

SuperKEKB LERでの 圧カバーストの観測

OBSERVATION OF PRESSURE BURSTS IN SUPERKEKB LER

照井真司、久松広美、末次祐介、石橋拓弥、白井
満、柴田恭、金澤健一、池田仁美、船越義裕
KEK

Shinji Terui, Hiromi Hisamatsu, Yusuke Suetsugu, Takuya Ishibashi, Mitsuru
Shirai, Kyo Shibata, ken-ichi Kanazawa,
Hitomi Ikeda, Yoshihiro Funakoshi

KEK

August 2017 PASJ

目次

- イントロダクション
- 現象と頻度と発生場所の予想
- 発生原因の仮説と実証実験
- ダストの成分と発生源
- 結論

目次

- インTRODクシヨN
- 現象と頻度と発生場所の予想
- 発生原因の仮説と実証実験
- ダストの成分と発生源
- 結論

SuperKEKBとは

SuperKEKBはKEKB Bファクトリー(KEKB)の後継機となる高ルミノシティ電子・陽電子衝突型加速器



SuperKEKBプロジェクトの目的は、ルミノシティをKEKBの達成値の約40倍 ($8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) に上げ、標準理論を越えた新しい物理の探索

	LER	HER	Units
Beam energy	4.0	7.0	GeV
Beam current	3.6	2.6	A
Circumference	3016		m
Number of bunches	2500		
Bunch length	6.0	5.0	mm
ϵ_x/ϵ_y	3.2/8.64	4.6/11.5	nm/pm
β_x/β_y (at collision point)	32/0.27	25/0.3	mm
Luminosity	8×10^{35}		$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

SuperKEKB LERでの 圧カバースト

- 2016年2月から6月にかけて加速器調整のためにPhase-1運転が行われた。この運転中に、ビームロスに伴う圧カバーストが4.0 GeV陽電子リング(Low Energy Ring、LER)で頻発した。ビームロスの結果、ロスモニターが動作してビームアボートを引き起こした。
- 2017年度末に予定されているPhase-2運転ではBELLE-II測定器を用いた物理実験が始まる。また、最終収束系として超電導四極電磁石が稼働する。ビームロスやビームアボートが多発すると、実験の支障となるだけでなく、場合によっては測定器の損傷、超電導電磁石のクエンチをもたらす可能性がある。

