

High-power laser shock-induced dynamic fragmentation of iron foils

G. Morard, .et al

PHYSICAL REVIEW B (2010)

発表者：永木恵太(大阪大学)

I . Introduction

- 惑星の核の主要構成物質

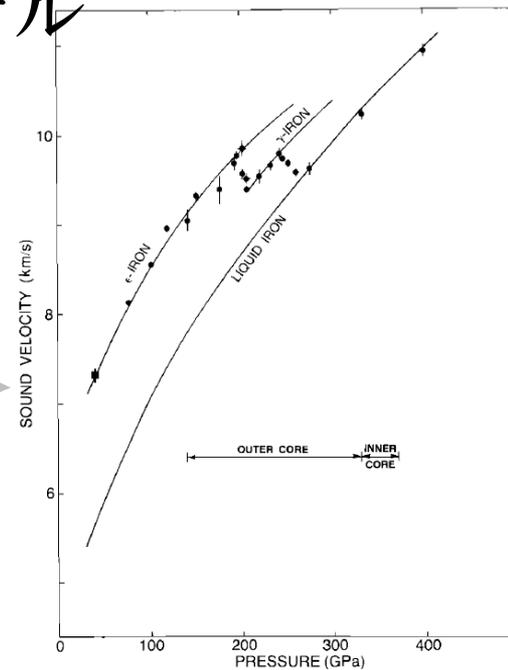


- 惑星形成の理解、惑星内部の分化過程
- 鉄隕石の母天体の衝突破片形成モデル

たくさんの実験が行われてきたが
未だに不確かさが残る

- 衝撃圧縮実験
- レーザー加熱ダイヤモンドアンビル
- 第一原理計算

J. M. BROWN and
R. G. MCQUEEN
(1986)



I . Introduction

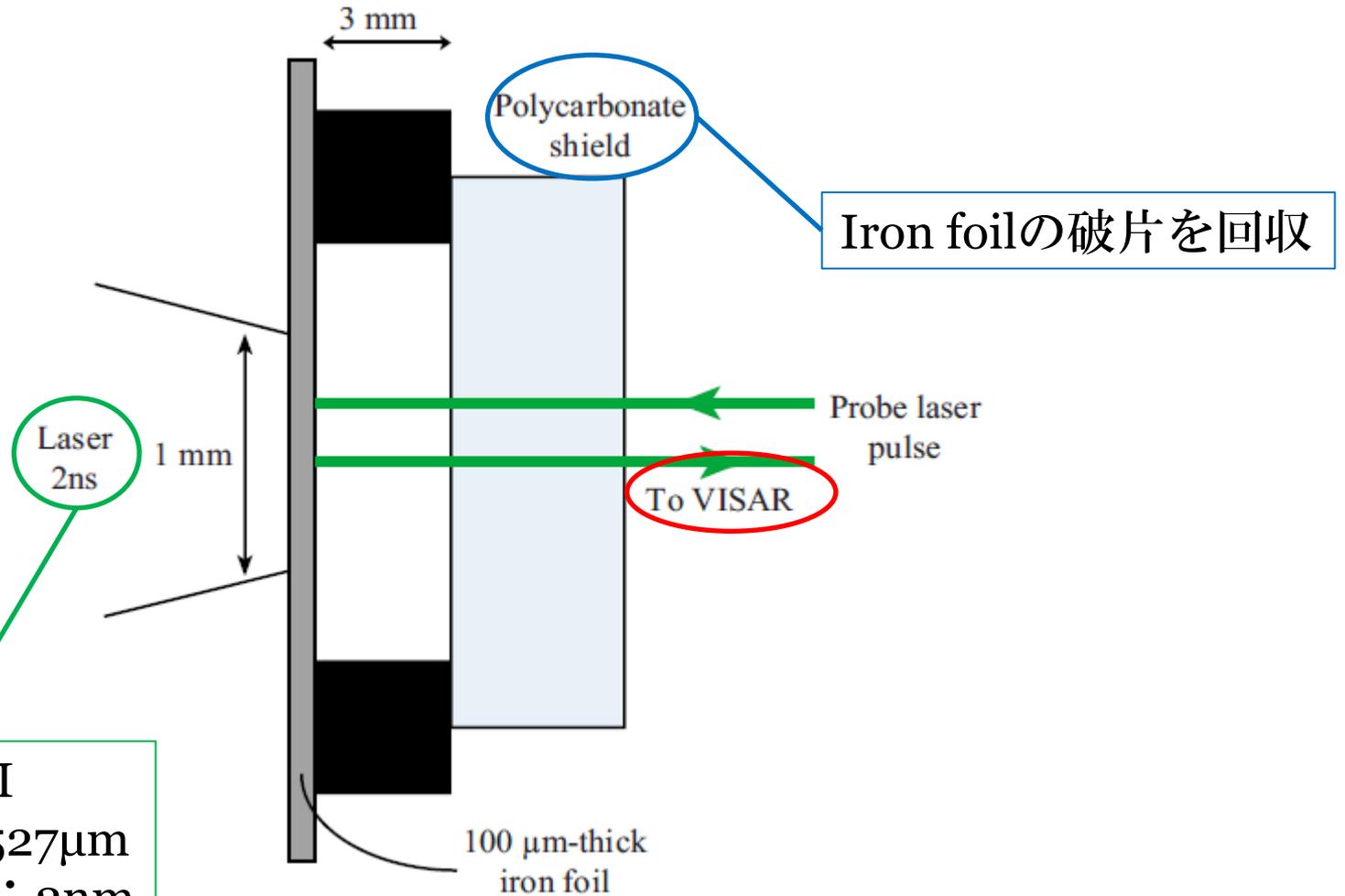
目的

破片形成プロセスが、鉄の
溶融や相図とどう関係している
のかについて調べる

おまけ：

過去に金属の液体状態の破片についての論文がある
しかし回収した液滴は圧縮によって生成したのかが不明瞭
よってシミュレーションを踏まえてそのことについても考察する

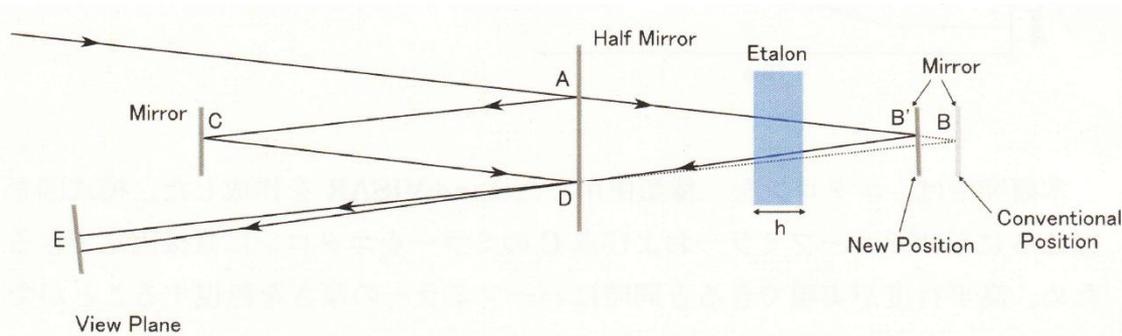
II . Experimental Setup



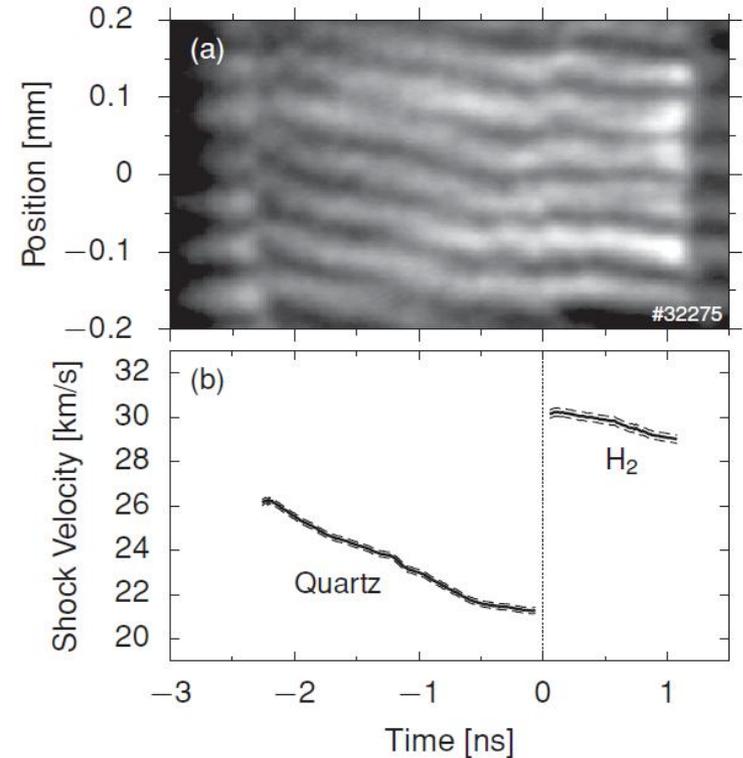
Laser : LULI
波長 : $0.527\mu\text{m}$
パルス幅 : 2ns
集光径 : 1mm

II. Experimental Setup

VISARについて



