

# ガウス加速器の射出球発射のメカニズムを探る

愛媛県立松山南高等学校      ガウス加速器班

嶋田颯太   竹井美織   中嶋滉   御崎勇太   指導教諭   露口猛

## 1. はじめに

ガウス加速器とは、磁石に球を衝突させる際に、反対側に2個以上の球がついていれば磁力の影響を受けて射出される球が加速される現象である。先行研究<sup>[1]</sup>は衝突でのエネルギー保存について研究されており、その際衝突直前に球が射出されている現象らしきものが確認された。先行研究では得られたデータが少なかったために、この現象については解明されていない。私たちはこの現象に興味を持ち、どのようなしくみで起こっているのかを調べることで、ガウス加速器での射出メカニズムを明らかにできると考え、研究した。

にわかには理解し難いこの現象を、私たちは衝突直前に射出球の磁極が切り替わっているのではないかと仮説を立てて実験を行った。ハイスピードカメラ(1000fps)を用いて衝突の瞬間を撮影すると、衝突する直前に飛び出しているもの(衝突前射出)らしきものと衝突の瞬間に射出されるもの(同時射出)が確認された。そこで、よりフレームレートが高いカメラを用いて視覚的に衝突前射出を確認する実験と、磁力計を用いて磁場の変化を測定する実験を行った。

## 2. 方法

### (1) 衝突前射出の検証 (実験①)

まず衝突前射出の有無と衝突直前と直後の速度を求めるため、ハイスピードカメラを用いて衝突の瞬間を撮影、1フレームごとに確認した。(図1)使用道具は、ネオジウム磁石(球型)/鉄球( $r=0.47\text{cm}$ )/ハイスピードカメラ(4000・8000枚/s)/レール(幅0.75cm)である。



図1 ハイスピードカメラでの撮影



図2 磁場の変動の撮影

### (2) 衝突時の磁場の変動の測定 (実験②)

加速器の上に鉄粉をまいた透明容器を置き、射出時の磁場の様子を撮影した。(図2)また、射出球側の磁場の変化を(A)~(D)の条件のもと、センサーを用いて測定した。(図3)使用道具は、ネオジウム磁石(球型)/鉄球( $r=0.47\text{cm}$ )/磁力計(20Hz)である。

- (A) 衝突球の速度を  $1.24\text{m/s}$  として測定。
- (B) 衝突球の速度を  $0.11\text{m/s}$  として測定。
- (C) 指で衝突球を抑え、ゆっくりと磁石へ近づけ測定。
- (D) 磁石の近くで衝突球を保持し、ゆっくりと近づけ測定。



図3 磁場の変動の測定

### 3. 結果

#### (1) 衝突前射出の検証 (実験①)

本校にある 1000fps のカメラで撮影した結果を図 4～6 に示す。衝突する球が磁石に衝突する直前に、射出される球が動きだす様子が捉えられた。しかし、それは非常に稀な現象であった。そこで、より高速撮影可能なカメラ(4000fps)で撮影した。その様子を図 7～9 に示す。

衝突前後のフレームを見比べると、衝突の瞬間をとらえて衝突球と射出球ともに接触している様子が伺える。限られた条件でしか撮影できなかったが、得られた全ての映像について衝突の瞬間を検証したところ、いずれの条件下でも衝突前射出を確認することはできなかった。しかし同時射出は多数確認することができた。

一方、動画から計算した衝突前後の速度を表 1 に示す。表 1 から、次のことが分かった。

- ・スタートの高さと衝突直前の速さには関係がない。
- ・射出球側の球数と速度比にも関係がなく、速度比はほぼ一定である。
- ・ガウス加速器で、必ず加速されるわけではない。



