

超高速衝突に伴って発生する電氣的現象に関する基礎研究

小林正和,田中真(東海大)

田中孝治,牧謙一郎,相馬央令子,佐々木進(ISAS/JAXA)

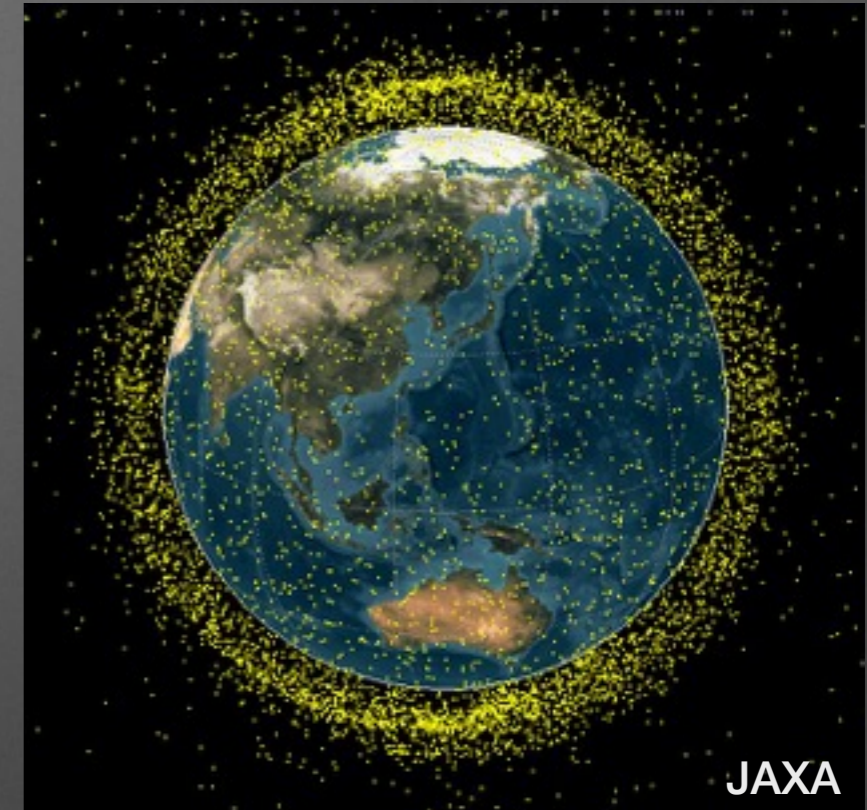
目次

- 研究背景
- 研究目的
- 実験構成①
- 実験結果①
- 実験構成②
- 実験結果②
- 結論・考察

研究背景

- スペースデブリ

- 使用済み人工衛星・ロケットやその破片等
- 宇宙機との衝突による被害
- 地球周辺の宇宙空間で年々増加しており対策が必要



- 超高速衝突による電磁波放射が確認されているがメカニズムは未解明

- デブリ衝突検出への応用

- 従来技術では検出面積が限定的
- 電磁波計測によって検出面積が大きくなる可能性がある

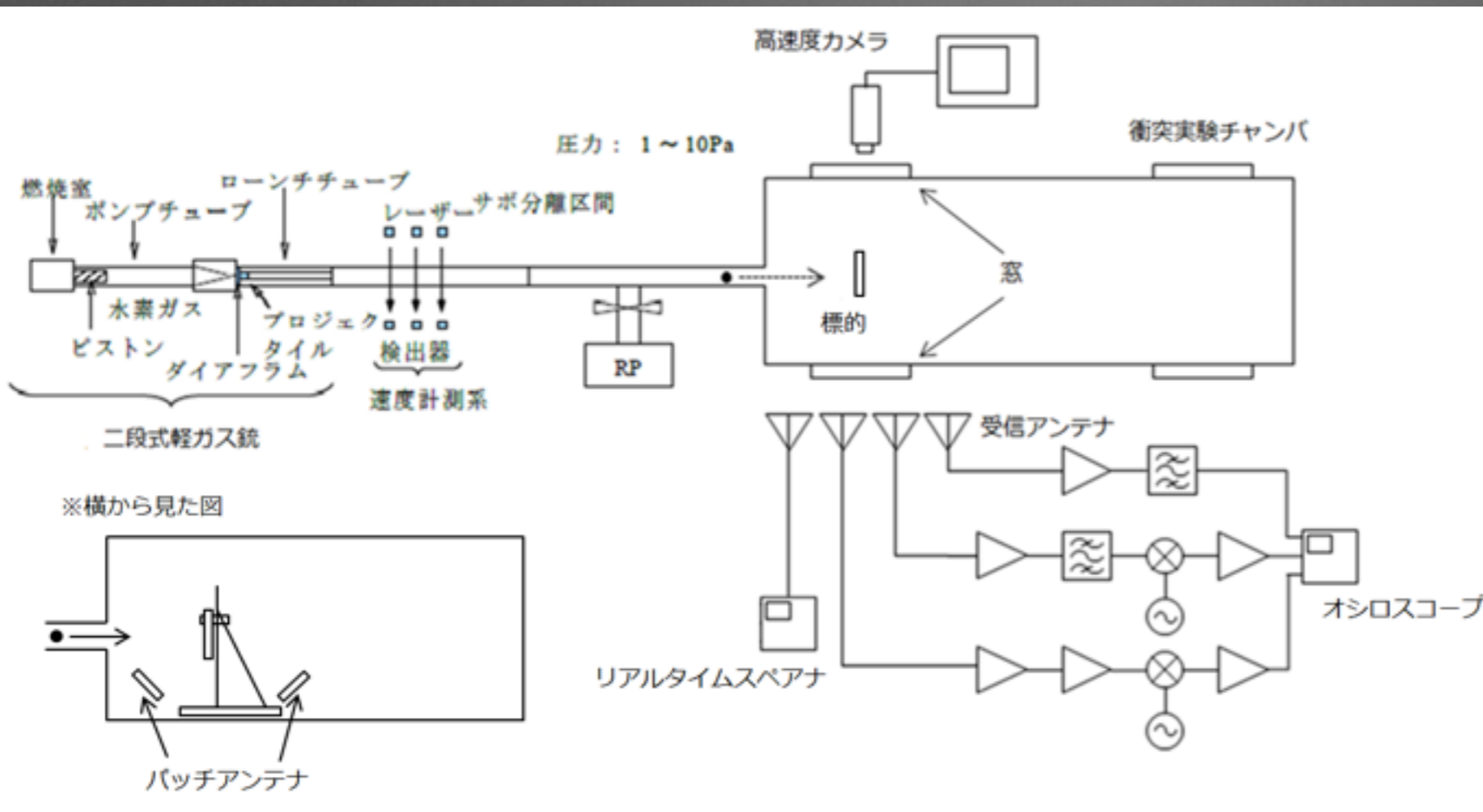
研究目的

- 超高速衝突による電磁波放射のメカニズム解明
- デブリ衝突の推定
 - 衝突位置、デブリサイズ、ダメージ推定

実験構成



標的
材質：アルミニウム
厚さ2~50mm



実験系全体の構成

計測項目

- ・プラズマプローブによるプラズマ計測
 - ・ターゲットにおける電位計測
- ・フォトダイオードによる発光計測
- ・アンテナによる電波計測(偏波計測)