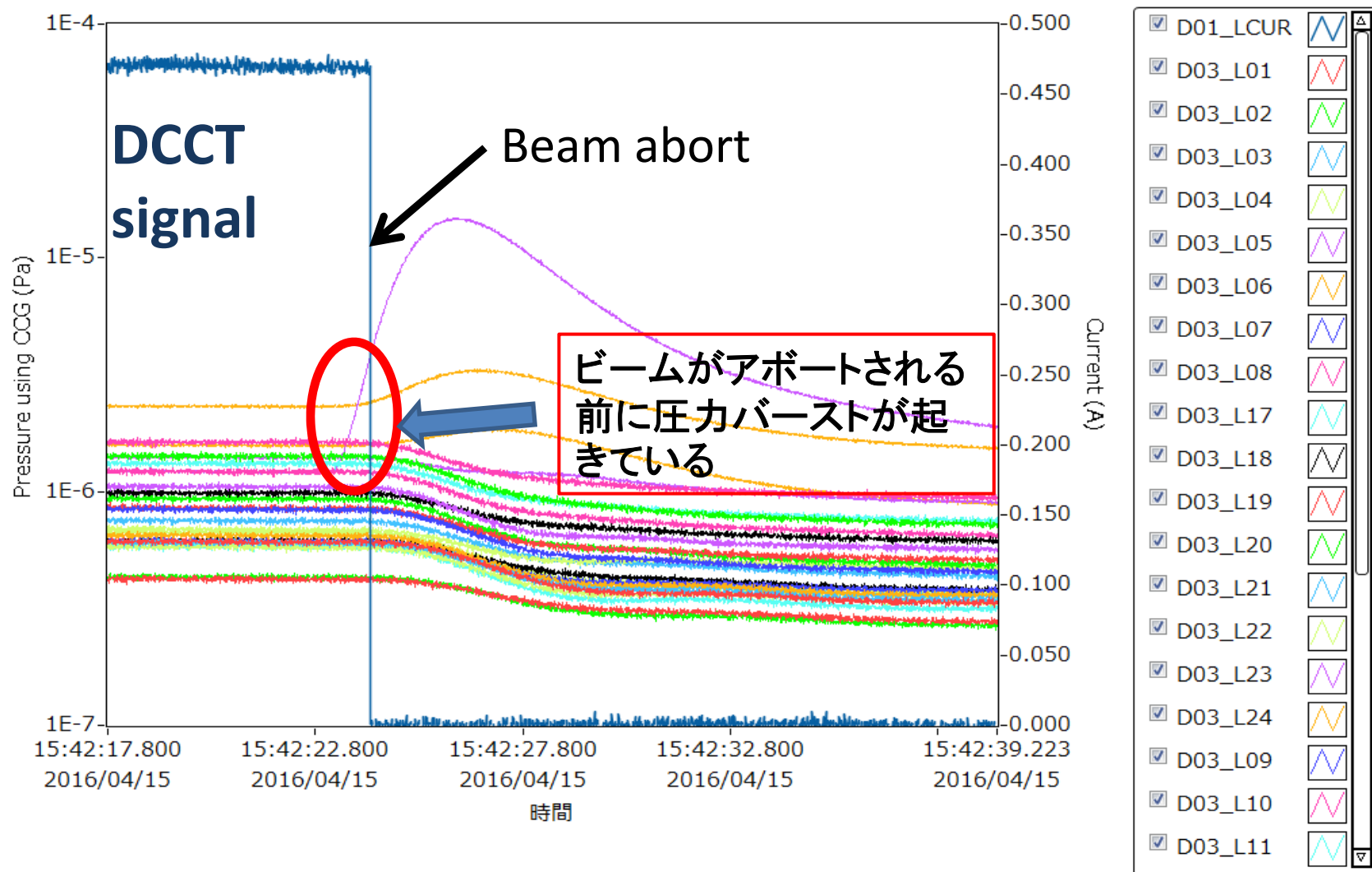


原因の究明や対策が必要

目次

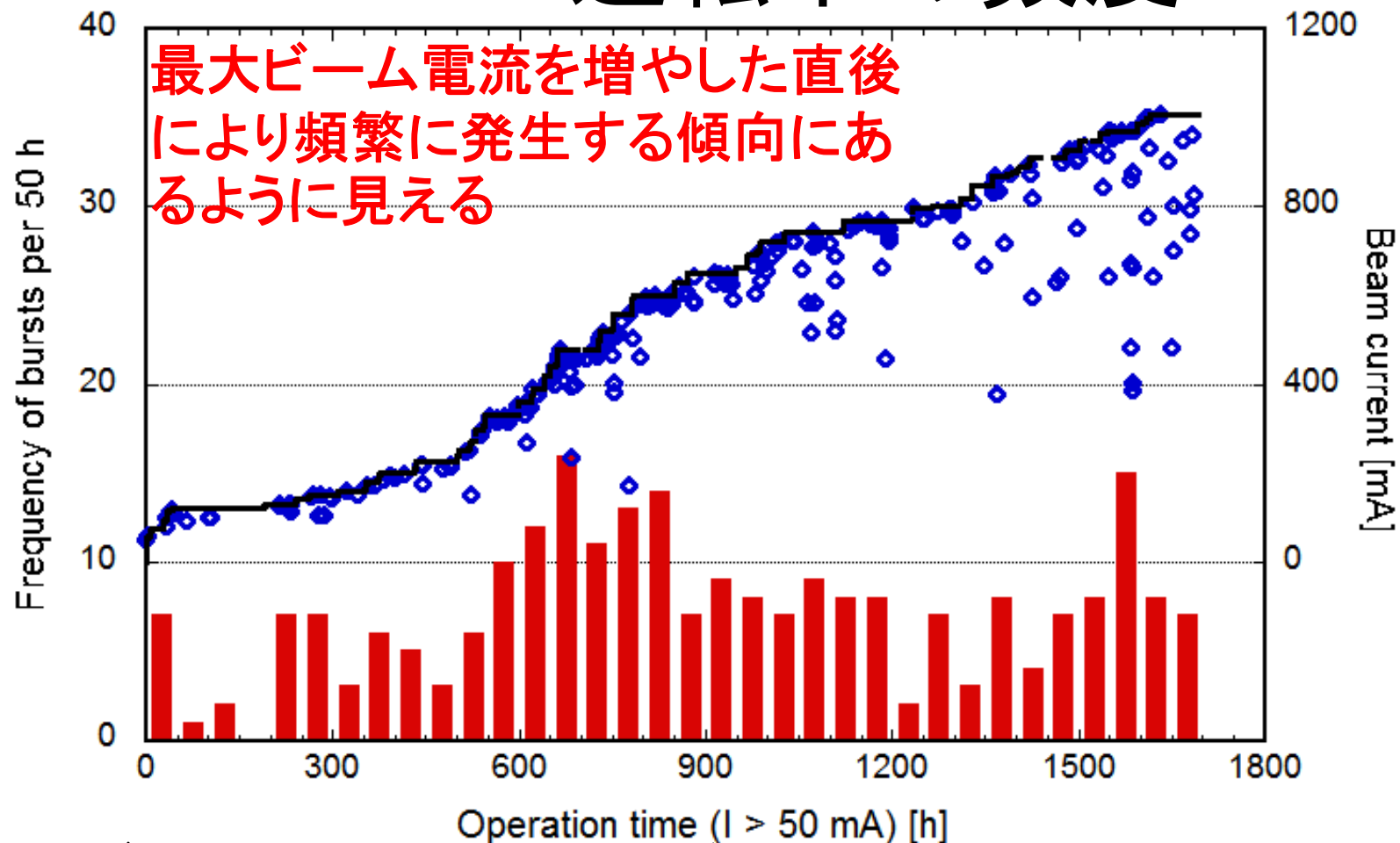
- イントロダクション
- 現象と頻度と発生場所の予想
- 発生原因の仮説と実証実験
- ダストの成分と発生源
- 結論

典型的な圧カバースト現象



圧カバーストを伴うビームアボート時のグラフ。
レコード間隔は10 ms。

Phase-1運転中の頻度



赤の棒グラフ: 運転時間50時間ごとの発生回数。

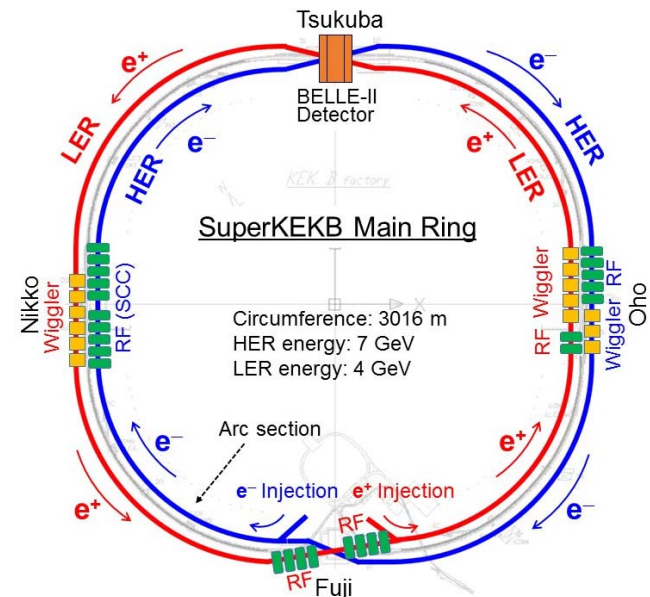
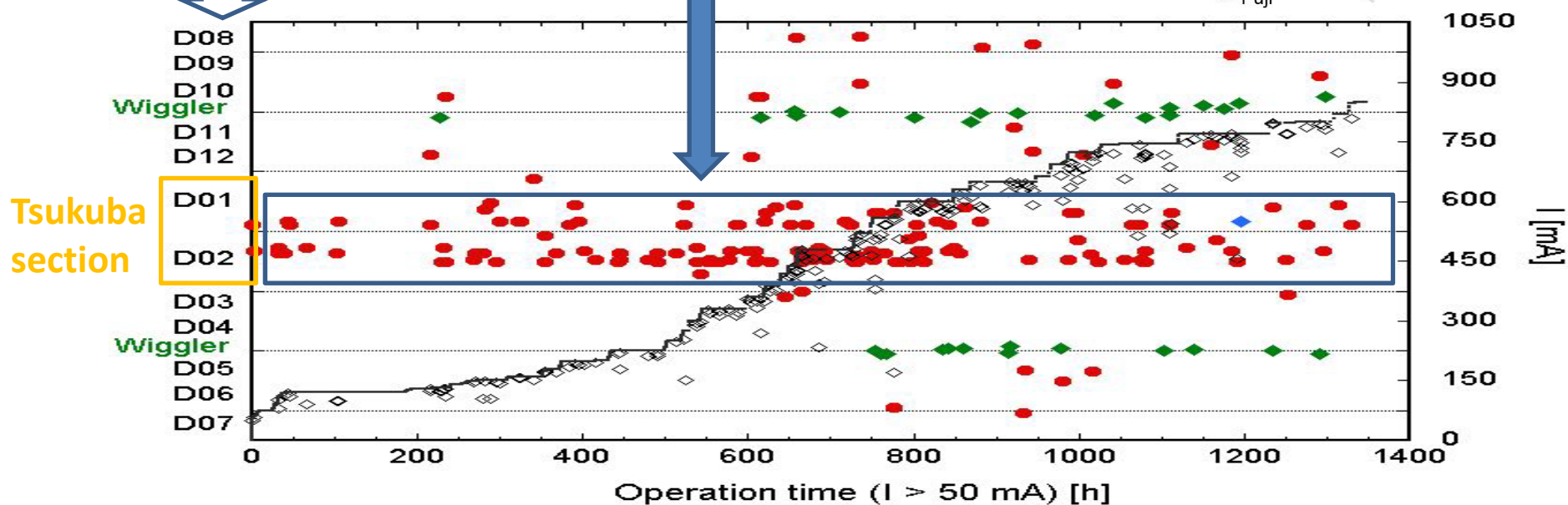
青のダイヤ: どのビーム電流の時に発生したのかをプロット。

