

鉱物飛跡検出によるQ-ballダークマター検出機の開発

Development of Q-ball Dark Matter Detector with Mineral Track Detection

鈴鹿工業高等専門学校専攻科 総合イノベーション工学専攻 織 瞳磨

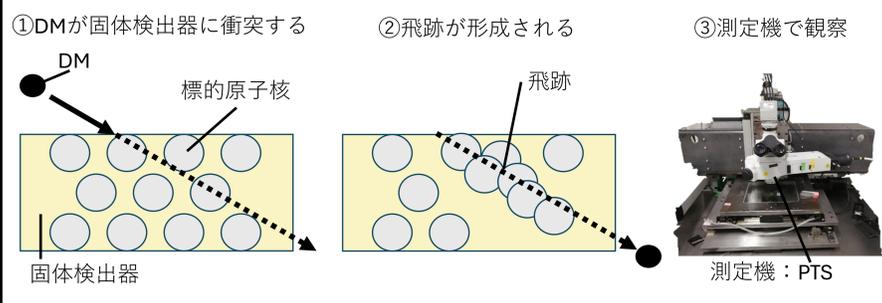
指導教員 打田 正樹

暗黒物質問題と暗黒物質直接探索実験

暗黒物質 (DM: Dark matter) は、目に見ることができない未知の物質であり、以下の条件を持つ

- 1) 電氣的に中性
- 2) 重力相互作用がある
- 3) 宇宙寿命より長い安定性

DMは目に見ることができないという特性から、顕微鏡などを用いても直接的に観測することは不可能である。観測方法の一つが、暗黒物質直接探索実験の固体飛跡検出法である。固体検出器：衝突したDMの飛跡情報を目に見える原子核等に保存するプレート状のもの。測定機：固体検出器を観察して飛跡を検出する装置

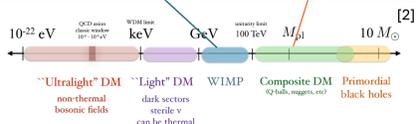


先行研究と鉱物を用いた探索実験

先行研究^[1]の固体検出器NIT (Nano Imaging Tracker) はゼラチン中に超微粒子の臭化銀結晶を高密度に分散したものであるのに対して、本研究の固体検出器は鉱物 (白雲母) とした。先行研究と異なる点として、固体検出器の検出期間、検査面積、観察対象とするDMの種類、測定機に取り付ける顕微鏡の光学系などがある。探索量とは検出期間と検査面積の積で表される。本研究ではその違いから探索量を増やす。

固体検出器	標的となる通常物質	先行研究	本研究
		超微粒子原子核乾板	人工物
探索量 (例)		$10^3[\text{m}^2 \cdot \text{yr}]$	$10^6[\text{m}^2 \cdot \text{yr}]$
検出期間		1[year]	$10^8[\text{year}]$
検査面積		$10^3[\text{m}^2]$	$10^2[\text{m}^2]$

DMの種類	WIMP DM	Charged Q-ball
質量	$10^0\text{GeV} \sim 10^5\text{GeV}$	$10^{15}\text{GeV} \sim 10^{35}\text{GeV}$

