

衝撃超高压を使った物質変換

東京工業大学 応用セラミックス研究所
セキュアマテリアル研究センター
阿藤 敏行

共同研究者

東北大学金属材料研究所

庄野 安彦

菊地 昌枝 (現東北福祉大感性研)

草場 啓治 (現名古屋大学)

伊藤 俊

湯蓋 邦夫

東京工業大学応用セラミックス研究所

近藤 建一

中村 一降

川合 信明 (現・熊本大学)

新子 亮 (現・昭和電線)

向川 真太郎 (現・トヨタ自動車)

後藤 茂太 (現・金属技研)

中島 智樹 (現・トヨタ自動車)

中川 高基

清水 雅哉

(株)ニッカトー 試料提供

(株)アルファ技研 試料提供

概要

- 動的超高压発生法の利点と問題点(私見)

 - 物質科学における超高压力の役割

 - 実現できる圧力領域 — 静的、動的圧縮法 —

 - 状態方程式の解釈

 - P-V Hugoniot 以外の計測の重要性

- 材料科学的な観点からの動的超高压実験

 - 材料合成、衝撃固化、衝撃接合、表面改質、医療応用など

 - 動的超高压下での相転移や化学反応

 - 新物質合成法としての動的圧縮法の問題 — 残留温度 —

- 残留温度を抑制した動的圧縮回収実験

 - 衝撃銃法を用いたランプ波の発生

 - ランプ波と衝撃波を組み合わせた多重圧縮波

 - 多重圧縮波による回収実験

 - 液体窒素による事前冷却した試料の回収実験

 - 高密度石英ガラスの合成

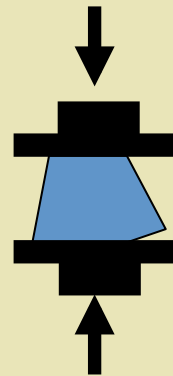
 - α -石英のガラス化への応用

- 東工大応セラ研共同利用のお知らせ

- まとめ

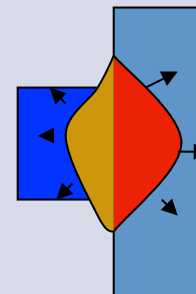
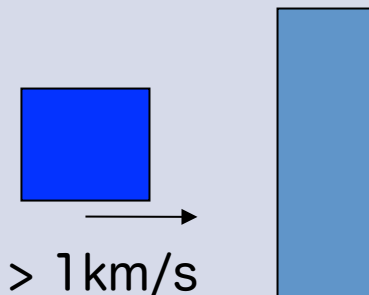
超高压力の発生法

外部からの力（外力）による圧縮 → 静的超高压力



油圧プレスなどにより、
外力を発生

高速衝突による衝撃波 → 動的超高压力



衝撃波の背後では高温
高压状態が実現

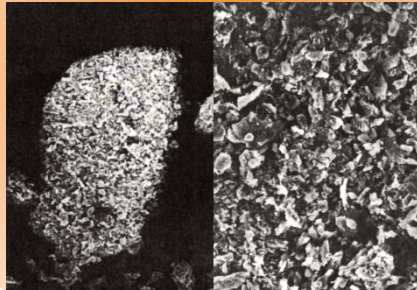
～ μ 秒 パルス圧縮

材料科学的な観点からの動的超高压力

圧力領域としては $> 100 \text{ GPa}$ 程度、ただし、基本的に大容量

材料合成

ダイヤモンド、h-BN



衝撃接合

接合困難な異種金属の接合

クラッド

金属ガラス-セラミックス



医療応用

結石の破砕



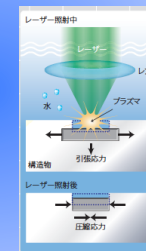
衝撃固化

準安定相の固化

Nd-Fe-Bアモルファス磁石
各種ナノ粒子

表面改質

レーザー
ピーニング



動的超高压下での相転移や化学反応

時間のファクターが重要 ($\sim 1 \mu\text{s}$)



核からの結晶成長による**拡散プロセスは不利**

ex. かんらん石の拡散型オリビン-スピネル転移は衝撃実験では観察されない

◎**電子遷移**に起因するもの

バンド構造やイオンの電子状態の変化など

◎原子拡散によらない**変位型相転移機構**

せん断変形による相転移 (マルテンサイト型)