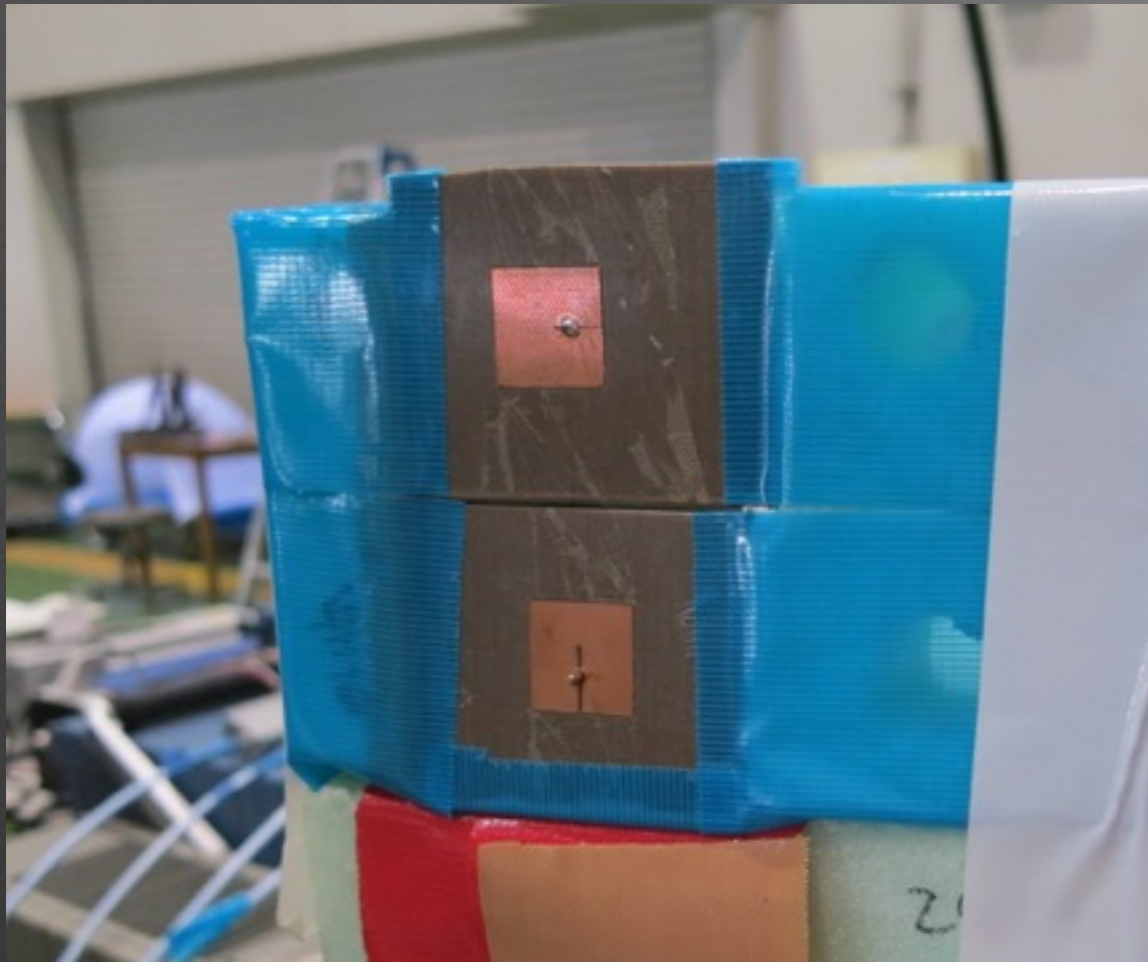
飛翔体
材質：ナイロン
形状：球
サイズ：φ7mm

飛翔体速度：6.62~6.69km/s

受信系の構成

アンテナ	周波数帯 [GHz]	アンプ ゲイン [dB]	標的 -アンテナ間距離 [mm]
チャンバ内 前方	5.8	29	400
チャンバ内 後方	5.8	29	400
チャンバ外 垂直	5.8	42	820
チャンバ外 水平	5.8	42	820

