

# 第14回JUSEパッケージ活用事例 シンポジウム

## 統計的手法を活用した生産技術改善 -横河電機の圧力センサーの場合-

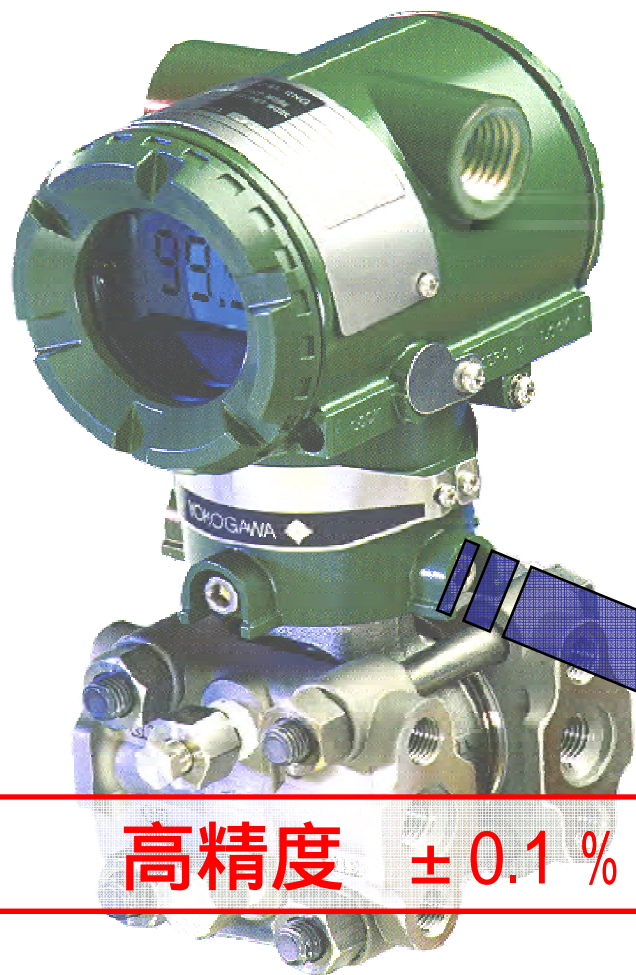
横河電機(株)

第3生産技術部 小川 昭

日時 2005年2月4日(金)

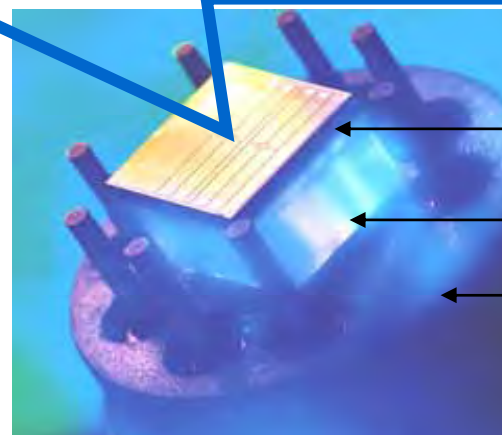
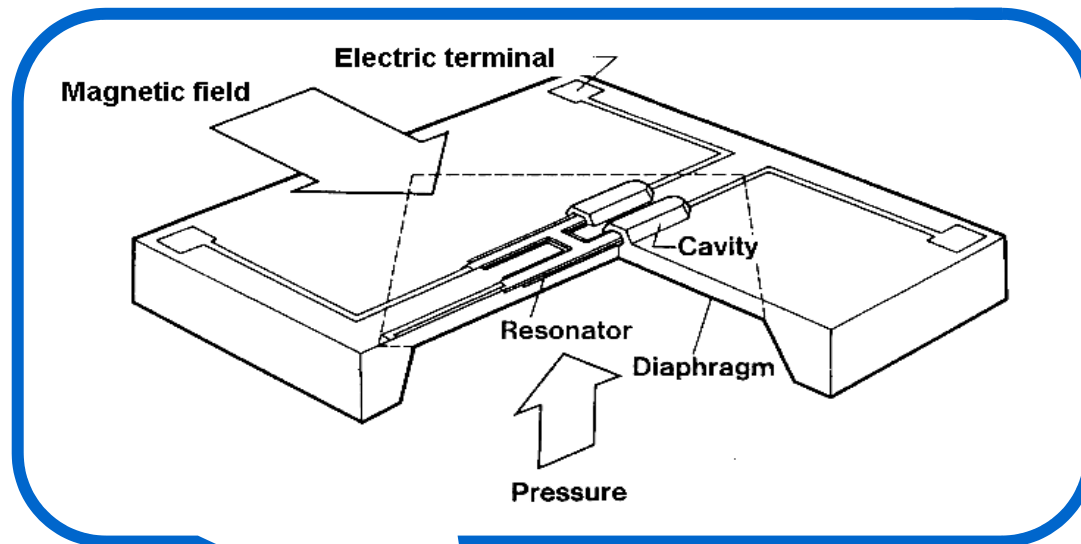
場所 (財)日科技連ビル

# 差圧伝送器と圧力センサー



高精度  $\pm 0.1\%$

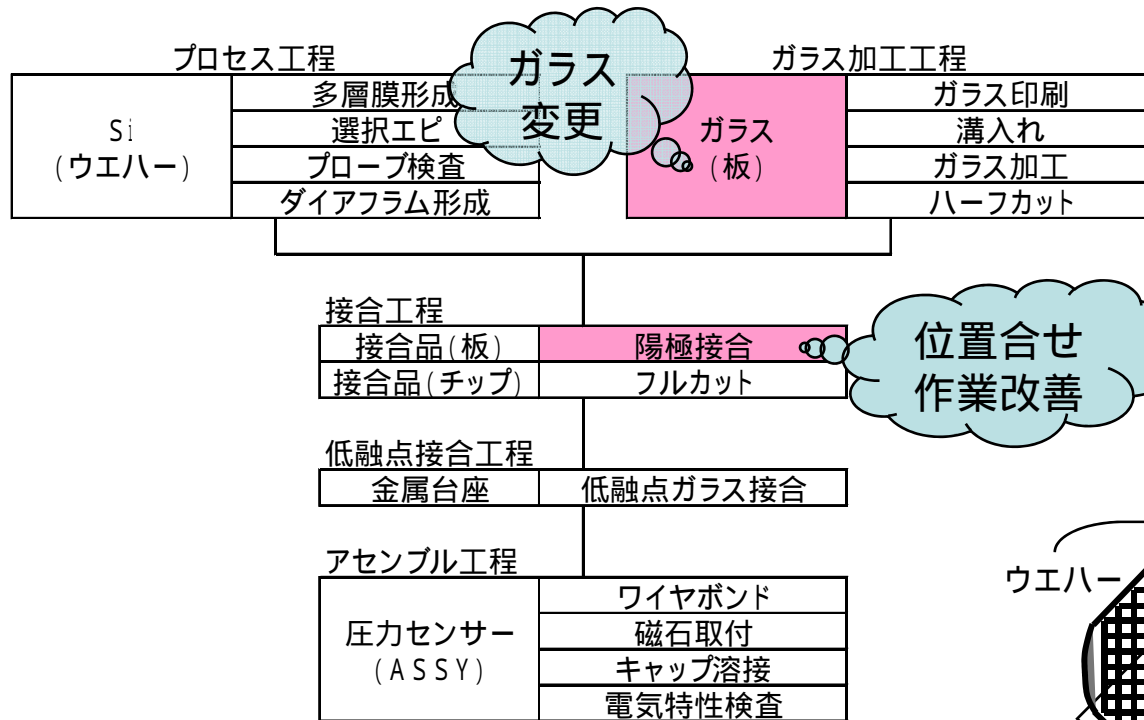
差圧伝送器



Siチップ  
ガラス  
金属台座

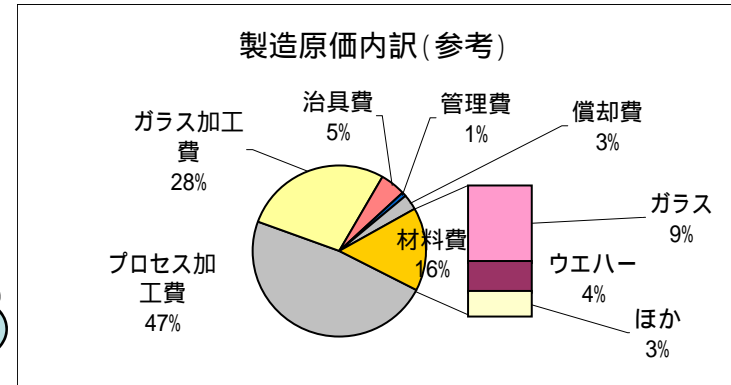
圧力センサー

# 圧力センサー製造工程と改善の取組み

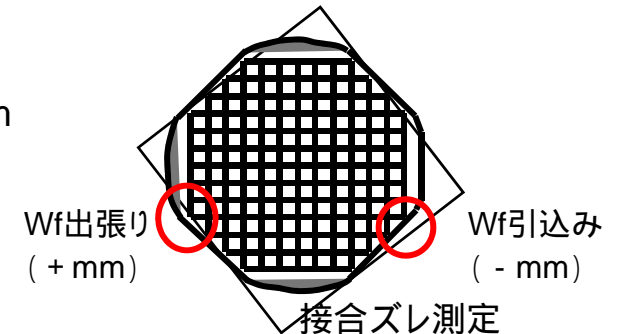
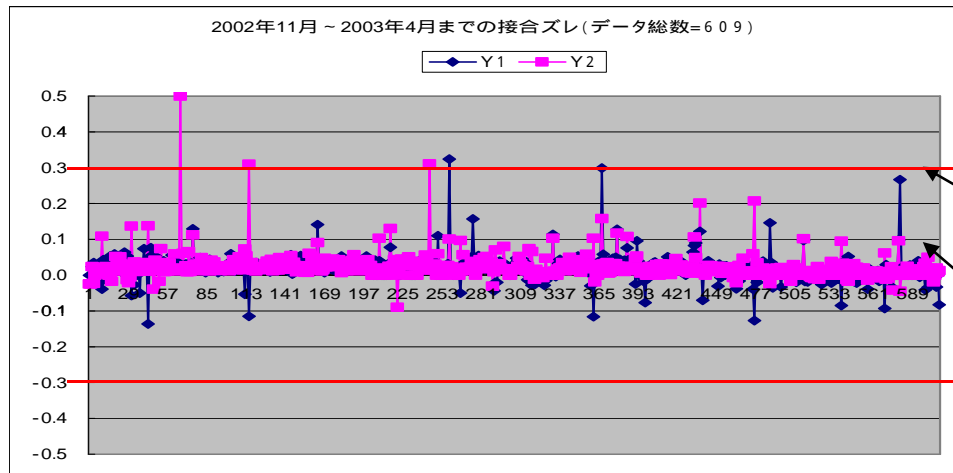
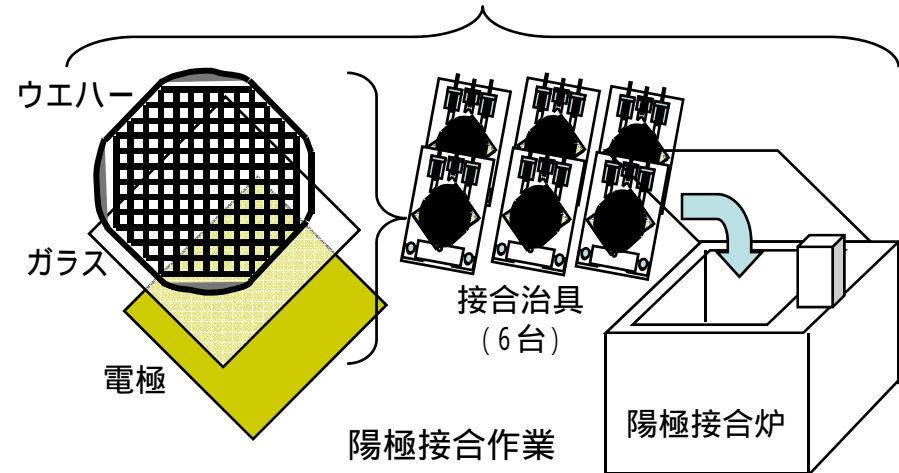


