

クリーンルームにおけるロボット作業と汚染制御

西岡利晃 武井克丞

Robot Work and Contamination Control in Clean Room

Toshiaki Nishioka Yoshitsugu Takei

Abstract

For a clean room requiring a higher degree of cleanliness than conventional clean rooms, mechanical operations and/or robot work are increasingly needed instead of human workers, which are the greatest source of particle emission. This paper describes measurements of particle emissions and contamination on the surface of the work table in robot works. The results obtained are summarized as follows: Rates of particle emission from the robot are very low and much the same from all shafts of the robot. More particles are discharged from the vertical shaft moving up and down than other joints moving horizontally. There was little particle settlement on the surface of the work table due to robot work, which was hardly different from the condition with the robot at rest.

概 要

クリーンルームにおける最大の発塵源は、そこで作業する人間である。製品の歩留まりを向上させるために、ロボットの導入などにみられる作業の自動化によるクリーンルーム作業の高清浄化が必要とされている。この研究では、ロボットを研究用クリーンルームに持込み、ロボットが作動した場合の発塵量およびこの発塵による作業机上面への塵埃の沈降量を測定し、発塵量の低減化の方法、気流の乱れとその対策法を検討した。実験の結果以下のことが明らかになった。(1) クリーンブースを用いた発塵測定より、ロボットからの発塵量は非常に少なく0~1,700個/minで、ロボット動作毎の差も特に認められなかった。(2) ロボットの関節近傍での発塵測定より、ロボット上下軸からの発塵量が他の関節に比して多い。(3) ロボットの動作による作業テーブル上の汚染は非常に少なく、静止時とほとんど差がない。また、塵埃の付着は、ロボットの腕の停止位置が他より多い。

1. はじめに

半導体集積回路の高集積化にともない、クリーンルームはさらに高い清浄度が必要とされる。クリーンルームにおける最大の発塵源は、そこで作業をする人間であると言われており、高清浄度を実現するためには、作業の自動化、ロボット化が求められる。この研究では、ロボットを導入した場合、クリーンルームの清浄度におよぼす影響について検討した。ロボットによる影響は、ロボット自体からの発塵、ロボットの動作による気流の乱れなどが考えられる。このため、ロボットからの発塵およびロボットが実際の作業動作を行なった場合の作業テーブル上に沈降付着する塵埃を計測した。

2. 実験概要

2.1. 実験種類と実験条件

ロボットの発塵特性と作業テーブル上の汚染を検討するために、表-1に示す実験を行なった。前者では、どの部位からの発塵が多いかを知るために、各関節部近傍での発塵を測定し、さらにクリーンブース内でロボット各種動作ごとの発塵量を測定した。

2.2. 実験供試ロボット

実験に使用したロボット(ウェハ検査用ロボット)は水平多関節型ロボットであり、その仕様を表-2に、その外観を図-1に示す。ロボットは本体内を負圧にし、ロボットからの発塵を減少させるための排気をしながら

実験種類	測定項目	ロボット設置場所	平均風速(m/sec)	温度(℃)	ロボット動作	
ロボットの発塵特性	バックグラウンド	浮遊塵埃濃度	クリーンルーム	0.36	21.7	
	ロボット近傍での発塵測定	浮遊塵埃濃度	クリーンルーム	0.36	20.5	S軸*1・θ1軸*1・θ2軸*1・Z軸*1, 全体1*2
	グリーンブースを用いた発塵量の測定	浮遊塵埃濃度	クリーンブース	0.19	21.5	S軸*1・θ1軸*1・θ2軸*1・Z軸*1, 全体1*2・全体2*2・全体3*2
	Z軸からの発塵測定	浮遊塵埃濃度	クリーンベンチ	0.41	21.5	Z軸*1
作業面汚染	バックグラウンド試験	付着塵埃数	クリーンルーム	0.36	21.7	
	ロボット動作試験	付着塵埃数	クリーンルーム	0.36	20.5	全体1*2
	ロボット動作試験	浮遊塵埃濃度	クリーンルーム	0.36	21.9	全体1*2
	ロボット動作試験	付着塵埃数	クリーンベンチ	0.41	19.9	全体4*2