受信系の構成

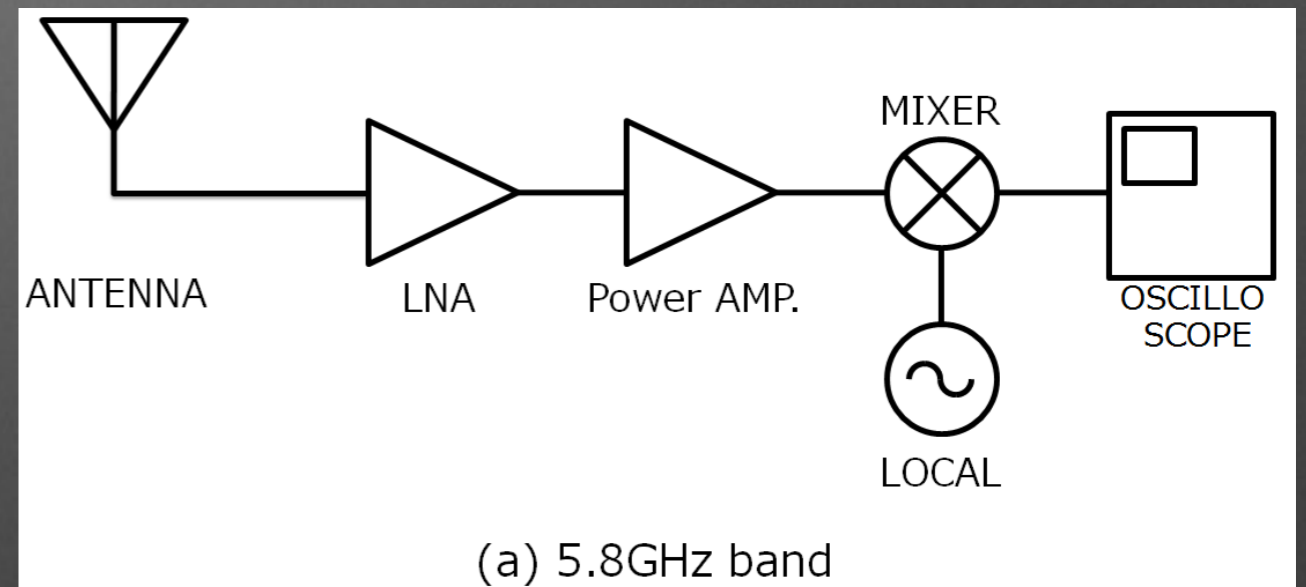


アンテナ

5.8GHz：パッチアンテナ

上 水平偏波

下 垂直偏波

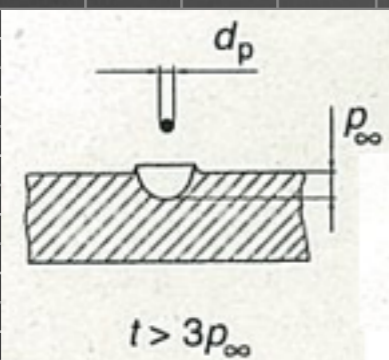


受信系の構成

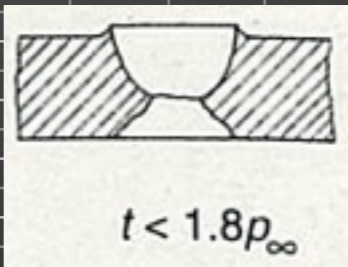
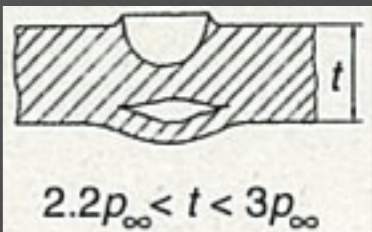
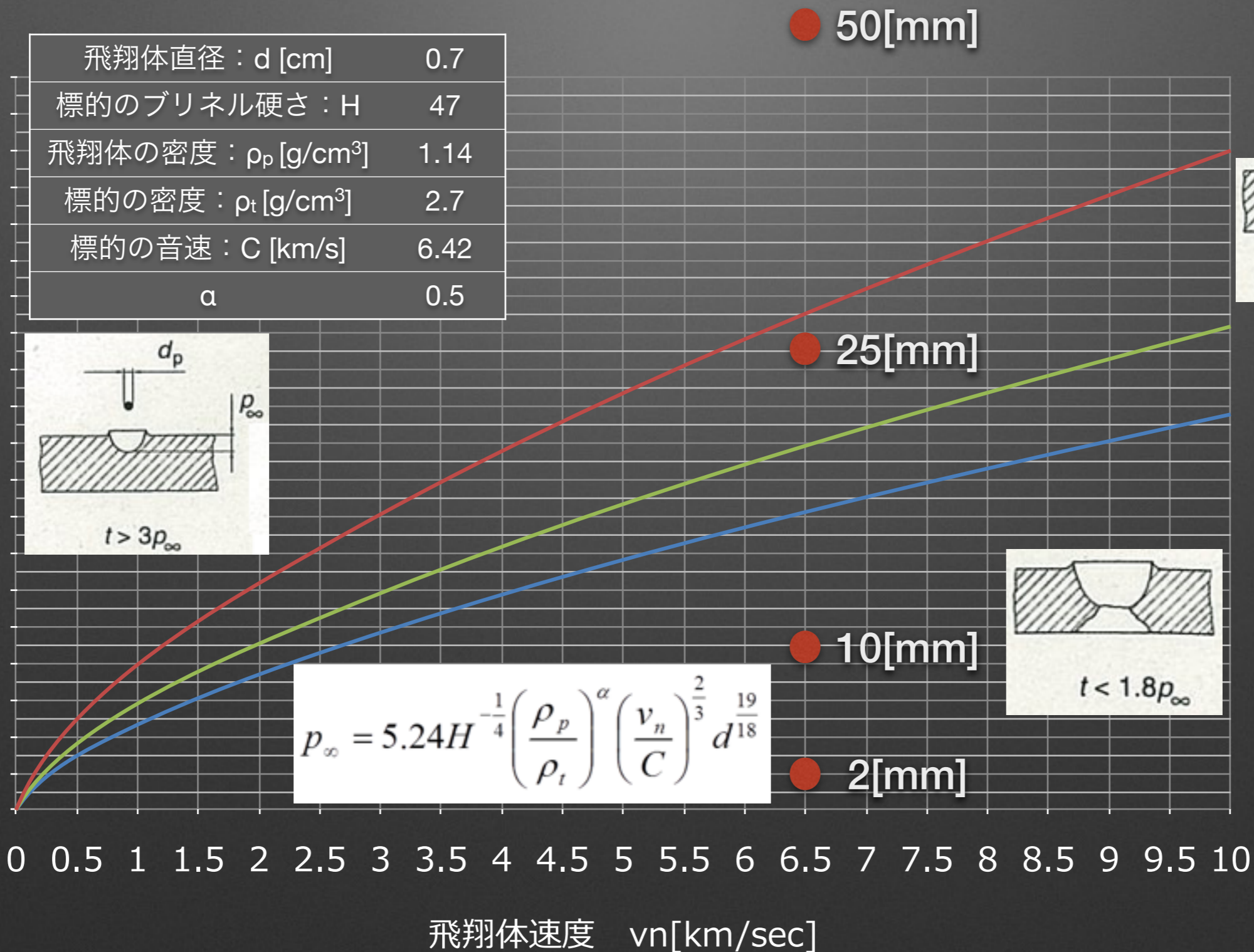
アルミ板(A5052P-H112)における破壊予測

飛翔体：ナイロン66

飛翔体直径：d [cm]	0.7
標的のブリネル硬さ：H	47
飛翔体の密度： ρ_p [g/cm ³]	1.14
標的の密度： ρ_t [g/cm ³]	2.7
標的の音速：C [km/s]	6.42
α	0.5



$$p_{\infty} = 5.24H^{-\frac{1}{4}} \left(\frac{\rho_p}{\rho_t} \right)^{\alpha} \left(\frac{v_n}{C} \right)^{\frac{2}{3}} d^{\frac{19}{18}}$$



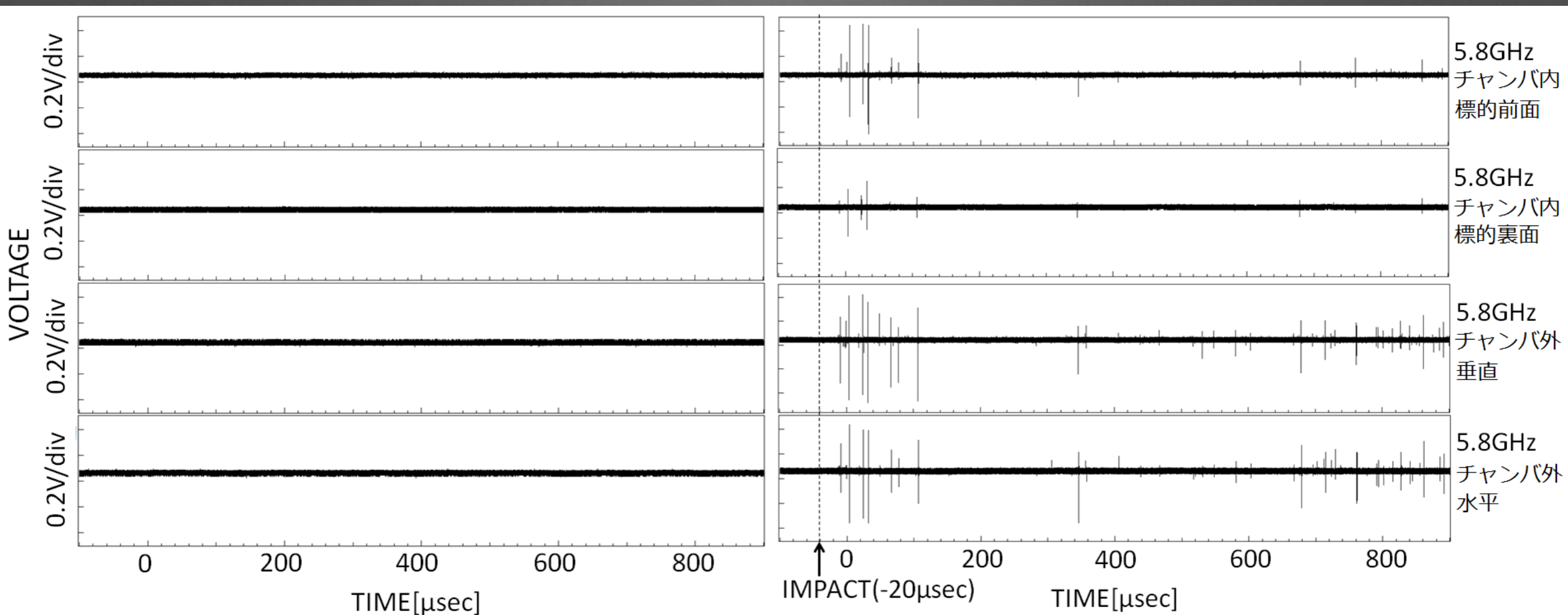
- 3p_∞
- 2.2p_∞
- 1.8p_∞

標的および飛翔体の組み合わせ

Shot No.	標的材質	標的サイズ [mm]	標的厚み [mm]	飛翔体材質	飛翔体密度 [g/cm ³]	飛翔体サイズ [mm]	飛翔体質量 [g]	飛翔体速度 [km/sec]	運動エネルギー [J]
1	アルミ	110×110	50	ナイロン	1.14	7.0	0.217	6.64	4.78×10 ³
2	アルミ	110×110	25	ナイロン	1.14	7.0	0.217	6.62	4.75×10 ³
3	アルミ	110×110	10	ナイロン	1.14	7.0	0.217	6.69	4.86×10 ³
4	アルミ	110×110	2	ナイロン	1.14	7.0	0.218	6.63	4.79×10 ³