◎**アモルファス化**

原子拡散が起こりきれない

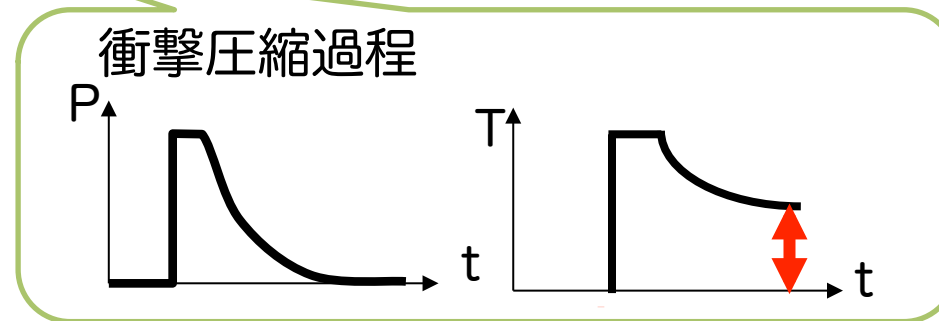
◎界面付近の擾乱による**局所的な活性化**

粉体試料の衝撃焼結、接合界面など

新物質合成法としての動的圧縮法の問題 ー残留温度ー

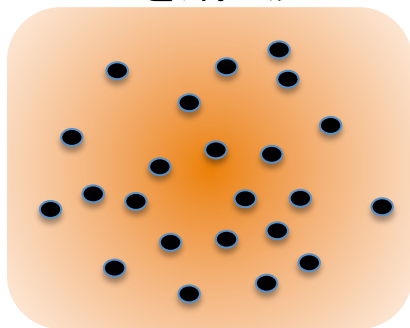
▶ 高い残留温度により、準安定相がアニール

多くが安定相(常圧相)に戻ってしまう



Ex. ダイヤモンド合成の場合

カーボンを銅と混ぜて衝撃圧縮



銅をヒートシンクとして急冷



酸で処理

数 μm のカーボンを金でサンドイッチ (SCARQ)



金をヒートシンクとして急冷

Kondo, KI, Diamond and Related Matter., 5, No.1, 13 (1996).