ガラス変更

位置合せ作業改善

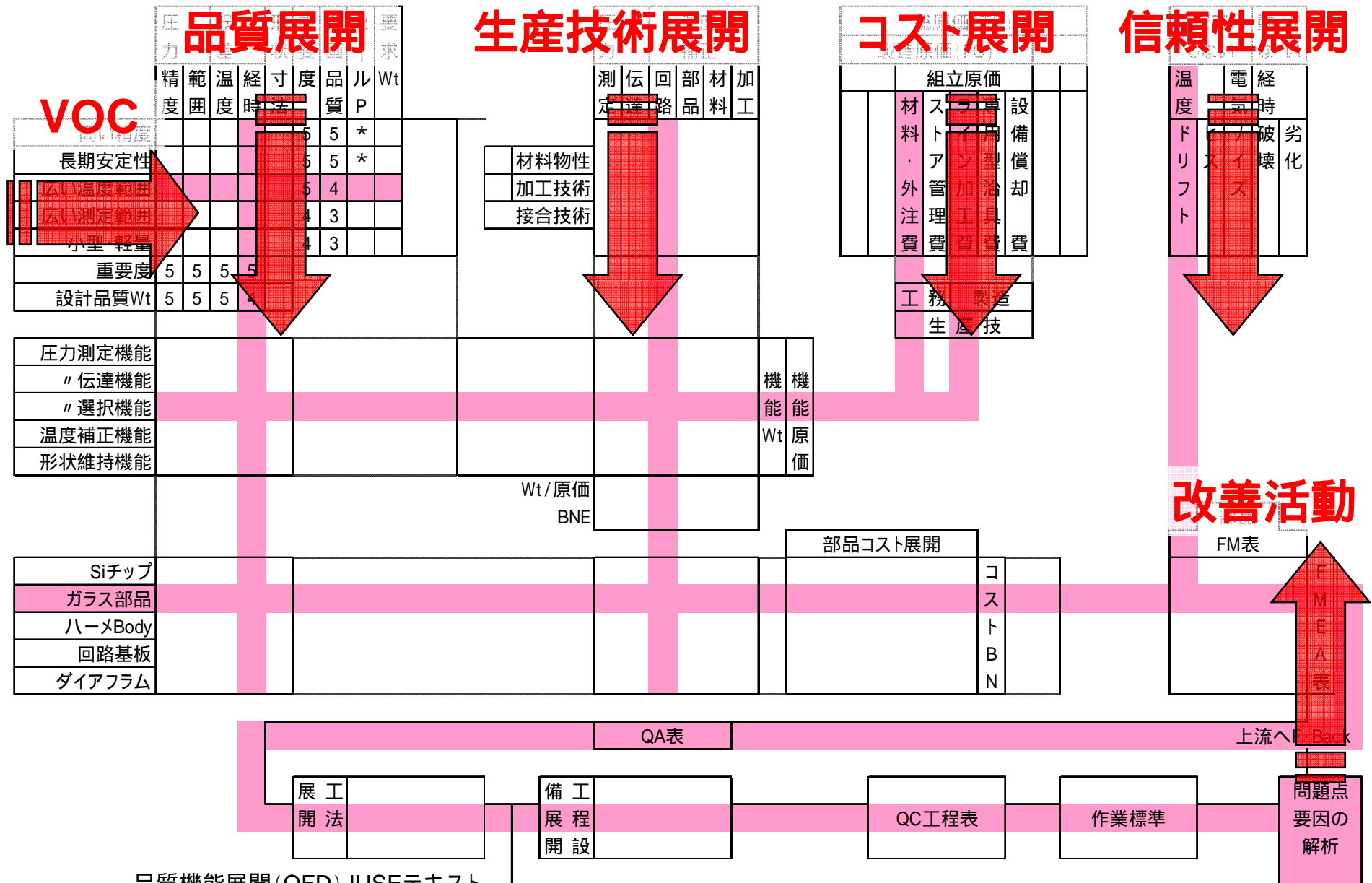


セット時間=24分(4分/台)