計測データ

衝突前と衝突時の比較

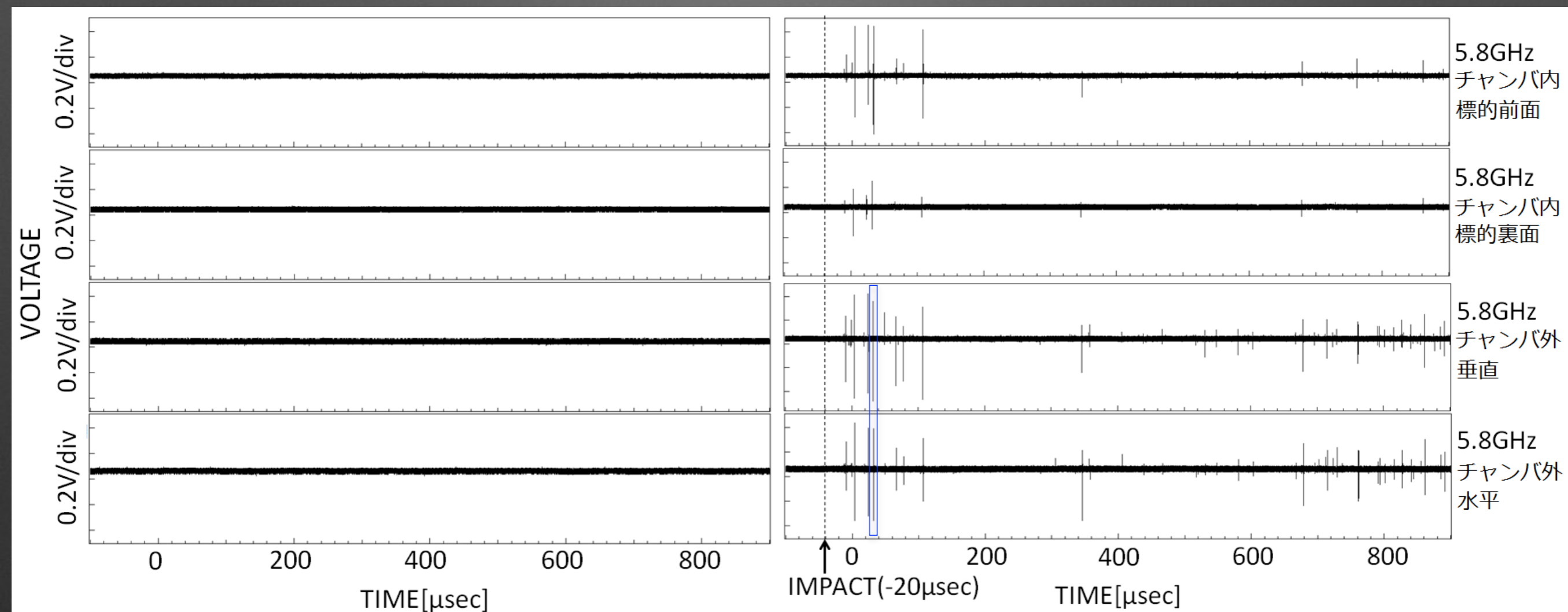


衝突前

標的：アルミ 25mm 速度：6.62km/sec

計測データ

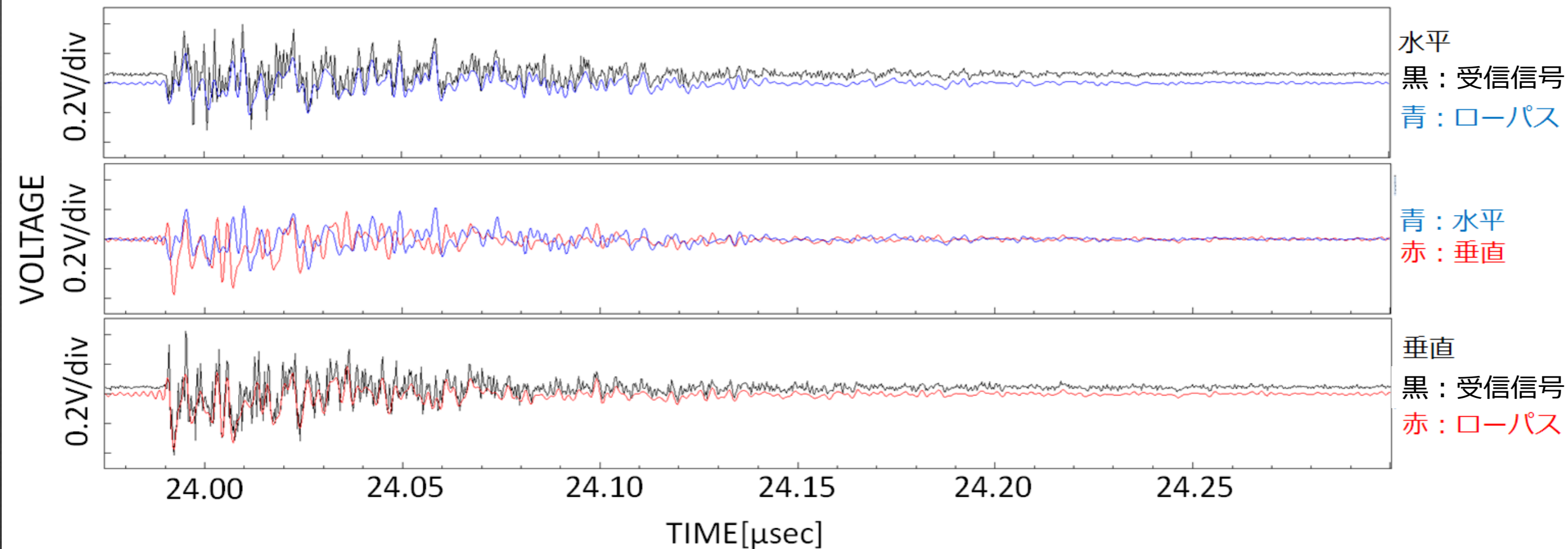
衝突前と衝突時の比較



衝突前

標的：アルミ 25mm 速度：6.62km/sec

