

令和元年度安田研究室卒業研究報告

ジェンガブロックの 押しにくさを推定する試み

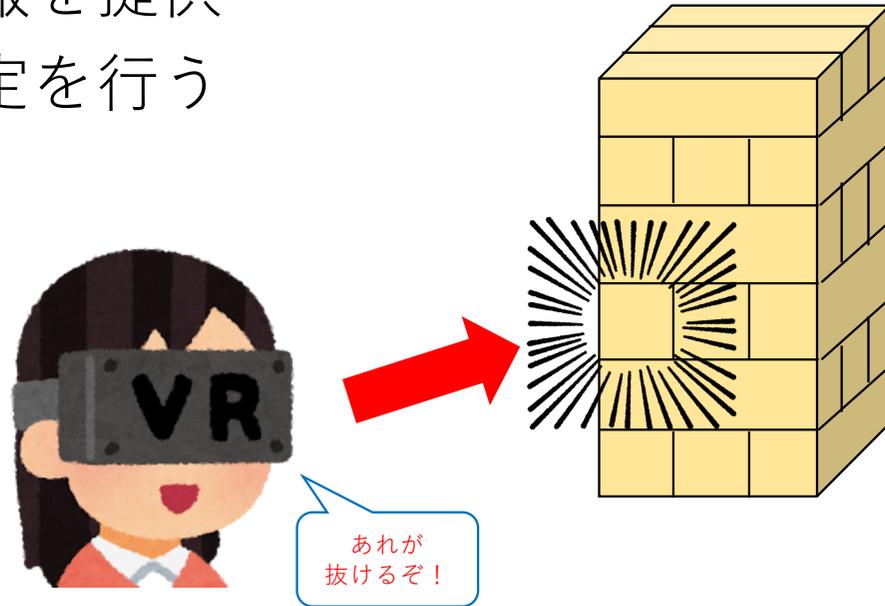
京都産業大学コンピュータ理工学部

インテリジェントシステム学科 栗原拓海

コンピュータサイエンス学科 山本竜佑

背景と目的

- 既存のゲームをARで支援
- ユーザにゲームの有利な情報を提供
- 本研究では押しにくさの推定を行う

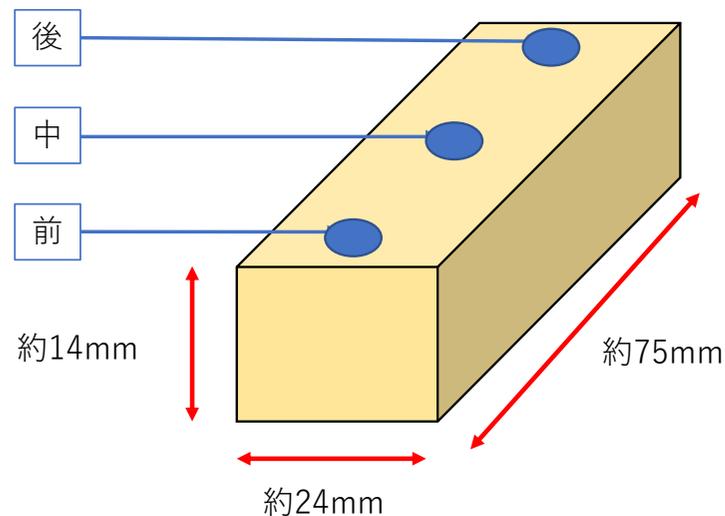
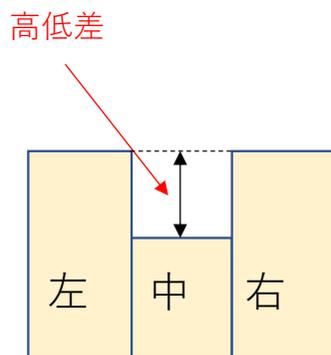