# 品質機能展開の活用

D:定義

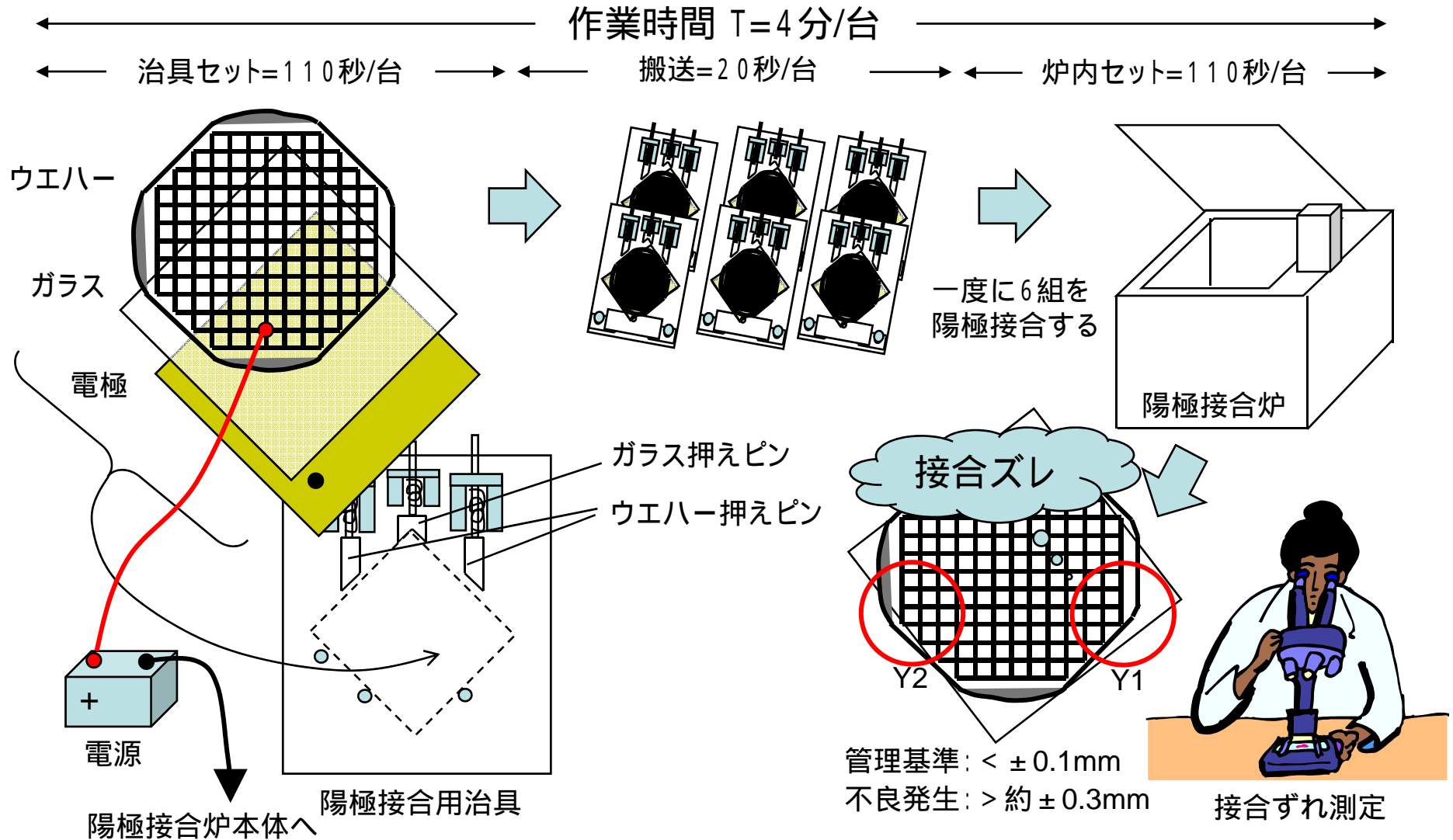


品質機能展開(QFD)JUSEテキスト  
大藤 正(玉川大学教授)著 を参考

# 改善事例1 接合位置合せ作業の改善

M:測定

-管理図による管理を目指して-

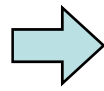


## 接合ズレ(Y1、Y2)と作業時間(T)を改善する

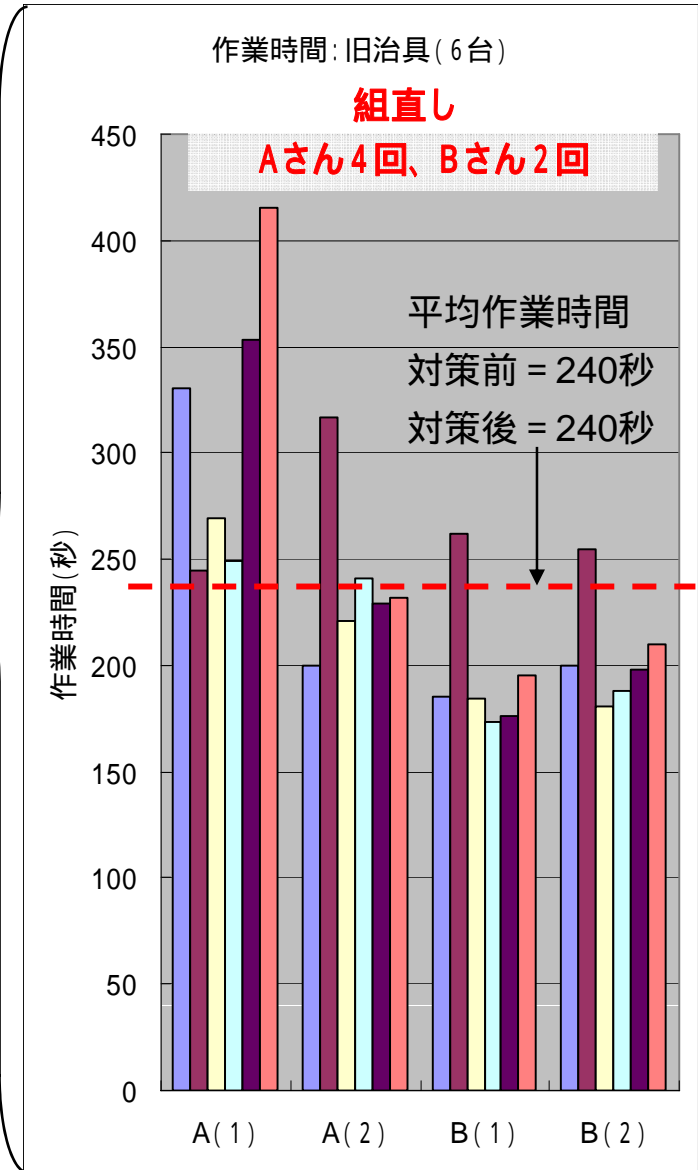
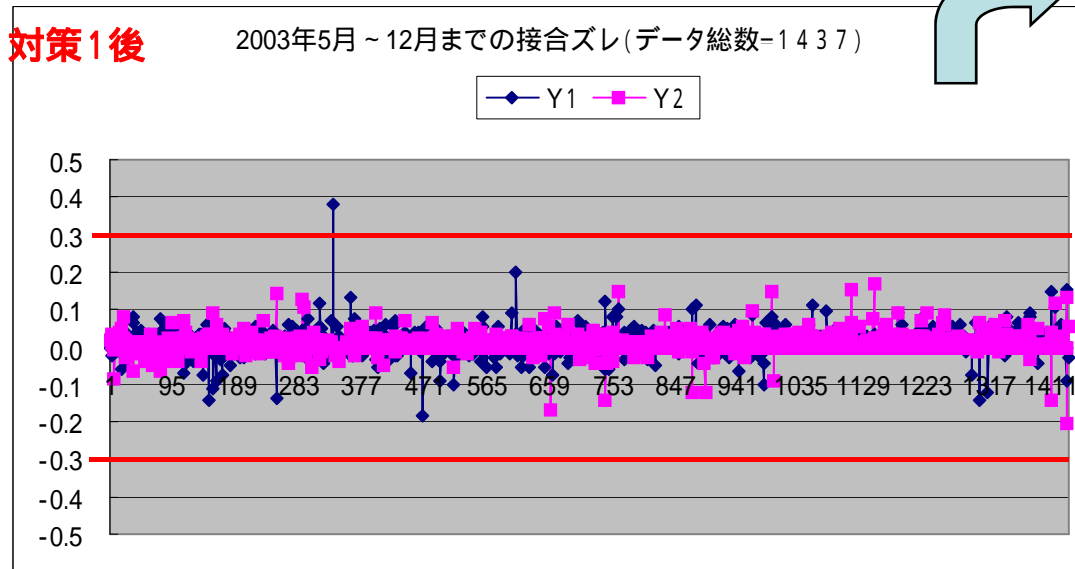
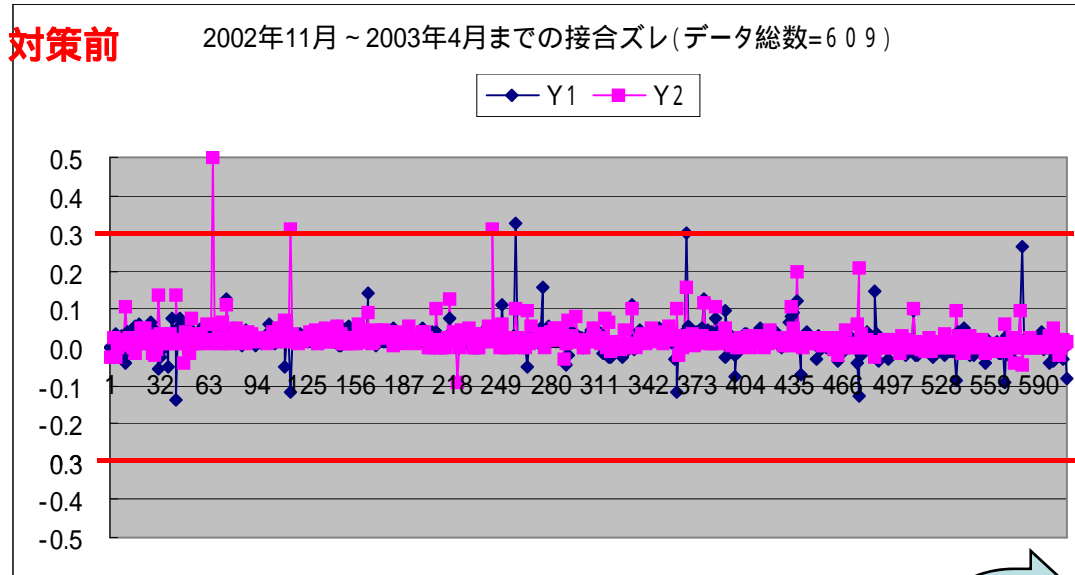


# 対策1の結果

ファンベルト交換  
作業標準再確認

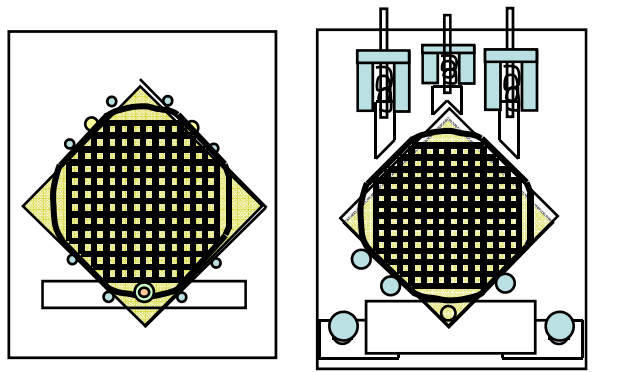


接合ズレ(Y1、Y2): 0.3mm以上のズレ無くなり歩留まり向上  
作業時間(T) : 対策前 = 240秒 → 対策後 = 240秒(組直し増加!)



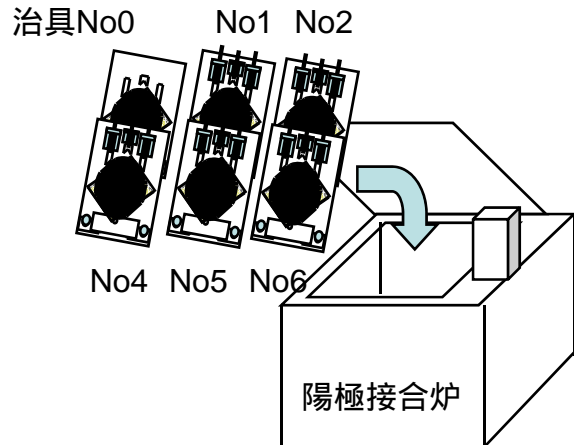
# 対策2

新治具1台作成し、旧治具5台とセットにして  
接合作業を実施し、接合ズレと作業時間を確認



治具No0  
(新治具)

治具No1,2,4,5,6  
(旧治具: No3は欠番)



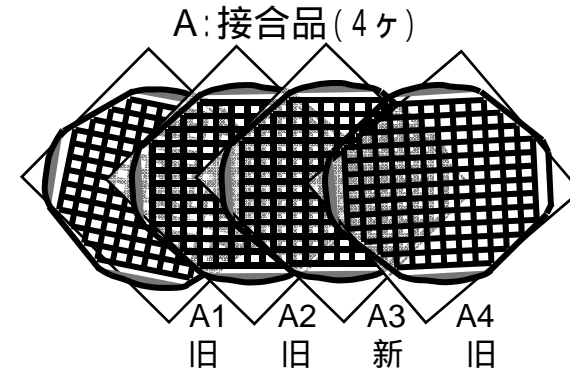
治具No0 No1 No2

No4 No5 No6

陽極接合炉

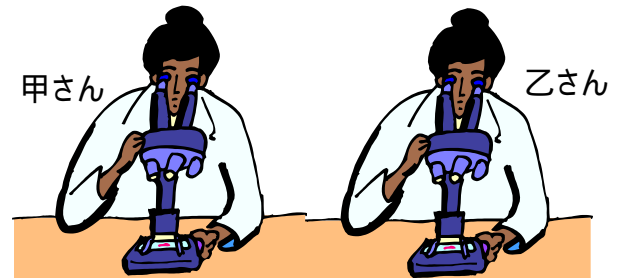
# 対策3

接合品、測定者、測定位置、測定繰返しに  
ついて実験計画法を用いて解析



A: 接合品 (4ヶ)

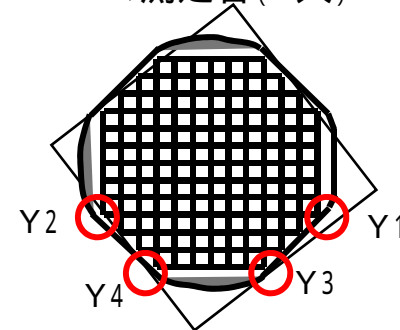
A1 A2 A3 A4  
旧 旧 新 旧



甲さん

乙さん

B: 測定者 (2人)



