

# 画像処理を用いた粒子飛跡の計測について

竹内博・本多照幸・野崎徹也（武蔵工大原研）・雁沢好博（北海道教育大学）

## 1 はじめに

CCDとコンピュータを用いた画像解析装置は、現在様々な分野で利用されている。筆者らは光学プラスチックADC固体飛跡検出器のエッチピット（飛跡）計測において、画像解析装置を用いてその個数を自動的に計測することにより、処理能力の向上及び肉眼での測定時に含まれる個人誤差の排除の改善を行い、精度についても満足のいく結果が得られた。

そこで今回は、マイカ表面のフィッシュントラックの自動計測を目標に、トラックの画像解析装置による自動計測と肉眼での比較計測を行う。また、自動計測時の計数誤差の軽減のため、表面の銀蒸着（一部アルミ）を施し、それを反射型顕微鏡を用いて観察し、通常の透過光による自動計測との比較検討を行ったので報告する。

## 2 測定装置・試料

飛跡の計数は、肉眼ではNikon社製光学顕微鏡 BIOPHOT を用いて、それに接続したSONY社製モノクロCCDカメラ XC-77による映像を画像処理装置 IMM-512V8 を通して、SONY製カラーモニター PVM-1442Q 上で行った。また、自動計測には、IMM-512V8からフレームメモリを通して接続したNEC製コンピュータPC-9801DAと三谷商事株式会社製 画像計測ツールシステム ASPECT Ver4,00（以下、ASPECT）を組み合わせ、画像処理装置と共に用いた。

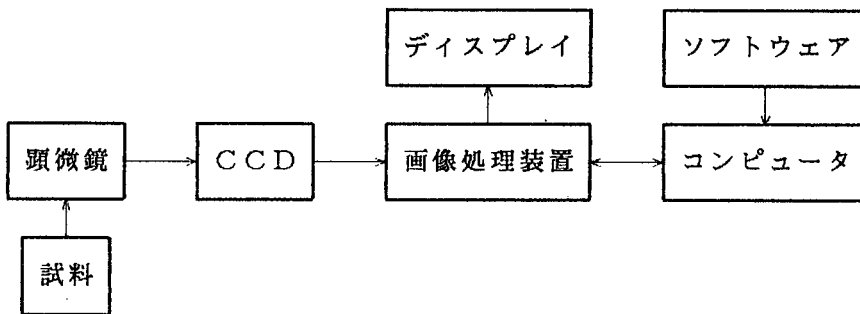


図1 測定装置の概略

表1に測定に使用した試料のトラック密度・蒸着厚等を示す。

表1 使用試料

NO.	$\rho d$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	蒸着金属	蒸着厚 ( $\text{\AA}$ )	備考
1	$19.75 \times 10^5$	銀	9.7	表面やや汚れ
2	$7.84 \times 10^5$	銀	29.2	
3	$3.37 \times 10^5$	銀	9.7	
4	$13.55 \times 10^5$	銀	58.4	表面やや汚れ
5	$7.84 \times 10^5$	アルミ	34.3	一部表面剥がれ
6	$5.36 \times 10^5$	銀	29.2	

エッチングは48% HF溶液で時間は室温で30分。また、NO. 1・2は10分、3・4・5は20分、6は25分のオーバーエッチングを施した。また、蒸着厚には20~30%の誤差が予想される。

### 3 実験方法

まず試料NO. 1・2・3について、各試料66.7 $\mu\text{m}$ 四方(顕微鏡倍率600倍)20視野各々について自動計測と肉眼による計測(ディスプレイ上)を行う。自動計測の際には、どのトラックを数えたかディスプレイ上で確認出来るので、計数誤差の出た場合は原因別に集計する。

次に表1で示した金属及び厚みで真空蒸着を行い。蒸着後の試料について同一視野で透過光と反射光それぞれについて、蒸着前と同様に測定する。

### 4 結果

蒸着前の自動計測結果と肉眼による計測数との比較を図2に示す。また、比較のためにADCのほぼ同条件の測定結果を図3に示す。

ADCのサンプルは $\rho d = 1.0 \times 10^5 \sim 8.7 \times 10^5$  ( $\text{cm}^{-2}$ )までのもの5種類をそれぞれ400倍で0.1mm四方20視野ずつ同様に計測したものである。エッチングは30% NaOHで90分とした。

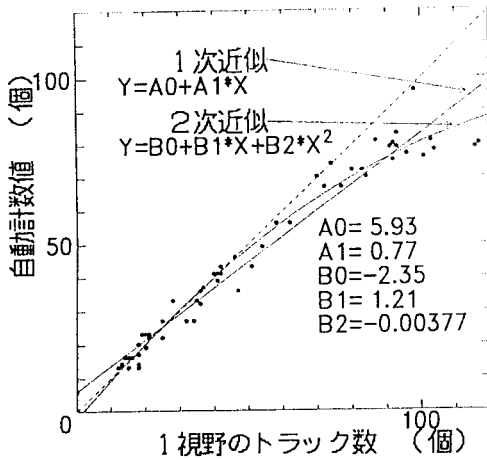


図2 自動計測値と実際のトラック数 (マイカ)

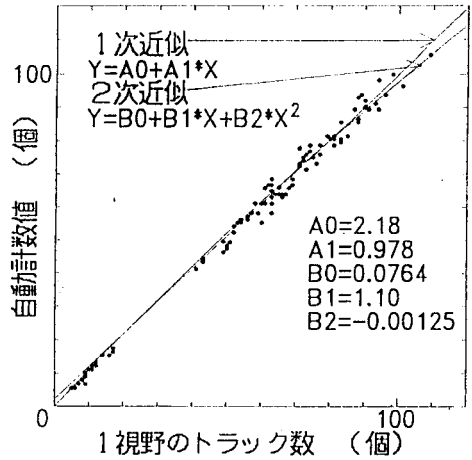


図3 自動計測値と実際のトラック数 (ADC)