黒い線: そのときの最大蓄積電流。

発生場所

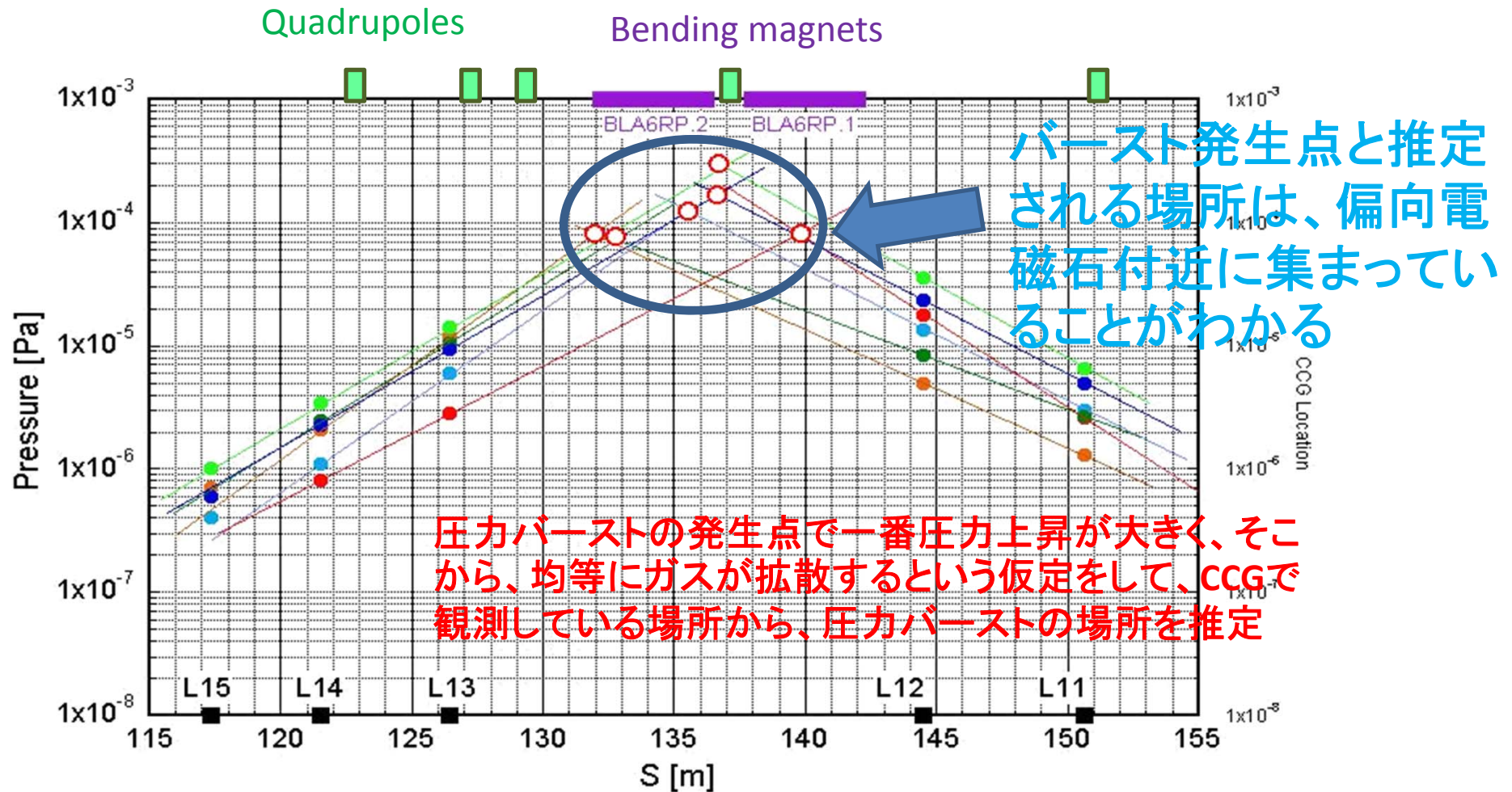
The place where pressure bursts frequently occur

The place of occurrence



圧カバーストは、多くの場所で発生したが、特に多いのは筑波ストレートセクション。

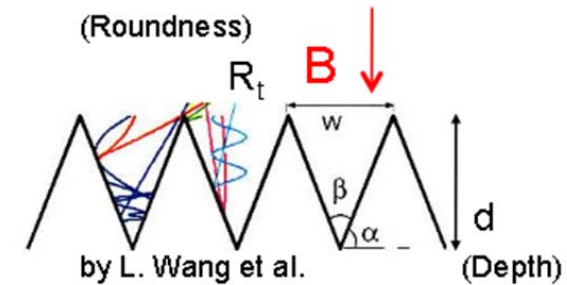
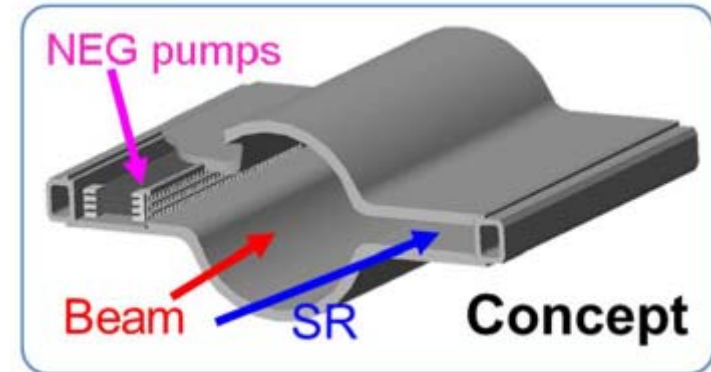
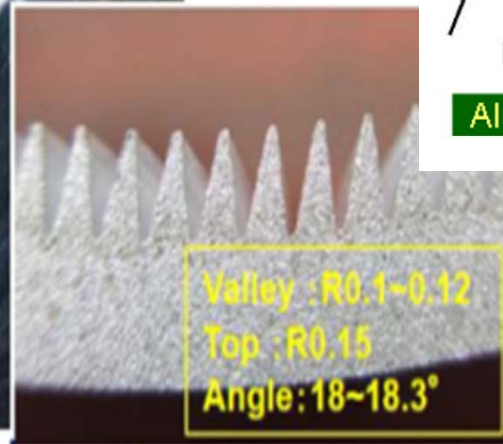
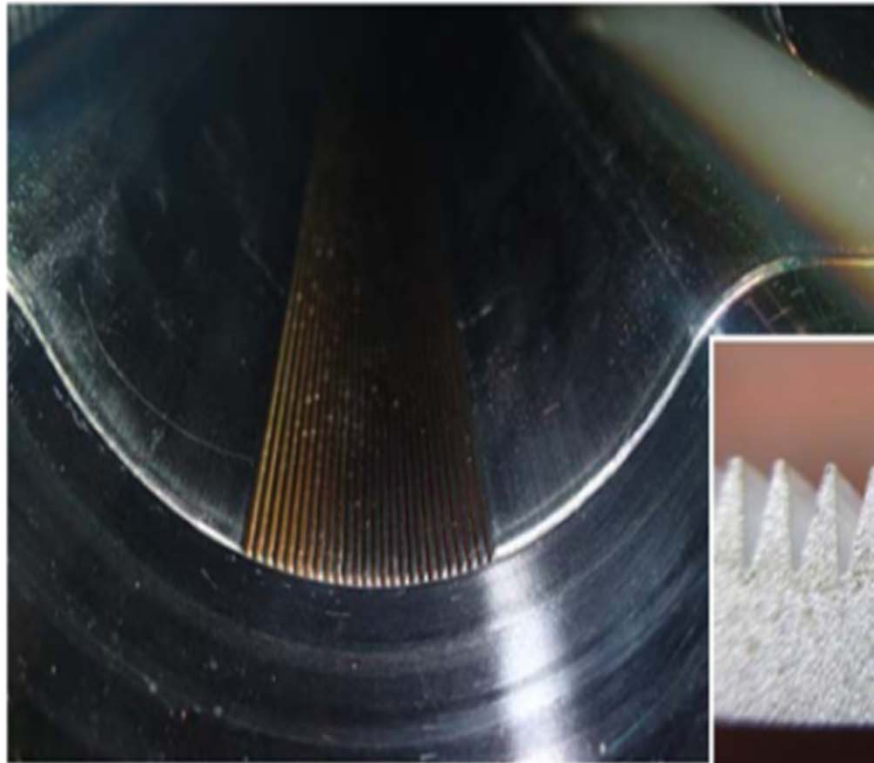
バースト発生点の推定



