

計装化押し込み試験の 巡回解析提案について

宮原 健介（物質・材料研究機構）

内容

1. 背景

計装化押し込み試験の現状

2. 巡回解析の提案

提案理由および概要の説明

3. 巡回解析の詳細と押し込み曲線データセットについて

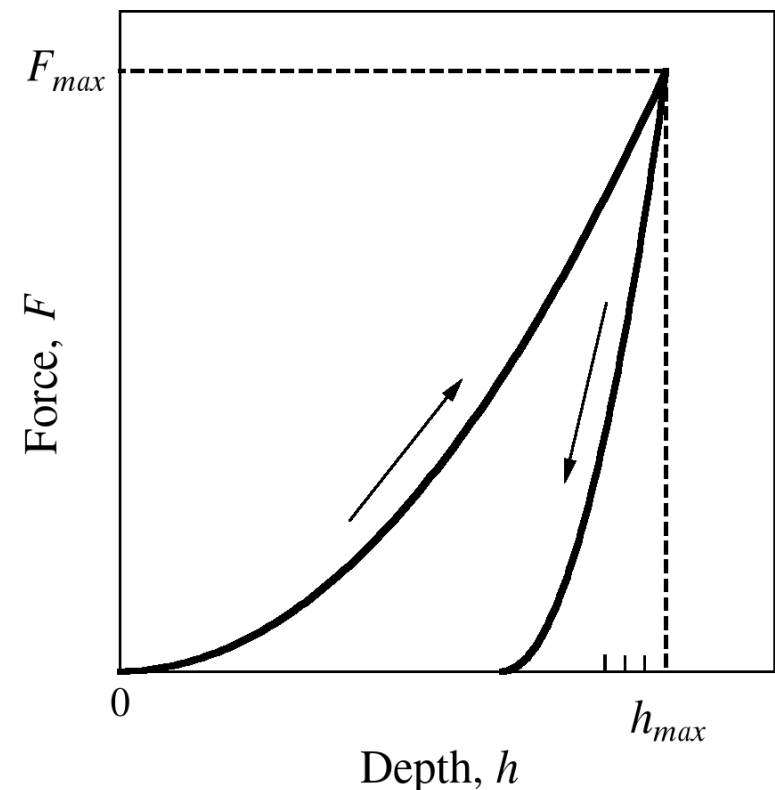
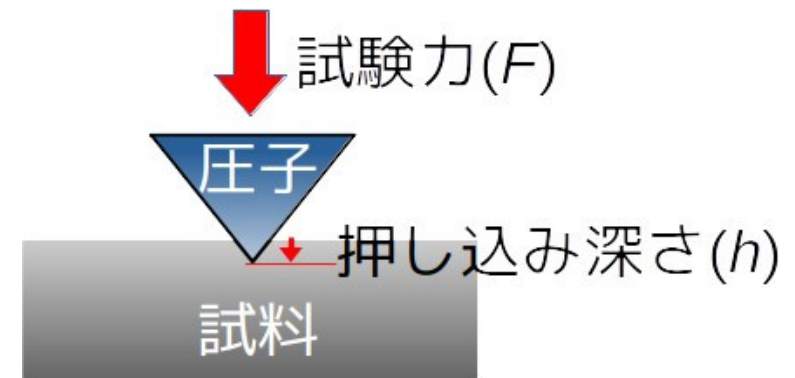
実施手順(案)および使用するデータセット(仮)の詳細

随時コメント歓迎です

背景(1/4) 計装化押し込み試験とは

- ・ 圧子を試料に押し込み，その際の力と押し込み深さの関係(押し込み曲線)を解析することで，ヤング率や硬さを求める(ISO14577)。
- ・ 押し込み曲線は，圧子の実際の形状や試験機の剛性に影響されるため，値の算出には補正が必要。