水平・垂直偏波の比較

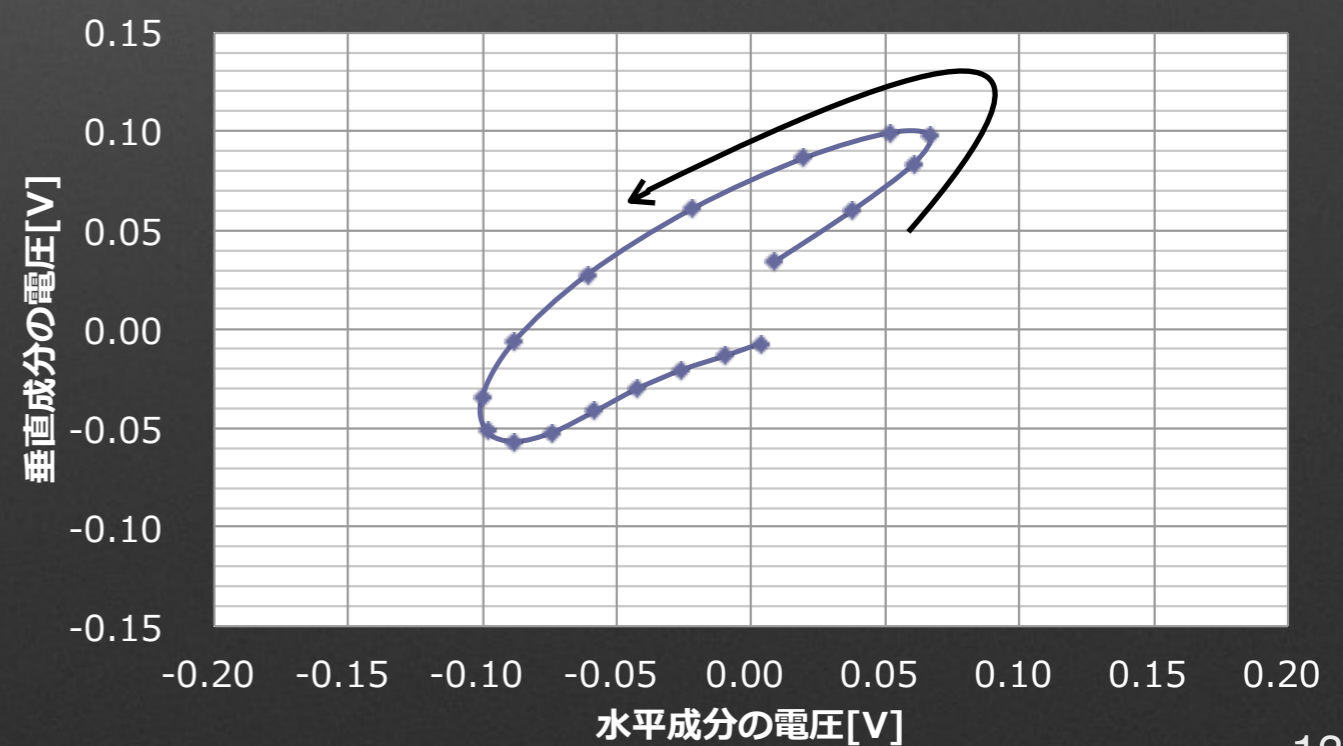
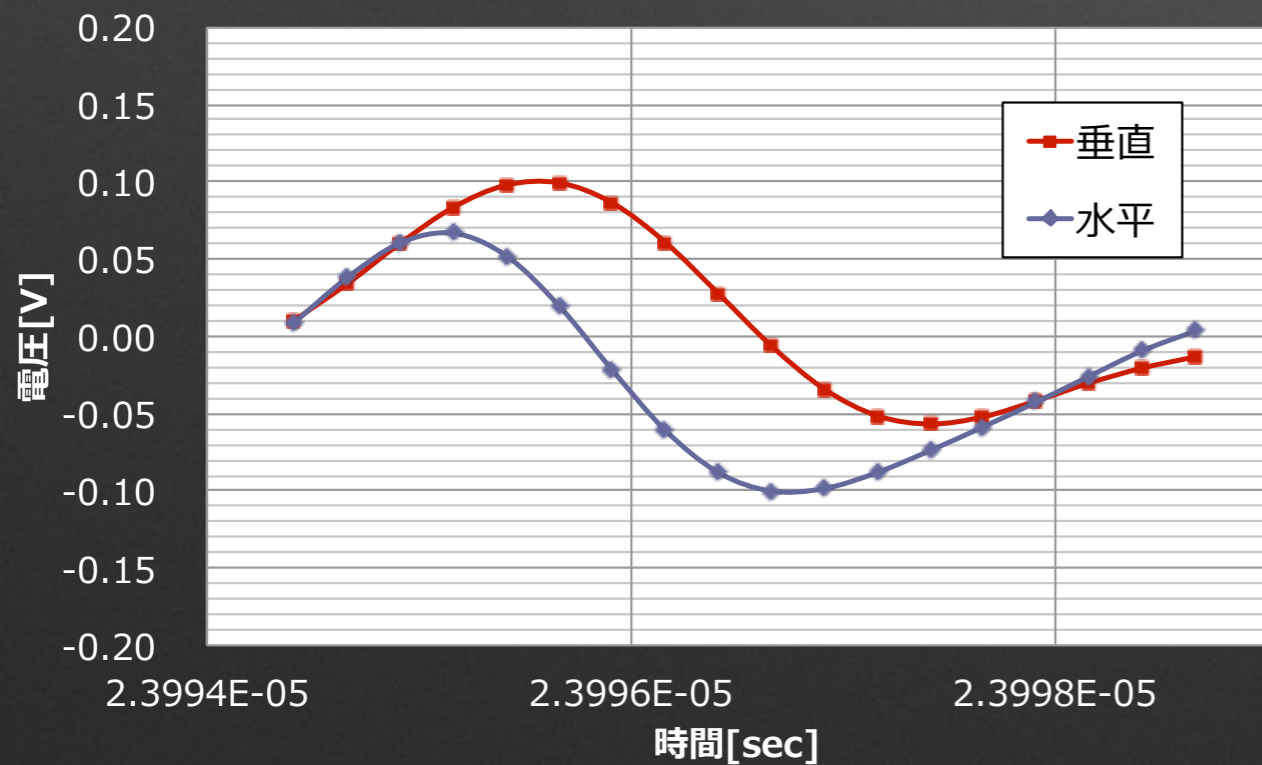
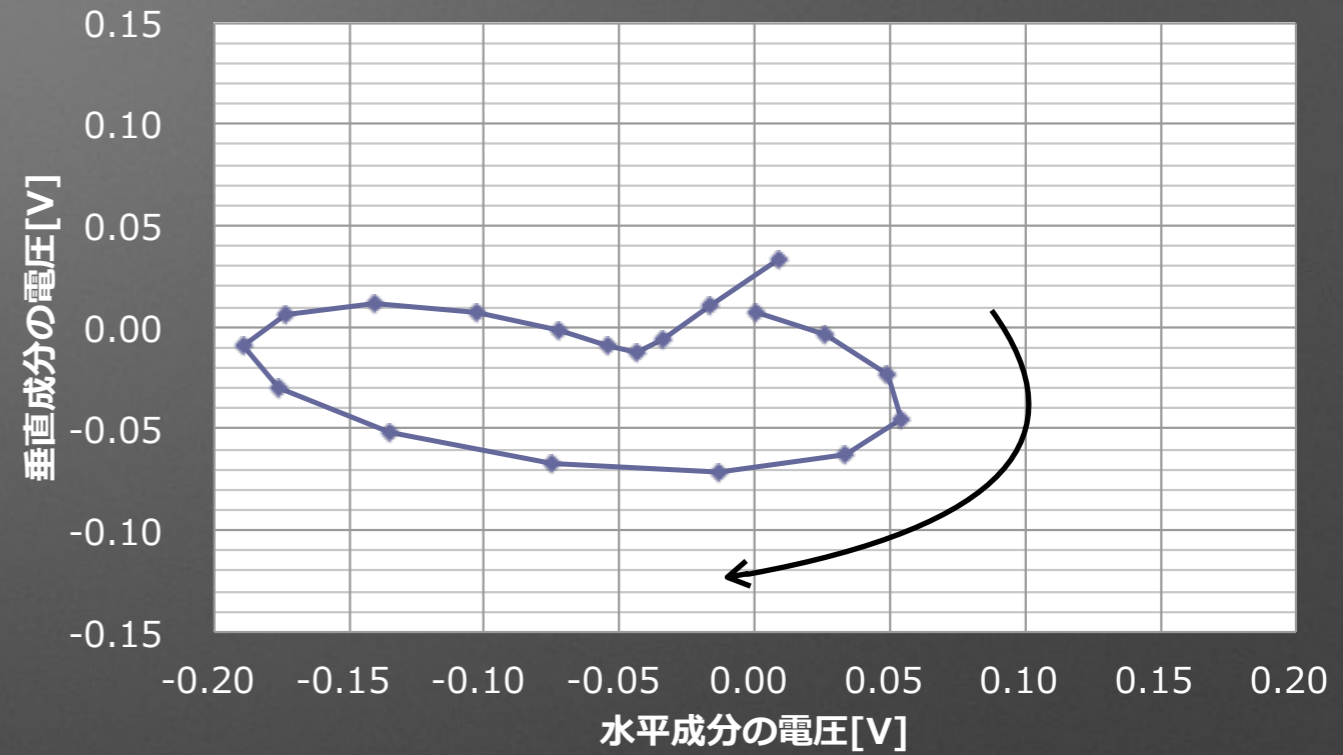
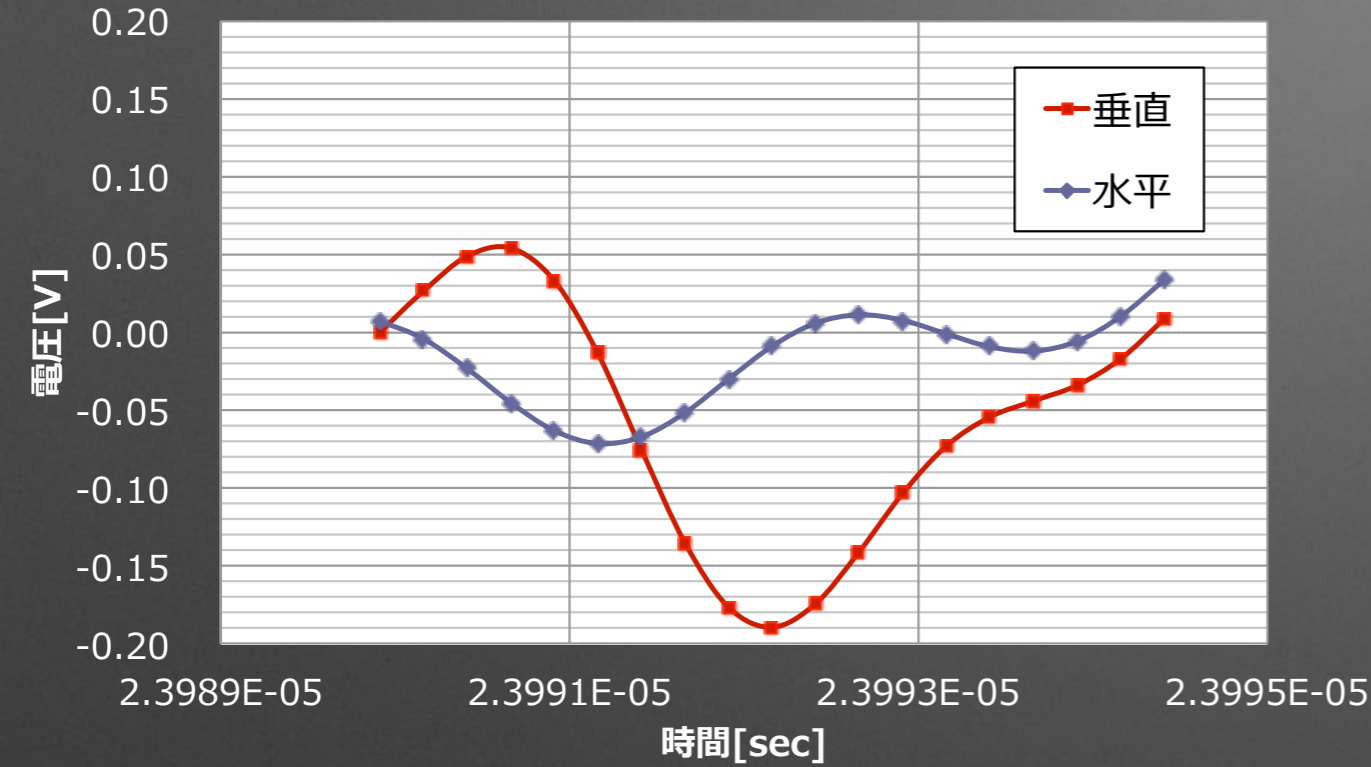


