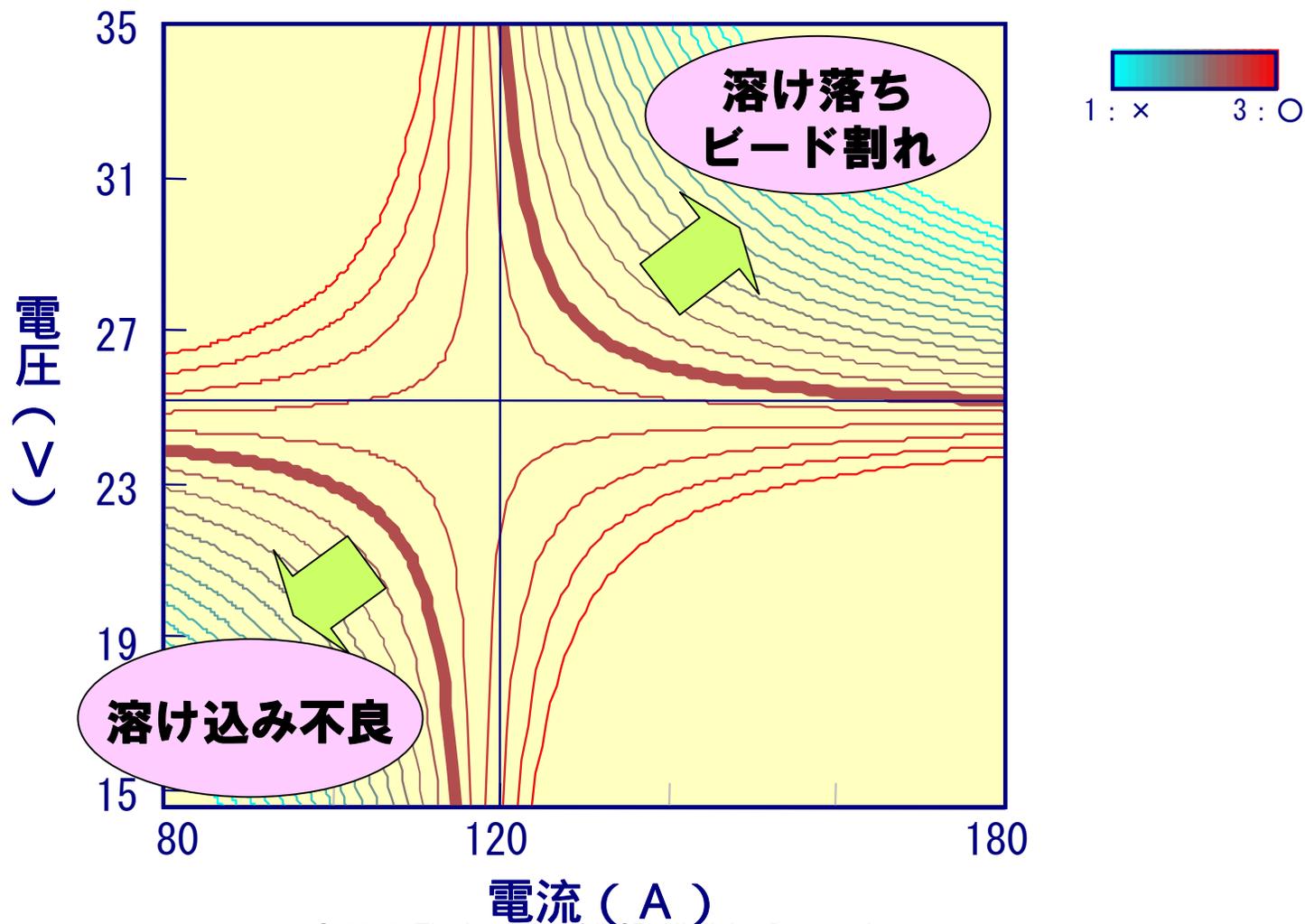


■さらに応答曲面法で解析

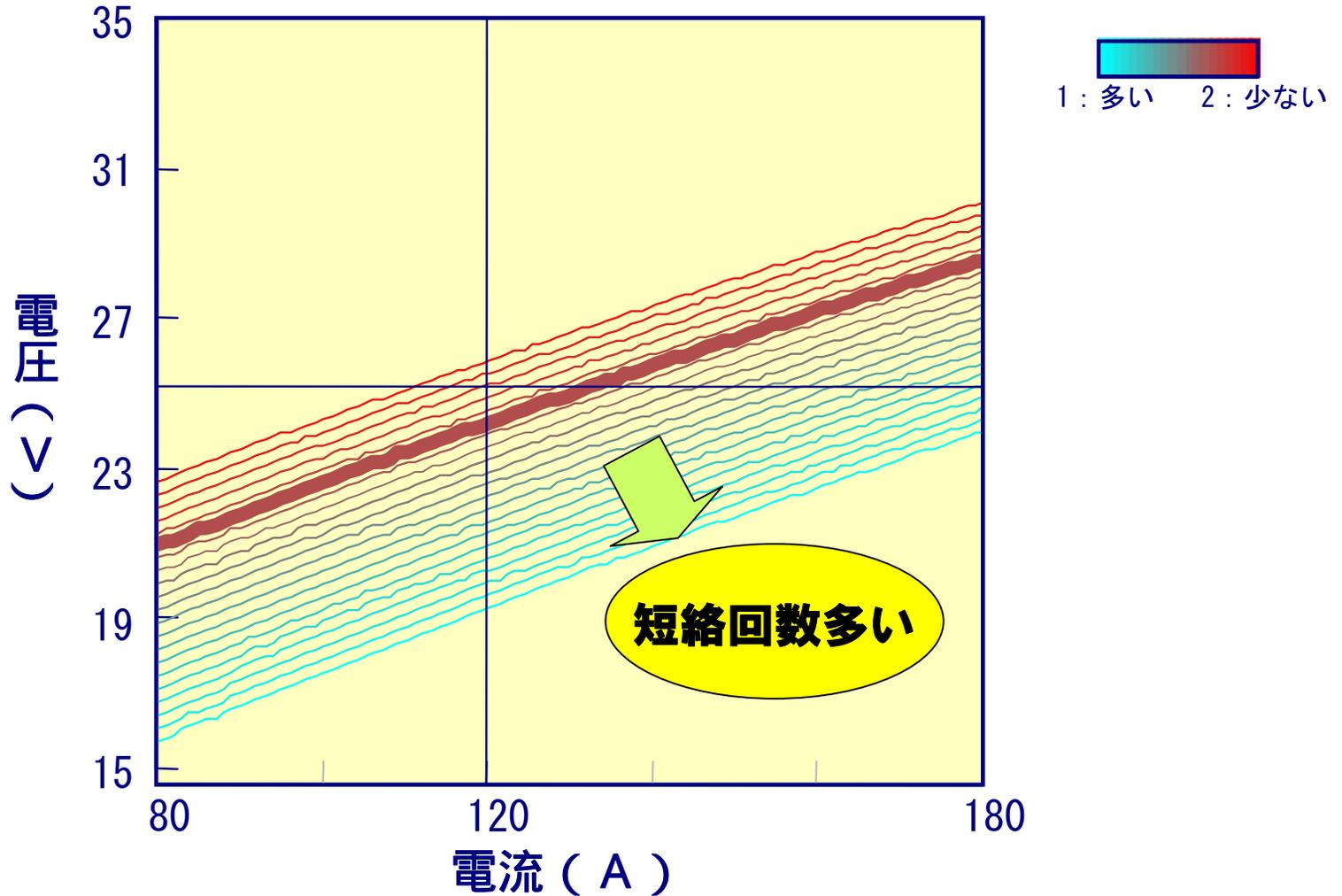
品質(外観)、スパッタ特性の各1特性毎で
解析し、総合して最適化グラフの作成

(3) 「1特性の最適化」を活用した見える化

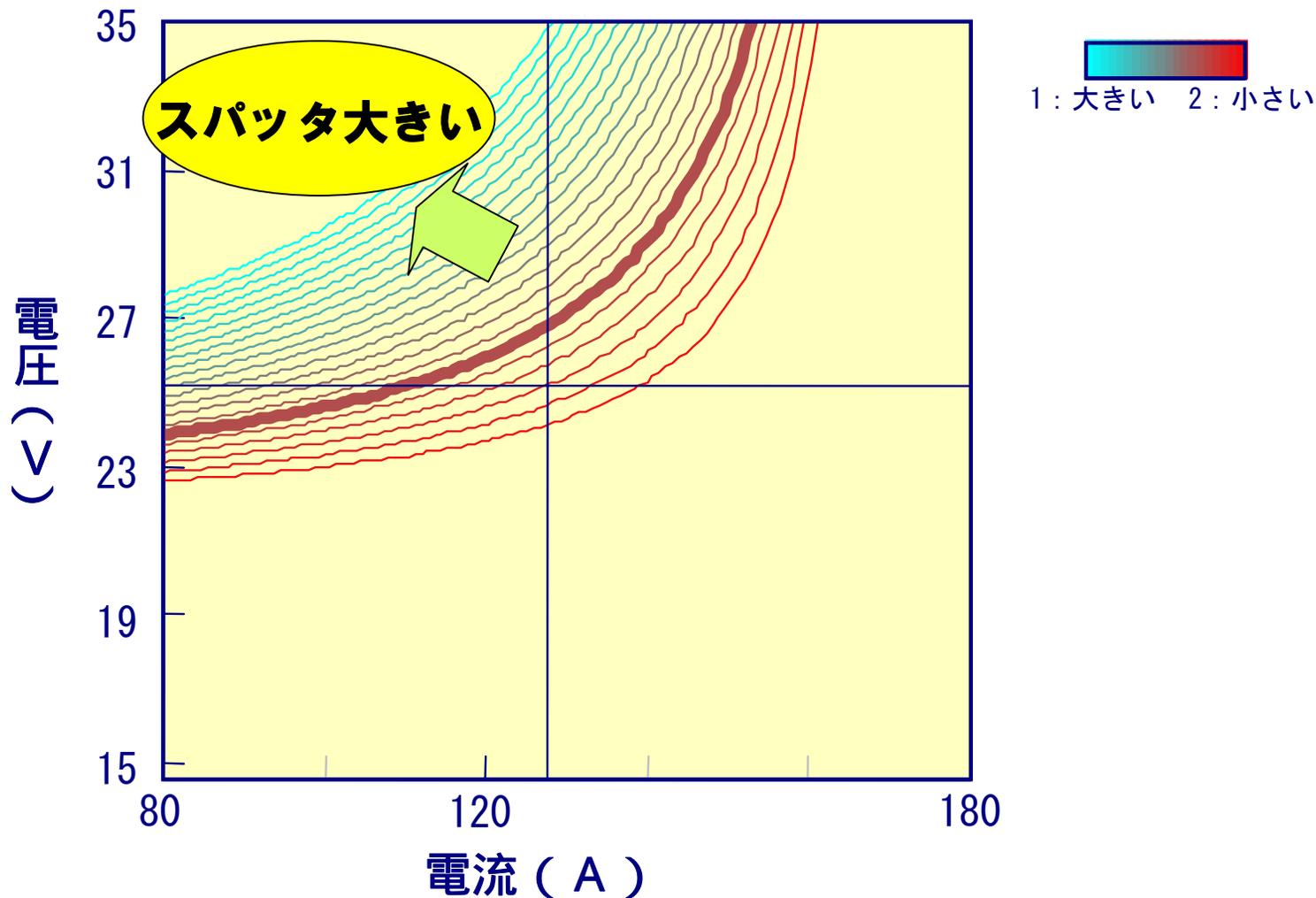