*1単軸動作 *2全軸合成動作

表一1 実験種類と実験条件

	動作範囲	動作速度		
		高速	中速	低速
手首上下(Z軸)	160mm	510	390	250mm/sec
第1アーム旋回(θ1軸)	± 90°	2,170	1,720	1,100mm/sec
第2アーム旋回(θ2軸)	± 160°	1,390	1,070	680mm/sec
手首旋回(S軸)	± 180°	540	410	260° /sec
最大可搬重量		1	3	5 kg
合成速度		max3,500mm/sec		
位置繰返し精度		± 0.05mm以下		

表一2 ロボットの仕様

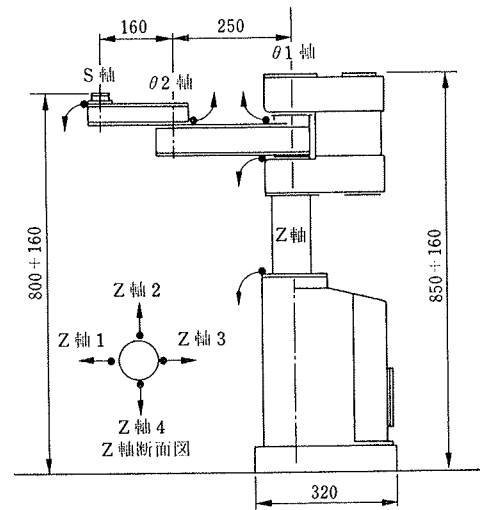
実験を行なった。実験は当技術研究所研究用クリーンルーム¹⁾内で行ない、ロボットの動作速度は、通常の動作速度(低速)とした。

2.3. 実験方法

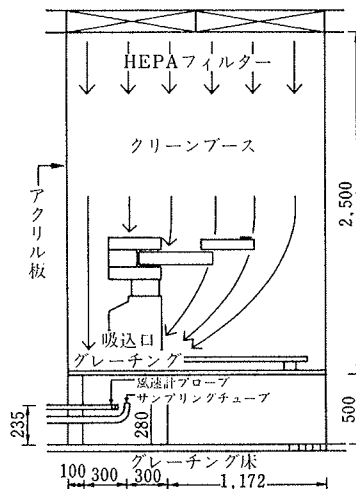
2.3.1. ロボットの発塵特性

(1) ロボット近傍での発塵測定^{2)~4)} ロボットを単体でクリーンルーム内に置き、サンプリングノズルをロボットの各関節から 10 mm の位置に設置する(図一1 参照)。各関節単軸動作を行ない、そこから発生する塵埃濃度を10分間測定する。

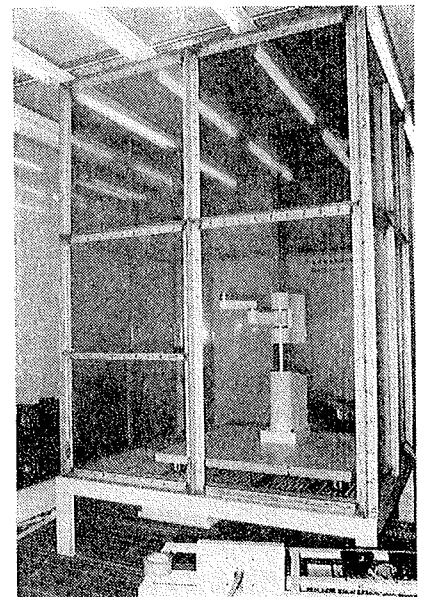
(2) グリーンブースを用いた発塵測定⁵⁾⁶⁾ クリーンルーム内にグリーンブースを設置し、この中でロボットを駆動させる。グリーンブースはクリーンルーム内にアクリル板で室(1,872×1,420×3,000: 図一2, 写真一1 参照)を設けたものである。グリーンブース上方よりHEPA フィルターを通した空気を導入し、グリーンブース床面に開けた穴(600×600)からグリーンブース外へ空気を排出する。この排気口の中央で塵埃濃度と風速を測定する。塵埃濃度の測定は10分間行なう。