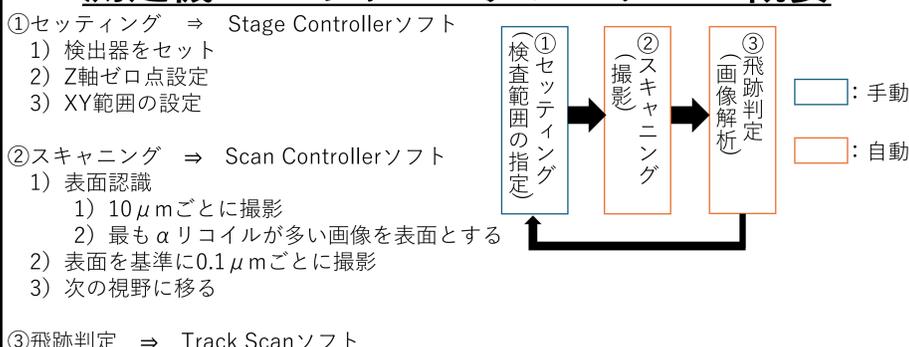


測定機に取り付ける顕微鏡の光学系	落射光学系	透過光学系
------------------	-------	-------

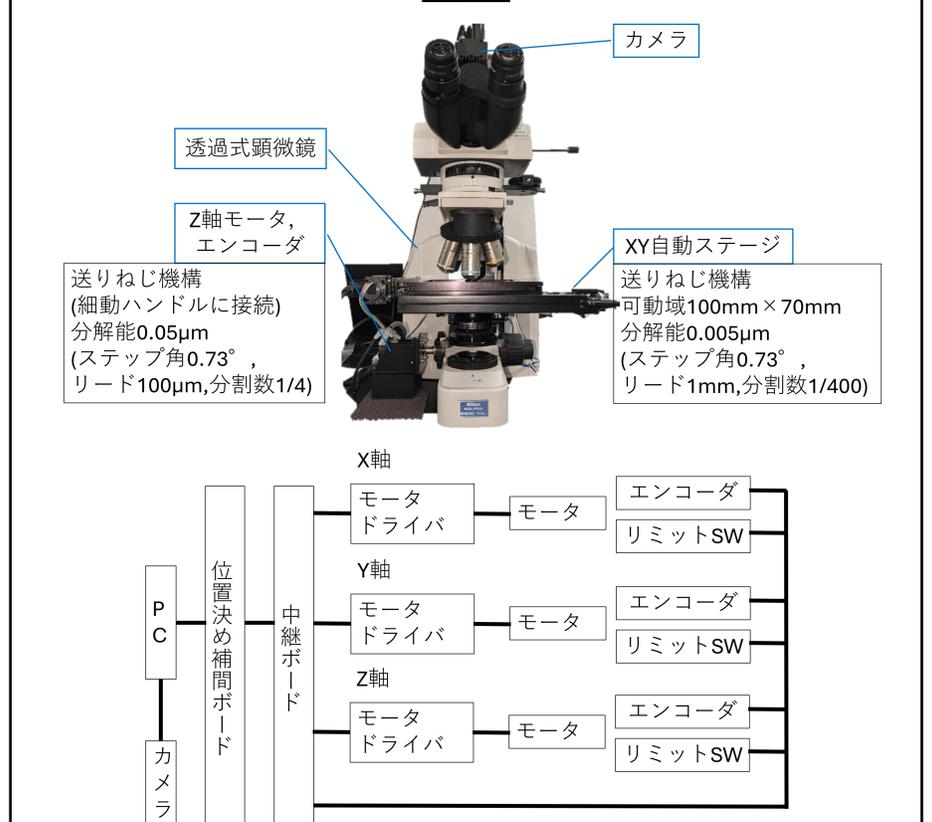
鉱物の固体検出器は、白雲母を劈開し、サンプルを作成する。バックグラウンドを除却するためにアニーリングを行い、光学顕微鏡で観察可能なサイズまで飛跡を拡大するエッチングをフッ酸で行ったものを測定機で観察する。図に予想される飛跡像を示す。



測定機のスキニングシステムの概要



構成



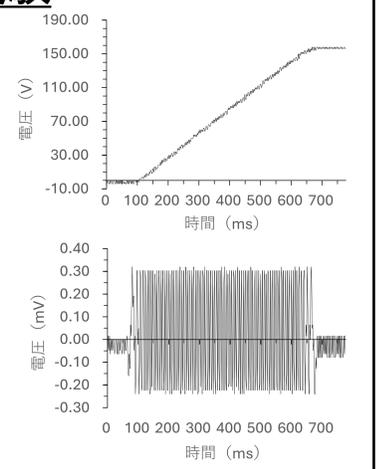
本測定機QTS (Q-ball Track Selector) はステッピングモータとそれに取り付けられたロータリーエンコーダ、及びXY自動ステージ内蔵リミットスイッチや外付けのリミットスイッチによりフィードバック制御を行っている。

特性評価実験

レーザー距離計から得られるステージ (ステッピングモータ) が実際に動いた出力 (右図上の波形) と、電流プローブから得られるステッピングモータへの入力 (右図下の波形) を時間軸を合わせてデータを取り、応答性と速度追従誤差の特性評価を行った。

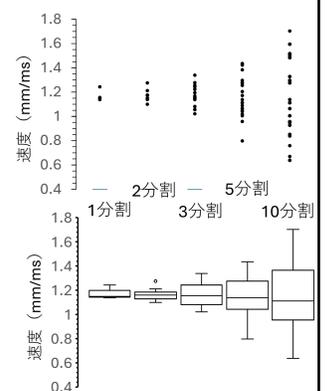
①応答性
入力の波形が変化した時間と出力の波形が変化した時間との差を無駄時間として評価した。
結果: X軸の無駄時間は24ms, Z軸の無駄時間は18msであった。

相	X軸		Z軸	
	無駄時間 (ms)		無駄時間 (ms)	
1	68		22	
2	44		20	
3	36		40	
4	24		42	
5	36		18	



考察: 本装置は位置決めボードにより加減速時間が50msと設定されているため、モータとモータドライバの間にある無駄時間は本装置の加減速時間内に収まっている。そのため、無駄時間は制御に問題ない範囲で収まっていると言える。

②速度追従誤差
加減速時間を除いた動作時間を1, 2, 3, 5, 10分割してそのばらつきを評価した。
結果: 速度の平均値のばらつきは約±0.05mm/ms以内に収まっている。四分位範囲は1分割時にどちらも0.03mm/ms以内に収まっているため、安定した速度でステージを動作させることができる。考察: 今後、カメラのフレームレート等向上によりステージの動作中に撮影するように改正する際、その制御周期は本実験の値を参照にできる。



参考文献

- [1] M. Kimura, T. Naka. Submicron track readout in fine-grained nuclear emulsions using optical microscopy. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2012. Volume 680. pp12-17
- [2] Tongyan Lin. TASI lectures on dark matter models and direct detection. arXiv. 2019