■ 「品質 (外観)」の最適化グラフ



■「短絡回数」の最適化グラフ

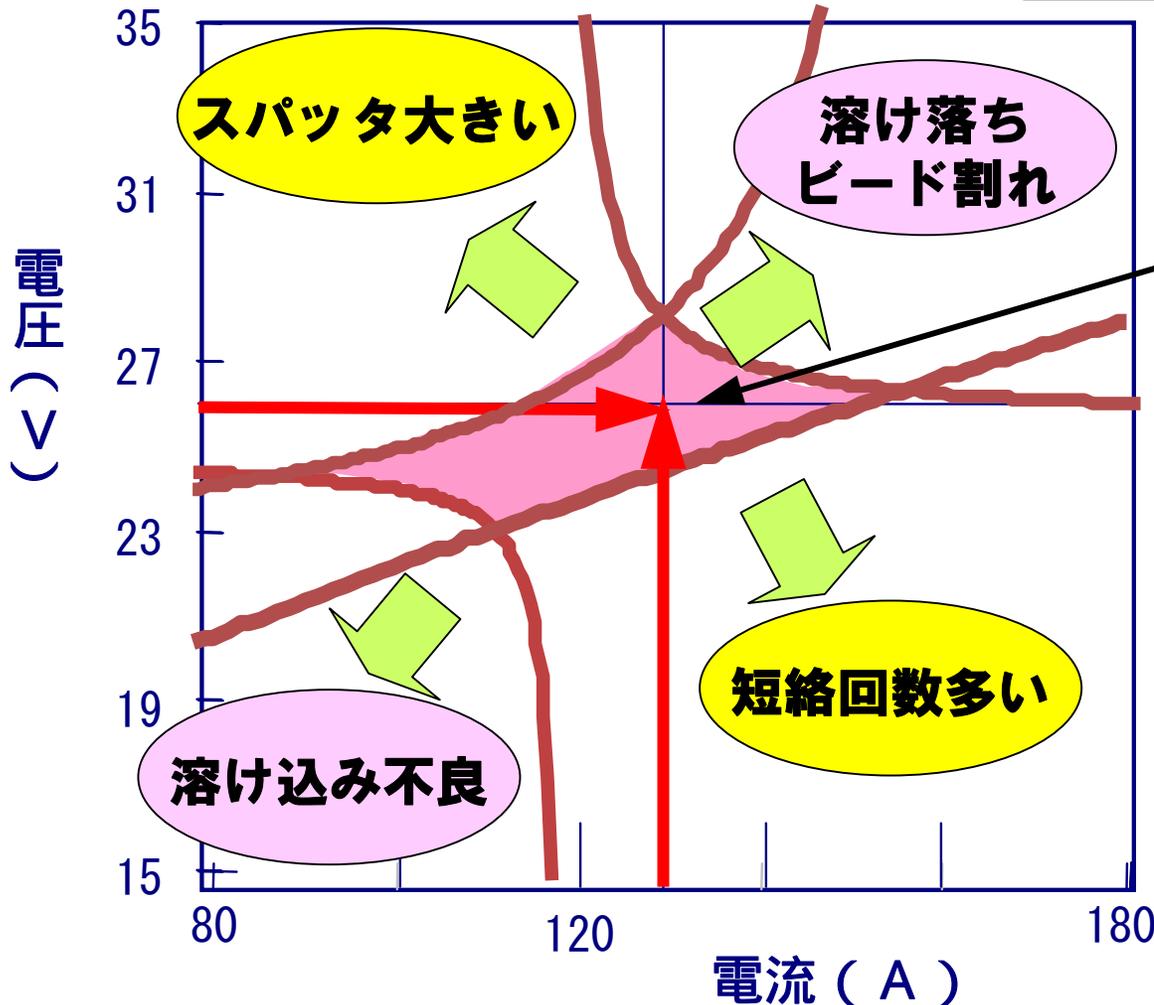


■「スパッタ程度」の最適化グラフ



■総合した最適化グラフ

溶接速度：85cm/min



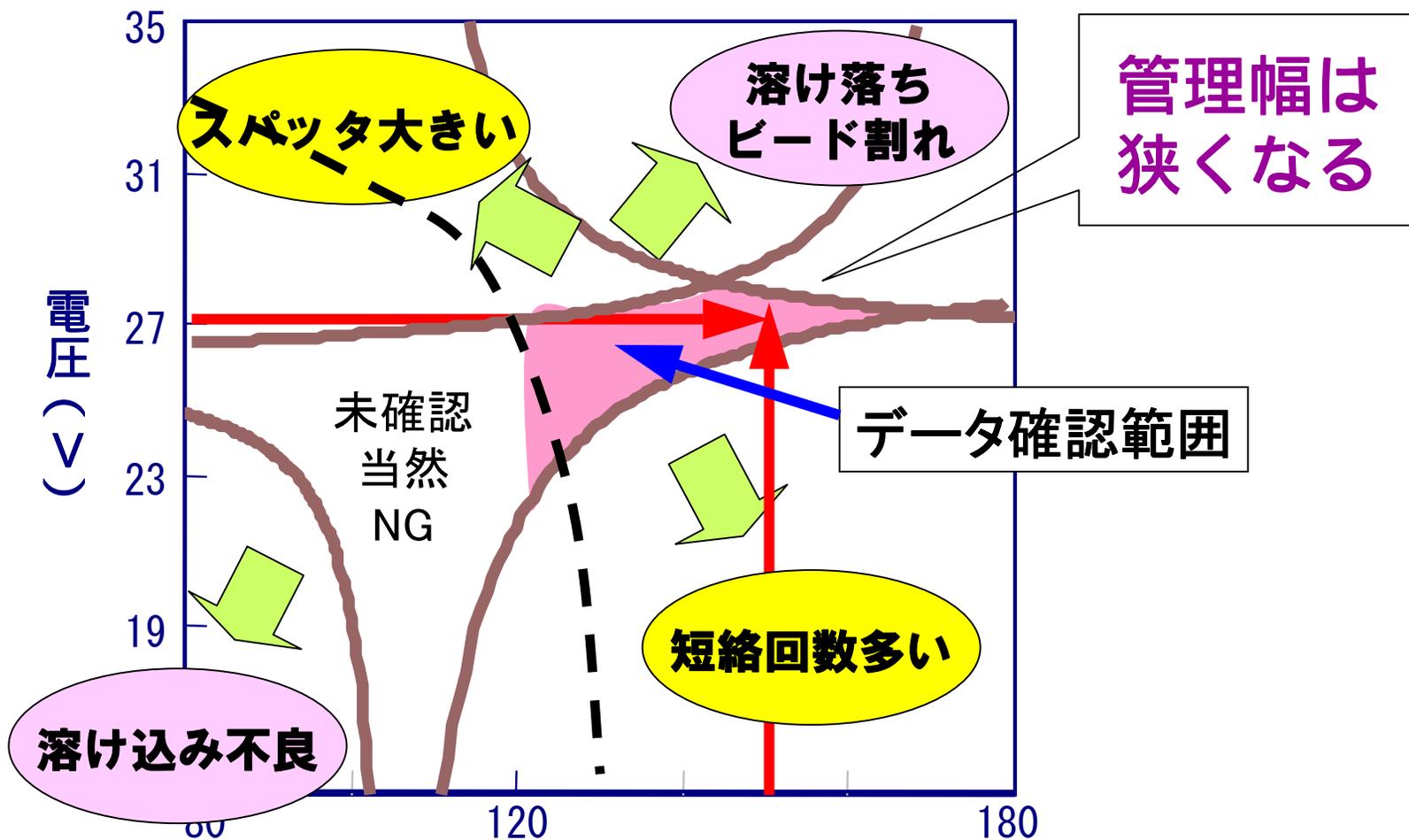
電流：130A