VISARの模式図(高橋 修論より)



例：試料中を伝搬する衝撃波面の減衰と
VISARのFRINGE変化(レーザー研@阪大)

T.Sano et al.,2011

III. Free Surface Velocity Profiles

レーザーの波長を $\omega \rightarrow 2\omega$ に変換する前のレーザーエネルギー値
 (shot16,27は他とは異なる変換素子を使用) \Rightarrow エネルギーでの比較は不可

VISARで計測した試料の裏面速度

Spallationによる裏面速度の減少分

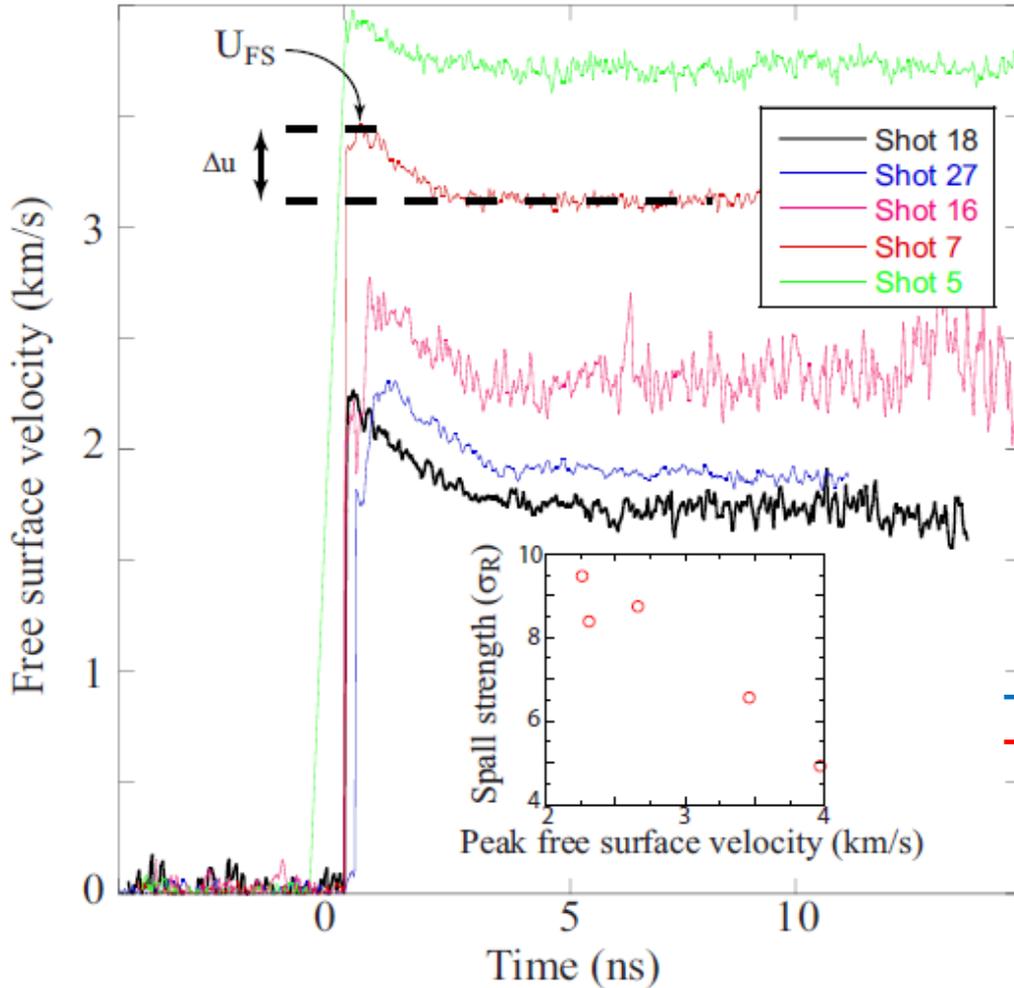
Shot No.	E (J)	U_{FS} (km/s)	Δu (km/s)	σ_R (GPa)	P_M SESAME (GPa)	P_{SB} SESAME (GPa)	P_M BLF (GPa)	P_{SB} BLF (GPa)	A	B
3	1262								5×10^{-7}	2.81
5	663	3.98(± 0.32)	0.27	5.0	282	111	305	119	1×10^{-6}	2.76
7	533	3.46(± 0.28)	0.36	6.5	252	98	261	101	0.76	1.61
16	592*	2.62(± 0.5)	0.48	8.7	171	64	138	53	0.45	1.55
18	344	2.31(± 0.09)	0.46	8.4	136	50	85	33	1.69	1.46
27	825*	2.28(± 0.09)	0.52	9.5	136	50	85	33	0.15	1.63