図を見ると、 $\rho d$  や視野面積の違いから一概にはいえないが、ADCに比べてマイカの方が肉眼でのトラック数と自動計測値との差が大きく、近似曲線からの偏差も大きいことがわかる。具体的な偏差を表2に示す。

表2 ADCとマイカの偏差の比較

		$\sqrt{\frac{\sum \Delta Y^2}{n}}$	$\sqrt{\frac{\sum (\Delta Y / Y)^2}{n}}$
ADC	一次近似	2.6	0.079 (7.9%)
	二次近似	2.3	0.053 (5.3%)
マイカ	一次近似	5.3	0.25 (25%)
	二次近似	4.3	0.13 (13%)

表2を見ると、ADCと比較してマイカの偏差は大きく、二次曲線による近似でも13%の標準偏差があり、このままでは数学的な補正を加えても実用にならない。

計数誤差の原因として、次の5つが挙げられる。

- 1 画面上で重なる、またはクロスしている複数のトラックを1つとして数えてしまう。
- 2 視野端にかかったトラックの内、中心が視野外にあるものも数えてしまう。
- 3 バックグラウンドとの濃度差が少なかつたり面積の小さいトラックがノイズと分離できずに見落とししてしまう。
- 4 二値化時に1つのトラックが複数に分離してしまう。
- 5 表面のゴミ・傷等のノイズをトラックとして数えてしまう。

以上の項目別に誤差を集計したものを表3に示す。

表3 蒸着前の自動計数結果

試料NO	自動計数値	重なりによる減少	視野端の過計測	見落とし	穴の分離	ゴミ・傷の誤計数	実際の計数値
1	1536	433	89	41	80	18	1823
2	757	110	53	10	58	7	807
3	346	36	43	7	14	6	333

表3を見ると、誤差の原因の中でも、特に重なり（クロスしているものも含む）による減少の影響が大きく、それもトラック密度の大きなものほど著しく増加している。

重なりによる減少の影響を少なくする為には、トラックの見かけの面積を小さくする必要がある。まず考えられるのがエッチング時間を短くすることであるが、トラックが線形に近くなり、ノイズとの分離がむずかしくなる。

そこで表面に金属を蒸着した後に、反射型顕微鏡を用いることによって、トラックの表面だけを観察することができれば、トラックの見かけの面積が減少し、形が円形に近くなると共に（実際にはひし形）大きさも揃うので、ノイズ除去等の画像処理がしやすくなる。

実際に蒸着した試料の透過光と反射光の比較を表4に示す。計測には試料NO. 6を使用し、500倍で0.1mm四方15視野について測定した。

表4 蒸着後の自動計数結果

光源	自動計数値	重なりによる減少	視野端の過計測	見落とし	穴の分離	ゴミ・傷の誤計数	実際の計数値
透過	686	128	45	16	7	7	771
反射	690	60	17	58	2	18	771

表4を見ると、重なりによる減少は、予想通り約半分に減少している。NO. 6は今回の試料の内では比較的低密度のものなので、より高密度のものではさらに効果がみられるだろう。その他に、視野端の過計測及び穴の分離に対しても効果がみられた。視野端の過計測に関しては、トラックの見かけの面積が減少したためであり、穴の分離に関しては、透過光の場合見られる光の屈折の影響がないためであろう。

逆に、穴の見落としとゴミ・傷の誤計測に関しては、明らかに増大している。これは透過光の場合にはほとんど影響のない試料表面の汚れ等のノイズでも反射光では非常に目立ってしまうためであり、ノイズの影響を減少するために二値化時のしきい値の変化や画像処理によるノイズ除去処理の強化などを行うために、濃度の低いトラックが処理段階で消えてしまうことに起因している。

その他の試料では、NO1とNO3は蒸着厚が薄すぎて反射光でも内部が透けてしまい、NO5はアルミの蒸着に失敗してしまった。NO2とNO4については、蒸着自体には問題はないが、NO6よりも更にノイズが多く、自動計測可能な視野が非常に少なく正確なデータを得ることができなかった。

今回の実験ではエッチング後数週間たった試料を特別な洗浄無しに蒸着を行った。そのために表面状態の悪化につながった可能性が高い。また、オーバーエッチングによるマイカ表面の荒れの影響も考えられる。蒸着厚については、10Åでは薄すぎることは分かったが、最適厚についてはまだ未定である。また、蒸着金属についても銀以外に今回失敗したアルミの他、金等を試す必要がある。

## 4 結論

1. 透過光を用いたフィッシュオントラックの自動計測では、計数誤差が大きく実用的ではない。
2. 計数誤差の原因は、主にトラックどうしが重なったものを1つとして数えてしまうものと、視野端の過計数によるもので、特にトラック密度が高い場合に著しい。
3. 反射光を用いた場合には、1つのトラックの見かけの面積が減少し、大きさが揃うために重なりや視野端での過計測が減少する。しかし、汚れなど表面状態の影響が透過光と比較して非常に大きい。
4. 今回の実験では、試料の表面状態の不良のため良好な計測ができなかった。今後の実験では表面状態の改良と最適な蒸着金属・蒸着厚の選定を行い、その結果反射光による自動計測の計数誤差が透過光と比較してどこまで減少するかを測定し、目視による計測と比較して十分実用的な精度とする事を目標としたい。