押し込み曲線 + 補正



背景(2/4) 計装化押し込み試験の課題

一部ユーザーから測定値の信頼性に対する懸念が示される。

→ 現状を定量的に把握し，共有化するために巡回測定を実施(14試験機, 2014-2016)。

その結果，ヤング率や低試験力で特にばらつきが大きかった。

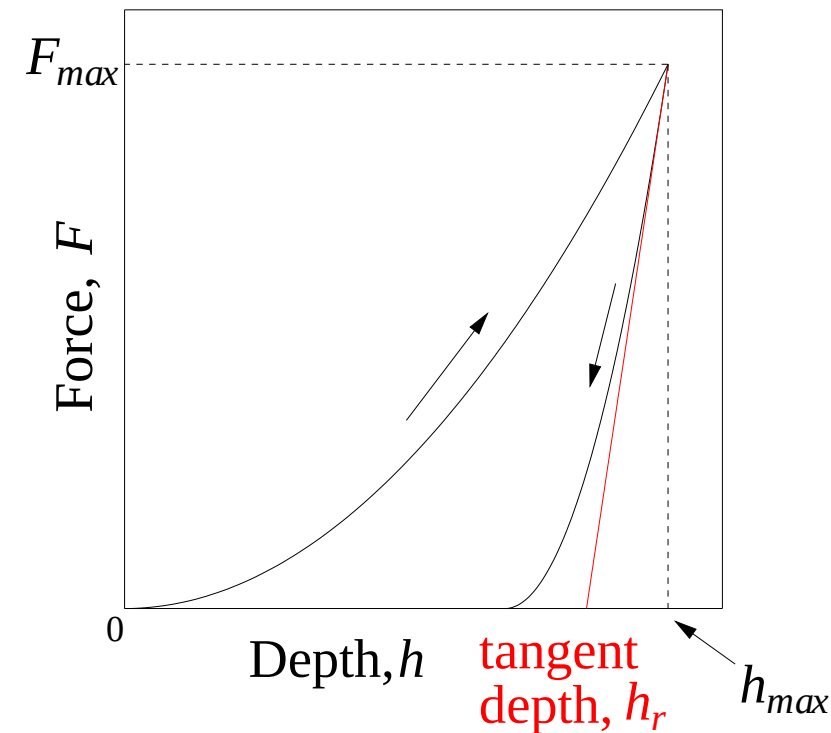
(表) 各測定値のCV:変動係数(%) = (標準偏差) / (平均値) × 100 (%)を
タングステン単結晶, UMV900, BK7, Fused silicaについて平均

		試験力		
CV		10mN	1mN	0.1mN
硬さ {	HM	5.7	7.1	22.7
	H_{IT}	14.6	10.2	30.9
	E_{IT}	28.1	27.6	23.3