図 4 衝突 1 フレーム前



図 5 衝突瞬間



図 6 衝突 1 フレーム後

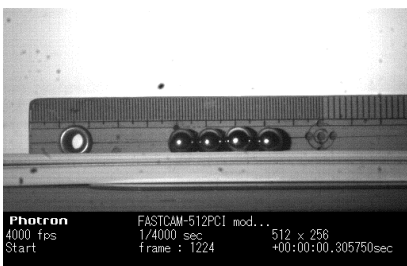


図 7 衝突 1 フレーム前

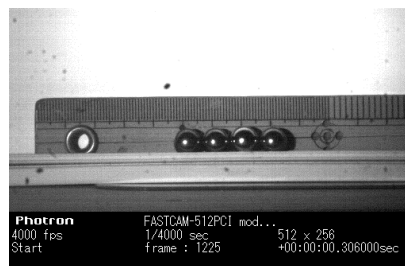


図 8 衝突瞬間

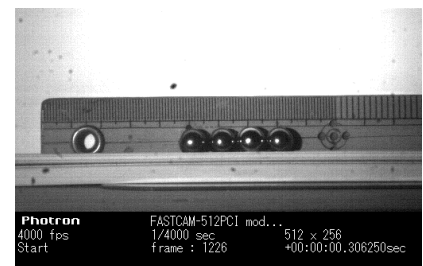


図 9 衝突 1 フレーム後

表 1 衝突球と射出球の速度

射出側 球数	fps	スタート高	衝突球側		射出球側		速度比 (直後/直前)
			加速前	衝突直前	衝突直後	加速後	
2 個	4000	20cm	0.67	1.14	1.11	1.00	0.97
3 個			0.67	1.00	1.25	1.33	1.25
2 個	8000	30cm	0.77	0.95	1.29	1.29	1.35
			0.78	1.03	1.38	1.29	1.34
4 個		20cm	0.87	1.00	1.29	1.33	1.29
			0.68	0.89	1.25	1.14	1.41

#### (2) 衝突時の磁場の変動の測定 (実験②)

図 10～12 は衝突前後の磁場の変化を示す。図中に囲まれた部分の様相が変化しており、その点に特に注目した。そこで、図 3 にあるように磁場センサーを用いて、射出球周辺の磁場の変動を測定した。衝突前後で射出球側において、S 極の磁場が弱まることを確認できた。また、磁極の反転、つま

り S 極から N 極への変化は確認できなかった (図 13)。

磁場の変動値は表 2 の通りである。衝突前後での磁場の変動幅は衝突の速度には関係ないことが分かった。さらに実験 (D) の結果を図 14 に示す。磁石に衝突球を近づけるにつれ、S 極側の磁場が強まることが確認できた。また、衝突球が磁石に当たっても射出球が飛び出ず、(A)～(C) のような磁場の弱まりはなかった。

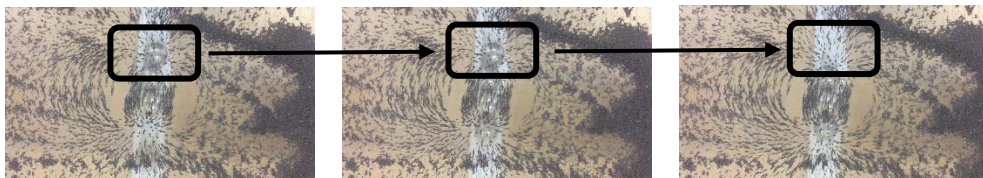


図 10 衝突前の磁場

図 11 衝突瞬間

図 12 衝突後

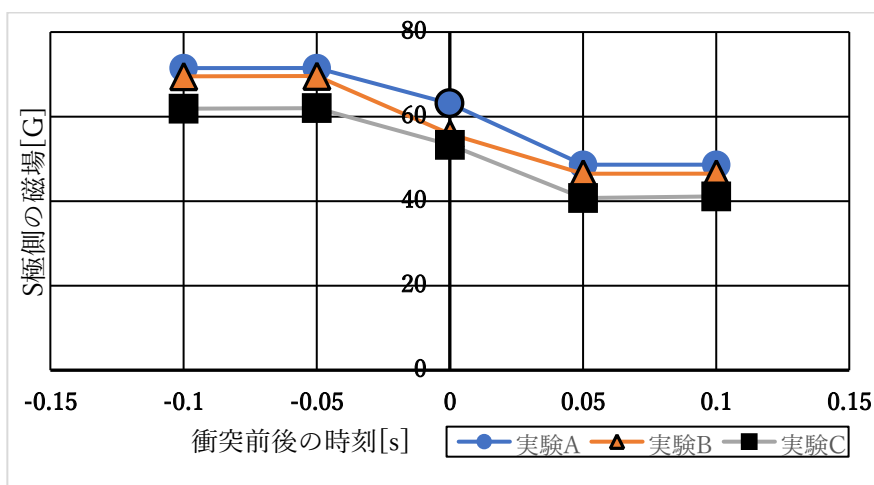


図 13 衝突前後の磁場の変化 (射出球側)