電圧：26V

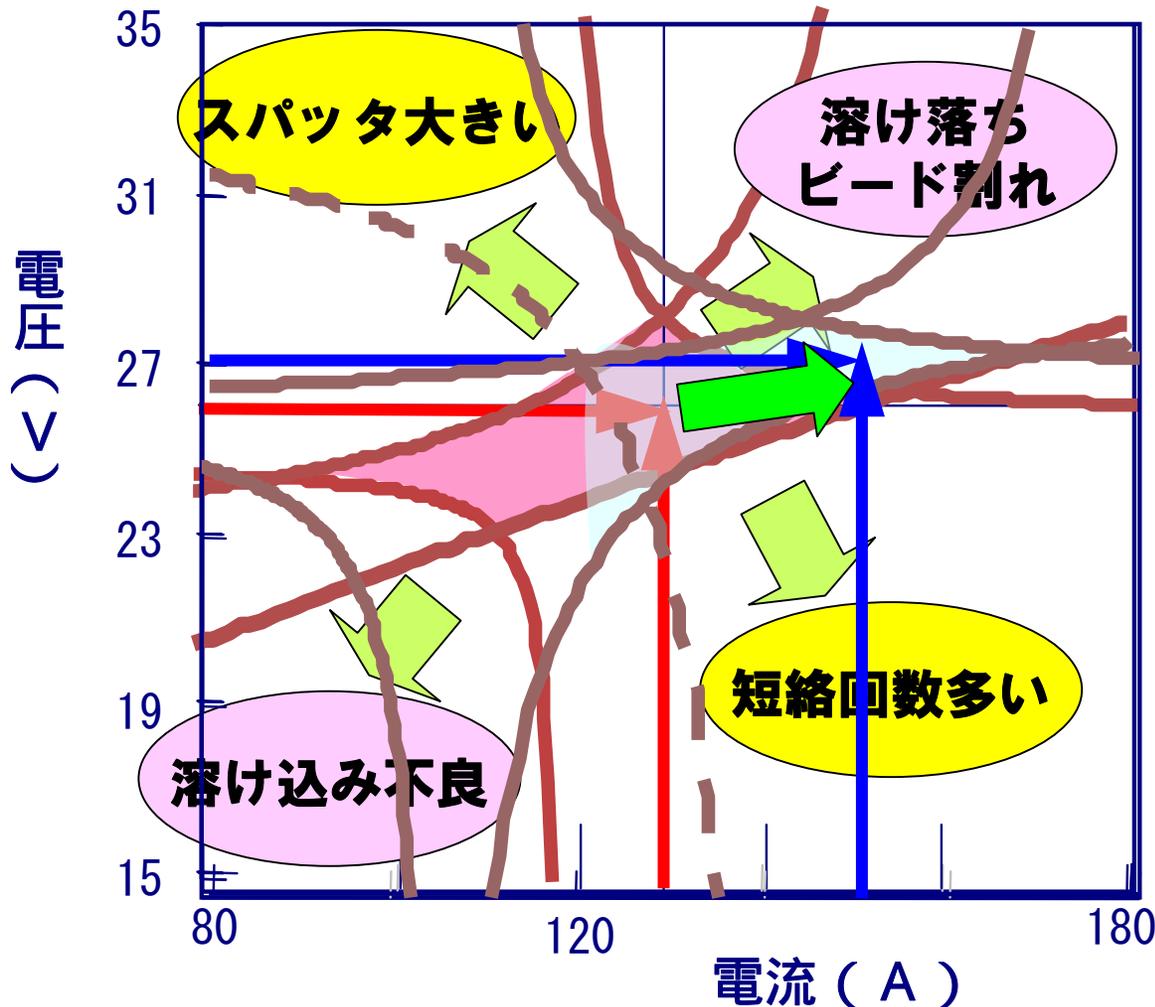
見える化により、関係者にも容易に理解が得られた。

◆参考までに、溶接速度100cm/minでは

■総合した最適化グラフ



◆参考までに、 溶接速度85cm/minと100cm/minの比較



100cm/min
では、電圧
管理幅が
狭い！