ヤング率は特にばらつき(%)大

背景(3/4) tangent depth法

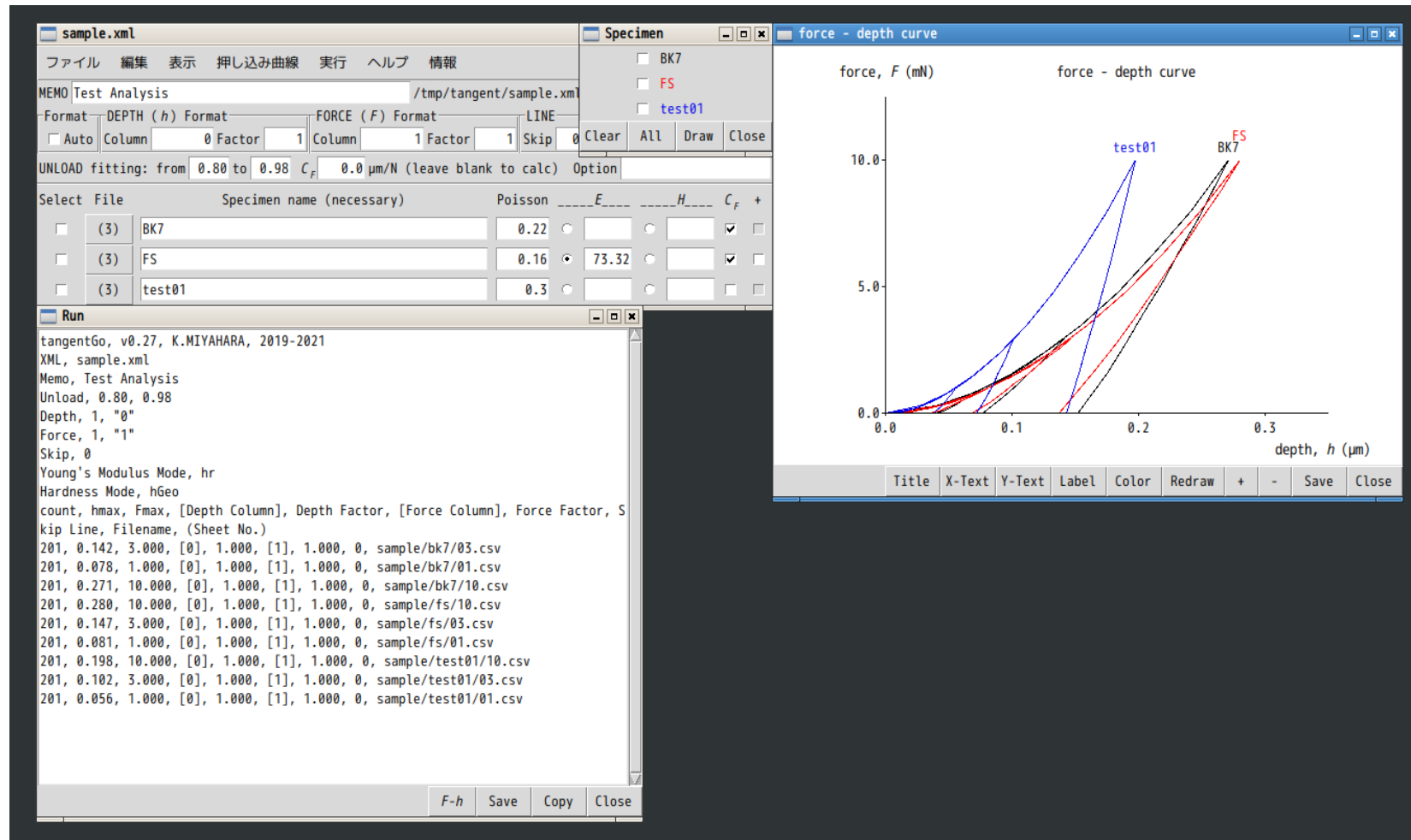
- 計装化押し込み試験の解析方法の一つで、石橋らにより提案された。
- tangent depth**に基づいてヤング率や硬さを求める(ISO14577では contact depthを用いる)。
- 多数の試料で適切なヤング率や硬さが求まることが検証されている。
- 巡回測定データをtangent depth法で解析すると、ばらつきなどが大幅に改善した。→解析過程が結果に大きく影響
- 現在のところ、tangent depth法に対応する市販の試験機はない。



押し込み曲線とtangent depth

背景(4/4) tangentGo (<https://3zip.net/t/>)

- ・ 宮原が作成，公開しているtangent depth法の実装プログラム
- ・ 市販の試験機の押し込み曲線をtangent depth法で解析できる
- ・ 最近の更新内容については，別途紹介予定



巡回解析のご提案

- ・ 計装化押し込み試験の信頼性向上のために「巡回解析」の実施を提案します。
- ・ 以前の巡回測定の実施形として、今回は同一の押し込み曲線データを各参加者が解析し、結果を比較します。
- ・ 現状の解析プログラムに問題がないかを確認できます。
- ・ 巡回解析の実施は、将来的な共通データフォーマット形式の策定にも役立ちます。