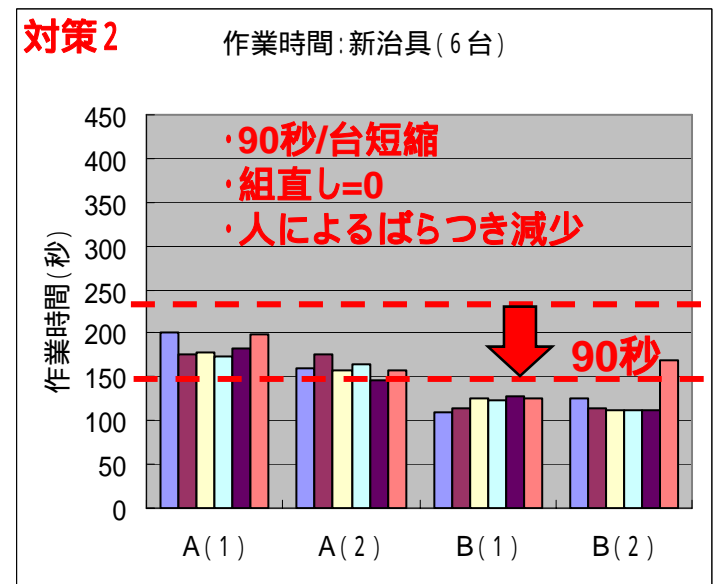
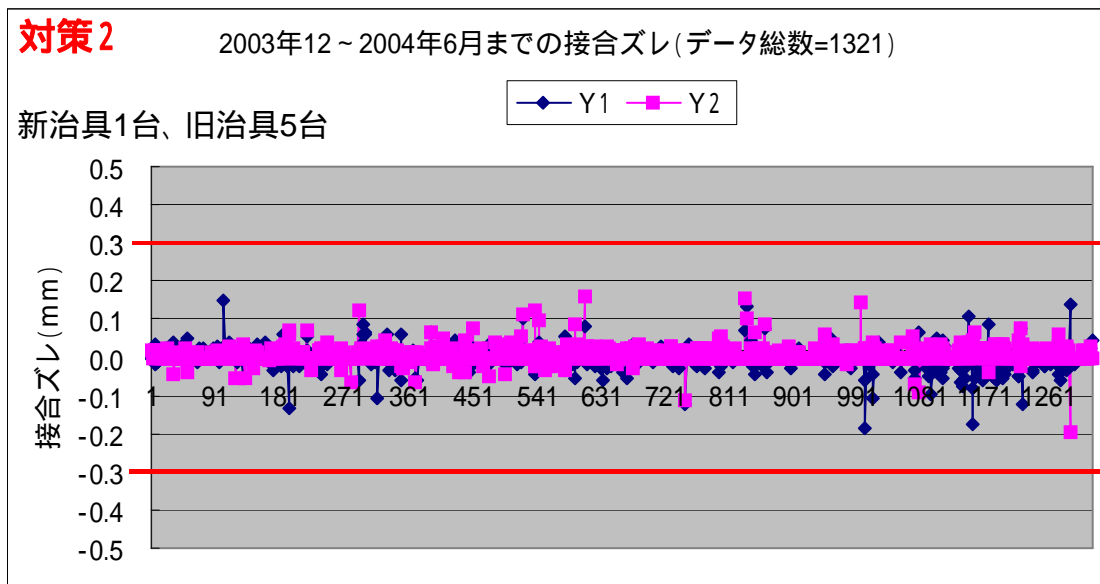
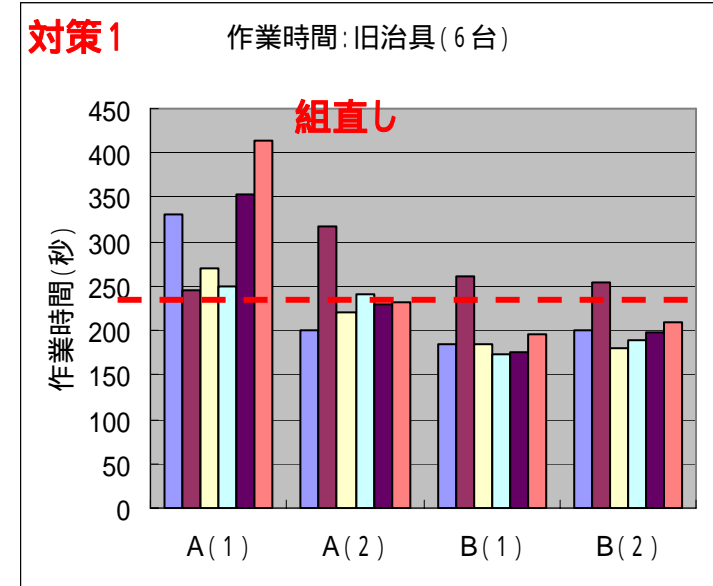
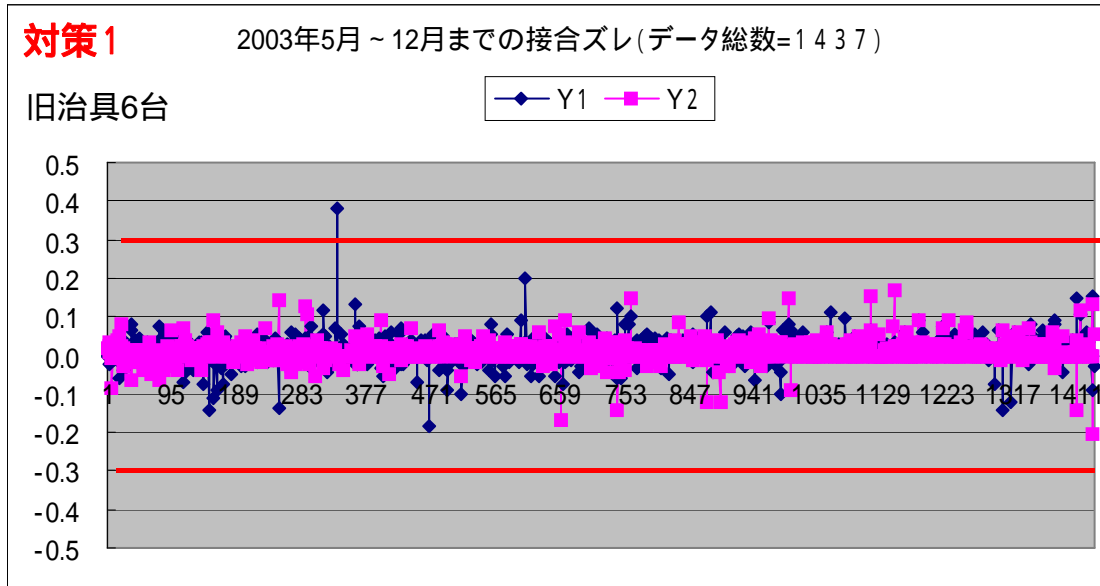
C: 測定位置 (4ヶ所)

D: 測定繰返し (3回)



# 対策2の結果

新治具1台作成 → 接合ズレ(Y1、Y2):不良品=0。管理図による管理に結びつける  
 Y1、Y2、Tを確認 作業時間(T) :240秒/台→150秒/台(-38%)、組直し=0、ばらつき減少



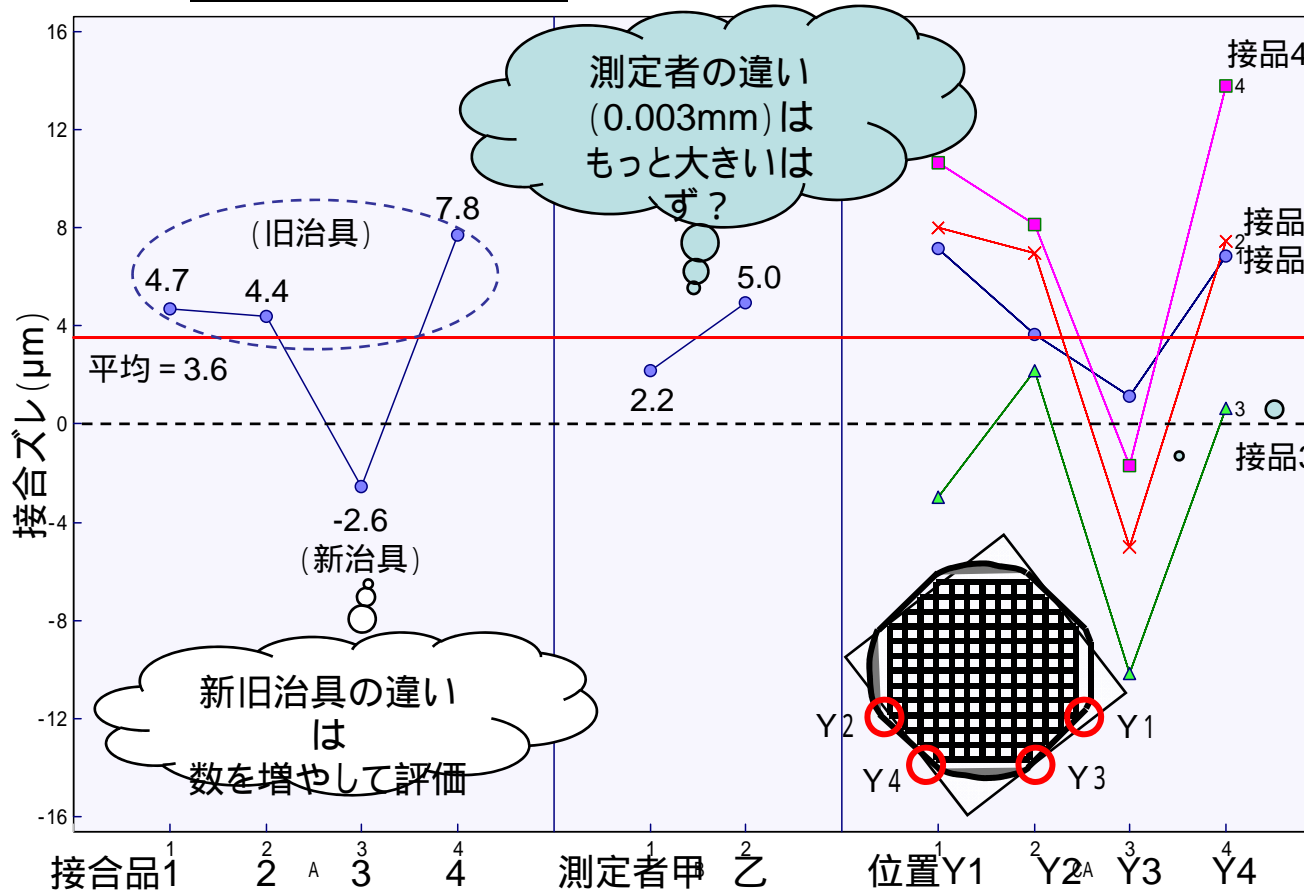
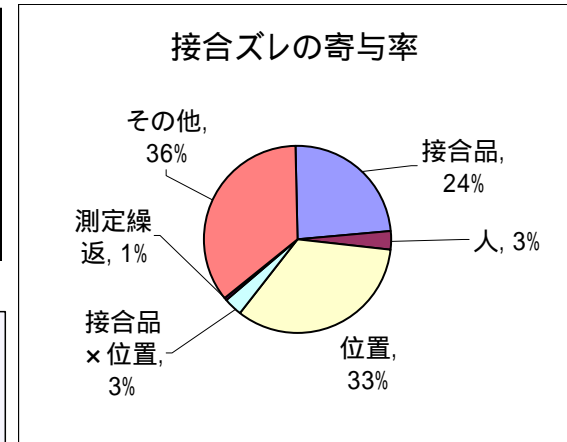
# 対策3の結果

接合品、測定者、測定位置の影響が大きい(寄与率60%)がその他の影響も大(36%)

分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F0	検定	P値	E(V)	下限	上限
1 接合品	A	1374.708	3	458	21.5	**	0		
2 人	B	187.042	1	187	8.8	**	0.004		
3 位置	C	1840.375	3	613	28.8	**	0		
4 交互作用	AC	361.875	9	40	1.9		0.066		
5 測定繰返	D	20.438	2	10	0.5		0.621		
6 誤差	ABCD	1641.188	77	21				21.31	16.71 28.34
計		5425.625	95						

\*\* 有意水準1%で有意差あり



なぜY3が小さくY4が大きい?