圧力バーストの発生点を、真空計を用いて推定した。(6サンプル)

LERの偏向電磁石の中のビームパイプ

電子雲効果を抑制するために、
上下面にグルーブ構造を持っている

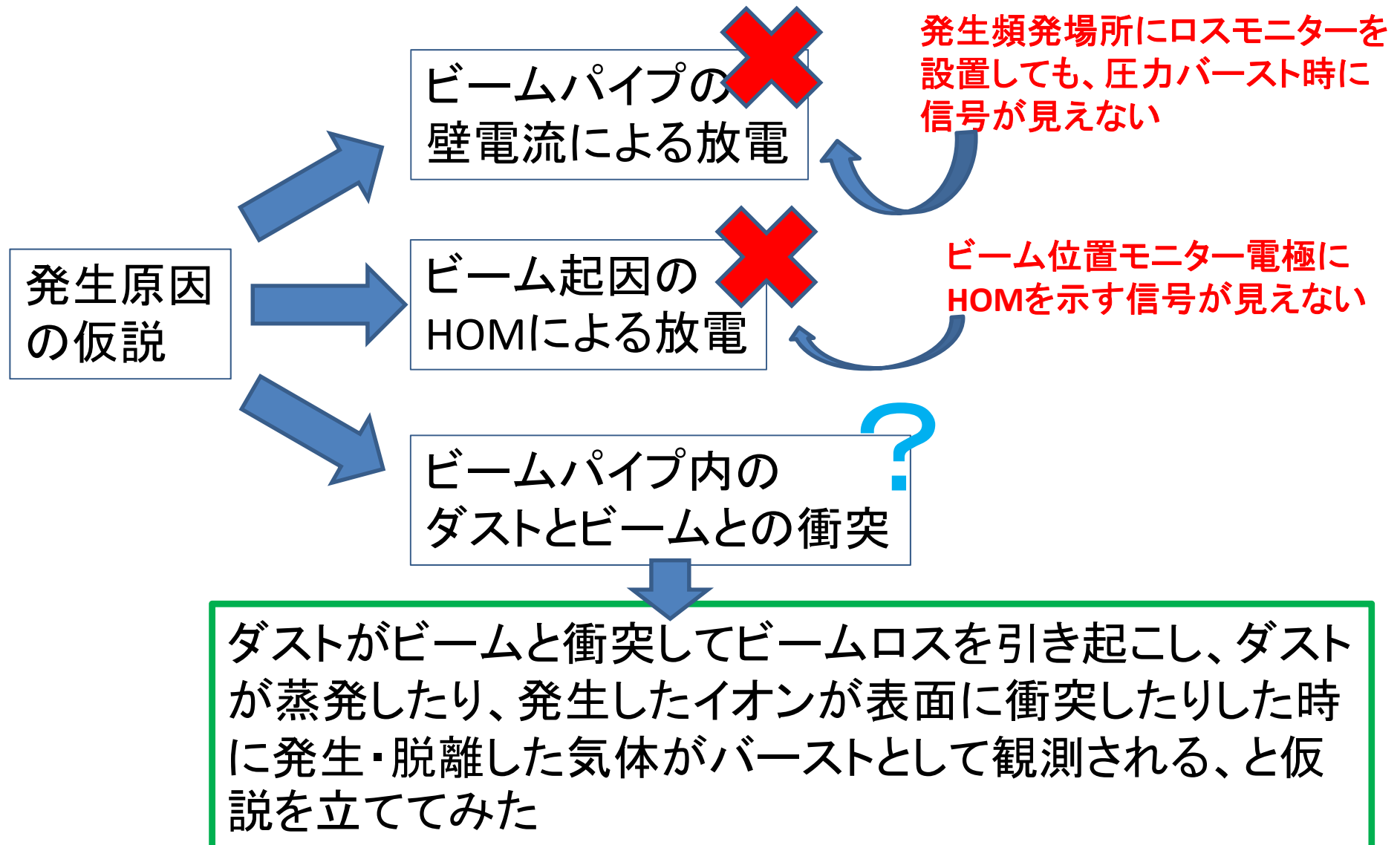


Aluminum beam pipe with grooves

目次

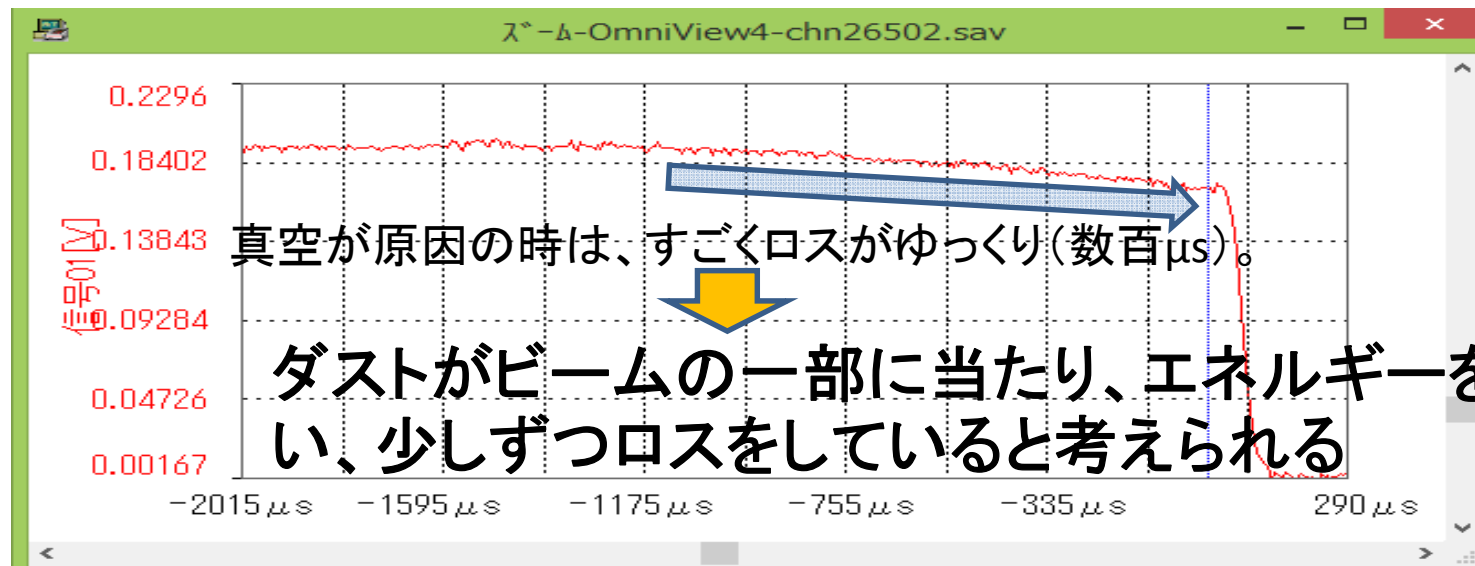
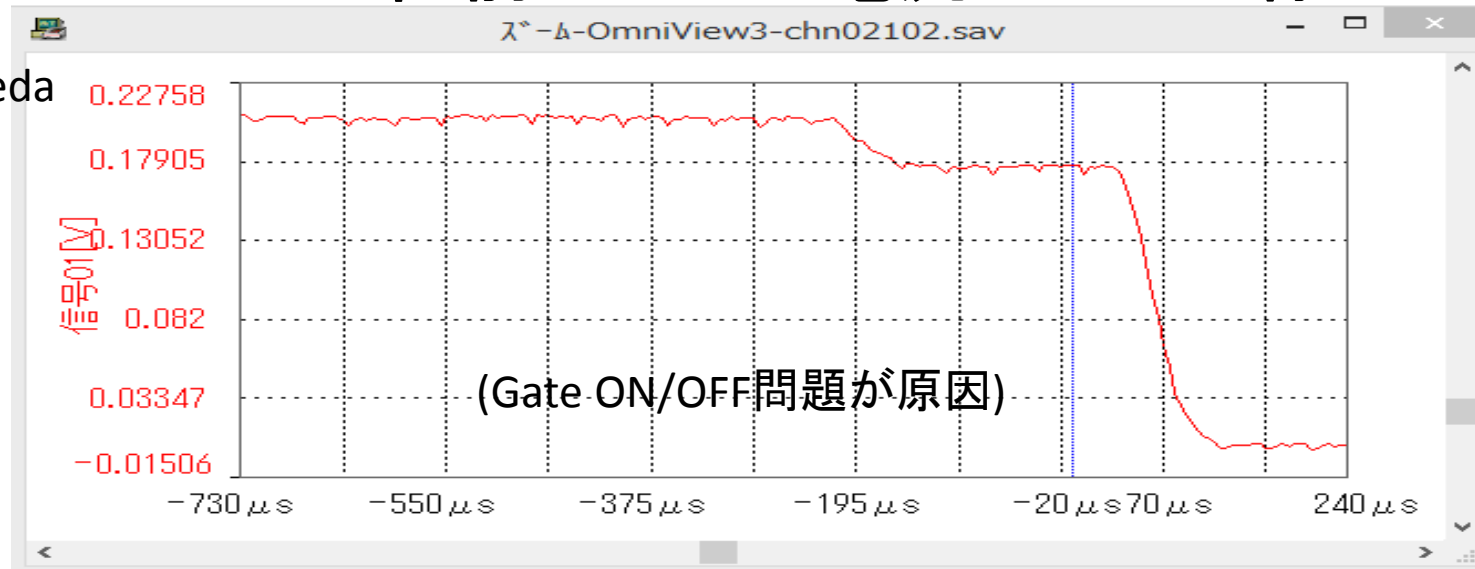