押しにくさに違いが出るのは何故か

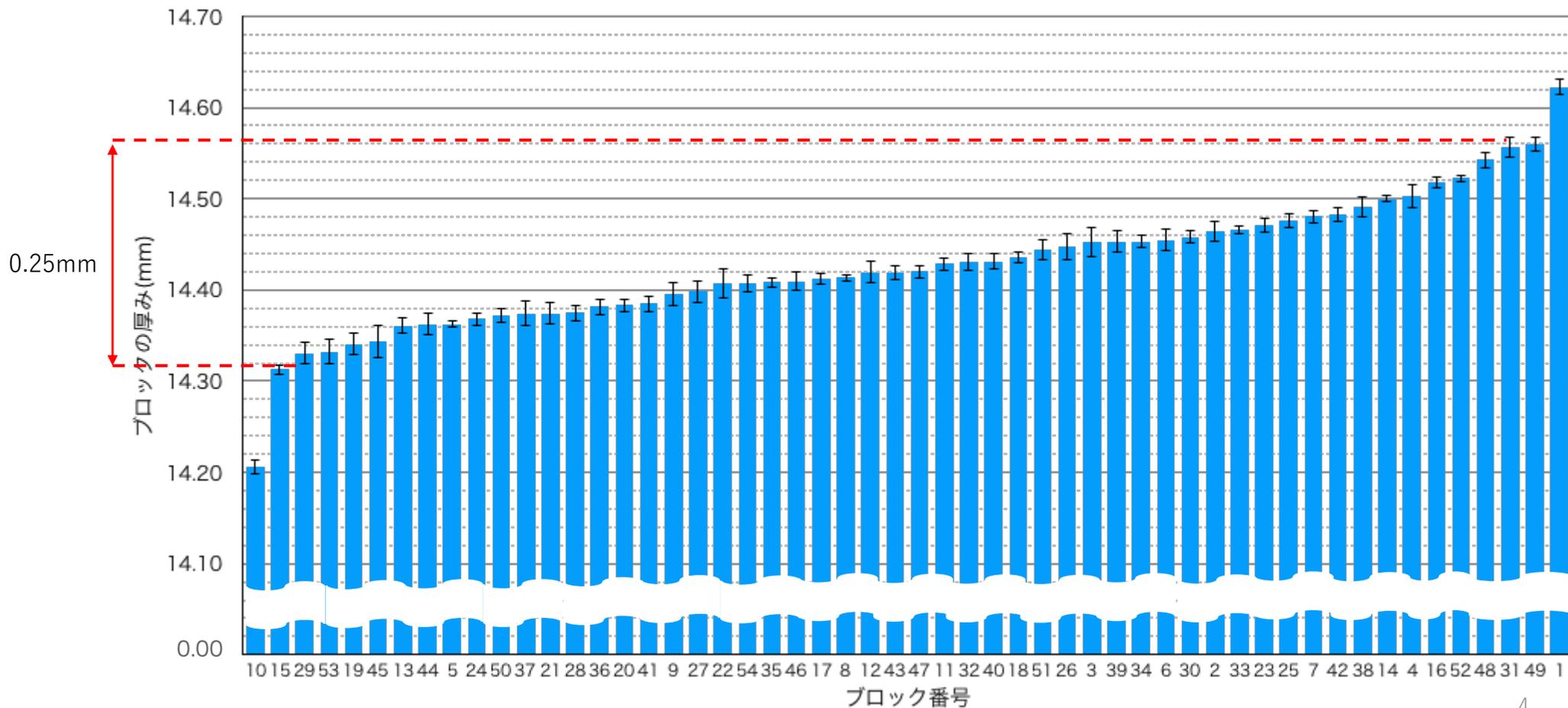
- 厚みの違いが原因と仮説
- 厚みについて測定
- マイクロメータを用いて3点で測定



マイクロメータ



平均厚みの分布



予備実験(指押し)