Δu より求めたspallation strength

SESAME, BLFそれぞれの状態方程式を用いた時の
 レーザー照射面圧力(P_M)と試料裏面圧力(P_{SB})

破片サイズ分布を $[N=A * s^{-B}]$ とした場合のそれぞれの係数

III. Free Surface Velocity Profiles



試料裏面がspallationを起こすことで裏面速度が減少(Δu)



Spallation strength (σ_R)

$$\sigma_R = \rho_o c_o \Delta u / 2$$

Shot No.	σ_R (GPa)
3	
5	5.0
7	6.5
16	8.7
18	8.4
27	9.5

高圧 (shot 3, 5) と
低圧 (shot 16, 18, 27) では
スプール強度が
大きく異なる

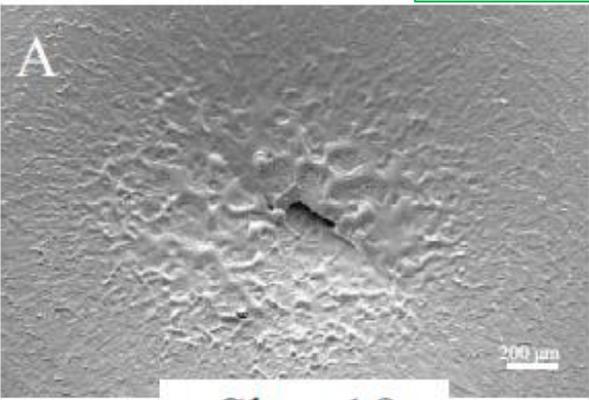


鉄が溶融したことで
引っ張り強度が低下?

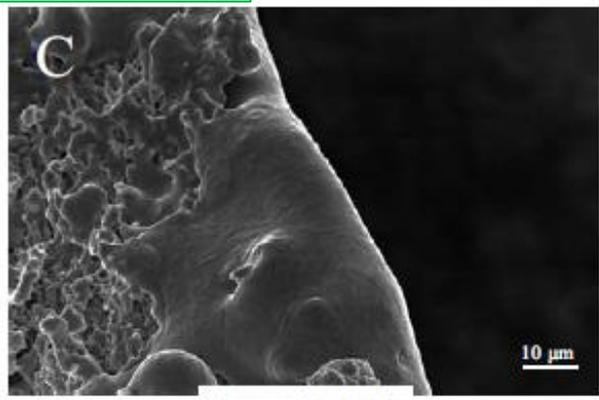
IV. Microscopic Observations of Shocked Targets and Ejected Material

レーザー照射面側

$P_M=85\text{GPa}$
(BLF)



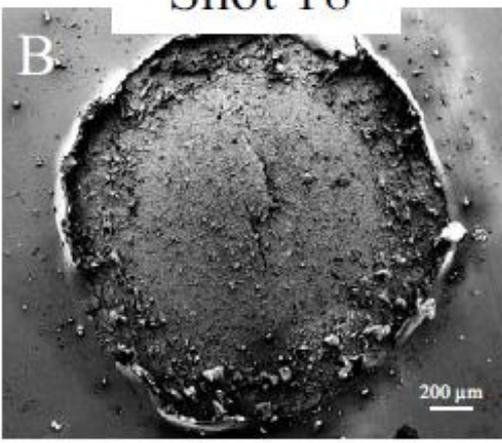
Shot 18



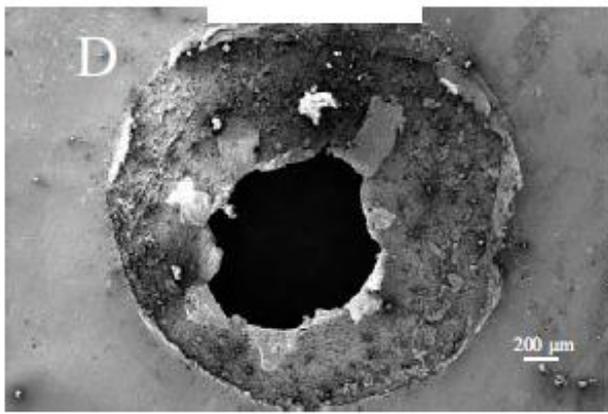
Shot 16

$P_M=138\text{GPa}$
(BLF)

$P_{SB}=33\text{GPa}$
(BLF)