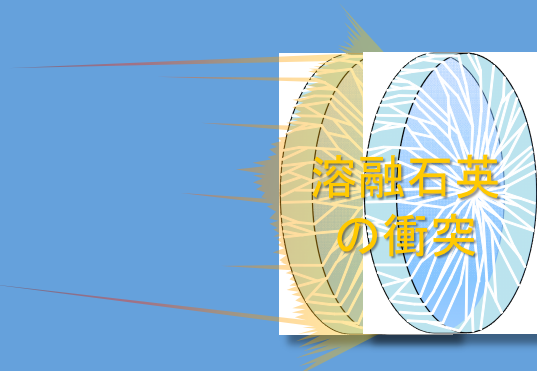
酸に不溶な物のみ可能、あるいは扱える試料の量が極端に少ない

ランプ波の発生

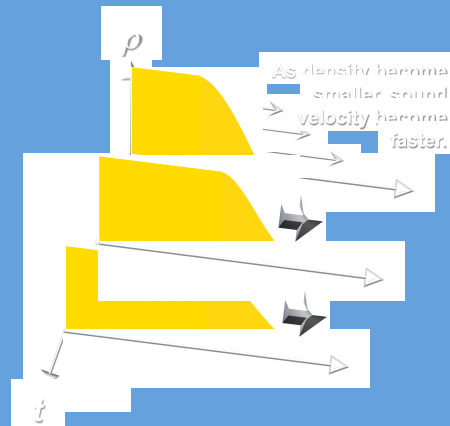
ランプ波の発生



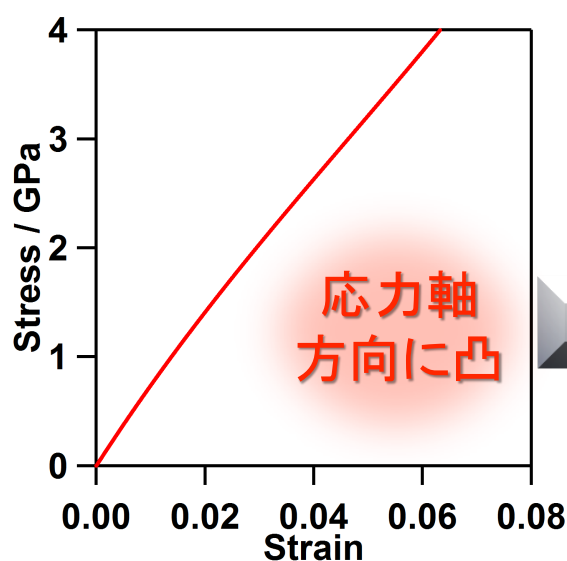
溶融石英の高速衝突



ランプ波の出力