それぞれ500MHz以上の信号をカット

放射される電波の偏波

水平・垂直方向における電場変化

電界ベクトルの先端の軌跡

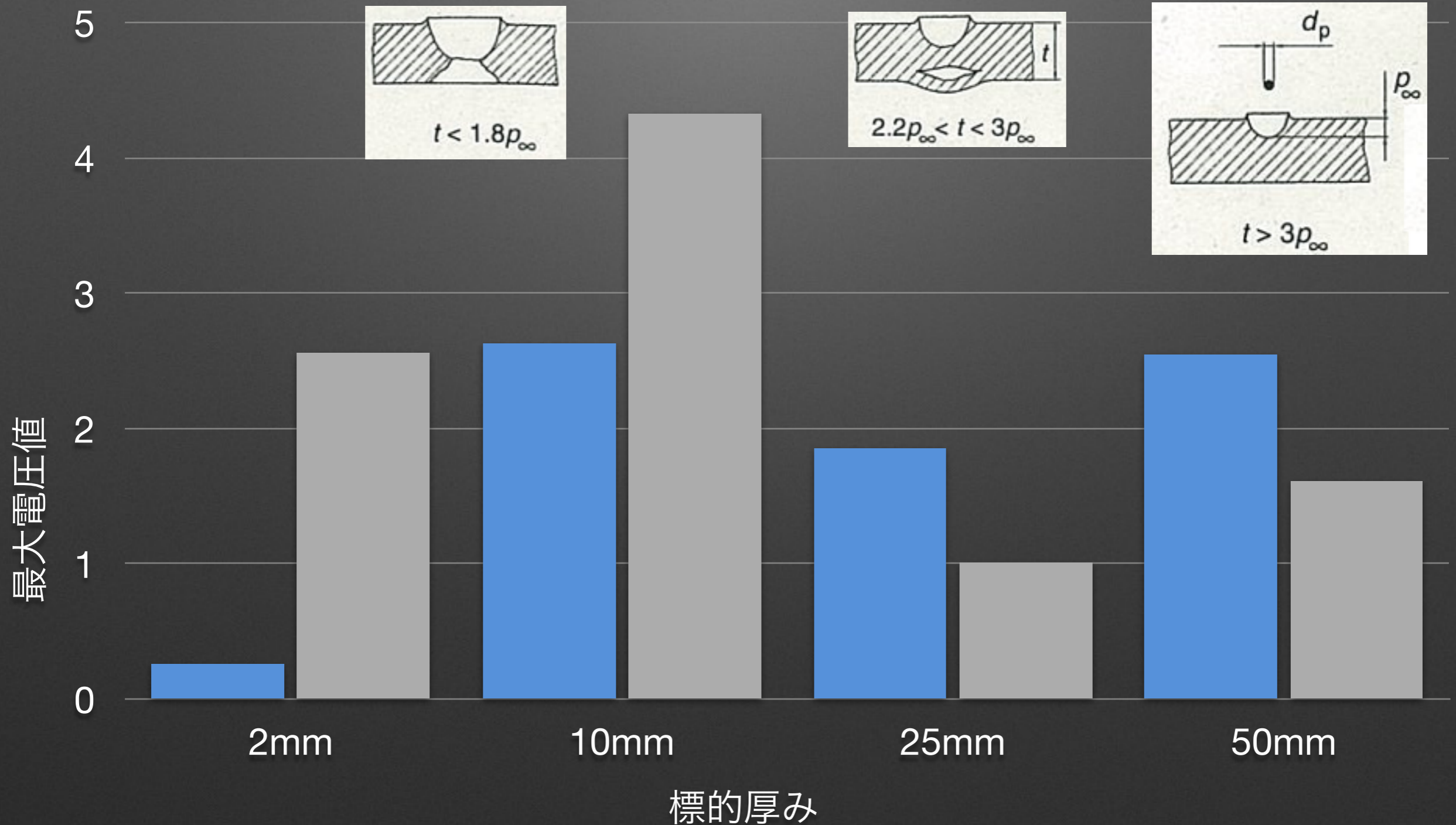


計測結果

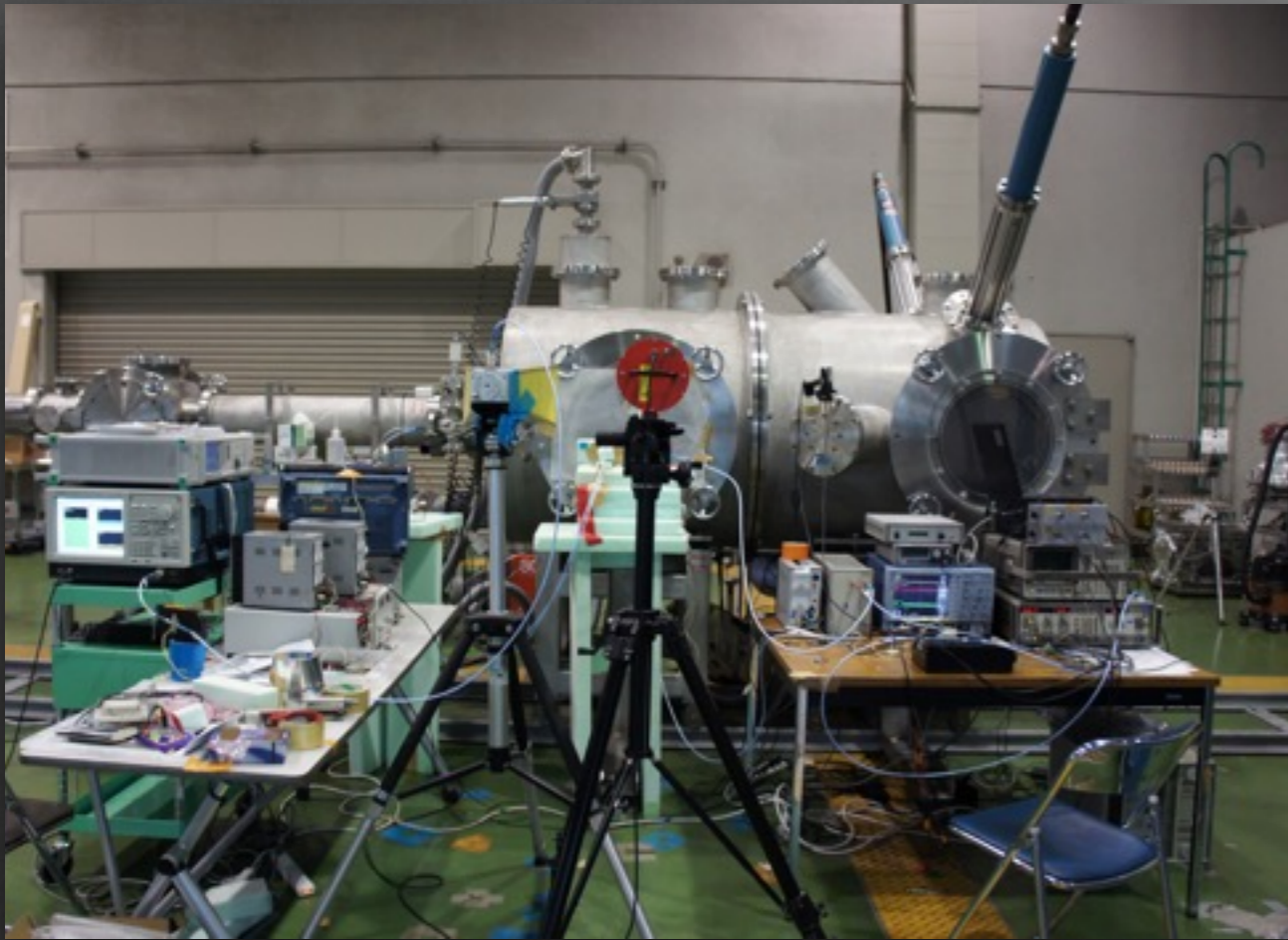
標的：アルミ 110×110mm 飛行体：ナイロン φ7mm 速度：6.6km/sec