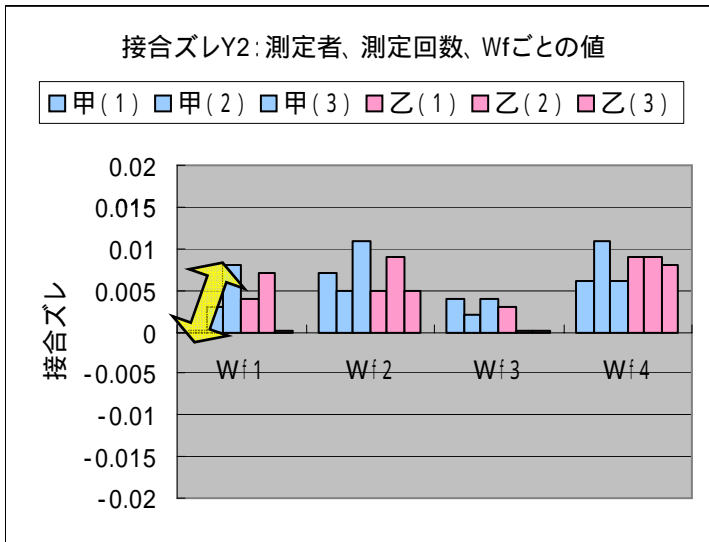
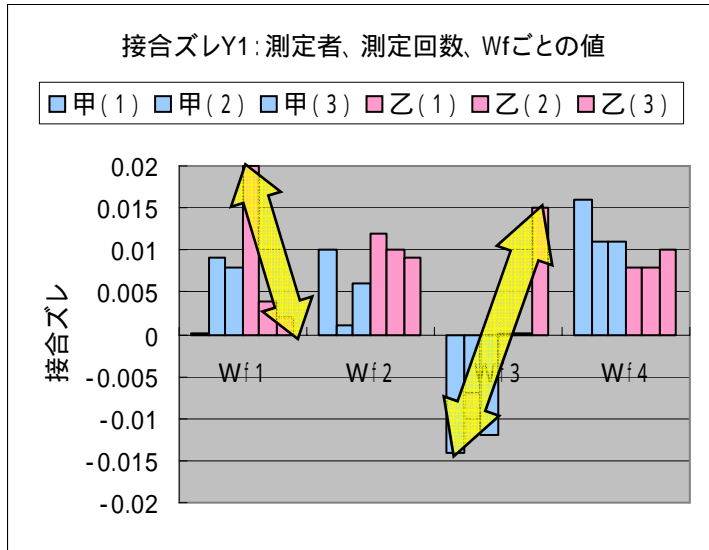
ウエハーはY1, Y2, Y4で飛び出しY3は引っ込んでいる?

ウエハーとガラスの位置関係を治具構造から考えてみる

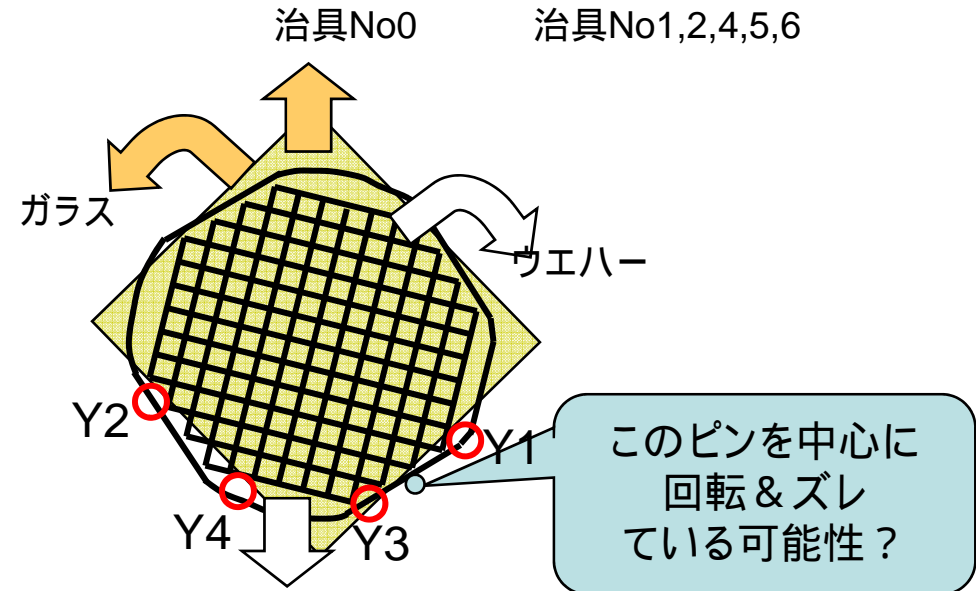
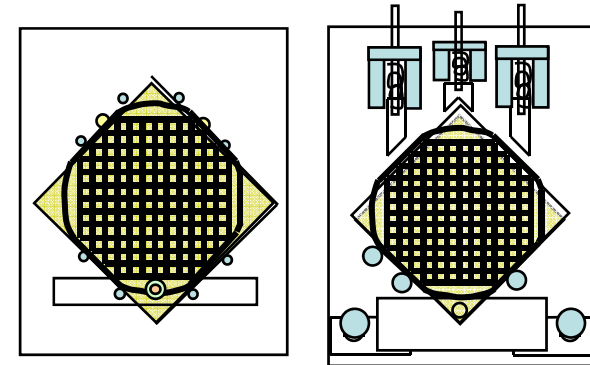
# 対策3の考察

## 測定者についての考察

- ・測定者によるばらつきは0.03程度、
  - ・同一作業者でも、0.01～0.02ばらつく
- 分散分析は参考値と考える



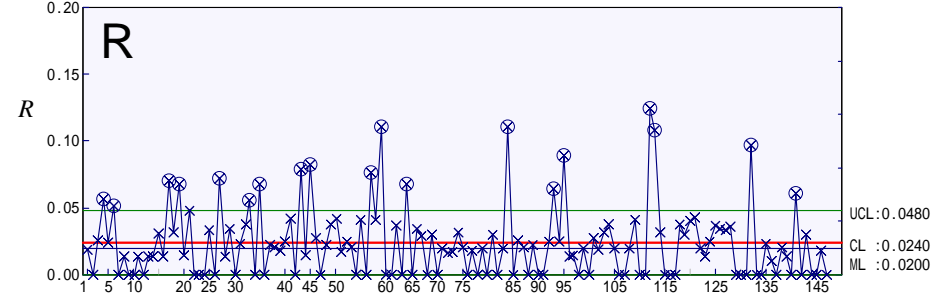
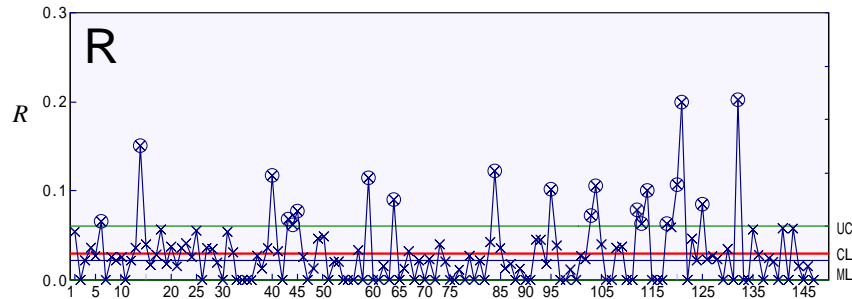
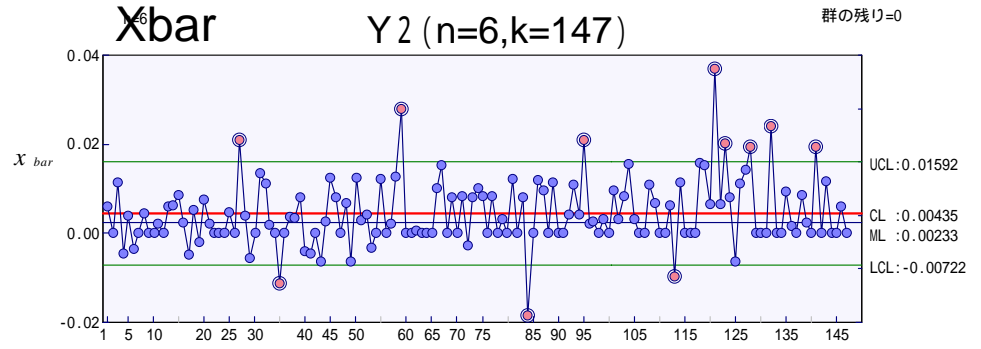
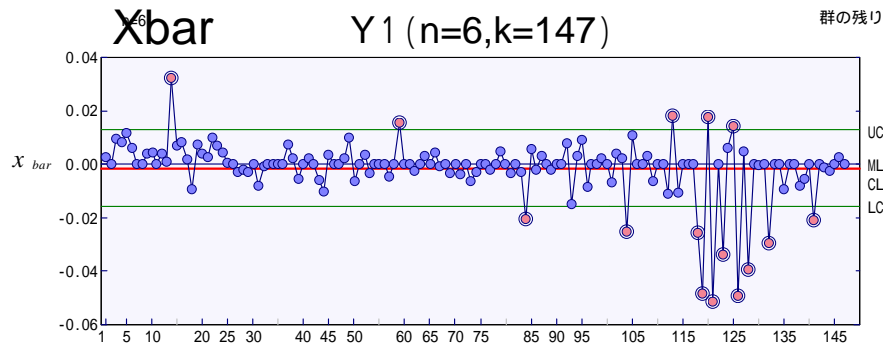
## 測定位置についての考察



- ・新たな発見だが別途確認が必要  
(新治具の構造では発生しにくいはず)
- ・Y1とY2の対称性がないことを理解

# これからの管理

## -管理図による管理を目指して-

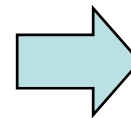


03/12/19

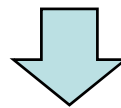
04/06/23 03/12/19

04/06/23

対策2で、2003年12月～2004年6月まで不良品=0を確認  
そこで郡の大きさ6(1度の作業台数)、郡の数147(新1台  
/旧5台を同時使用)のXbar-R管理図を作成したが・・・



「管理状態にない」!



もし工程能力が大きければ  
特に対策を打つ必要もない  
という考えもあるが・・・?