図一1 ロボット近傍での測定点



図一2 グリーンブース使用の系統図



写真一1 グリーンブースとロボット

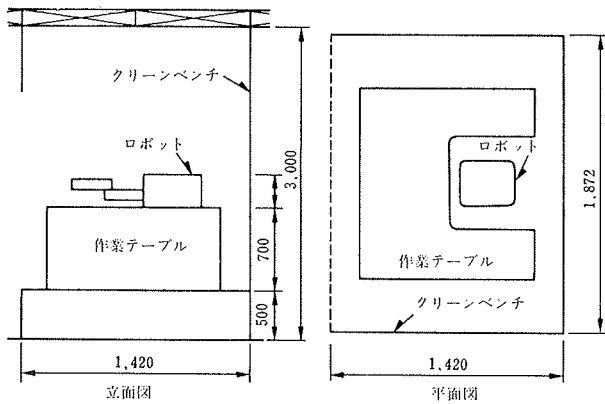


図-3 クリーンベンチでのロボットの配置

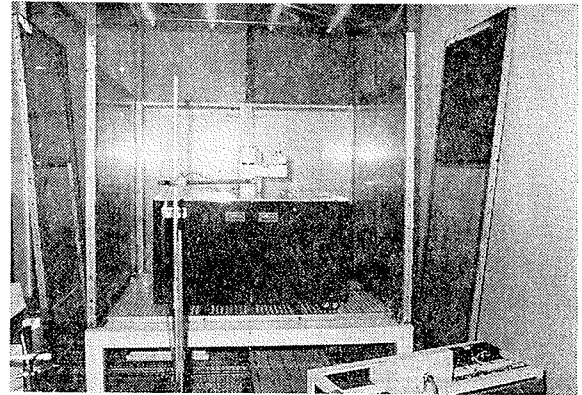


写真-2 クリーンベンチおよびロボット

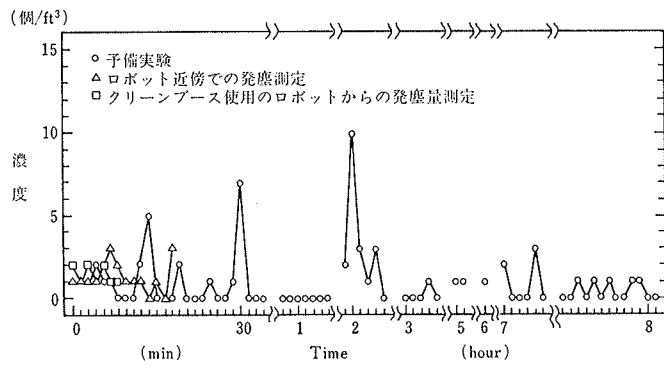


図-4 バックグラウンド濃度の経時変化 (0.3 μm 以上)

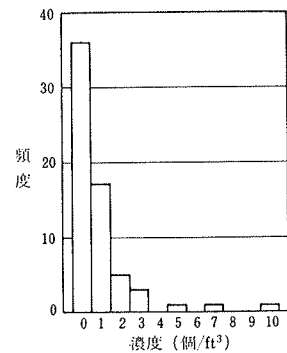


図-5 バックグラウンド濃度の頻度分布

2.3.2. 作業テーブル上の汚染 クリーンルームまたはクリーンベンチ (図-3, 写真-2 参照) にロボットを設置する。「左に置かれたカセットからウェハを取り出し、テーブルの中央に運ぶ。ウェハ検査後右側のカセットに収納する。」

という一連の動作によりロボットから発生する塵埃を作業テーブル上に並べたウェハにて捕える。沈降付着する塵埃を採集するウェハは、人手によって、作業テーブル上に並べたり回収したりする。人手によるウェハの設置、回収に起因する塵埃の付着やクリーンルーム自体の塵埃による付着 (バックグラウンド濃度) を考慮するために以下の種類の実験を行なった。