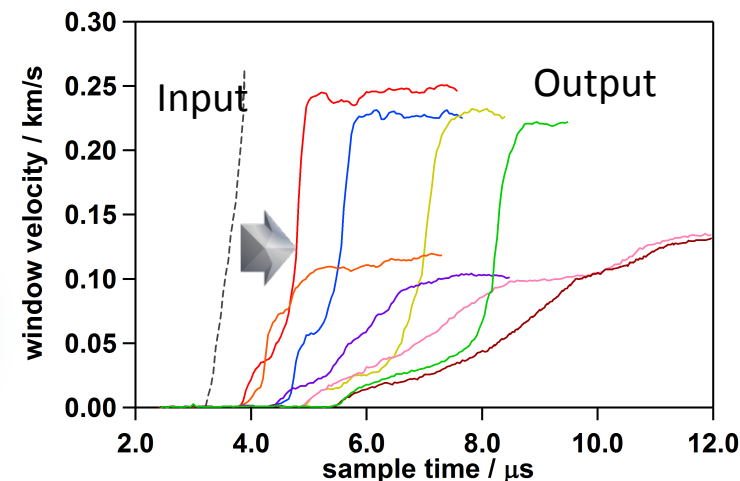


溶融石英の応力-歪み曲線^[1]



衝撃波の上昇時間の制御

石灰石を伝播するランプ波^[2]



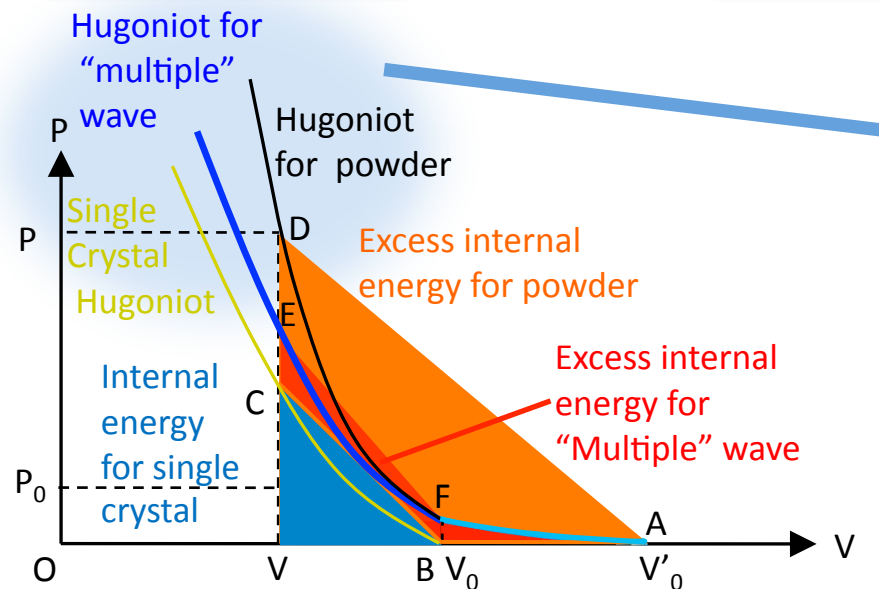
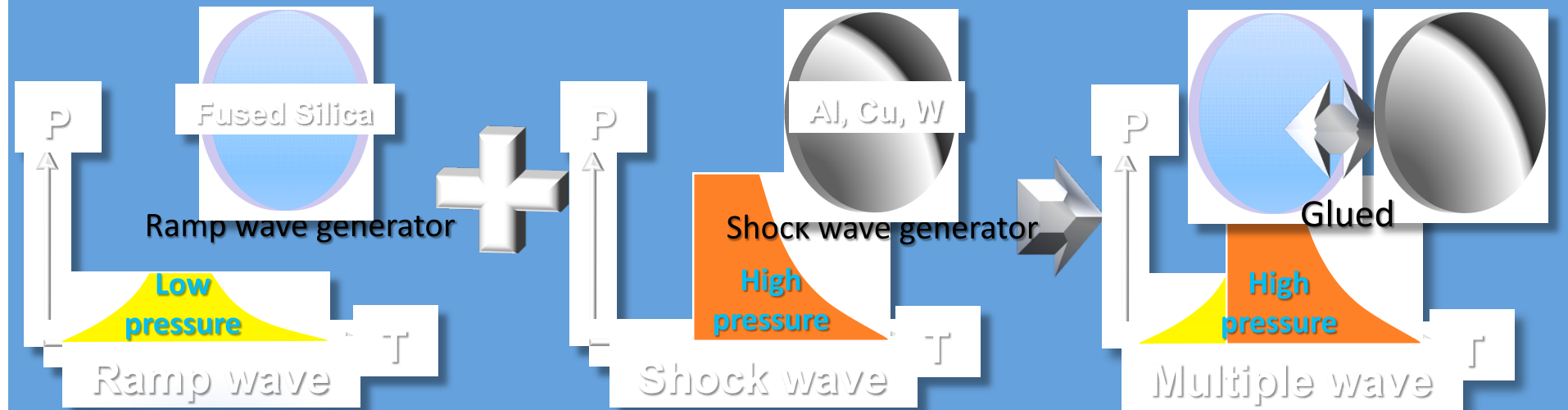
石灰石の厚さの増加⇒上昇時間の上昇