Xbar-R管理図ではなく、X-R管理図を用いて、治具ごとの管理を行うべき(\*まとめ参照)  
新JIS: 「解析用」管理図で使用する「標準値」を推定→その後「管理用」管理図で管理したい

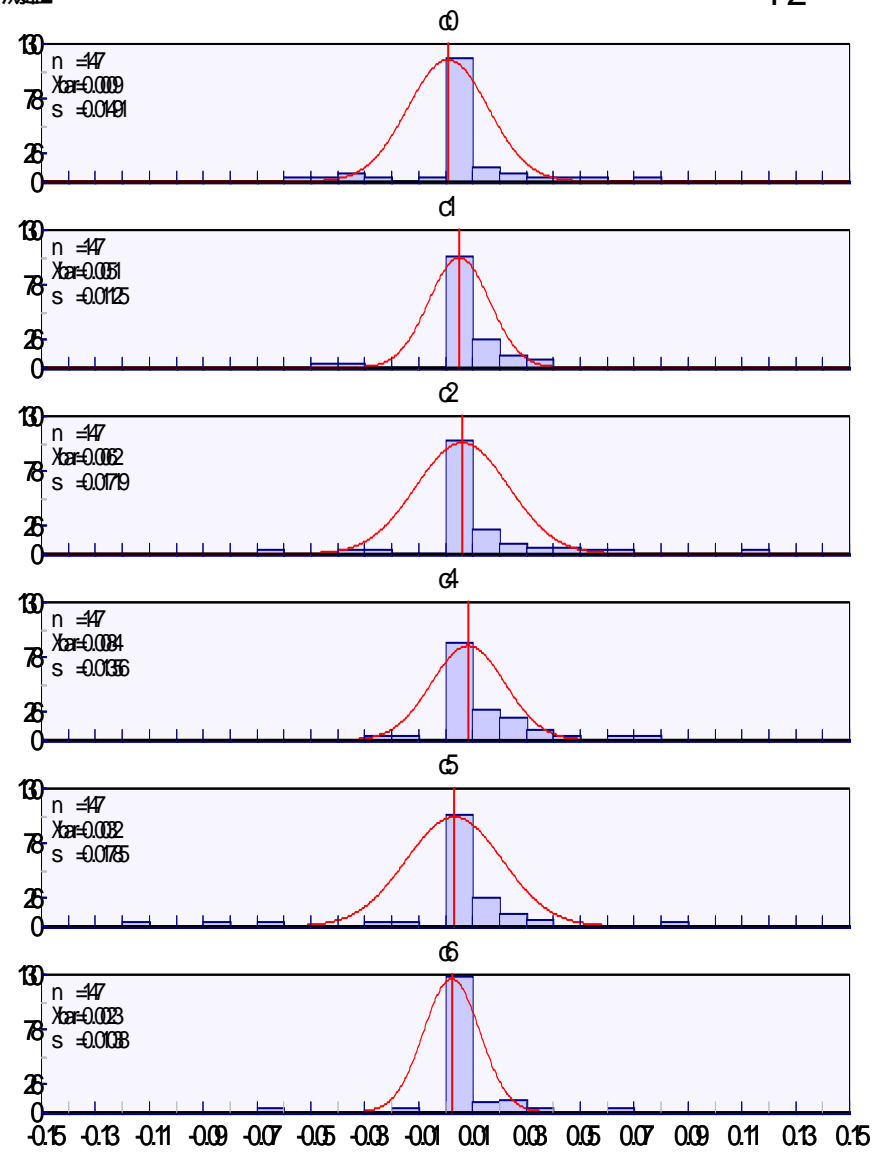
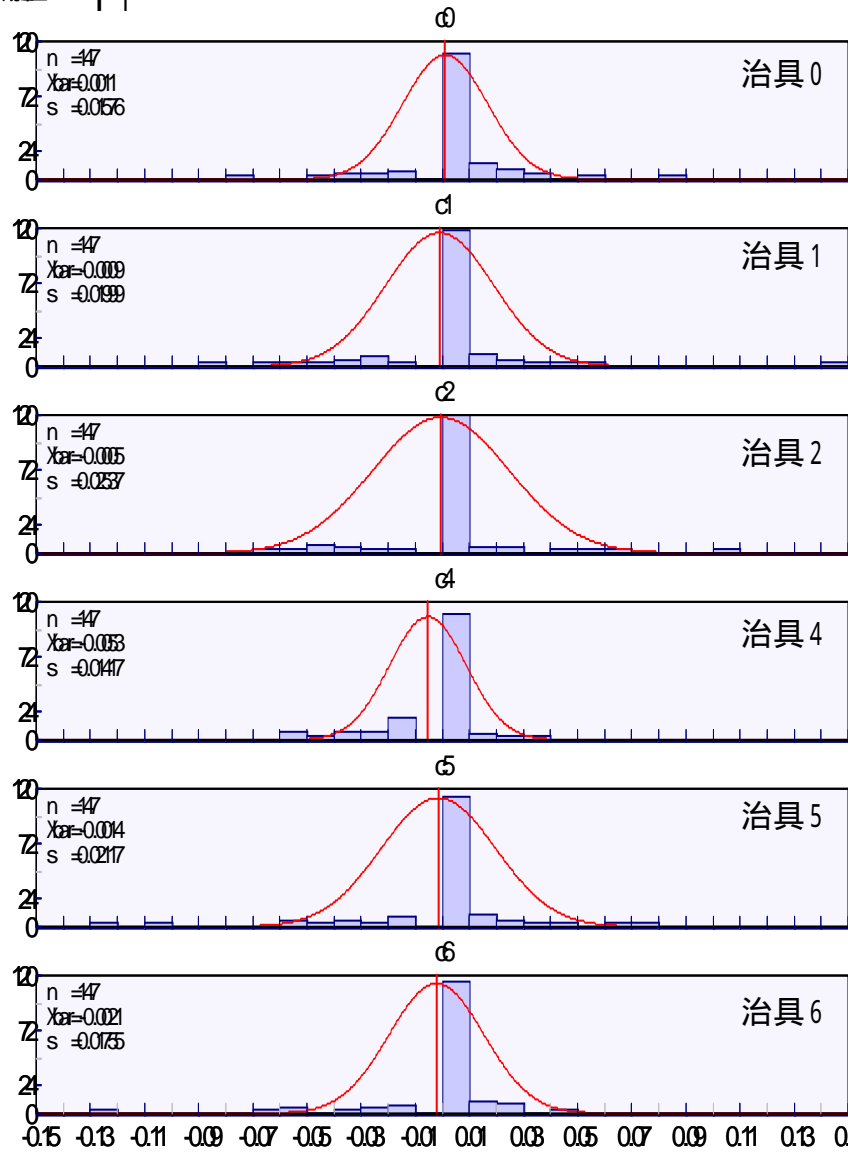
# これからの管理

## - 治具ごとの管理: Y1, Y2ヒストグラム -

測値 Y1

測値

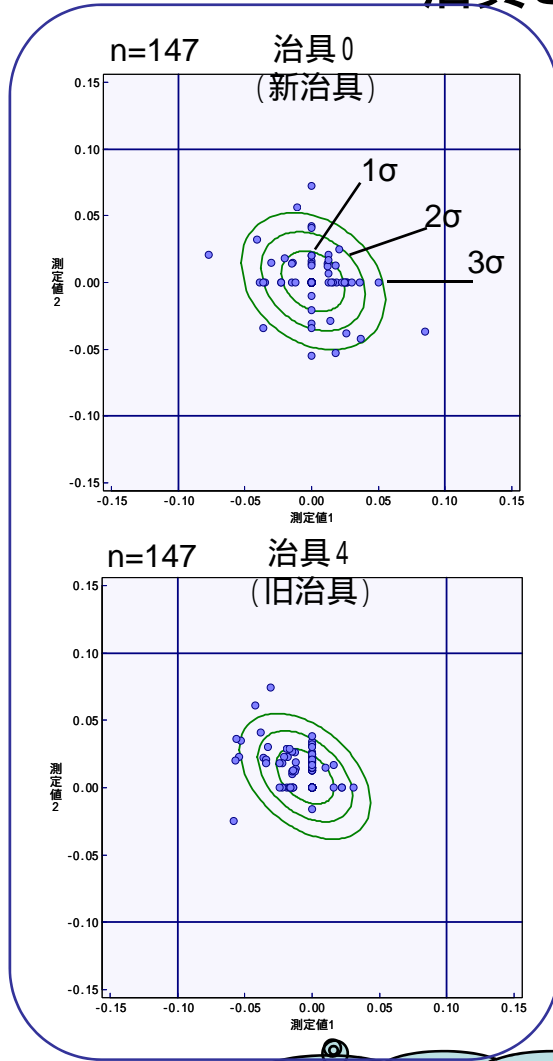
Y2



「ずれ」は正規分布せず、計算された標準偏差σは非常に小さい(標準値には使えない)

# これからの管理

## - 治具ごとの管理: Y1、Y2の2次元(2変量)分布 -



項目	横軸	縦軸
変数番号	13	14
変数名	測定値1	測定値2
データ数	147	147
最小値	-0.178	-0.068
最大値	0.106	0.111
平均値	-0.0005	0.0062
標準偏差	0.02537	0.01719
相関係数	0.026	
上限規格値	0.100	0.100
下限規格値	-0.100	-0.100
規格外数	3	1

項目	横軸	縦軸
変数番号	28	29
変数名	測定値1	測定値2
データ数	147	147
最小値	-0.125	-0.065
最大値	0.041	0.066
平均値	-0.0021	0.0023
標準偏差	0.01755	0.01038
相関係数	-0.245	
上限規格値	0.100	0.100
下限規格値	-0.100	-0.100
規格外数	1	0

新治具と旧治具No4では  
±0.1mm以上のズレな

標準偏差σが非常に小さいため、3σ外のデータが多い  
(特に旧治具1,2,5,6は±0.1外あり)