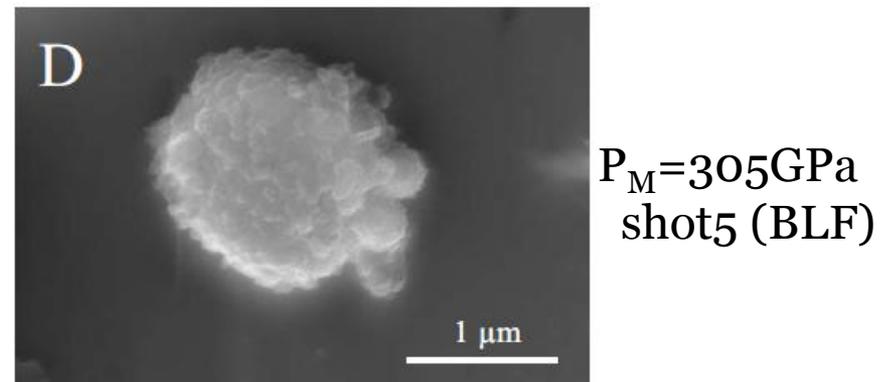
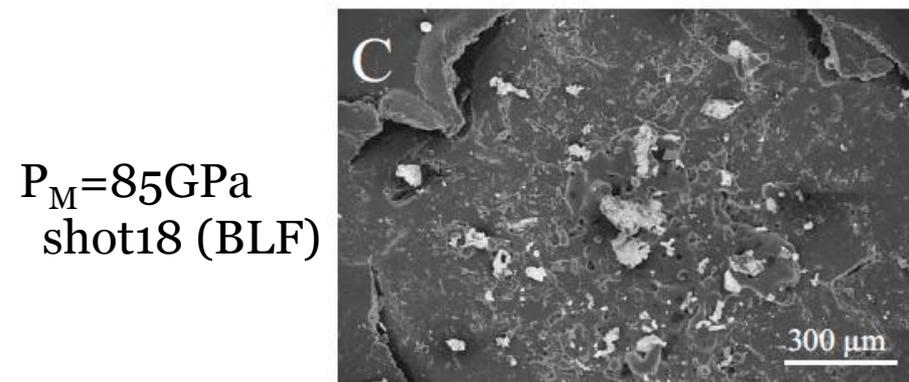
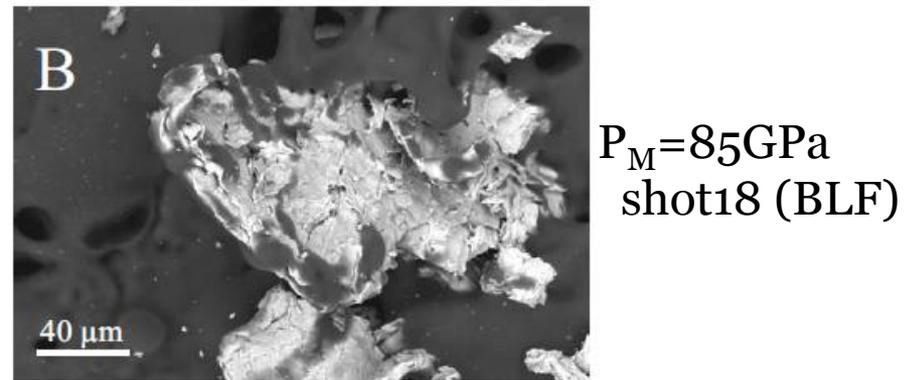
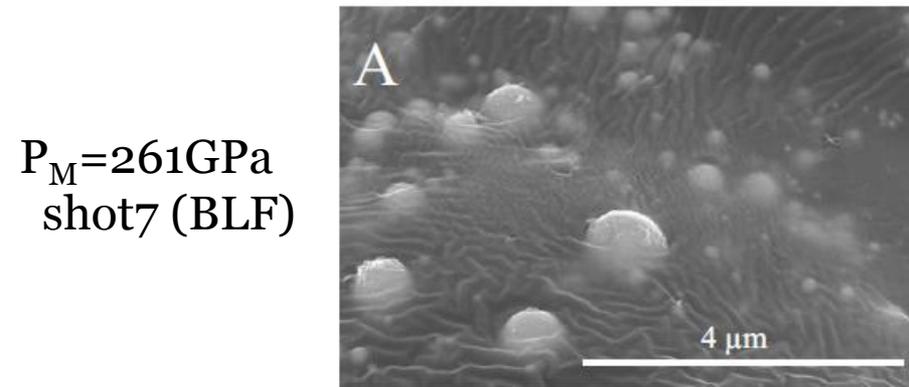
$P_{SB}=53\text{GPa}$
(BLF)



試料裏面

SEMの二次電子像
(試料の凹凸によりコントラスト)

IV. Microscopic Observations of Shocked Targets and Ejected Material



SEMの二次電子像
(試料の凹凸によりコントラスト)

IV. Microscopic Observations of Shocked Targets and Ejected Material

SEM観察のまとめ

- PC上の鉄の丸い粒など**溶融**していた痕跡は存在する

- プラズマによる熱の伝播で溶融(レーザー照射面)
- 衝撃波の伝播による溶融(圧縮過程)
- 断熱膨張による溶融(膨張過程)