(1) バックグラウンド濃度試験 ロボット静止状態でウェハを一定時間暴露する。同時にクリーンルームの清浄度 (浮遊塵埃濃度) をモニターする。ウェハ設置、回収による塵埃付着量を計るため、一部のウェハは、設置後ただちに回収する。

(2) 付着塵埃測定 ロボット動作状態でウェハを一定

	クリーンルームの塵埃濃度	ロボット近傍での発塵測定	クリーンブースを用いた発塵量測定	Z軸からの発塵測定	付着塵埃の測定 クリーンルーム	付着塵埃の測定 クリーンベンチ
サンプル数	66	14	7	10	61	26
平均値*	0.88	1.29	1.43	1.40	0.36	0.12
標準偏差*	0.94	1.14	1.20	1.18	0.60	0.34
分散*	0.88	1.29	1.43	1.40	0.36	0.12
変動係数	1.07	0.88	0.83	0.85	1.66	2.95

*単位: 個/ft³

表-3 各実験における浮遊塵埃バックグラウンド濃度 (0.3 μm 以上)

時間暴露する。ウェハの設置回収はできるだけ(1)と同様にする。

(3) 浮遊塵埃測定 ロボット動作状態で、作業テーブル上の浮遊塵埃の分布を求める。テーブル面より 30 mm の位置で、各10分間測定する。

2.4. 使用機器

塵埃濃度測定と風速測定に使用した機器は、それぞれ HIAC/ROYCO MODEL 4000/1000, ANEMOMAS TER MODEL 6141 である。付着塵埃は、ウェハに斜め (30°~40°) から光を当て、塵埃の散乱光を捕えて数える。ウェハは5インチを使用した。

3. 結果および考察

3.1. 浮遊塵埃のバックグラウンド濃度

測定部位	塵埃濃度 (個/ft ³)
バックグラウンド	1.3
S軸	2.2
θ2軸	1.7
θ1軸(上)	1.2
θ1軸(下)	2.1
Z軸1*1	0.8
Z軸2*1	27.5
Z軸3*1	34.9
Z軸4*1	1.1
Z軸1*2	0.9

*1Z軸上下 50mm
*2Z軸上下 100mm

表-4 ロボット近傍での発塵測定結果 (0.3 μm 以上)

動作部位	塵埃濃度 ¹ (個/ft ³)	発塵量 ³ (個/min)
バックグラウンド	1.4	1,400
S軸	3.2	1,700
θ2軸	1.0	0
θ1軸	1.6	200
Z軸*1	1.2	0
Z軸*2	1.8	400
全体1	2.4	1,000
全体2	1.8	400
全体3	1.6	200

*1 Z軸上下 50mm *2 Z軸上下 100mm
*3バックグラウンドより小さい値は0と表示

表-5 クリーンブース使用のロボットからの発塵量測定結果 (0.3 μm 以上)

測定部位	軸からの距離(mm)	塵埃濃度 (個/ft ³)
バックグラウンド		1.4
Z軸2	10	86.0
Z軸2	20	25.2
Z軸2	30	6.8
Z軸2	40	2.0
Z軸2	10	107.4
Z軸2	10	102.3
Z軸4	10	331.2
Z軸4*1	10	91.4
Z軸3*1	10	1.4
Z軸1	10	5.2
Z軸4	10	11.6
Z軸2	10	22.2
Z軸2	20	14.4

*1測定前にZ軸のグリスをふき取る

表-6 Z軸からの発塵測定結果 (0.3 μm 以上)

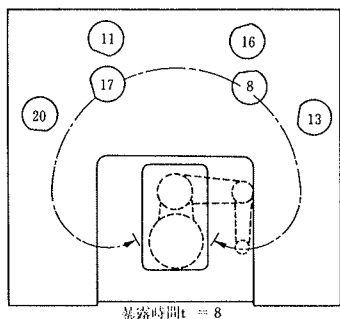


図-6 バックグラウンド試験

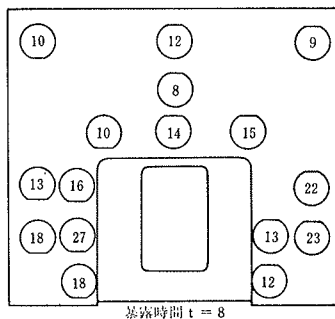


図-7 ロボット動作試験 (クリーンルーム)