- イントロダクション
- 現象と頻度と発生場所の予想
- 発生原因の仮説と実証実験
- ダストの成分と発生源
- 結論

圧カバーストの発生原因

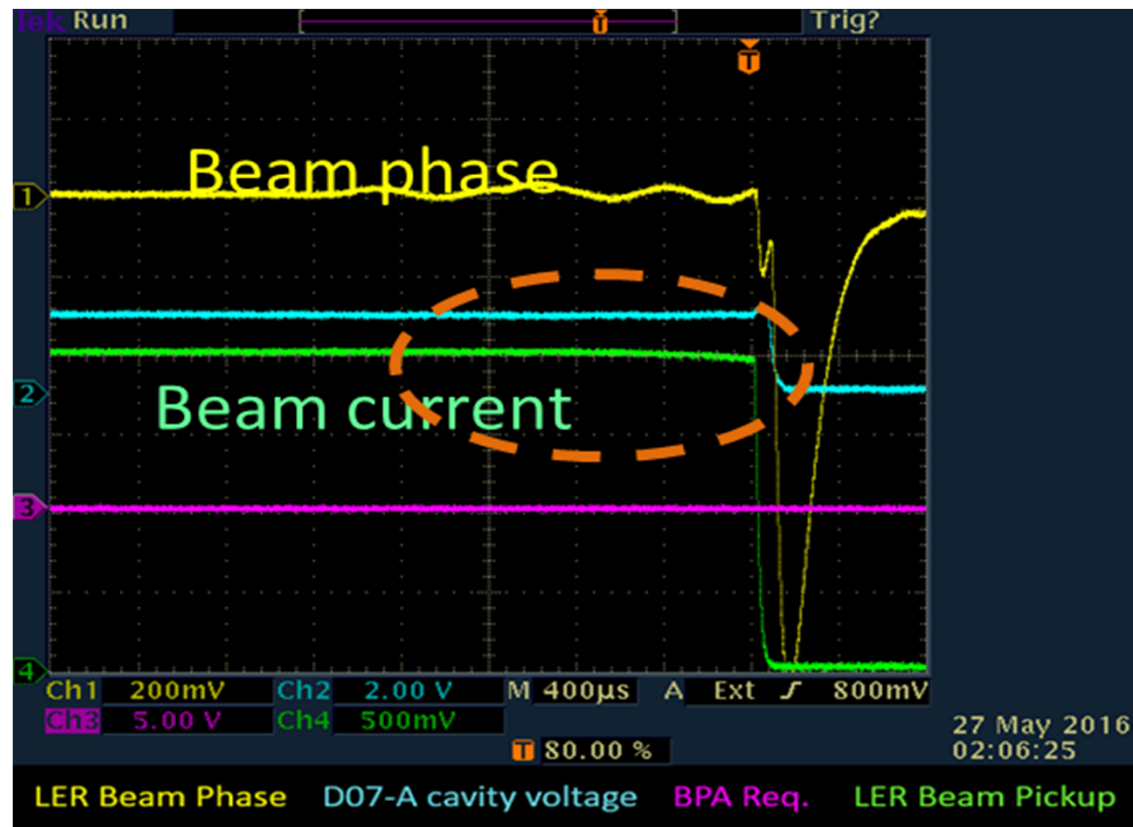


圧カバーストがあった場合となかった場合での、 ビームアボート直前のビーム電流のロスの様子と比較

by ikeda



圧カバーストを伴う
ビームアポート時の、
ビームフェーズ(黄色)
とDCCTでみたビーム
電流(黄緑色)