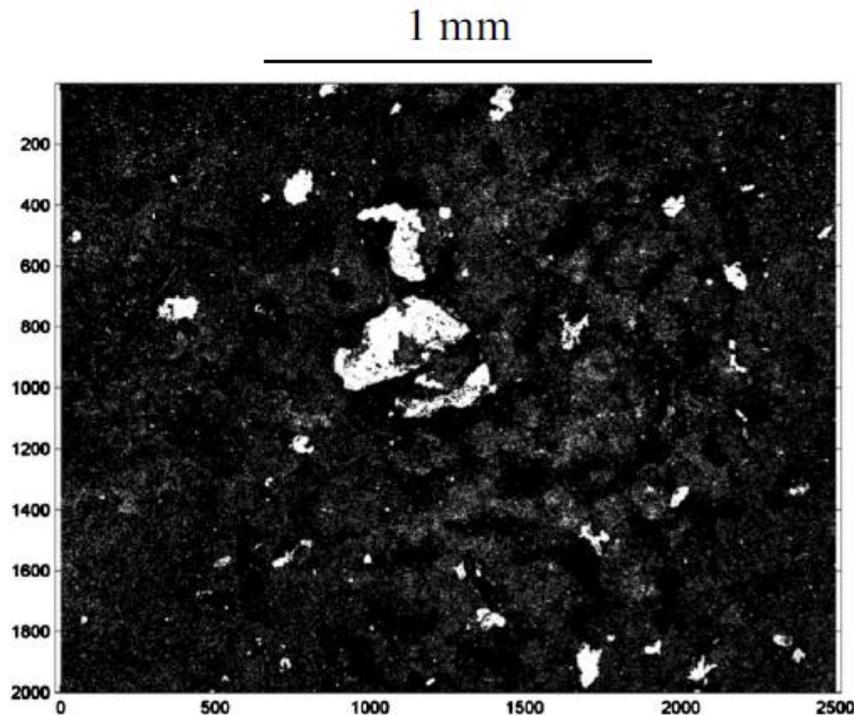
どの効果による溶融なのか判断できないので試料の溶融した条件が分からない

- ~100nmの微粒子が集まった塊が**shot7**と**shot5**(特により高圧のshot5)でのみ生成されていた。

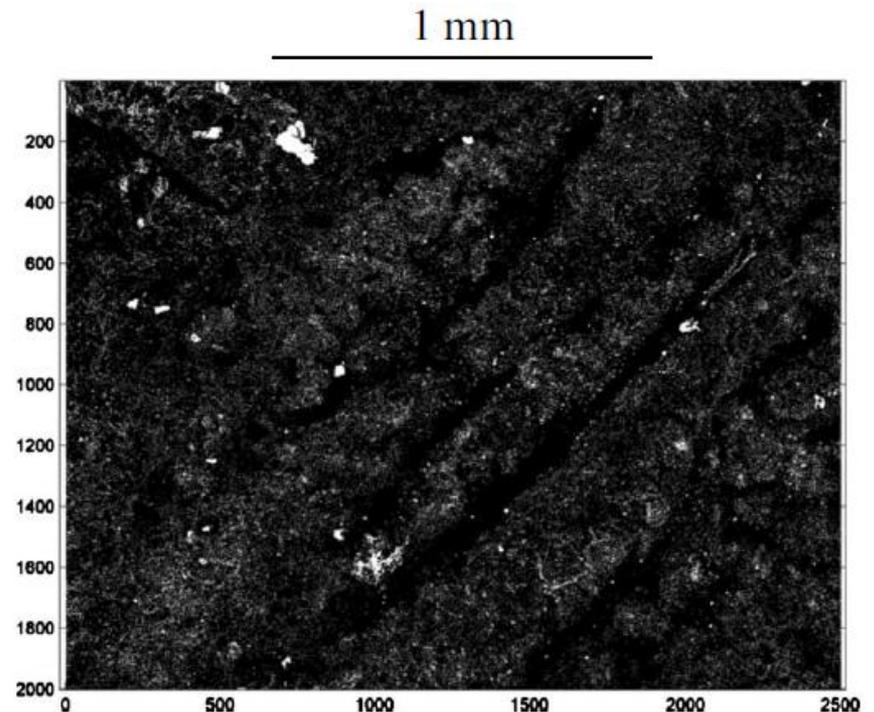


スプール強度が大きく変化した境界と一致

IV. Microscopic Observations of Shocked Targets and Ejected Material