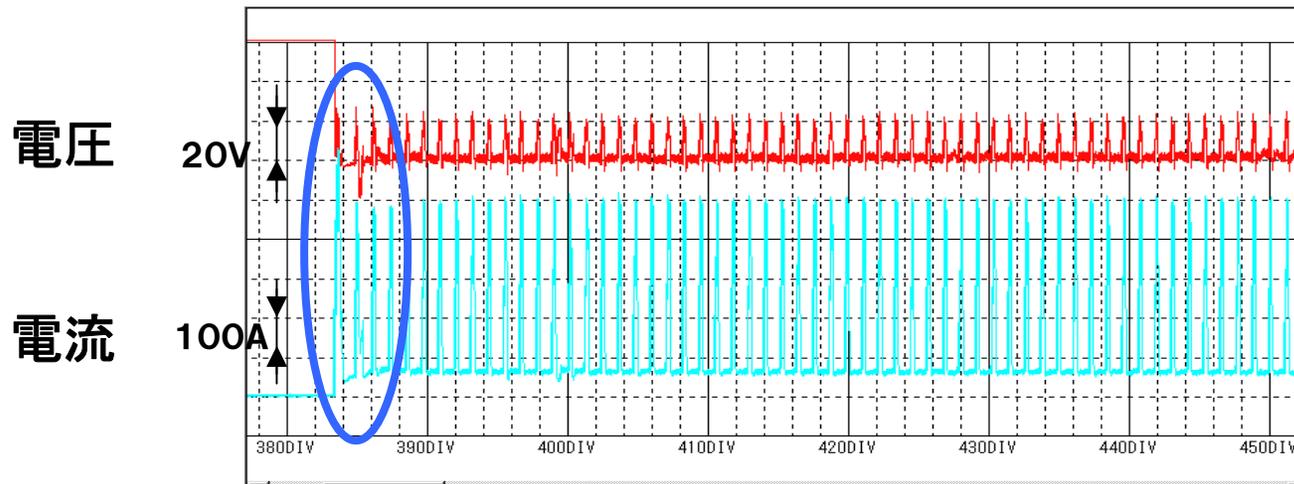
リスク大

8.4 確認実験

(1) 波形データでの対策前後の比較

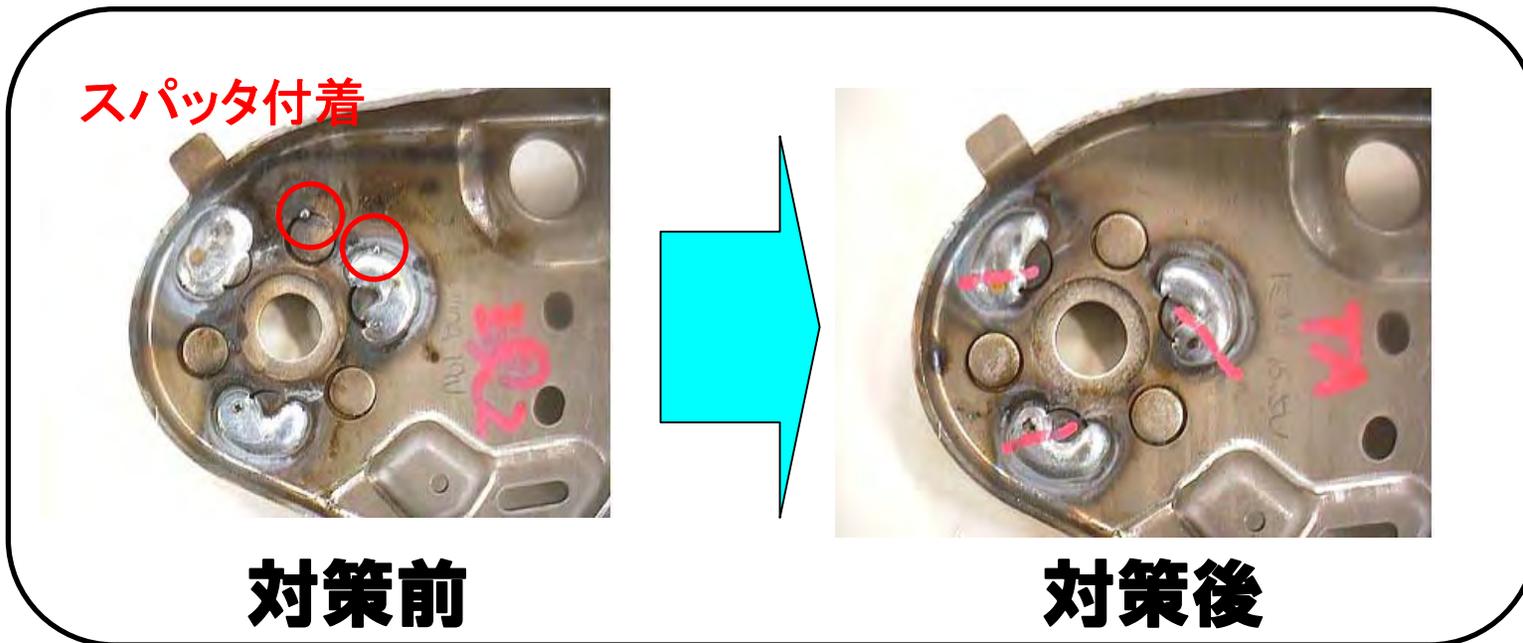
電流：130A、電圧：26V、溶接速度：85cm/min

この条件下で、通常安定域では「短絡回数 0回」の実現ができた。（スタート時、エンド時のみ短絡）