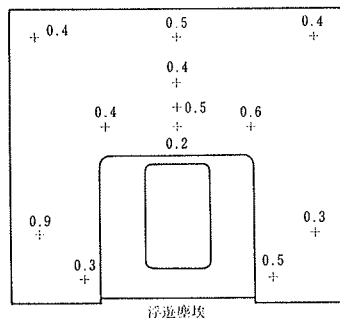


図-8 ロボット動作試験 (クリーンルーム)

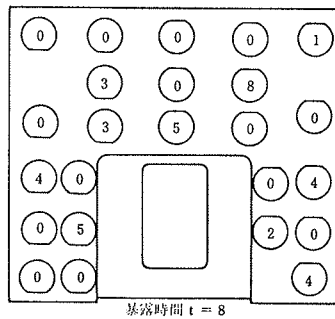


図-9 ロボット動作試験 (クリーンベンチ)

実験に先立ち予備実験として、クリーンルームにおける浮遊塵埃のバックグラウンド濃度を測定した。0.3 μm以上の塵埃濃度について経時変化を図-4に、頻度分布を図-5に示す。頻度分布はポアソン分布に近似できる。この分布による平均値、標準偏差および分散を表-3に示す。表より明らかなように、いずれの結果も0.3 μmでCLASS 2~3で、実験条件とした0.3 μmでCLASS 10を満足している。各実験のバックグラウンド濃度も併せて測定した。

予備実験と同程度であった。

3.2. ロボットの発塵特性

3.2.1. ロボット近傍での発塵測定

各測定点での10分間の平均値を表-4に示す。Z軸(上下軸)での値が他の関節でのそれに比して多い。

3.2.2. クリーンブースを用いた発塵測定

表-5にみられるようにロボットからの発塵量は非常に少なく0~1,700個/minである。この測定では前項とは異なり、ロボット動作の違いによる発塵量の差異は特に認められない。Z軸動作による発塵量に関しても、他の動作によるものと差はない。クリーンブース内の風量に比してロボットの発塵量が極めて少ないため、測定点での濃度がバックグラウンドの濃度と同程度になるためであると考えられる。

3.2.3. Z軸からの発塵測定

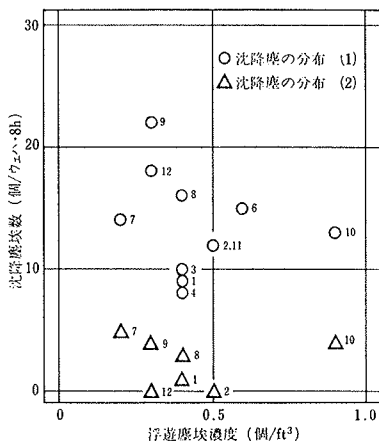
3.2.1. でZ軸からの発塵が多いという現象をさらに詳しく検討するために、クリーンベンチ内でZ軸からの発塵について

測定した。その結果を、実験を行なった順に表-6に示す。Z軸が上下運動する際に、この軸の露出部にグリスが付着する。これを布で拭き取った後の測定値は著しく減少する。従って、Z軸からの発塵はこのグリスが飛散したものであると考えられる。部分が露出しないようにこの部分を覆うことが、ロボットの発塵対策として有効であると思われる。

3.3. 作業テーブル上の汚染

3.3.1. 塵埃の分布

付着塵埃および浮遊塵埃の分布を図-6~図-9に示す。図-7, 図-8より明らかな



図一〇 付着塵埃数と浮遊塵埃濃度の関係

ように付着塵埃は、ロボット動作の停止位置で多いが、浮遊塵埃ではそれほど明確ではない。図一六と図一〇より、クリーンベンチでの測定は、クリーンルームでのバックグラウンドの場合より少ない。クリーンベンチの場合、作業テーブルが高くなり、吹出し口に近づいたことや、気流速度が速いことにより、バックグラウンド濃度もクリーンになっていることなどによると思われる。図一〇に沈降付着塵埃数と浮遊塵埃濃度を比較した。両者には特に関係が認められない。