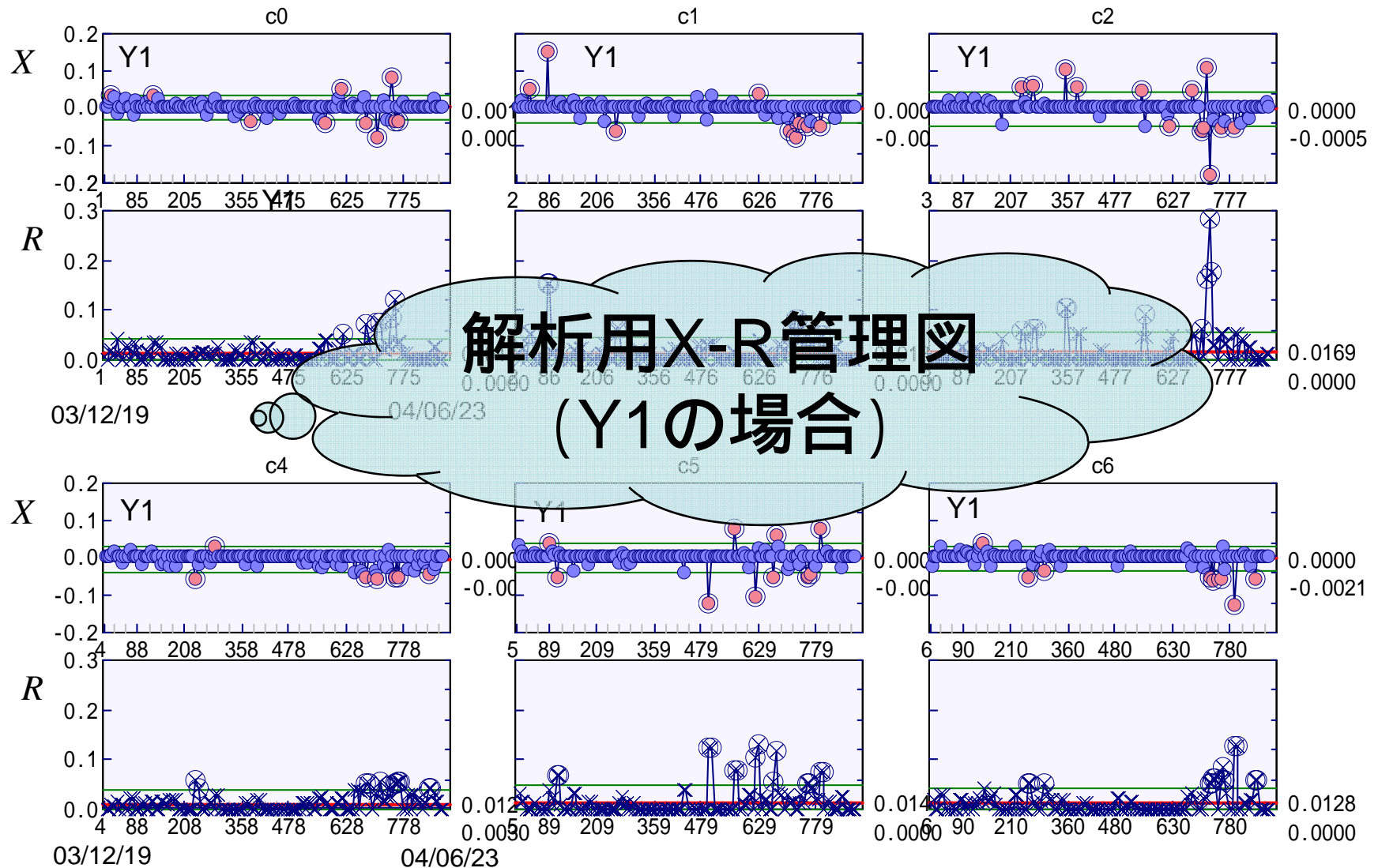


治具ごとに「±3σ外の頻度」で発生する「接合ズレ」の大きさを推定し、Rの標準値を決定する

# X-R管理図による管理(案)

対策1~3で得られた情報、及び「これからの管理」を参考に諸条件を整え  
解析用X-R管理図を作成し、管理用X-R管理図に発展させていきたい

群の残り=0



# 改善事例1のまとめ

1. 接合ズレに対して対策をとり、不良発生をゼロに押えた
2. 特に新治具を導入することで、 $\pm 0.1\text{mm}$ 以上の接合ズレがなくなり、1台あたりの位置合せ作業時間を240秒(4分)から150秒(2.5分)に短縮(-38%)した
3. 接合ズレの測定では、物、人、測定位置の影響(寄与率)を把握できた
4. 特に、ウエハーとガラスの「回転とズレ」の新たな知見が得られた
5. 接合ズレの管理を管理図で行うため、管理用のX-R管理図の検討を始めた

## 謝辞

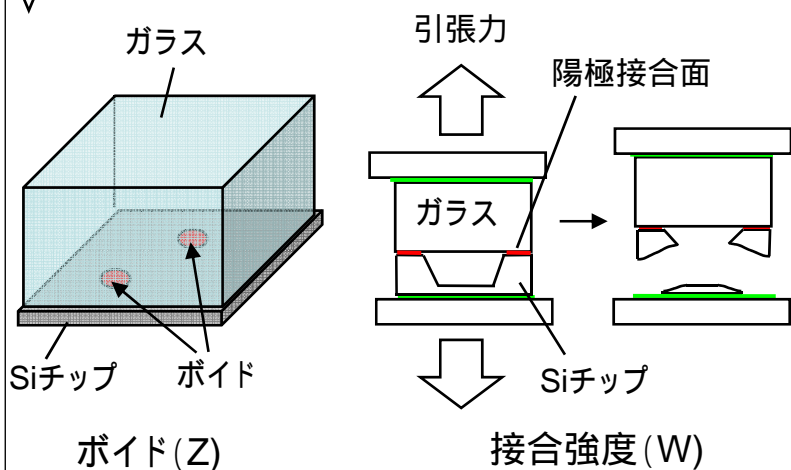
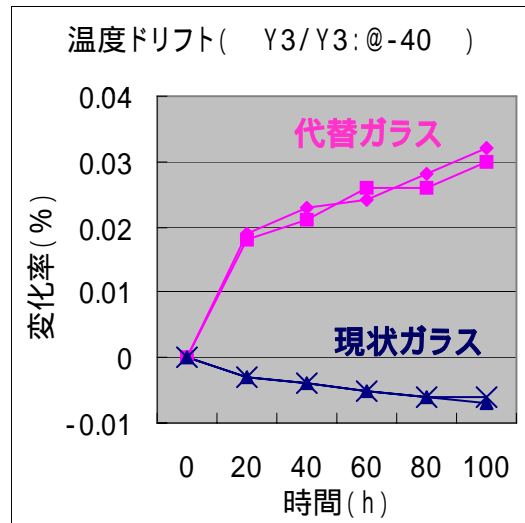
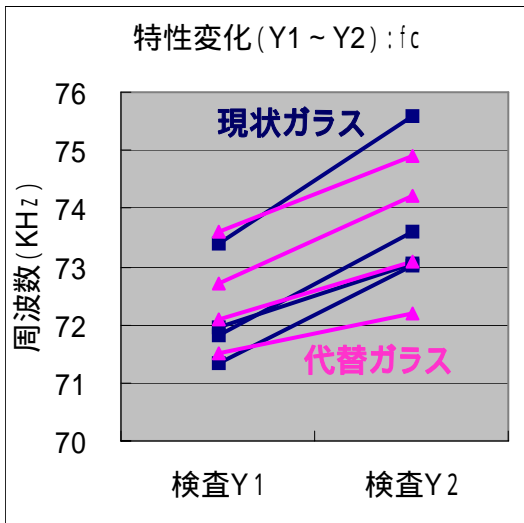
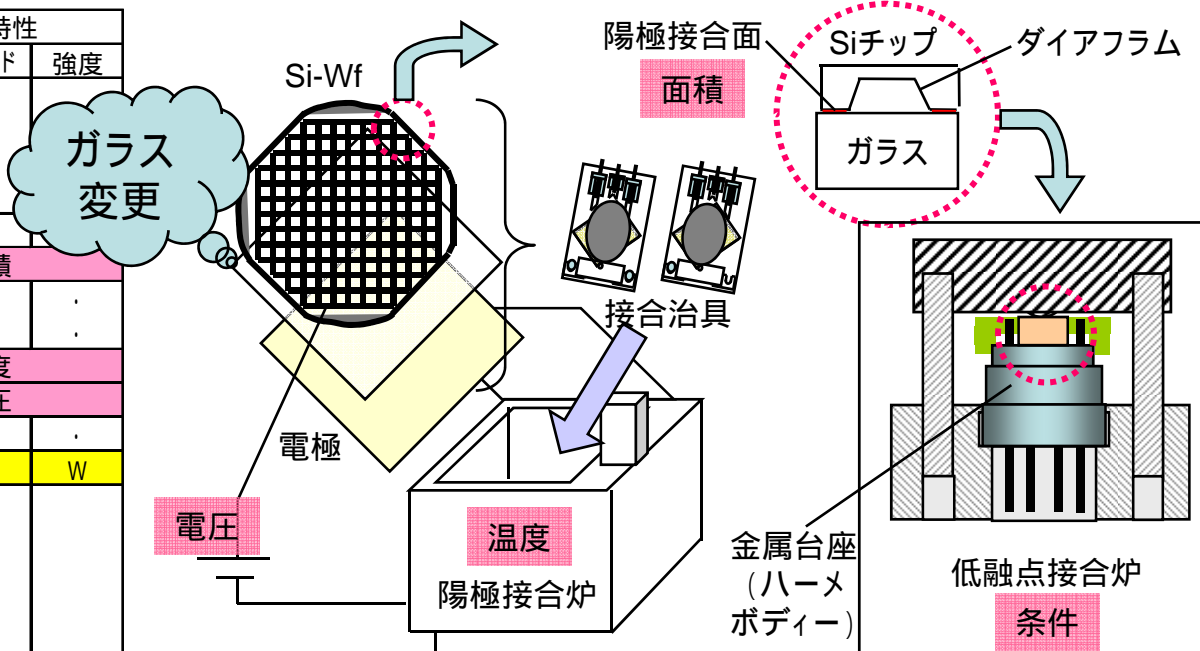
「これからの管理」においては、OfficeSQCの葛谷氏から丁寧なご指導と貴重な助言を頂きました。御礼を申し上げます



# 改善事例2 ガラス変更と特性確認

M:測定

工場	工程	内容	作業単位	評価特性		
				電特	ボイド	強度
駒ヶ根	プロセス	振動子形成	Si Wf	.	.	.
		コンタクト形成		.	.	.
		電特検査1		Y1	.	.
		ダイアフラム形成		.	.	.
	接合	ガラス印刷	ガラス板	面積		
		溝入れ		.	.	.
		穴あけ		.	.	.
		ハーフカット	接合品	温度		
		陽極接合		電圧		
		フルカット	チップ	.	.	.
	外観検査	.		Z	W	
	ASSY	ハーメ洗浄	ASSY	条件		
		低融点接合		Y2	.	.
		電特検査2		Y3	.	.
甲府	ASSY	電特検査3	Y4	.	.	
カプセル	電特検査4	カプセル	Y4	.	.	



特性変化(Y2 - Y1)、温度ドリフト( $\Delta Y3/Y3$ )、ボイド(Z)、接合強度(W)を確認

# 現状、目標、実験条件

**現状** 代替品は、40 (100h)での温度ドリフトとボイド(外観検査)に問題あり(04年8月確認)

評価特性の現状把握(温度ドリフトは絶対値で判断する)

特性	名称	従来品	代替品	判定
Y2 Y1	特性変化(fc差)	< ±2KHz	< ±2KHz	
ΔY3/Y3	温度ドリフト(-40 )	- 0.01%	+ 0.03%	
Z	ボイド(外観検査)	レベル3	レベル5	×
W	接合強度	> 60N	> 60N	

ボイドレベルと検査歩留(予想)

レベル	> 0.3	> 0.1	< 0.1	歩留
1	0	0	0	100%
2	0	2	不問	100%
3	0	4	不問	100%
4	1~3	不問	不問	95%
5	> 4	不問	不問	90%

**目標** 実験計画法により特性に影響を与える工程要因を絞込む。ガラス材料と実験納期に制限があるため、工程要因と水準は下記のようにする(後日要因と水準を増やした追加実験を行い最適条件を決定し目標達成の可能性を判断する)

実験条件(青が現状の製造条件)

特性	名称	現状	目標	重要度	難易度
Y2 Y1	特性変化	< ±2KHz	< ±2KHz		
ΔY3/Y3	温度ドリフト	+ 0.03%	+ 0.02%		
Z	ボイド	レベル5	レベル3		
W	接合強度	> 60N	> 60N		

因子	単位	水準1	水準2
A温度		370	400
B電圧	V	700	900
C面積	mm <sup>2</sup>	30	40
D条件			
炉	号機	5	10
最大温度		470	450
ガ転移時間	h	3	1
Total時間	h	10	8