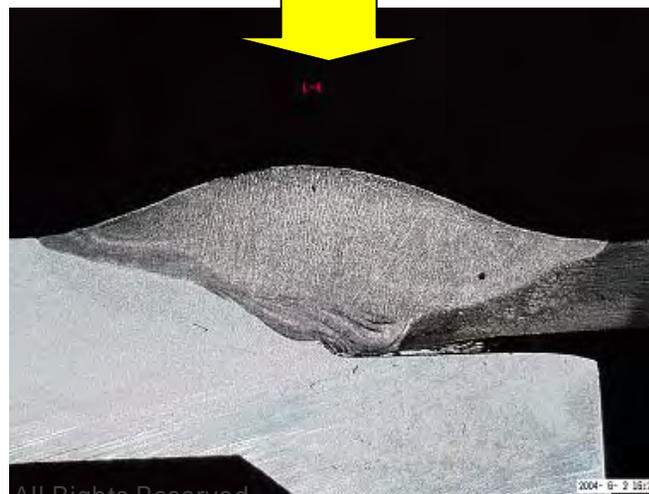


実際には、ワークの合わせ等により0回ではないが
短絡回数 20⇒2回/sec
スパッタ発生量極小の実現ができた。

(2) スパッタ付着状態の対策前後の比較

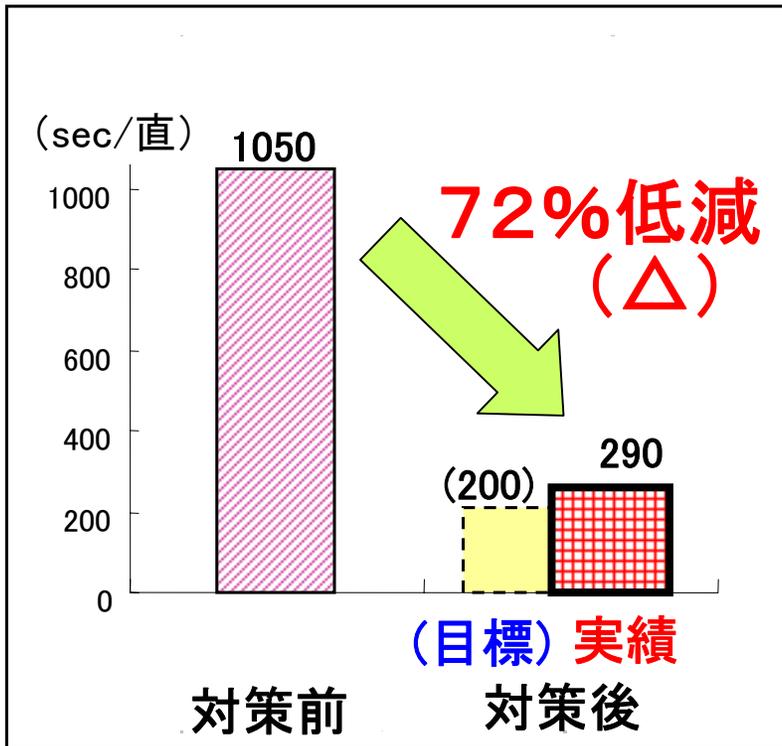


溶け込み状態も
良好である！

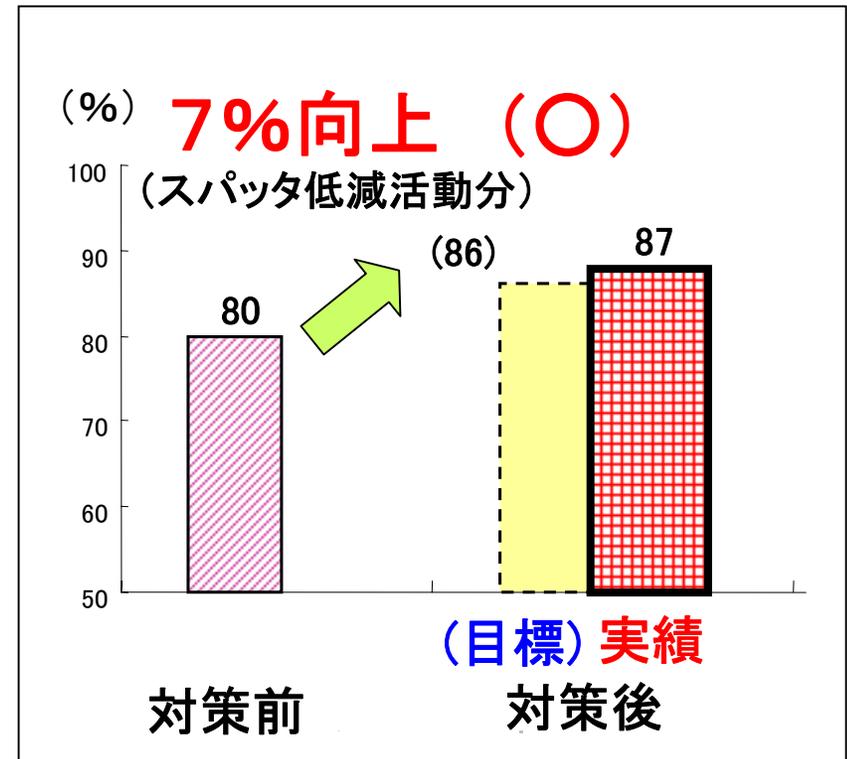