^[1] D. Grady, Geophys. Res. Lett. (1977), p263

^[2] W.D. Reinhart, etc., SCCM. (2008), p1409

多重波の発生

飛翔体/ターゲットの組み合わせ



V'_0 := Initial volume of powder, V_0 = Initial volume of single crystal,
 V = Volume after compression

通常の粉体圧縮より単結晶の Hugoniotに近い

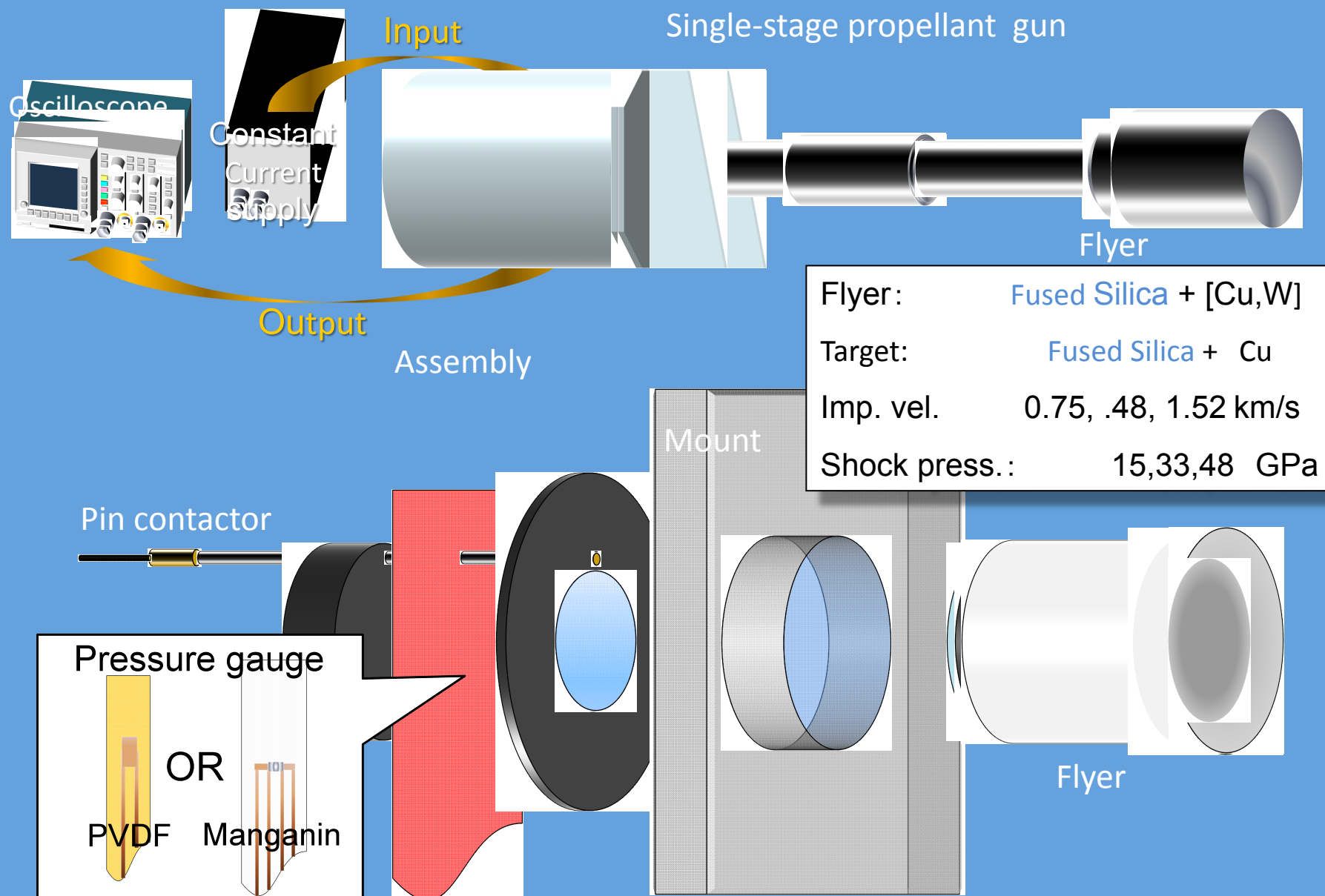
内部エネルギーの増加を抑制

残留温度

$$\frac{ABCD \text{ の面積}}{3R \text{ Shock}} > \frac{ABCEF \text{ の面積}}{3R \text{ Multi}}$$

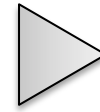
日本における超高速衝突実験の現状と将来展望 (相模原) 12/19, 20/2013

多重波の発生と観測



多重圧縮波による回収実験

試料: **石英ガラス (Fused silica)**



最もありふれた酸化物

- 高融点
- 紫外から赤外で透明
- 熱膨張率が小

高圧力での密度増加率

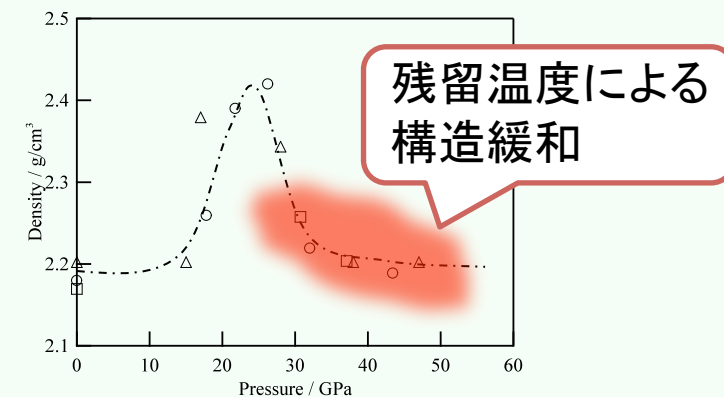
[1], [2]

静的圧縮 ➤ **20%**

動的圧縮 ➤ **11%**

[1] M. Okuno et al., Phys. Chem. Minerals, 26 (1999) 304-311

[2] S. Susman et al, Phys. Rev. 43 (1991) 1194-1197.