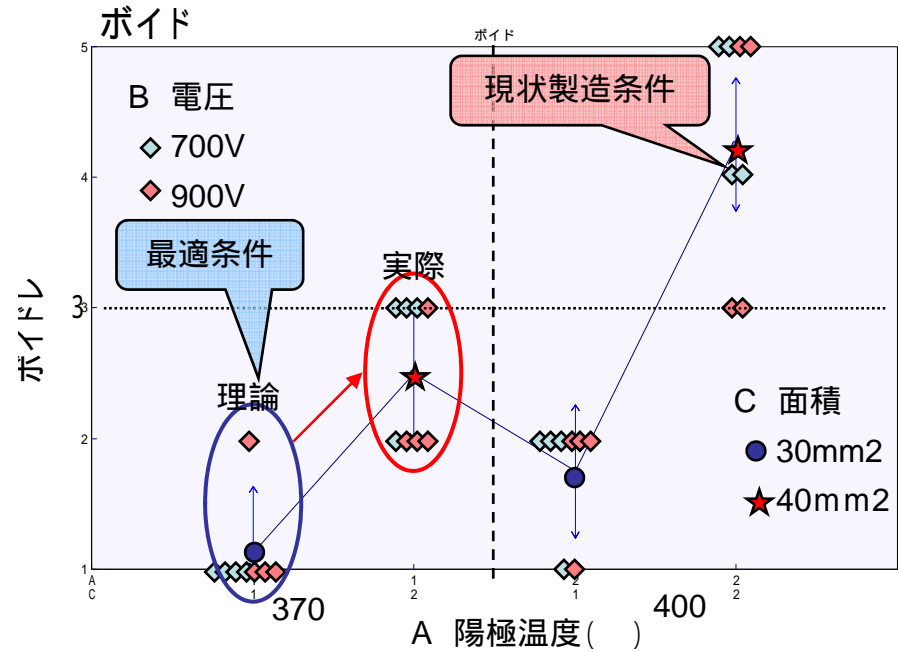
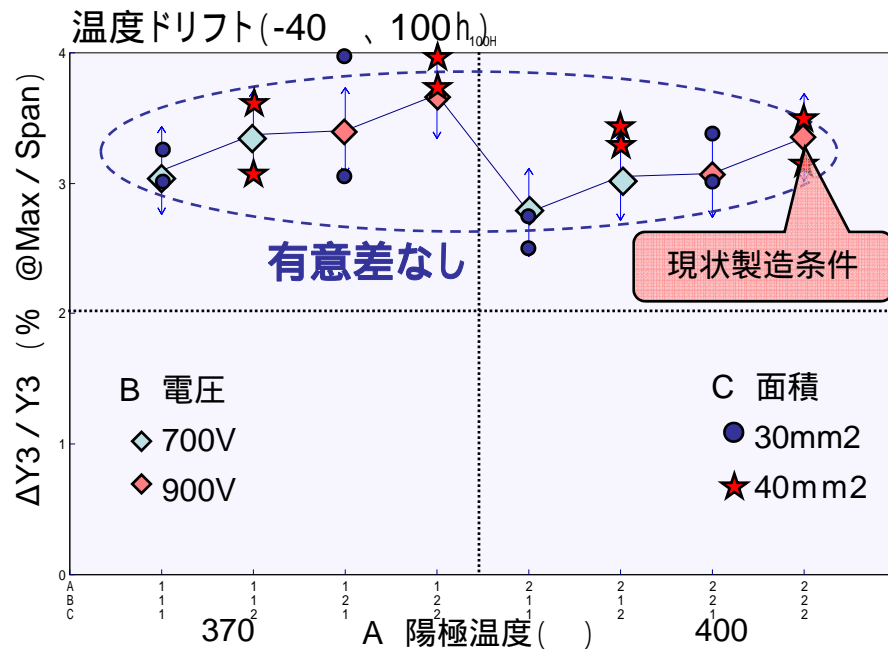
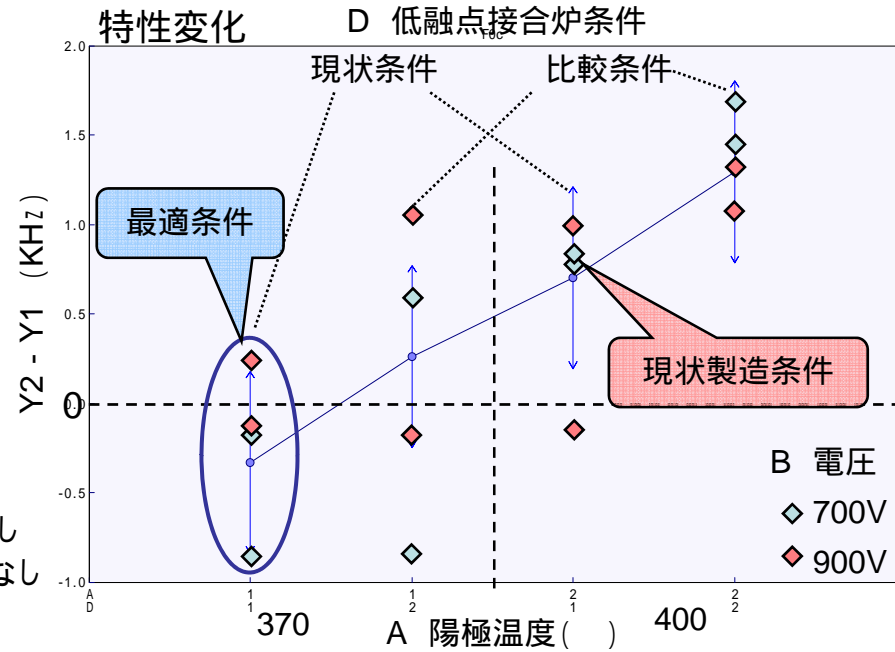
# 要因分析

分散分析結果 有意水準: ...1% ...5%

特性	A 温度	B 電圧	C 面積	D 条件	AC 交互作用
特性変化		-	-		-
温度ドリフト	-	-	-	-	-
ポイド					
接合強度	現在評価中				

**最適条件(理論 → 実際)**  
 A 温度 370  
 B 電圧 700V  
 C 面積 30mm<sup>2</sup> → 40mm<sup>2</sup>  
 D 条件 現状条件

**最適条件(実際)**  
 ・面積変更は現実不可能  
 ・40mm<sup>2</sup>でもポイド目標3をクリアし  
 特性変化、温度ドリフトとも影響なし



特性に影響を与える要因を、陽極接合のA温度、C面積、D低融点接合の条件、に絞込んだ特性変化とボイドは目標を達成するが、温度ドリフトはこの要因だけでは目標達成が困難

実験要因	単位	現状条件	改善条件	名称	要因	現状	目標	改善条件	判定
A温度		400	370	特性変化	A、D	< ±2KHz	< ±2KHz	< ±1KHz	
B電圧	V	900	700	温度ドリフト	-	±0.03%	±0.02%	±0.03%	
C面積	mm <sup>2</sup>	40	←	ボイド	A、C、AC	レベル5	レベル3	レベル3	
D条件		*	←	接合強度	評価中	> 60N	> 60N	評価中	-

## 考察

温度ドリフトの改善は、A～D以外の要因、または今回の水準範囲外の影響を考慮する必要あり  
 要因として、**接合時間**、ガラスの厚さ、加工形状、物性など、水準範囲として**より低温の温度範囲**

- (1) より短い接合時間、より低い接合温度でよい特性が得られる可能性あり
- (2) ガラス厚さ、加工形状、面積の最適化で温度ドリフトの改善可能性あり(技術部データより)  
 ……工程設計・関連部品の変更、接合強度、加工時間の評価が必要
- (3) ガラス物性の改善は大きな効果が期待できる ……ガラスメーカーの協力が必須

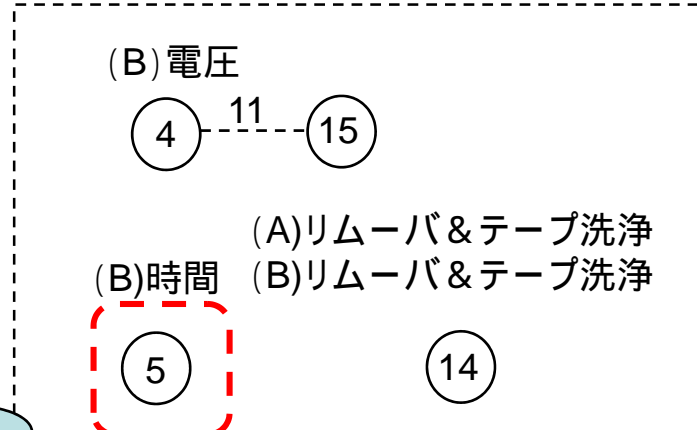
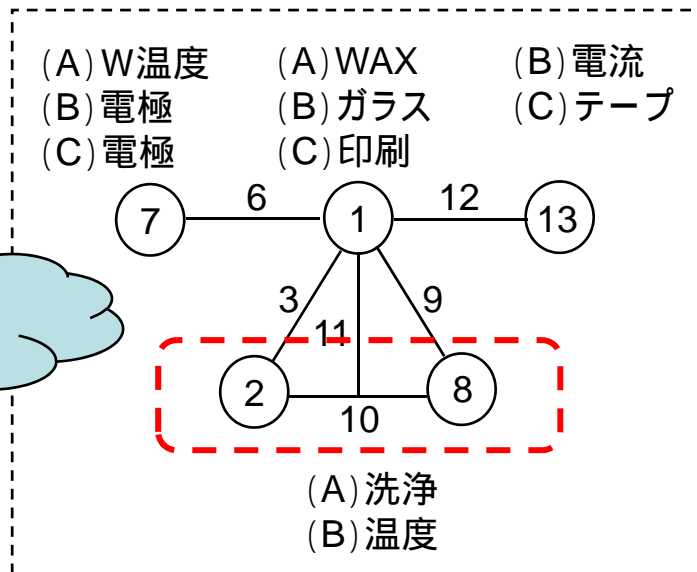
(1)については今後の取組みに反映させる。(2)についてはコストダウンを目指した改善活動の範囲を越えている。将来の新製品開発時のボトルネックエンジニアリング(BNE)として取り組むことが  
 適当と考える(3)はガラスメーカーに協力をお願いしている

# 今後の取組み

考察を踏まえ、QCD改善のさらなる取組み(加工洗浄、陽極接合、チップ破損の改善)とリンクさせ、変更可能な工程要因(温度、時間等)の最適水準を探索するためL16実験を実施中

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	a	b	ab	c	ac	bc	abc	d	ad	bd	abd	cd	acd	bcd	abcd
A 加工洗浄 改善	W A X	洗 浄					W 温 度	洗 浄		洗 浄				R O	
B 陽極接合 改善	ガ ラ ス	温 度		電 圧	時 間		電 極	温 度		温 度			電 流	R O	
C チップ破損 改善	印 刷						電 極								
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2

温度は4水準  
低温側に拡大



時間は2水準  
短時間を評価

## 改善事例2のまとめ

1. 代替ガラスを採用する場合、特性変化( $Y2 - Y1$ )とボイドを改善するためには陽極接合温度を低温化(400 → 370 )することが必要であることが判明  
しかし、温度ドリフトは今回取上げた工程要因、水準範囲では改善不可能
2. 圧力センサーQCDの更なる改善をL16実験計画法にて計画している  
この中で、温度ドリフト含む各種特性について有意な要因の最適な水準を探索し、代替ガラスの評価を決定させる

## 謝辞

「要因分析」と「今後の取組み」においては、元埼玉工業大学の安部教授より丁寧なご指導と貴重な助言を頂きました。御礼を申し上げます

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>