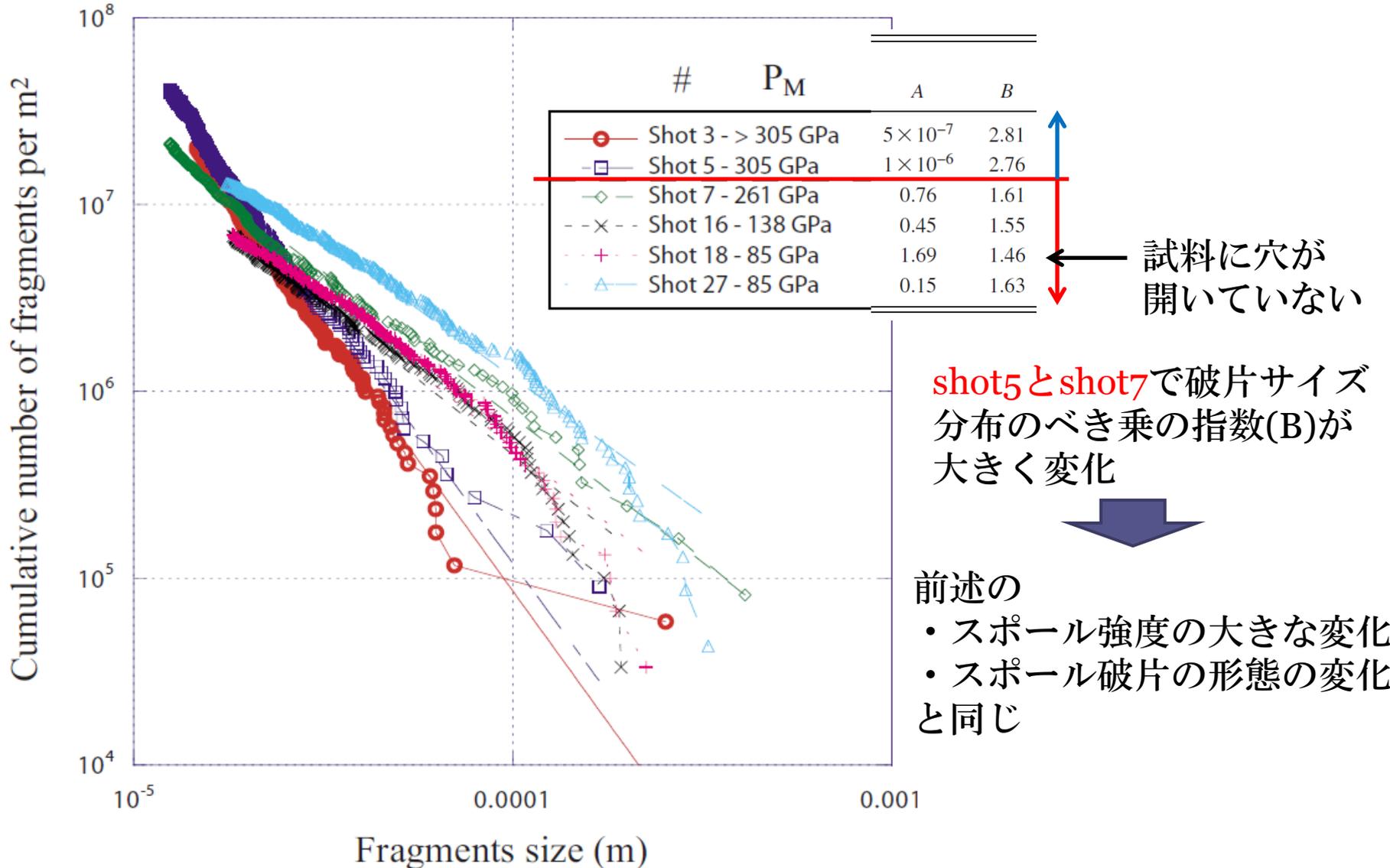
Shot 7 $P_M=261$ GPa



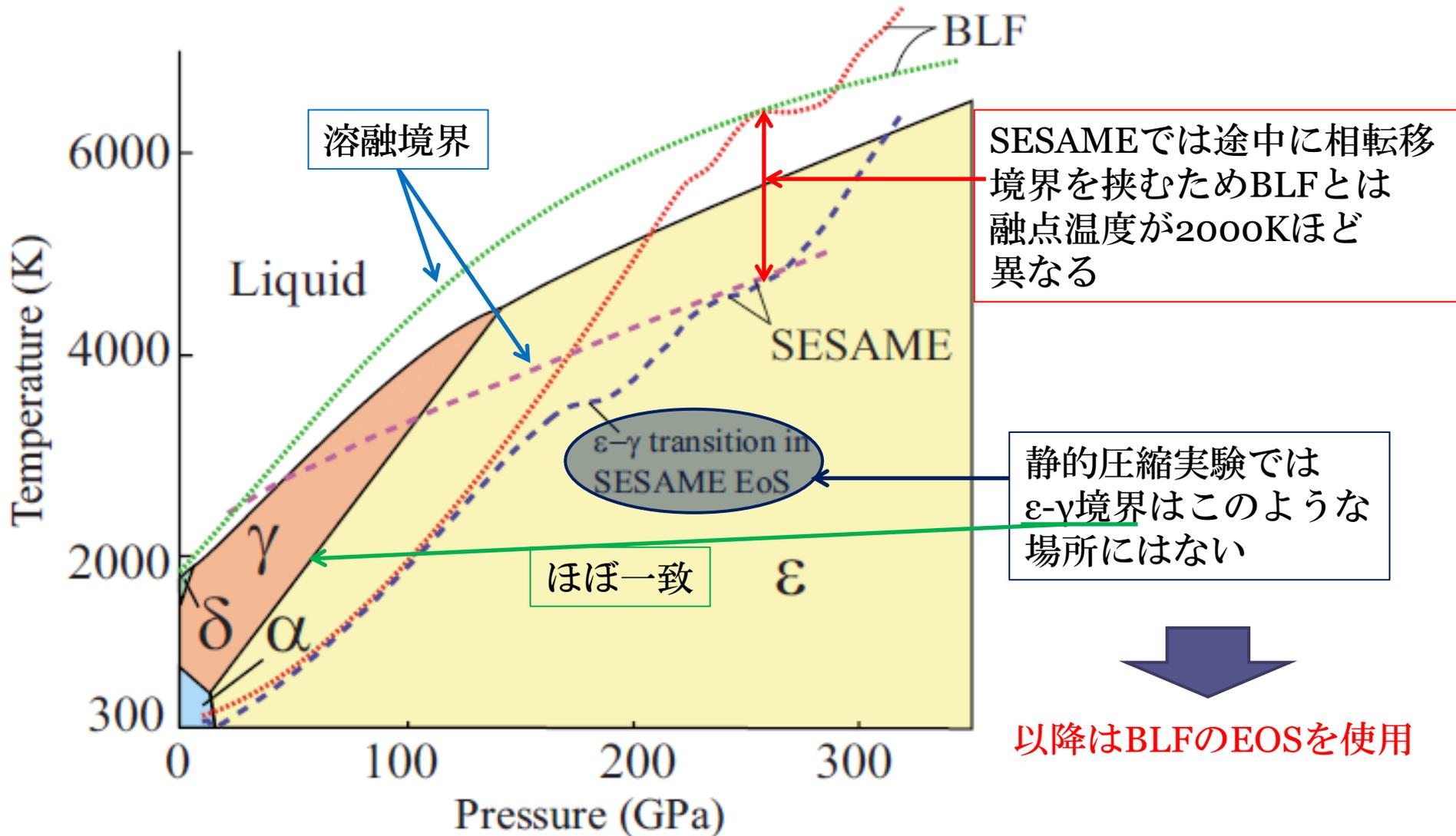
Shot 5 $P_M=305$ GPa

SEMの反射電子像
(試料の原子数によりコントラスト)

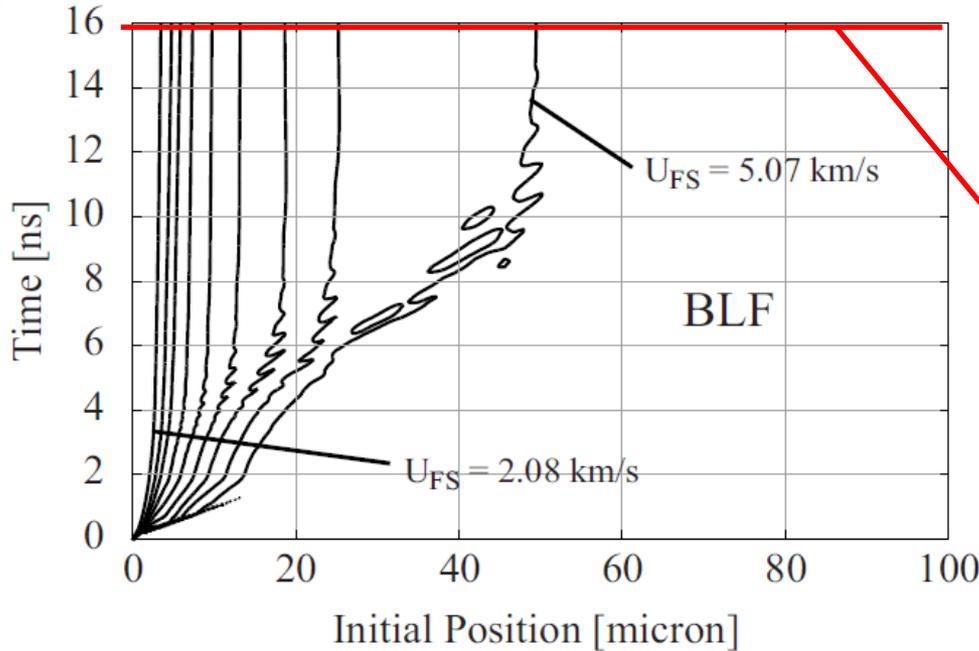
IV. Microscopic Observations of Shocked Targets and Ejected Material