表 2 衝突前後の磁場の変動幅

実験	衝突球速度 [m/s]	衝突前磁場 [G]	衝突後磁場 [G]	磁場の变化 [G]
A	1.24	71.5	48.6	22.8
B	0.11	69.6	46.4	23.1
C	ほぼ 0	62.0	40.7	21.2

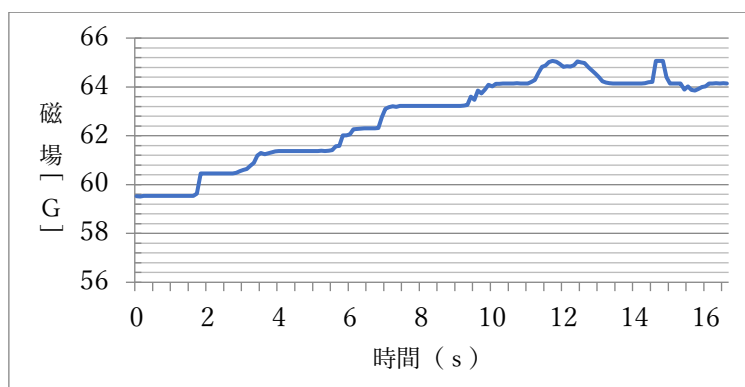


図 14 実験 (D) の結果

#### 4. 考察

実験①及び実験②の(A)～(C)より、同時射出は多数確認することが出来たが、衝突前射出は起こっていないと判明した。また、スタートの高さと衝突直前の速さには関係がなく、射出球側の球数と速度比にも関係がなく、速度比はほぼ一定であることが分かった。さらに、衝突時に磁場が弱まるが磁極の反転は起こらないことも分かった。以上から、磁石を固定している場合の衝突時の様子を推定した。

- ・ 衝突球は磁石に近づくと、それまでの速度に関わらず磁極の強さと透磁率の関係で決まる磁気力によって加速される。
- ・ 衝突時には周辺の磁場が変動するが、あくまで衝突球や射出球の有無によって磁力線の様子が変わるだけであり、磁極の変化等は起こらない。それは、速度比が一定であることから推定され、磁場の変化も一定であることから分かる。

一方、磁石が二つ並べた鉄球に当たった際にガウス加速器のように鉄球が加速されて飛び出すという現象が確認された。この現象を1000fpsのカメラで撮影したところ、磁石に近い鉄球が振動し、衝突前射出のように球が接触する前に飛び出す様子が見られた。動画から磁石が回転していることが確認され、磁極が反転し続けるように回転している場合には衝突前射出に類似の現象が確認できるのではないかと考えている。現在はまだデータが足りないため、今後の実験で解明する予定である。

実験(D)のように磁力が強くなったのは、磁気力に関するクーロンの法則で説明されると予測されるが、今後も実験を重ねることで解決されるのではないかと期待している。

#### 5. まとめ

- (1) 衝突前射出は確認できず、同時射出は確認することができた。
- (2) 衝突の前後に磁極の反転は起こらず、先行研究で明らかになったエネルギー保存則に従った加速が行われていると考えられる。
- (3) 磁石を固定せず、その磁極が反転し続けるように回転すれば、衝突前射出も確認できるのではないかと考える。
- (4) 使用する鉄球の数と位置で磁場の様子が変わるが、あくまで鉄球の存在によってその場の透磁率が変化することによる。

#### 6. 謝辞

愛媛大学工学部機械工学科の向笠忍准教授にハイスピードカメラをお借りし、ハイスピードでの動画撮影が可能になり、精密な測定ができました。この場を借りてお礼申し上げます。

#### 7. 参考文献

- [1]井上空詩、渡部聖、長田真奈、柚ノ木舞乃(2018)「ガウス加速器におけるエネルギー保存のメカニズムを探る」『2018 信州総文祭自然科学部門論文集』pp. 78-79、第42回全国高等学校総合文化祭長野県実行委員会事務局