「とりあえずやってみよう」の精神で

巡回測定と巡回解析

巡回測定

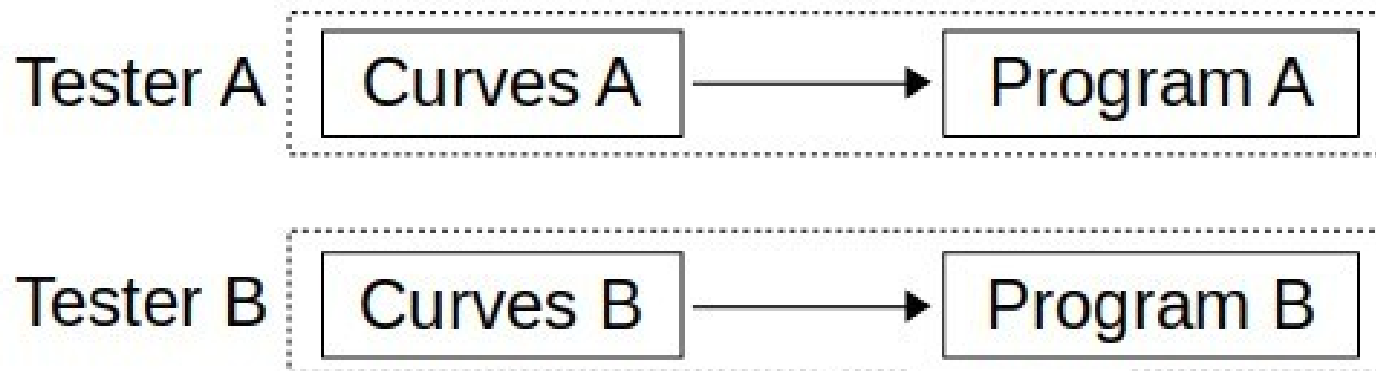
- ・ 同一の試験片を対象
- ・ 実験 + 解析
- ・ 各試験機で押し込み曲線を取得，解析してヤング率等を求める
- ・ 試験片が巡回するため，長期間かかる (前回は1年以上)
- ・ 他に実施例あり

巡回解析

- ・ 同一の押し込み曲線データセットを対象
- ・ 解析のみ
- ・ 各試験機やプログラムでデータを解析してヤング率等を求める
- ・ データは複製可のため，短期間で同時に実施可能
- ・ 公開されている実施例はない？
- ・ 「巡回」ではない？ラウンドロビン？