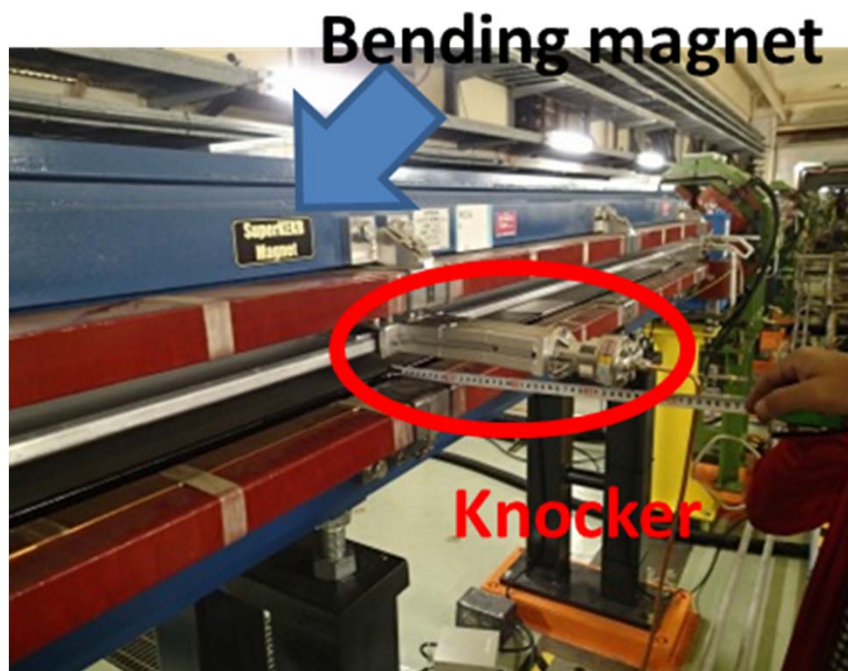


400 μ s /div.

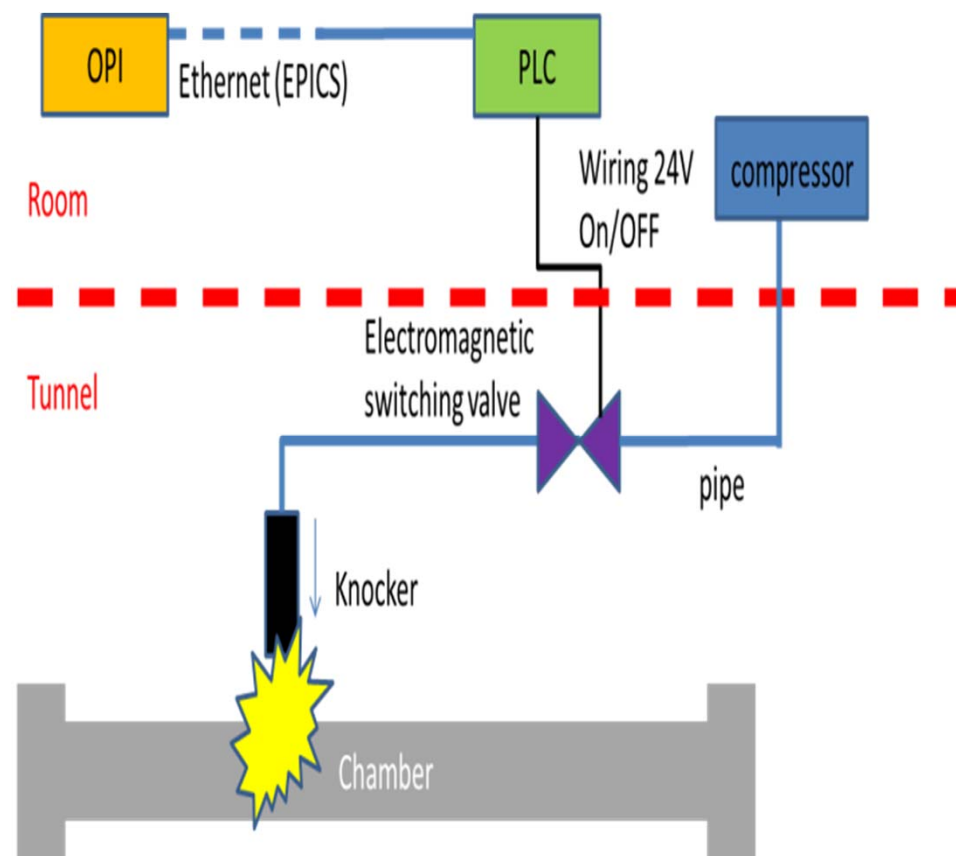


このビームフェーズの振動からシンクロトロン振動が起きているとわかり、シンクロトロン振動の原因はビームがダストと衝突してエネルギーを失ったことと考えられる

仮説の実証試験



上の仮説を実証するために、
偏向電磁石内のビームパイプ
に衝撃を与える“ノッカー”を取
り付けた

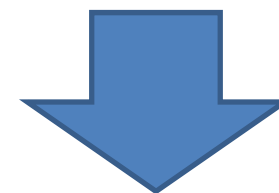
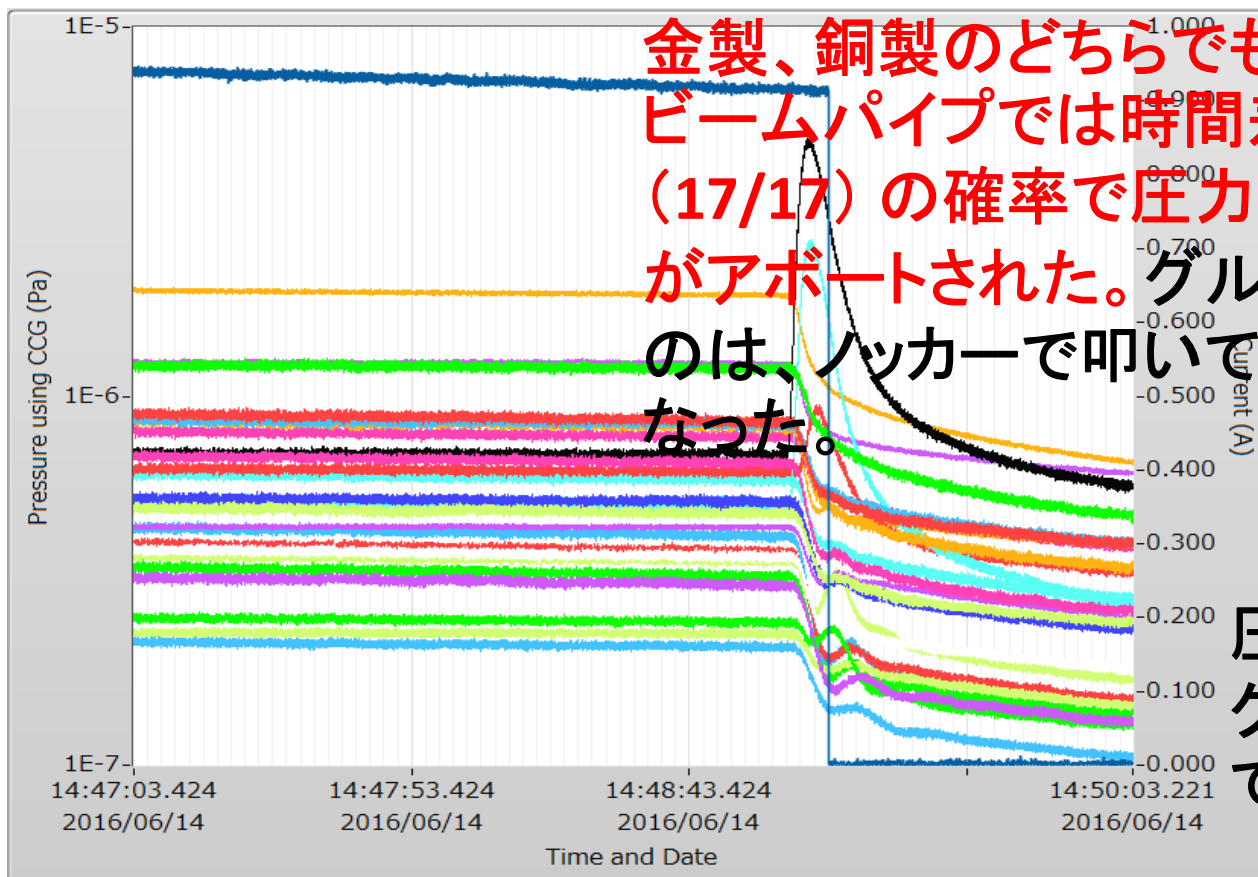