- 1,7,13段目を指押しして押しにくさを調査
- そこに配置する組み合わせが図1
- 左右と中の高低差を縮めてどこまで崩れずに押せるか

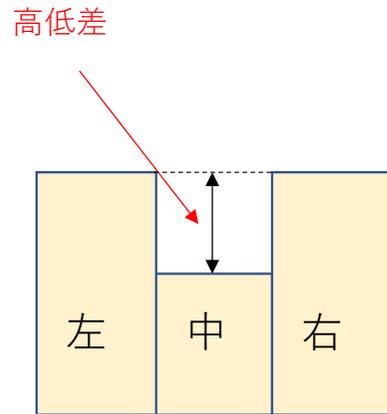
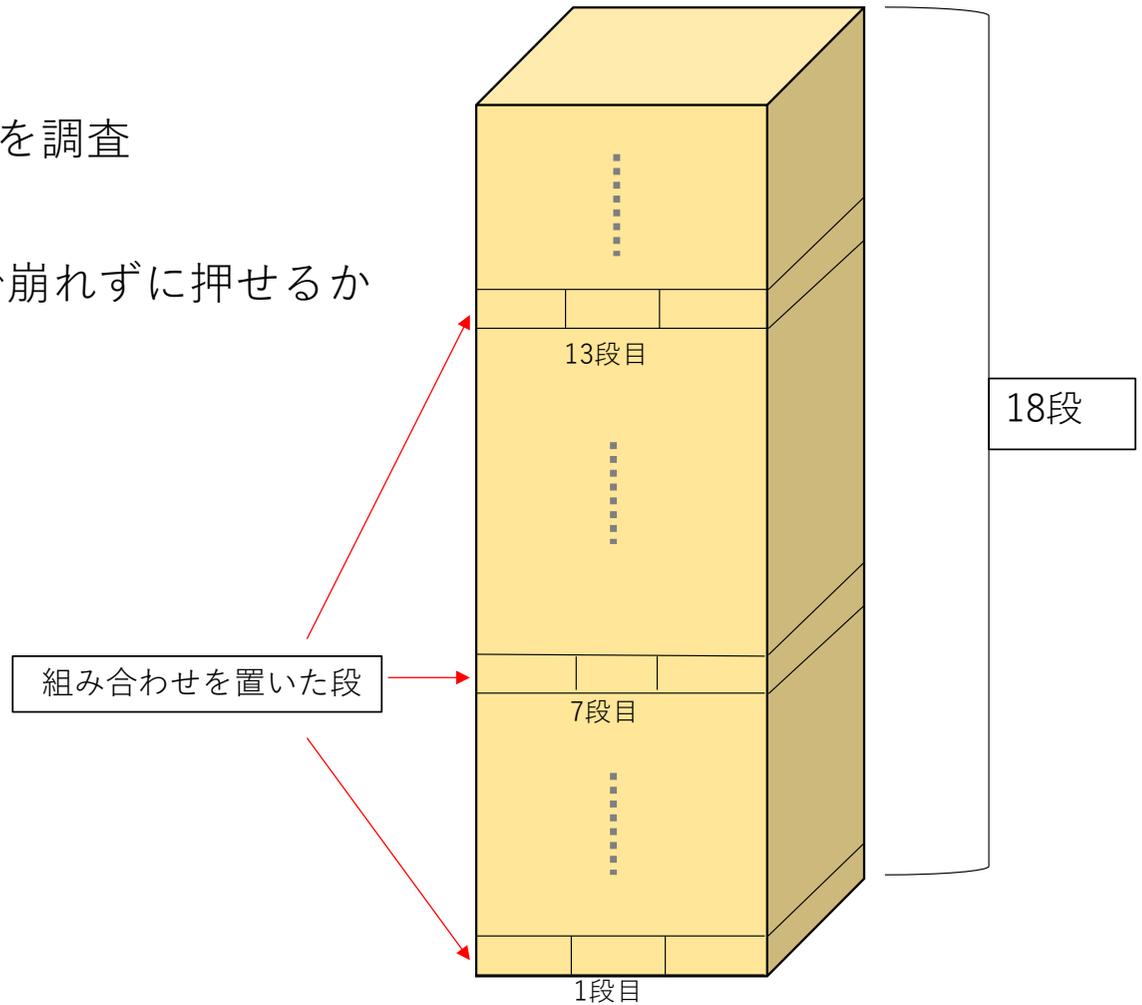


図1



実験結果

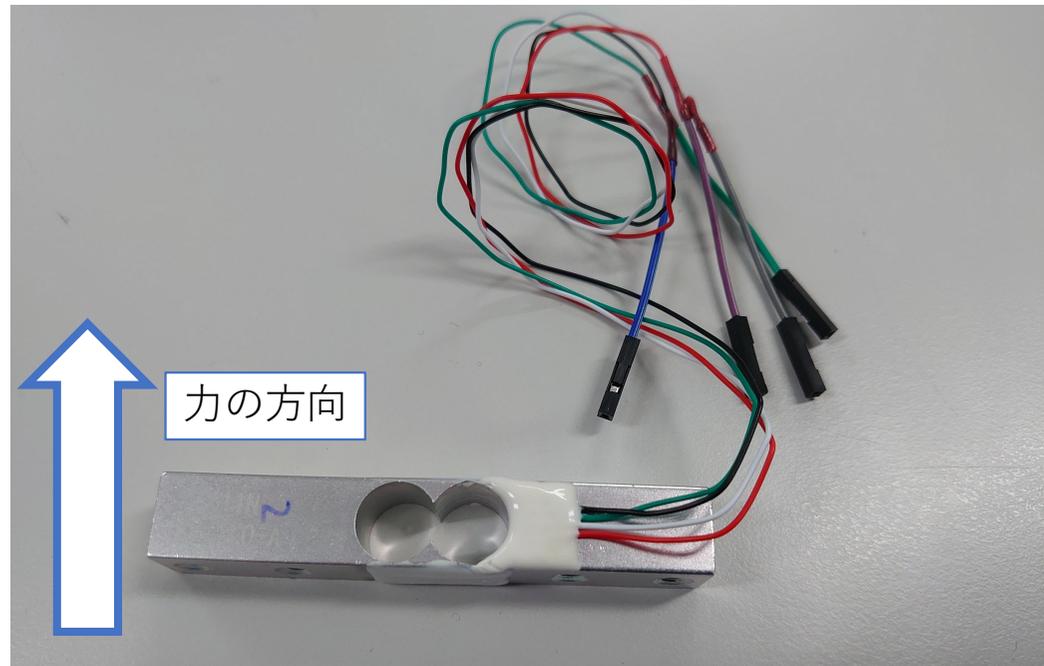
厚み差(mm)	1段目	7段目	13段目
0.20	押せる	押せる	押せる
0.15	押せる	押せる	押せる
0.10	押せる	押せる	押せる
0.08	押せない	押せる	押せる
0.06	押せない	押せる	押せる
0.04	押せる	押せる	押せる
0.03	押せる	押せる	押せない
0.02	押せない	押せる	押せる