巡回解析の提案と必要性

現状 各試験機が押し込み曲線を取得し、解析を行っていて、それぞれ独立している。

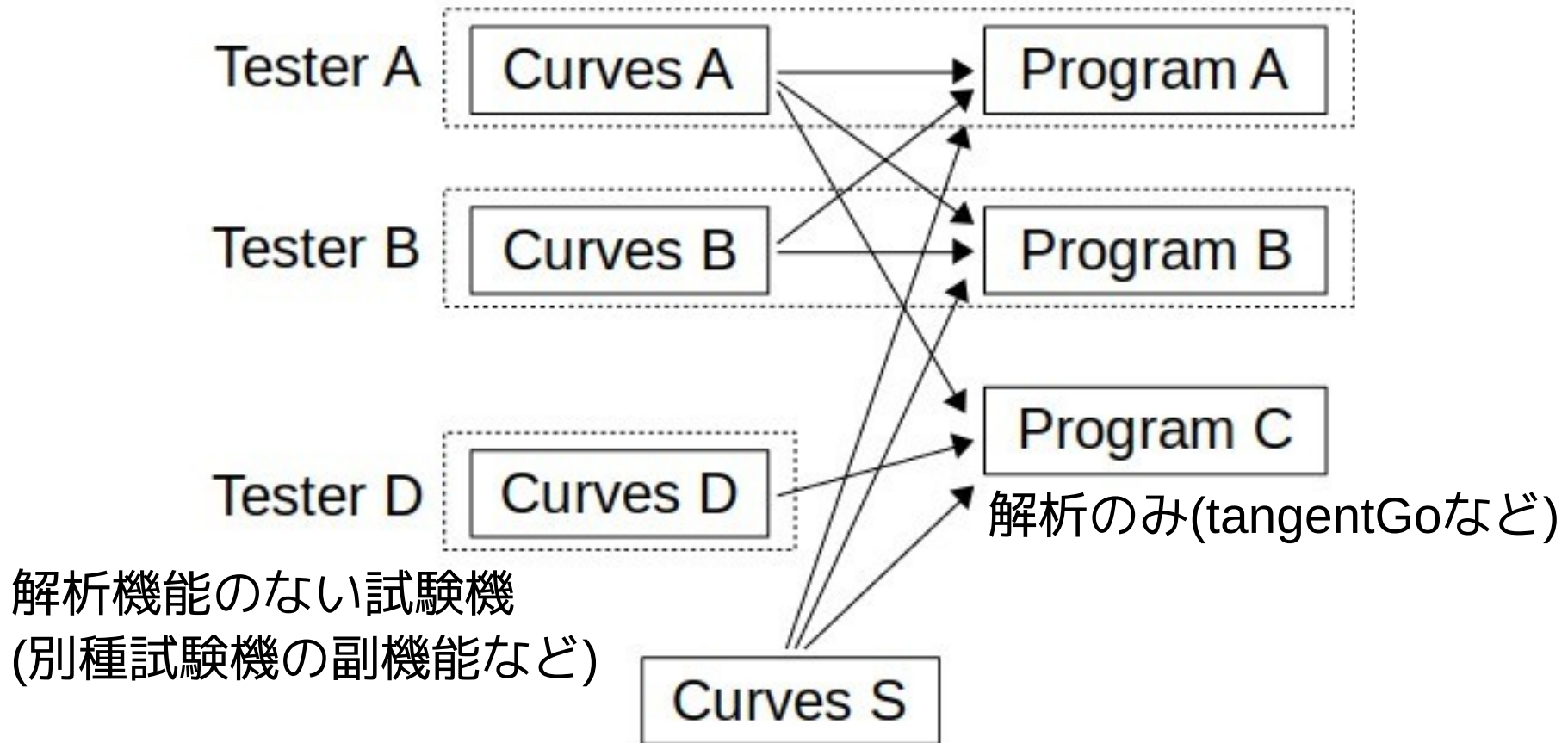


- ・ 押し込み曲線は外部にexport可能でも、押し込み曲線をimportして解析できる試験機はほとんどない。
- ・ 得られた結果に問題があっても、その原因が押し込み曲線か解析プロセスかは不明。
- ・ 解析機能単独の性能を評価できない。

巡回解析の提案と必要性

理想 得られた押し込み曲線を任意の解析プログラムで解析できる

押し込み曲線データを自由に持ち運び可能 → 問題の原因もすぐ判明

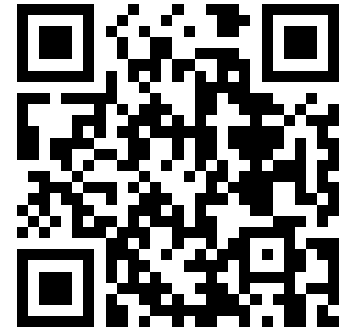


標準押し込み曲線データセット

= 解析プログラムの性能を間接的に確認できる
(硬さ基準片のような役割)

標準押し込み曲線データセットの作成と 巡回解析について(提案)

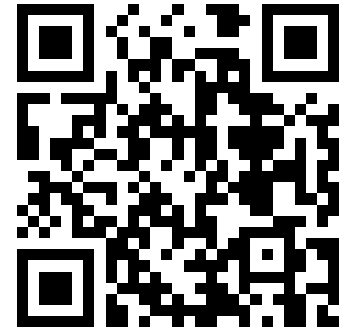
詳細は<https://3zip.net/common/dataset.pdf> →



- 今回の巡回解析の実施のため，標準押し込み曲線データセットを試作します。
- これから説明する巡回解析および標準データセットの詳細は，上記アドレスからもダウンロードできます。
- 以前行った巡回測定実施の時と同様，皆様の忌憚のないご意見をお聞かせください。

標準押し込み曲線データセットの作成と 予備解析について(提案)

詳細は<https://3zip.net/common/dataset.pdf> →



1. 概要

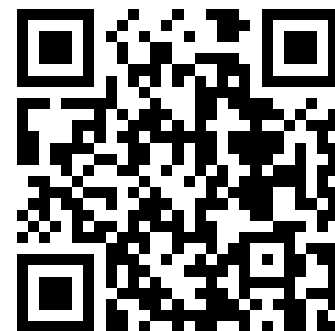
標準押し込み曲線データセット(仮)を作成し，有志で**予備的な**解析を行う。

2. 実施の目的

- ・ 計装化押し込み試験の信頼性向上
- ・ 標準押し込み曲線データセットの整備
- ・ 本格的な巡回解析の実施に向けて，その実現可能性や問題点を明らかにする。
- ・ 共通データフォーマット(データ形式)の策定準備

標準押し込み曲線データセットの作成と 予備解析について(提案)