Remote control system for the knocker test.

ノッカーは、ビームからの放射線を受けても壊れないように、圧空を使って動作するものを選んだ(この圧空配管は、ゲートバルブに使われているものを分岐させて作った)。

仮説の実証試験

ノッカーを動作させた際には、アルミニウム合金製、銅製のどちらでも、グループ構造を持つビームパイプでは時間差はあるものの100% (17/17) の確率で圧カバーストが起き、ビームがアボートされた。グループ構造を持たないものは、ノッカーで叩いても圧カバーストは起こらなかった。



圧カバーストの原因に、グループ構造が関係していると考えられる

ノッカー動作時の圧カバーストのグラフ。
運転時に起きていた圧カバーストと同じ挙動である

目視での確認と落ちる原因の推察

Phase-1運転終了後大気開放をした際に、ファイバースコープをビームパイプ内に入れて、ビームパイプを叩いてみたところ、グループからダストが落ちてくるところが、撮影できた。



ダストはグループに
捕捉されていた



運転時にグループに捕捉さ
れたダストが落ちる原因は？



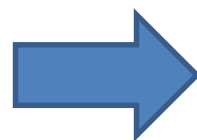
最大電流を上げたときに圧
カバーストが良く起きること
から、放射光からの熱膨張
などでグループ形状の変化
してグループとダストの摩擦
が弱まったことが考えられる

目次

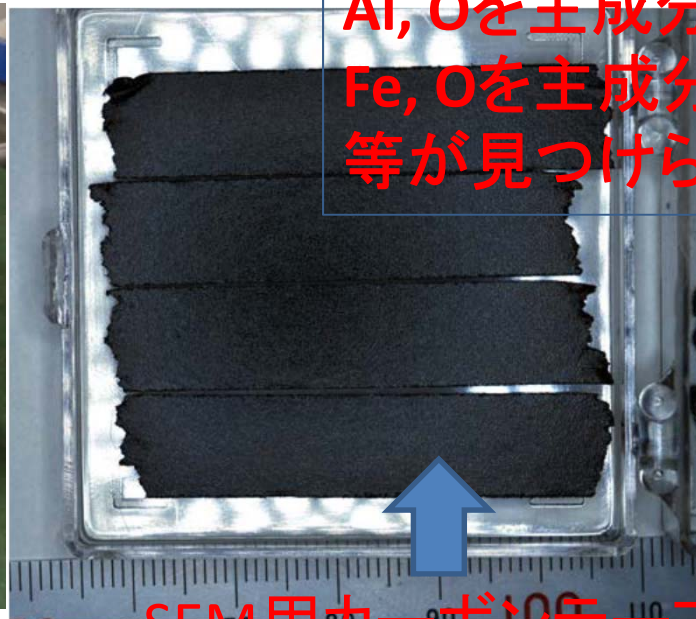
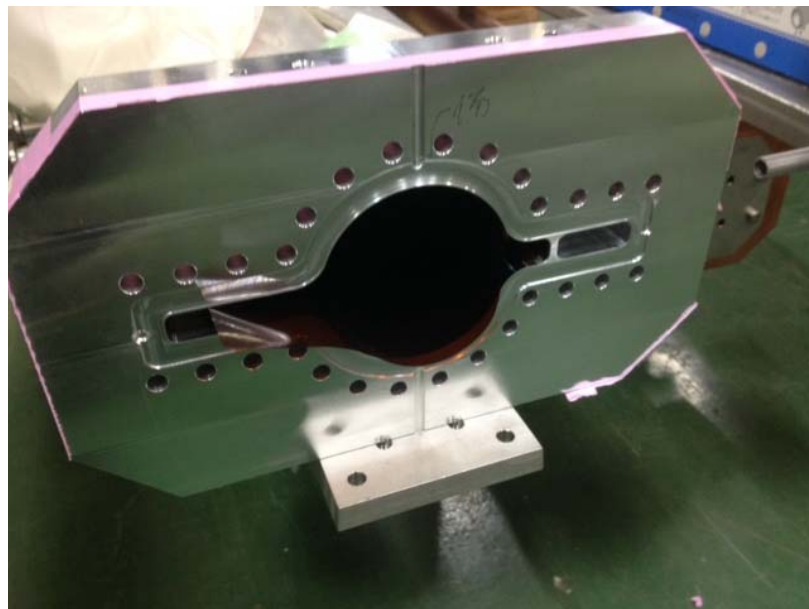
- インTRODクシヨN
- 現象と頻度と発生場所の予想
- 発生原因の仮説と実証実験
- ダストの成分と発生源
- 結論

ダストの採取

予備のグローブ付ビームパイプの中に洗浄したプラスチックケース内にSEM用カーボンテープを貼ったものやカプトンシートを挿入して、ハンマーで叩いてダストを採取した



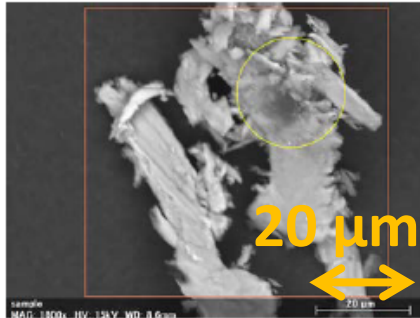
この採取したダストの成分を分析した結果、
Si, Oを主成分とする粒子、
V, Zrを主成分とする粒子、
Ti, Oを主成分とする粒子、
Al, Oを主成分とする粒子、
Fe, Oを主成分とする粒子
等が見つけられた。