V. Numerical Simulations



V. Numerical Simulations

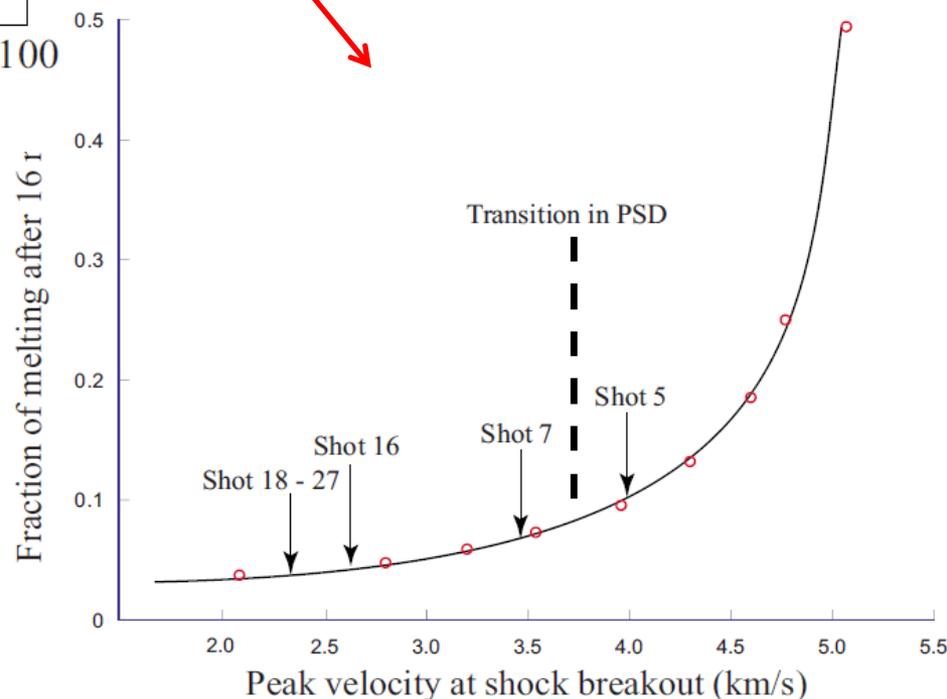


T=16nsにおける溶融割合を U_{FS} (圧力)に対してプロット

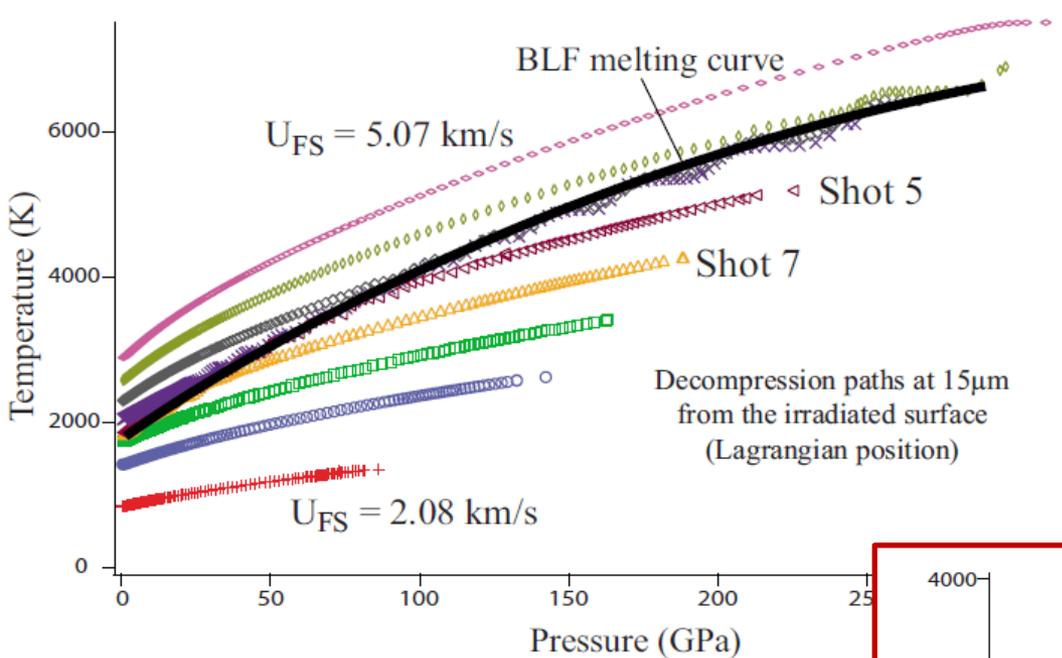
試料(厚み100 μm)に対して異なる U_{FS} (圧力)条件の場合の溶融領域の時間変化