■ 前方
■ 後方

標的厚みに違いにおける最大電圧の変化



実験構成



金属製チャンバ

チャンバ内・チャンバ外にアンテナ設置
チャンバ外にて偏波計測



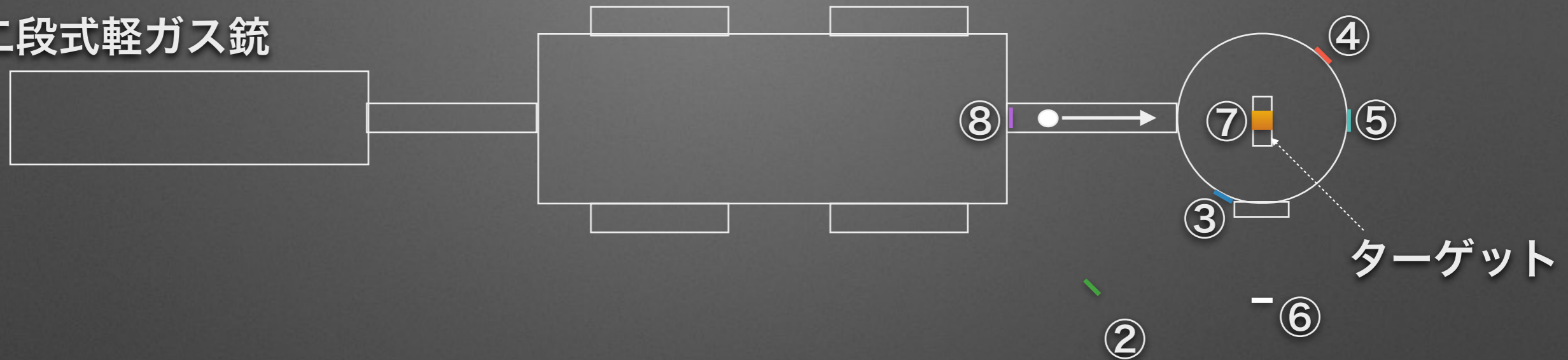
アクリル製チャンバ

衝突点まわりに8箇所アンテナ設置

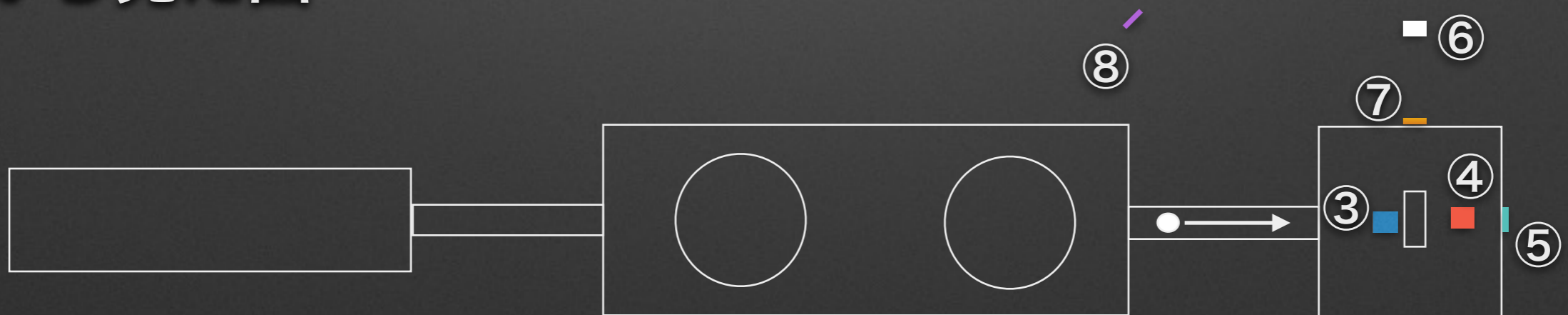
アンテナ配置

上から見た図

二段式軽ガス銃



横から見た図



アクリル製真空チャンバ

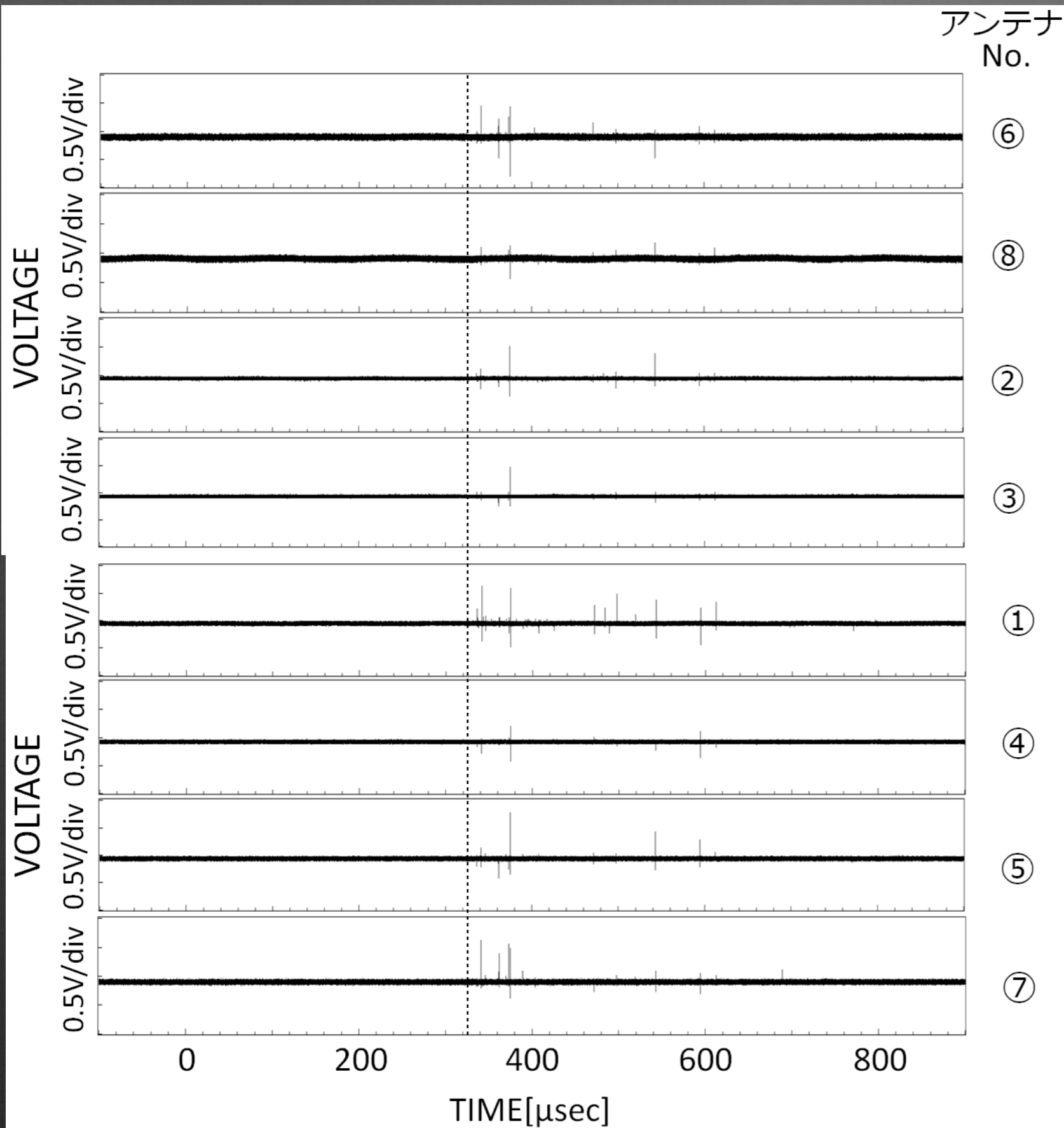
受信系の構成

アンテナ No.	周波数帯 [GHz]	アンプ ゲイン [dB]	標的 -アンテナ間距離 [mm]
①	5.8	42	1300
②	5.8	42	1280
③	5.8	29	300
④	5.8	29	300
⑤	5.8	29	300
⑥	5.8	42	1820
⑦	5.8	29	390
⑧	5.8	42	1790