詳細は<https://3zip.net/common/dataset.pdf> →

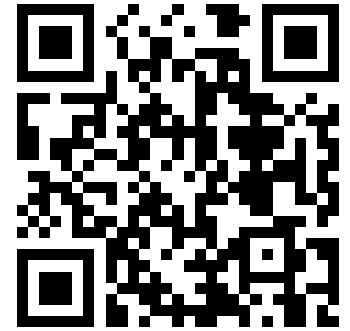


3. 実施の詳細

- ・ 期間は2022年4月頃から約2ヶ月を想定
- ・ 参加者は少数の見込み
- ・ 非会員を含め誰でも参加可，匿名可
- ・ データセットの解析方法は各参加者の任意
- ・ クローズドで実施し，解析結果は参加者で共有
- ・ 結果の概要を公開する際には参加者を匿名とする

標準押し込み曲線データセットの作成と 予備解析について(提案)

詳細は<https://3zip.net/common/dataset.pdf> →

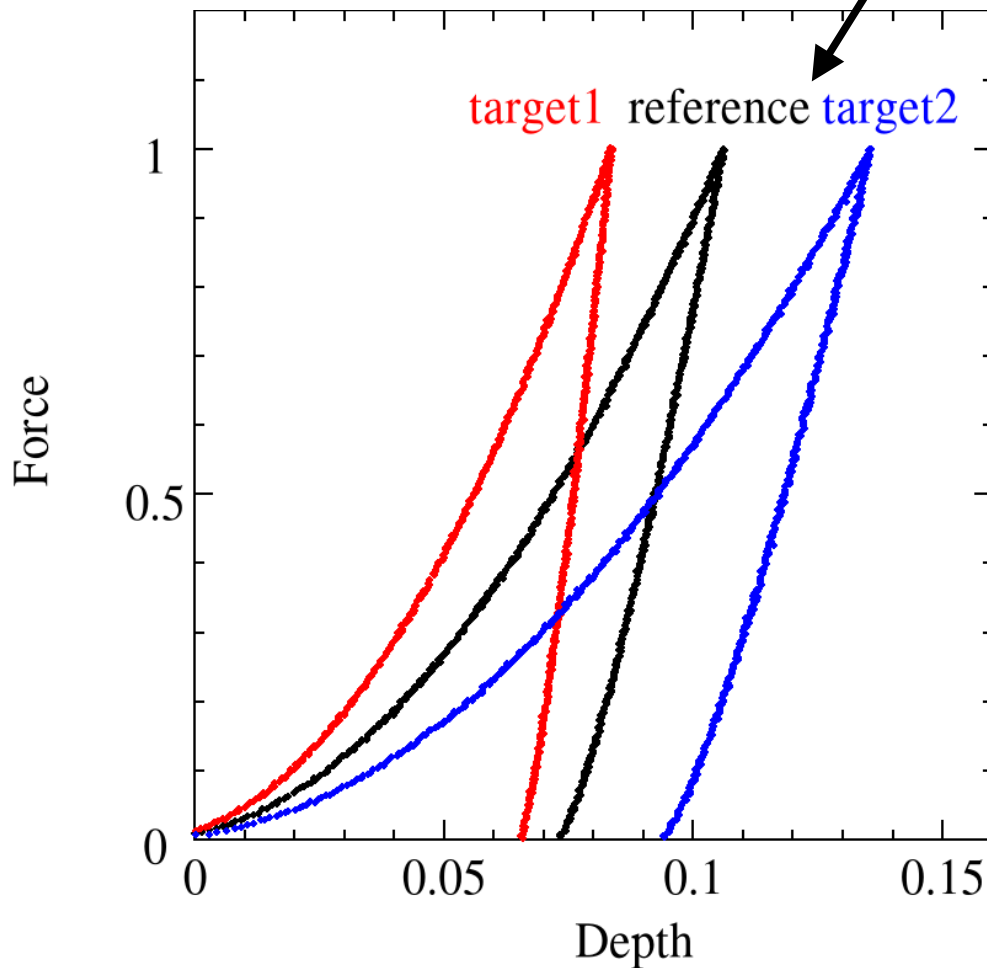


4. 標準押し込み曲線データセット(仮)