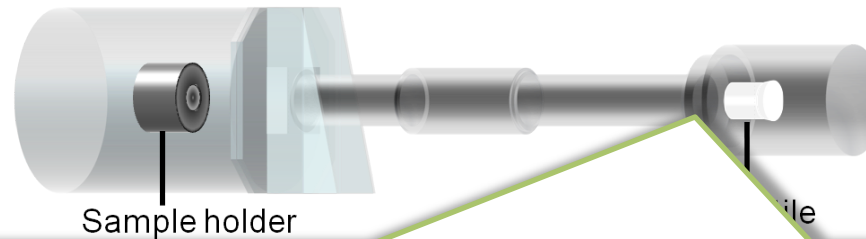
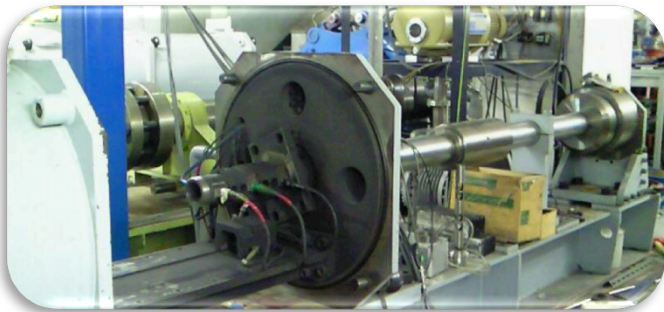


衝撃圧縮された石英ガラスの密度変化

- ① 残留温度を抑制した動的な高圧力発生方法の確立
- ② 高圧では回収できなかった高密度石英ガラスの合成

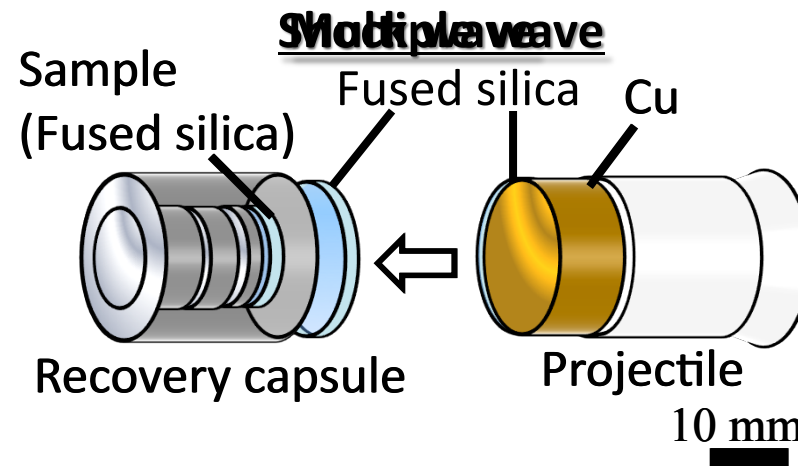
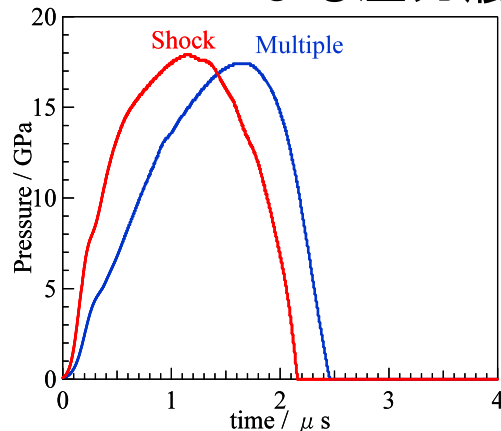
多重圧縮実験 (Multiple wave)