3.3.2. 塵埃付着率

- F_{Pi} ; ウェハ設置および回収による付着塵埃数 (個)
 - F_{Bi} ; バックグラウンド試験後の付着塵埃数 (個)
 - F_{Mi} ; ロボット動作試験後の付着塵埃数 (個)
 - f_B ; バックグラウンド濃度による付着塵埃数 (個/ウエハ・h)
 - f_M ; ロボット動作による付着塵埃数 (個/ウエハ・h)
 - n ; ウェハ枚数
 - t ; ウェハ暴露時間 (h)
 - u ; 平均風速 (m/s)
 - S ; ウェハ面積 (m²)
 - C ; 浮遊塵埃濃度 (個/m³, 35.3E)
 - η ; 塵埃付着率
- $$f_B = (1/t_B) \cdot \left\{ (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n F_{Bi} - (1/n) \cdot \sum F_{Pi} \right\} \dots\dots(1)$$
- $$f_M = (1/t_M) \cdot \left\{ (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n F_{Mi} - (1/n) \cdot \sum E_{Pi} \right\} - (t_B/t_M) f_B \dots\dots(2)$$
- $$\eta = f_B/M \text{ or } f_M/M, \dots\dots(3)$$
- $$M = 3600 \cdot u \cdot S \cdot C$$

測定より、

$$(1/n) \sum F_{Pi} = 13.7$$

図一七、図一八より、

$$(1/n) \sum F_{Bi} = 14.2, (1/n) \sum F_{Mi} = 15.0$$

$$t_B = t_M = 8.0, t_B/t_M = 1.0$$

を用いて(1), (2), (3)式より

$$\text{バックグラウンド濃度} \quad ; f_B = 0.06$$

$$\eta = 1/2,880$$

$$\text{ロボット動作(クリーンルーム)}; f_M = 0.04$$

$$\eta = 1/1,700$$

4. おわりに

実験の結果以下のことが明らかになった。

- (1) ロボットの関節近傍での測定より、ロボット上下軸からの発塵量が他の関節に比して多い。
- (2) クリーンブースを用いた測定より、ロボットからの発塵量は非常に少なく0~1,700個/minで、ロボット動作による差も特に認められなかった。
- (3) ロボットの動作による作業テーブル上の汚染は非常に少なく、静止時とほとんど差がない。また、塵埃の付着は、ロボットの腕の停止位置が他より多い。

謝 辞

測定に関し、(株)三協精機製作所の協力を得た。記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 田中, 西岡, 竹内, 平山: 大林組実験用クリーンルームについて, 第2回空気清浄技術研究大会予稿集, (1983), pp. 85~88
- 2) Ferris D., McConnell W.: Assessment of Robot Cleanliness for Wafer Handling and Cleanroom Applications, Microcontamination, Vol. 3, No. 5, (1985), pp. 54~58, p. 122
- 3) 多田, 中田: クリーンルーム作業用ロボット: National Technical Report, Vol. 31, No. 4, (1985), pp. 12~20
- 4) 武井, 佐々木, 西岡: クリーンルーム用ロボットの発塵量の測定, 第5回空気清浄とコンタミネーションコントロールに関する技術研究大会予稿集, (1986), pp. 197~200
- 5) 大友, 他: クリーンルームにおけるロボットの発塵特性に関する実験(その1), 第4回空気清浄とコンタミネーションコントロールに関する技術研究大会予稿集, (1985), pp. 129~132
- 6) 小川, 他: クリーンルームにおけるロボットの発塵特性に関する実験(その2), 第4回空気清浄とコンタミネーションコントロールに関する技術研究大会予稿集, (1985), pp. 133~136