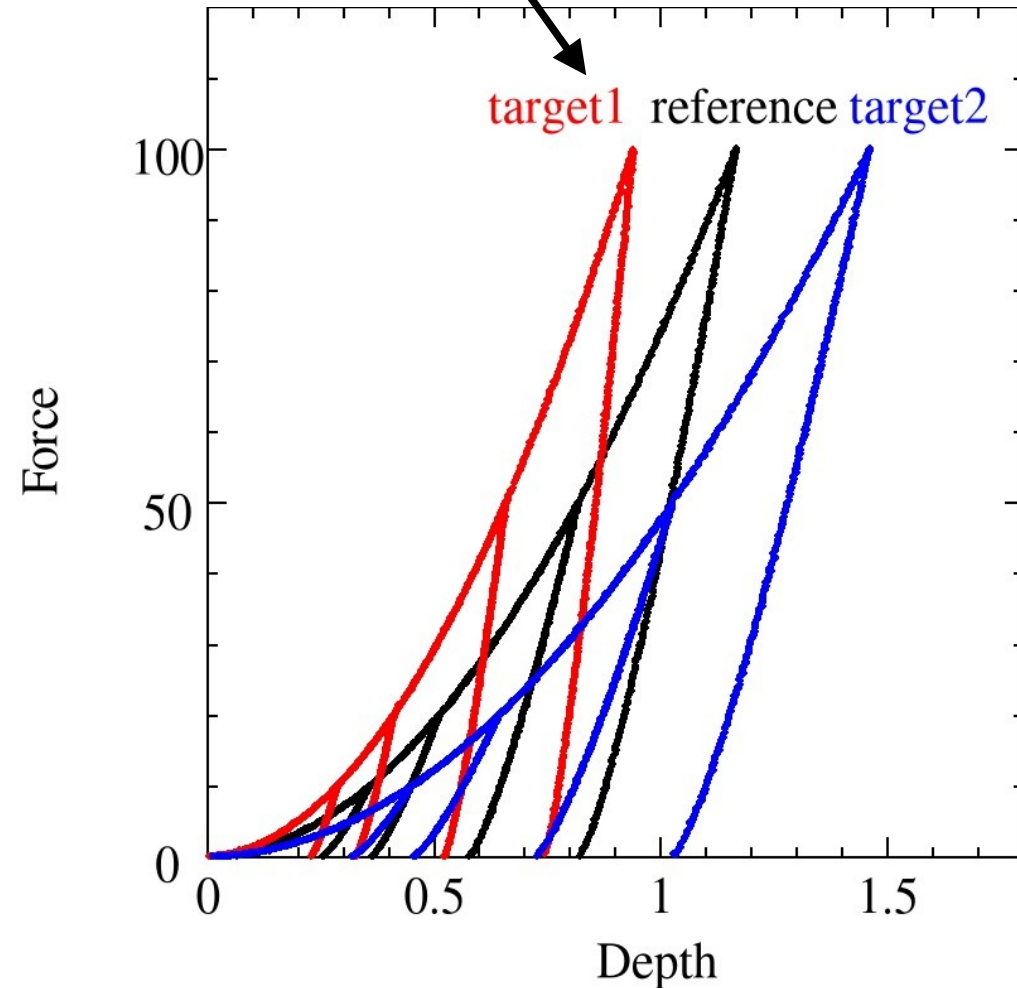
- 単純なモデルに基づいて人工的に生成
- 圧子の面積関数 $A(h)$, 試料のヤング率, ポアソン比, 硬さは全て適当に設定
- ノイズおよびフレームコンプライアンス C_F の影響あり
- オフセット(0点検出のずれ)は付与しないが, ノイズで0点がずれることはありうる
- 最大試験力での保持なし
- 試験力は7段階(1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 mN)
- 各押し込み曲線のデータ点数は, 約1000点以内

実際の標準押し込み曲線データ(仮)

- 試験力は7段階(**1**, 2, 5, 10, 20, 50, **100** mN)



最小試験力 (**1** mN)

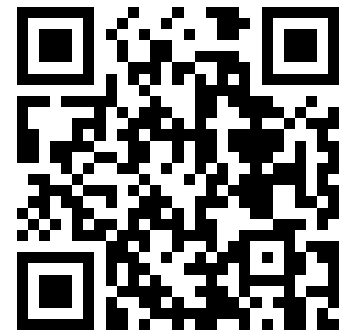


最大試験力 (**100** mN)