標的および飛翔体の組み合わせ

Shot No.	標的材質	標的サイズ [mm]	標的厚み [mm]	飛翔体材質	飛翔体密度 [g/cm ³]	飛翔体サイズ [mm]	飛翔体質量 [g]	飛翔体速度 [km/s]	運動エネルギー [J]
1	アルミ	110×110	30	ナイロン	1.14	7.0	0.218	6.83	5.08×10 ³
2	アルミ	110×110	30	アルミ	2.70	3.2	0.047	6.65	1.04×10 ³
3	アルミ	110×110	25	ステンレス	7.93	3.2	0.133	3.89	1.01×10 ³
4	アルミ	110×110	30	チタン	4.51	3.2	0.075	6.50	1.58×10 ³
5	銅	110×110	15	アルミ	2.70	3.2	0.047	6.81	1.09×10 ³
6	銅	110×110	20	ステンレス	7.93	3.2	0.135	6.56	2.90×10 ³
7	銅	110×110	20	ナイロン	1.14	7.0	0.218	6.98	5.31×10 ³
8	ガラス	110×110	20	ナイロン	1.14	7.0	0.218	6.49	4.59×10 ³

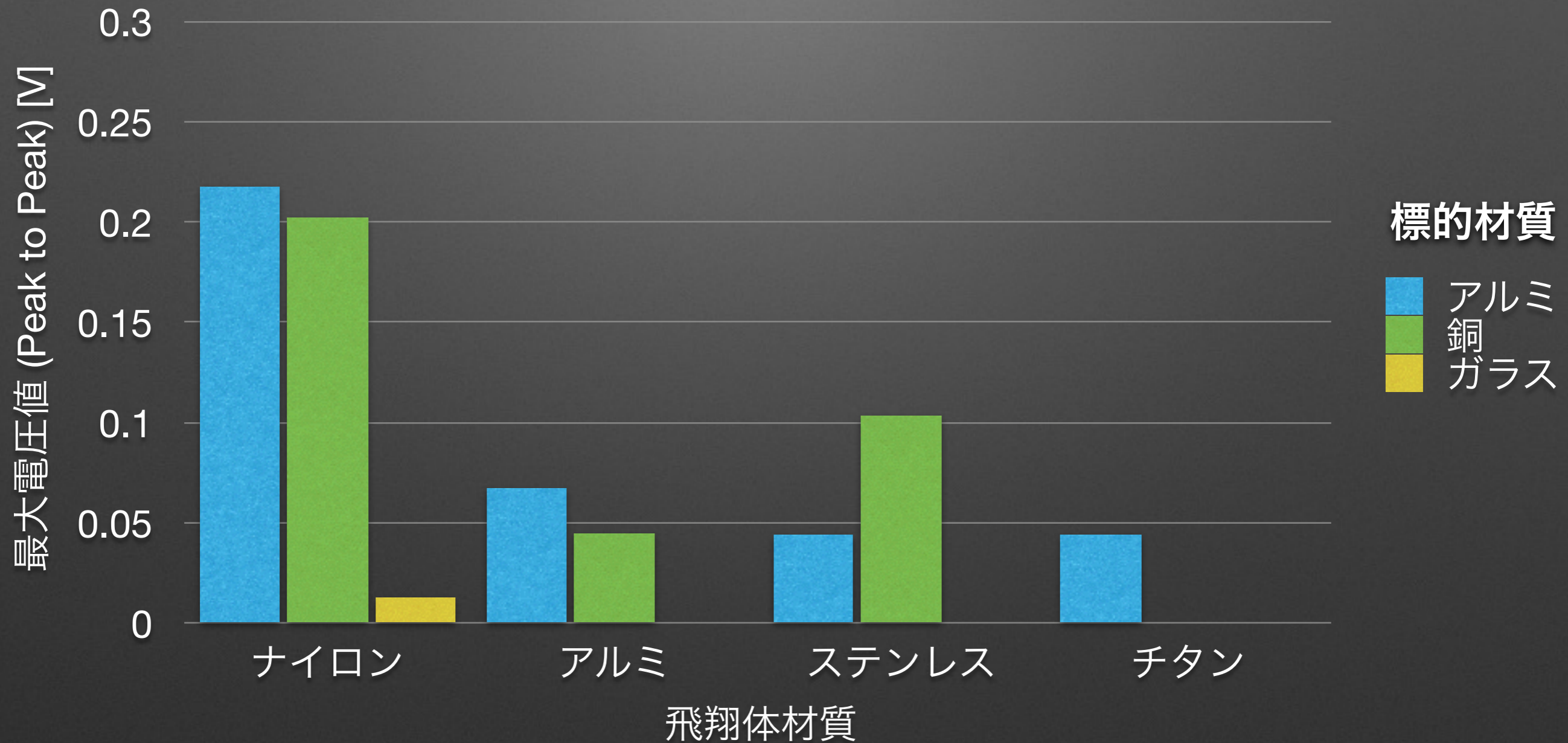
計測データ



- 標的：アルミニウム 30mm
- 飛翔体：ナイロン φ7mm
- 飛翔体速度：6.83km/s
- 各種損失と増幅率の較正
 - 自由空間損失
 - ケーブル損失
 - アンプゲイン

計測結果

標的と飛行体の材質の違いにおける最大電圧値の差



結論・考察

- フォトダイオードによる発光測定 数百nsecオーダーでの衝突時刻推定
 - 衝突推定時刻より、10 μ sec以降に電波を受信
 - 発生したプラズマの密度により、受信開始時刻が異なっている事が考えられる
- 水平方向と垂直方向の電波計測 衝突時の放射電波の偏波を計測
 - 円偏波の特性が見られた
 - 人工的に放射される偏った偏波の電波とは異なった
 - 偏波を計測する事によって人工的な電波との分離が可能
- 標的の前方と後方にアンテナを配置 貫通・非貫通によって受信信号に変化
 - 貫通する場合 後方に放射される電波が多い
 - 非貫通の場合 前方に放射される電波が多い
 - 新たに、ダメージ推定の条件として有用

結論・考察

- 様々な材料の標的と飛翔体にて計測
 - ガラスを標的に場合、金属材料に比べ受信信号は小さい
 - 飛翔体が金属の場合、ナイロンに比べ衝突時刻より100~200 μ secの間の信号が小さい場合がある
 - 飛散した飛翔体の破片が電波を遮蔽している可能性がある
- アンテナを3次元的に配置 放射される電波の空間的な広がりを解明
 - ナイロン球の場合、どの位置のアンテナでも同時刻に同程度の電波を受信した
 - 金属球の場合、アンテナの位置によって信号強度が異なる場合が多い
 - 衝突後の飛翔体の飛散状況によって信号強度が変化している可能性がある

デブリ衝突の推定

- 衝突位置

アンテナを複数設置することによって、時間差によって電波の到来方向を推定可能

- ダメージ推定

到来方向と減衰量から衝突点での電力が見積もれる

様々な材料や大きさ・速度で衝突実験を行い、データベースを作成すればダメージの大きさがある程度推定可能

- デブリサイズや材質

運動エネルギー(質量・速度)や材質などパラメータが多くなるほど、個々の推定の誤差が大きくなる