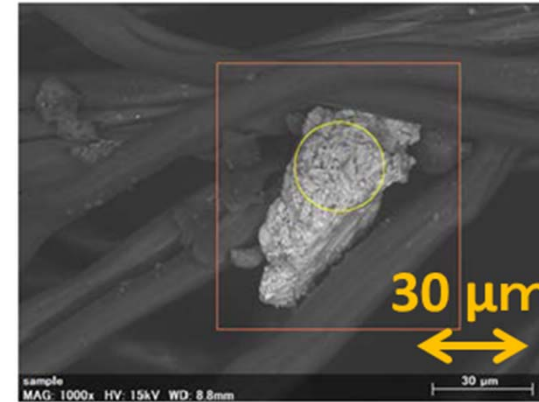
SEM用カーボンテープ

ダストの例

粒子 7

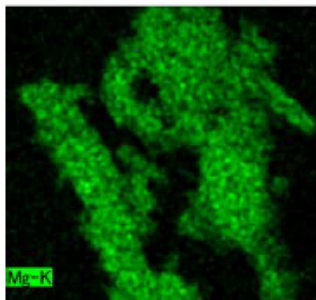
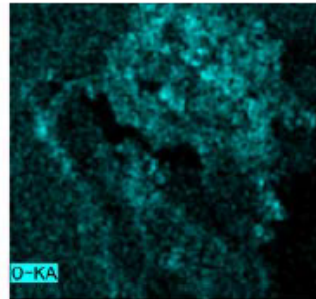
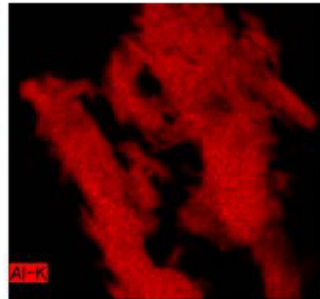
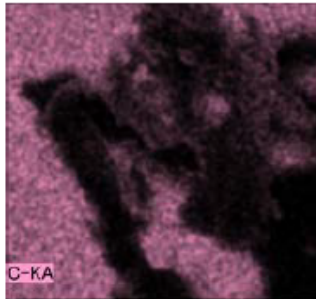


Element	AN	Series	norm. C	Atom. C
			[wt.%]	[at.%]
Aluminium	13	K-series	41.82	26.09
Carbon	6	K-series	38.51	53.98
Oxygen	8	K-series	17.52	18.43
Magnesium	12	K-series	2.15	1.49
Total:			100.00	100.00



黄色円内部分の半定量分析結果

Element	AN	Series	norm. C	Atom. C
			[wt.%]	[at.%]
Zirconium	40	L-series	30.03	7.81
Carbon	6	K-series	26.48	52.31
Vanadium	23	K-series	19.57	9.12
Oxygen	8	K-series	19.11	28.34
Iron	26	K-series	3.93	1.67
Silicon	14	K-series	0.50	0.42
Aluminium	13	K-series	0.37	0.32
Potassium	19	K-series	0.02	0.01
Magnesium	12	K-series	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00

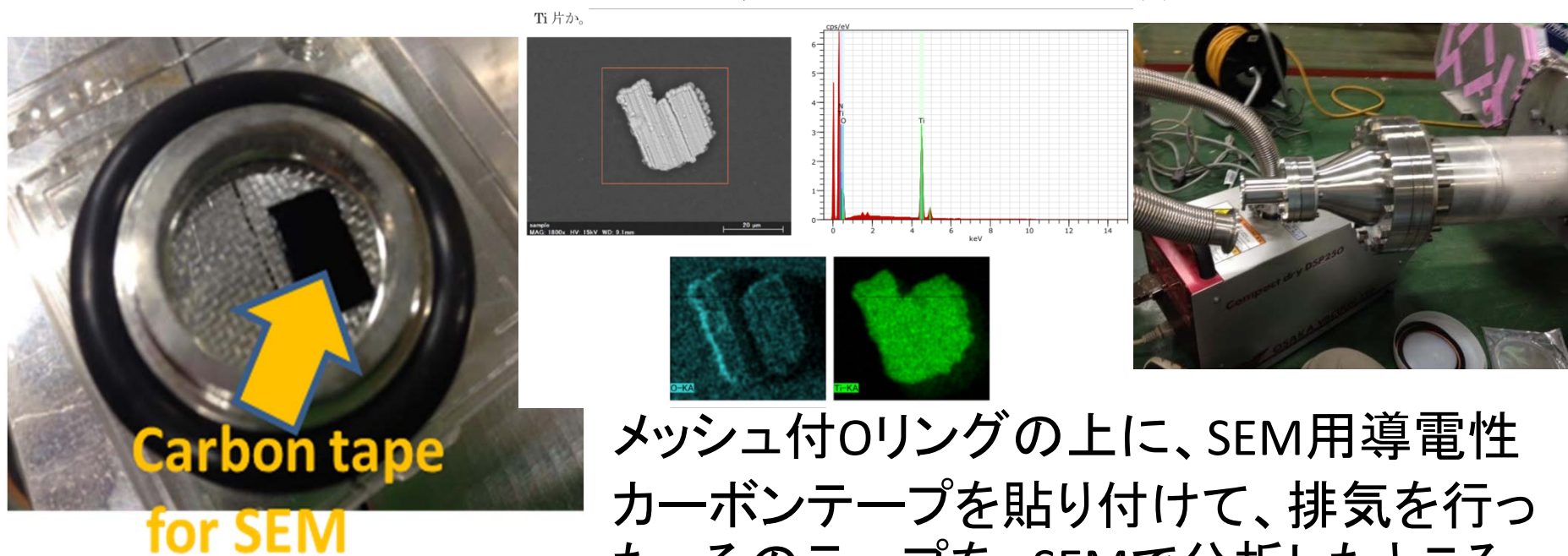


Al-alloy?

V、Zr from NEG?

ダストはいつ捕捉されたのか？

製作時からの切子の残り、運搬時の振動で捕捉されたと考える。他の可能性として、粗引きやパーズ時のダストの舞い上がりを疑った。



目次

- イントロダクション
- 現象と頻度と発生場所の予想
- 発生原因の仮説と実証実験
- ダストの成分と発生源
- 結論

ここまでの観測及び実験から得た結論

- 1) ノッカー作動時の現象や大気開放時のダストの観測から、圧カバーストの原因は、放射光からの熱膨張などでビームパイプ形状の変化に伴い、**グローブに捕捉されたダストが落ち、ビームと衝突したため**考えられる。
- 2) ビームパイプ内から採取したダストからは、アルミニウム合金ビームパイプ製作時の切り屑、保管時に混入したと考えられる砂やNEGポンプやTiNコーティング等由来と思われる、多くの成分が検出された。
- 3) ダストがグローブに捕捉さえる原因としては、製作時からの切子の残り、運搬時の振動、粗引きやパージ時のダストの舞い上がり等が考えられる。

しかし

- この事象はまだ十分解明されたわけではない。例えば、採取されたダストの成分、大きさで、観測されたようなゆっくりしたビームロスが起きるのか、は計算中。
- ダストは上部のグループから落ちるだけなのか、下部のダストがビームに引き寄せられることはないのか、ビームパイプ内の電子雲の影響(すなわちチャージアップ)はあるのか、など、さらに検討が必要。



現状、計算や検討を進めながら、Phase-2運転前に、ビームパイプをノッカーで予め叩き、グループに捕捉されているダストを落としておき、圧カバーストが減るかを検証予定。

Thank you for your attention