※少量のノイズが付与されている

標準押し込み曲線データセットの作成と 予備解析について(提案)

詳細は<https://3zip.net/common/dataset.pdf> →



4. 標準押し込み曲線データセット(仮)...続き

- ・ 試料は標準試料1個と一般試料2個の計3個
- ・ 試料の特性値は架空のもの
- ・ 圧子はダイヤモンドのバーコビッチを想定
- ・ 同一条件の押し込み曲線を3本ずつ作成
- ・ ポアソン比およびヤング率(標準試料と圧子のみ)を通知
- ・ 標準押し込み曲線データセットの形式はCSVとし, 参加者の要望に応じて, 単位やカラム位置などを変えたバージョンを用意する(中身のデータ自体は同一)。

標準押し込み曲線データセット(仮)の添付文書

Common Dataset for Instrumented Indentation Testing (dataset.zip)

2022/3/1

1. What is this?

This is a common dataset for Instrumented Indentation Testing (IIT) and can be used as a sample dataset for IIT programs. This data is created by a simple model and is *not* obtained experimentally.

2. Specimen/Material properties

Material	Poisson's ratio	Young's modulus	Hardness	Remarks
reference	0.20	80 GPa	-	
target1	0.30	-	-	
target2	0.15	-	-	
diamond	0.07	1140 GPa	-	Berkovich indenter

3. Data

Testing force is 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 mN for all specimens (reference, target1, and target2).

The same plot data in the following format is available in each directory.

同一データを様々な形式で用意

(例1) 深さ(μm) [,] 試験力(mN)

-0.010210, -0.000722

-0.004192, 0.000387

-0.001594, 0.005532

0.000050, 0.008587

0.001510, 0.009702

0.002969, 0.014114

0.004395, 0.014687

0.005748, 0.019458

0.006482, 0.018824

:

(例2) 深さ(nm) [TAB] 試験力(mN)

-10.210000 -0.000722

-4.192000 0.000387

-1.594000 0.005532

0.050000 0.008587

1.510000 0.009702

2.969000 0.014114

4.395000 0.014687

5.748000 0.019458

6.482000 0.018824

:

- ・ 単位やカラムの順番入れ替えなど，参加者の要望により各種形式のファイルを用意(データ自体は同一)。
- ・ 将来的には，共通フォーマット形式の規格を整備する必要

標準押し込み曲線データセットの作成と 予備解析について(提案)

5. 解析

- ・ 標準試料を使って, まず面積関数 $A(h)$ ・ フレームコンプライアンス C_F を求める
- ・ C_F の解析を行わない参加者には, C_F の値を通知する
- ・ 各押し込み曲線を解析し, ヤング率 E と押し込み硬さ H_{IT} を算出する

6. 集計

- ・ 人工的に生成したデータなので, 「正解」はない
- ・ 同一データを解析して, どの程度の差が生じるかに興味
- ・ 今回の結果から, 解析プログラム間の優劣は判定不可

予備解析と本格的な巡回解析

予備解析

- ・ 少数の参加者
- ・ 短期間に実施
- ・ 人工的に生成した押し込み曲線データセットを対象
- ・ 同一の押し込み曲線で解析結果にどの程度ばらつきが出るか

本格的な巡回解析

- ・ できるだけ多数に呼びかけ
- ・ 公開ページで継続的に実施
- ・ 実際の実験データの採用も検討
- ・ ばらつきだけでなく、文献値と一致するか

本格的な巡回解析の実施には、参加者が押し込み曲線データを解析できる環境の整備が必要

まとめ

計装化押し込み試験の信頼性向上のため，標準押し込み曲線データセット(仮)の作成およびそれを用いた巡回解析の提案を行った。

今回の巡回解析のポイント

- ・ 解析のみ
- ・ 人工的に生成した押し込み曲線を使用
- ・ 試行として少数で予備的に実施
- ・ 短期間

率直なご意見や疑問点，感想などお聞かせいただければ幸いです。どうぞよろしくお願いいたします。