9. 目標達成度の確認

【スパッタ除去工数】



【可動率】

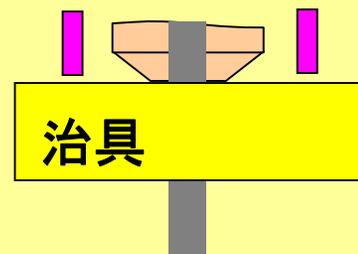


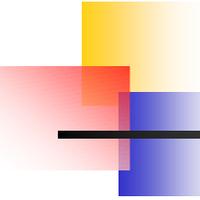
**目標はほぼ達成でき、
工数低減、可動率向上の実現ができた！**

10. 標準化

新機種のパルス溶接機において、つぎの標準化

- (1) パルス溶接機基盤の他設備への水平展開
- (2) ティーチング時のワイヤ長さ
統一治具の作成
- (3) 条件設定方法のノウハウシートの作成





11. まとめ

- この研究により、スパッタ発生を極小にでき、品質不具合防止をはかる中で、**生産性向上**に結びつけることができた。
- また、品質と生産性を高めるためには、**方策系統図**により攻め方を工夫し、実験計画法のみでなく、新たな潮流である**応答曲面法**を活用した**多目的特性のチューニング**により、**効率的・効果的な問題解決**ができることがわかった。

ご清聴ありがとうございました！

掲載されている著作物の著作権については、制作した当事者に帰属します。

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>