一段式火薬銃

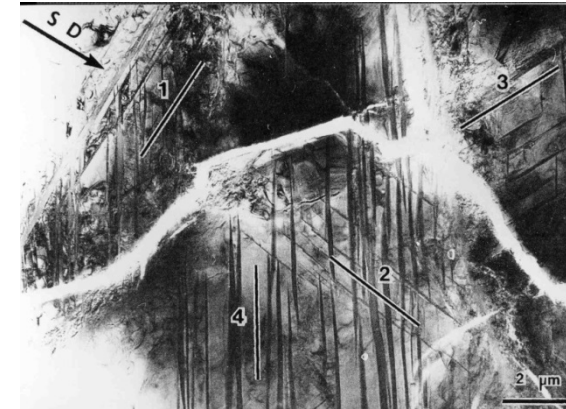
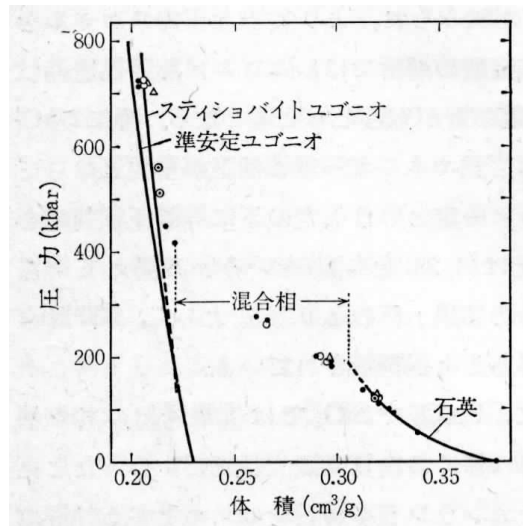


飛翔体速度
0.7 – 2.15 km/s

AUTODYNによる圧力履歴



α -石英の衝撃誘起ガラス化

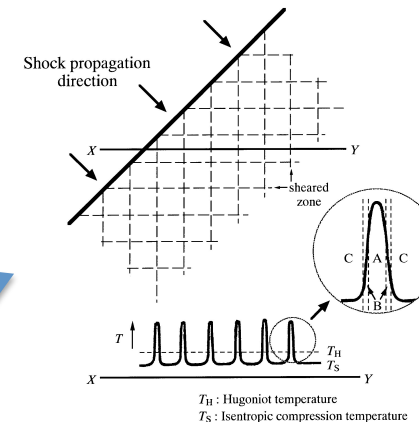


衝撃圧縮した α -石英のTEM像[2]

高压相領域からの回収試料はガラス
密度は 2.2 g/cm^3 (溶融ガラスと同じ)



1. 急冷不可能な高压相から生じたガラス？
2. 特定の方位でのずれ変形に伴う部分溶融
(不均質降伏モデル[4])



温度の効果を検証

- [1] 庄野安彦、「地球科学 2」, 岩波講座、岩波書店 (1978).
 [2] P.S.Decarli and J.C.Jamiesun, J. Chem. Phys. 31 (1959) 1675.
 [3] H.TATTEVIN, *et al.*, Eur. J. Mineral., 2 (1990) 227.
 [4] Grady *et al.*, J. Geophys. Res., 80 (1975) 4857.

東京工業大学 応用セラミックス研究所

応用セラミックス研究所は全国共同利用研究所として共同研究を強く推進しています

40万円または20万円の旅費の支給

宿泊施設はなし

詳しくはWebサイトを御覧下さい。

H26年度の共同利用申請の締め切りは2013年1月30日(木)です。

ご興味がありましたら、ご相談いただいた上で、お申し込みいただくと幸いです。

まとめ

極超高压発生手法としてのみでなく、
材料合成技術として十分なメリット

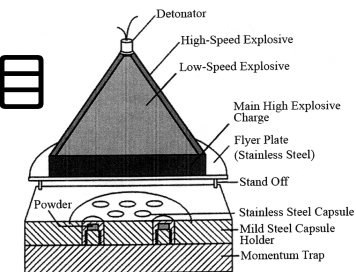
容易にスケールアップが可能

レーザーによる微小ショリ→基板上のデバイス → 実用的な合成プロセス

人の役に立つ“材料”を探ることが大学サイドの役目

謝辞

本研究会で発表した研究は、文科省6研連携プロジェクト、
元素戦略プロジェクト「材料ユビキタス元素協同戦略」から支援を受けました。また、(株)ニッカトー様より高品質ムライト、
また、アルファ技研様からは単結晶石英の材料提供をいただきました。ここに深く感謝いたします。



11 Schematic detailing the 12-capsule Sawaoka fixture used in shock recovery experiments. Powder samples are loaded into each of the 12 steel capsules, and held within a steel capsule holder plate. The uniform detonation of a main charge launches a thin metal flyer plate, which subsequently impacts the holder plate, driving a shock through capsules and compressing the powders. The rugged design permits recovery of the powder compacts for post-shock characterisation (from Song and Thadhani¹⁹)