$U_{FS} = 5 \text{ km/s}$ 付近から急に溶融割合が増える



V. Numerical Simulations



試料表面から15 μm での断熱膨張過程

$U_{FS} = 5 \text{ km/s}$ 付近から急に溶融割合が増える



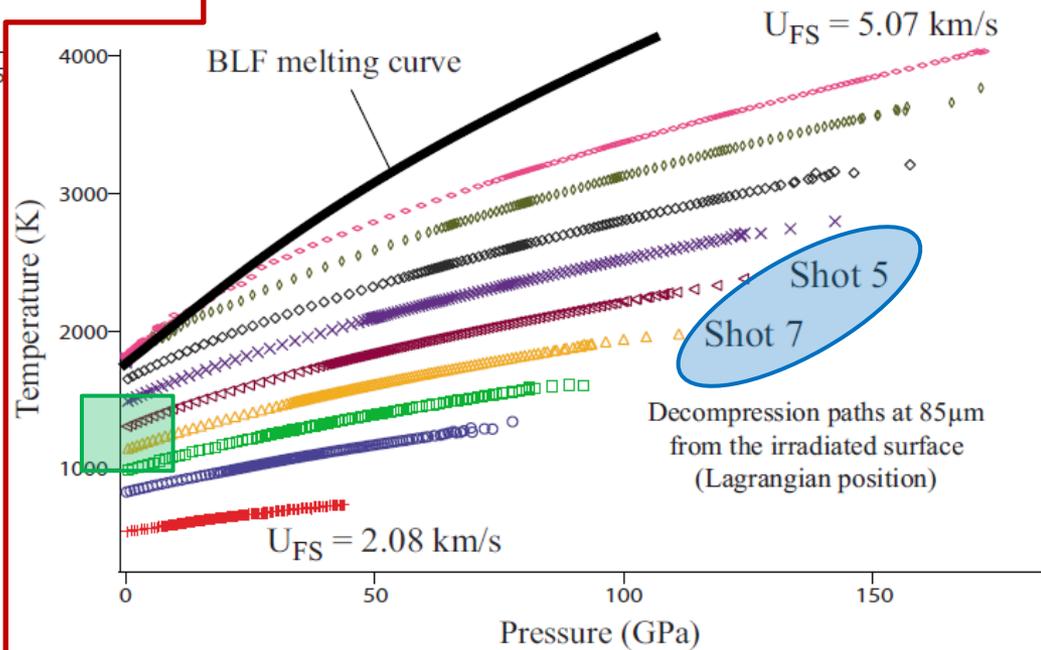
溶融境界と断熱膨張過程が近接しているため U_{FS} の小さな変化が溶融割合の大きな変化に寄与

試料裏面から15 μm での断熱膨張過程 (スポーレーション付近)

裏面付近では鉄は溶融状態にはなりえない



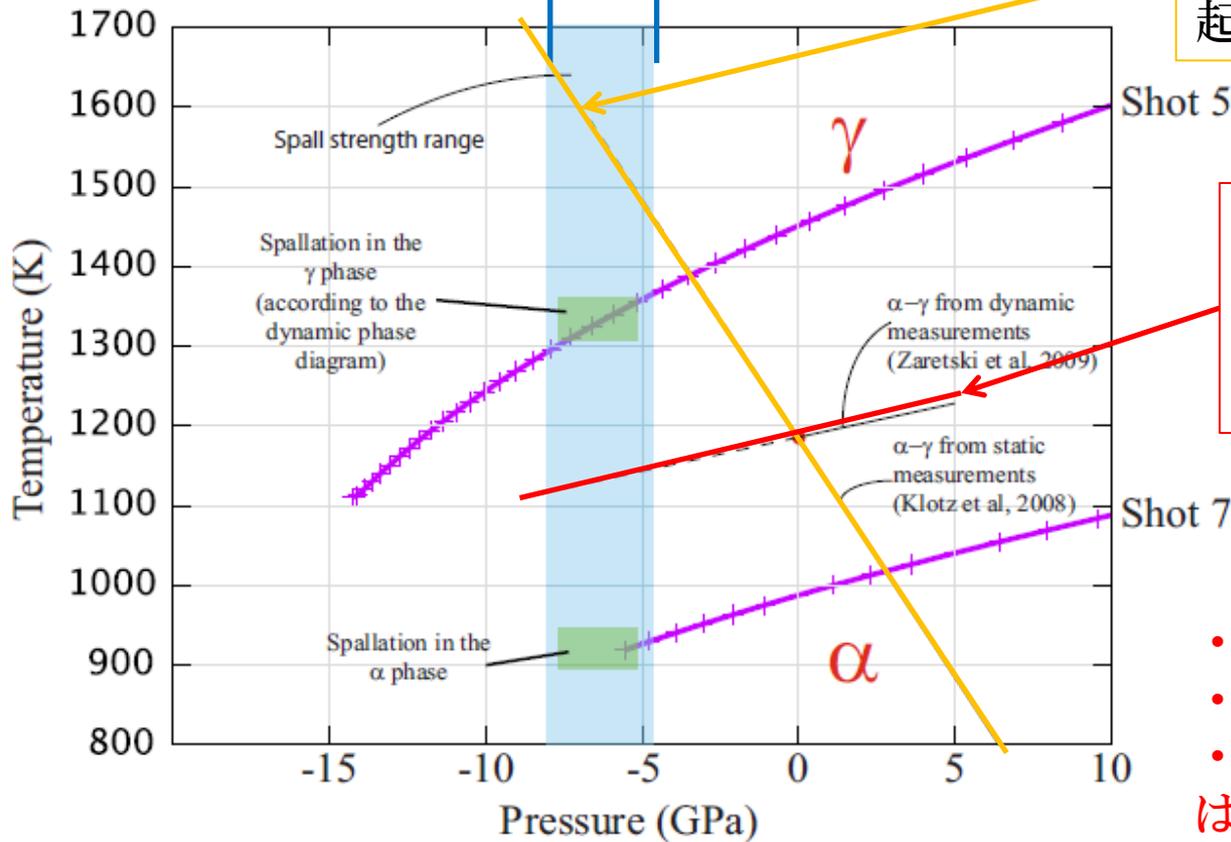
前述の3つの変化は溶融によるものではない



V. Numerical Simulations

今回の実験でのスポーレーション強度

静的圧縮の相境界を用いると
両方のスポーレーションはα相で
起きる



動的圧縮の相境界を用いると
両方のスポーレーションは
shot7はα相で
shot5はγ相で起きる



- スポーレーション強度の変化
 - 破片の形態の変化
 - 破片サイズ分布の変化
- はα相orγ相でスポーレーション
を起こす違い

shot5,7のスポーレーション強度付近の
断熱膨張過程

VI. Conclusion

α 相でスポーレーションが起きたか
 γ 相でスポーレーションが起きたかの違い



- スポーレーション強度の変化(高圧条件でスポーレーション強度が減少)
 - α 相よりも γ 相の方がスポーレーション強度が低い(平板衝突実験より)
 - γ 相の方が剛性率が $\sim 10\%$ ほど低い
 - クラックの形成・成長が起こりやすい
- 破片の形態の変化(高圧条件では $\sim 100\text{nm}$ の微粒子が集まった塊)
- 破片サイズ分布の変化(高圧条件では微小な粒子の数が多い)
 - $\gamma \rightarrow \alpha$ と相転移する場合、体積が 1% 増える
 - スポーレーションした粒子の二次的な破片形成
 - スポーレーションした粒子中で粒子界面が増える