- 
- 0.1mm以下になると押せない箇所が出てきた

0.1mm以内に20個程度存在→細かく現象を把握する必要

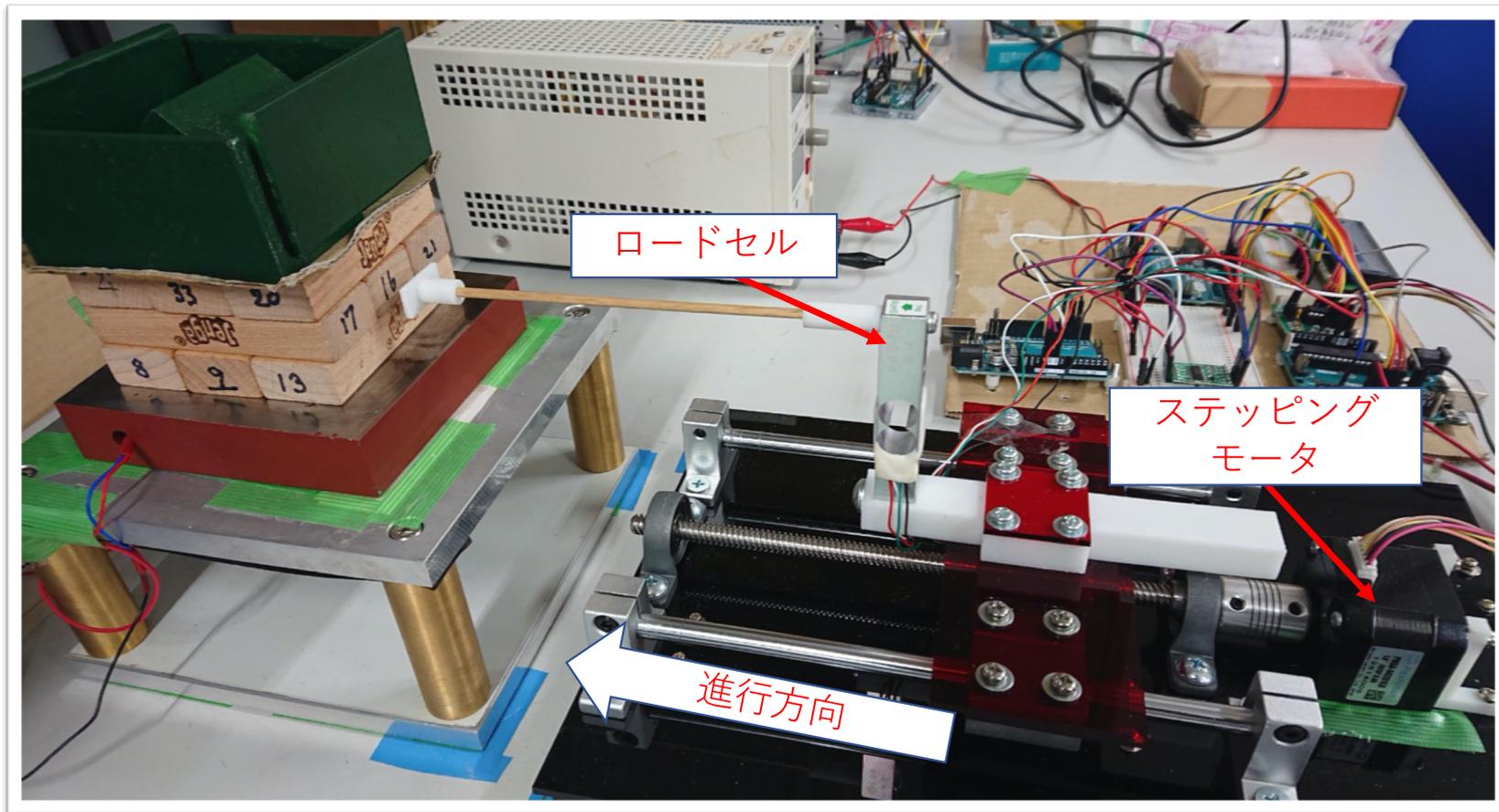
摩擦抵抗計測器の製作

- 押しにくさを定量化したい
- 一方の端で押す事で抗力を計測出来る
- 1kgまで計測可能



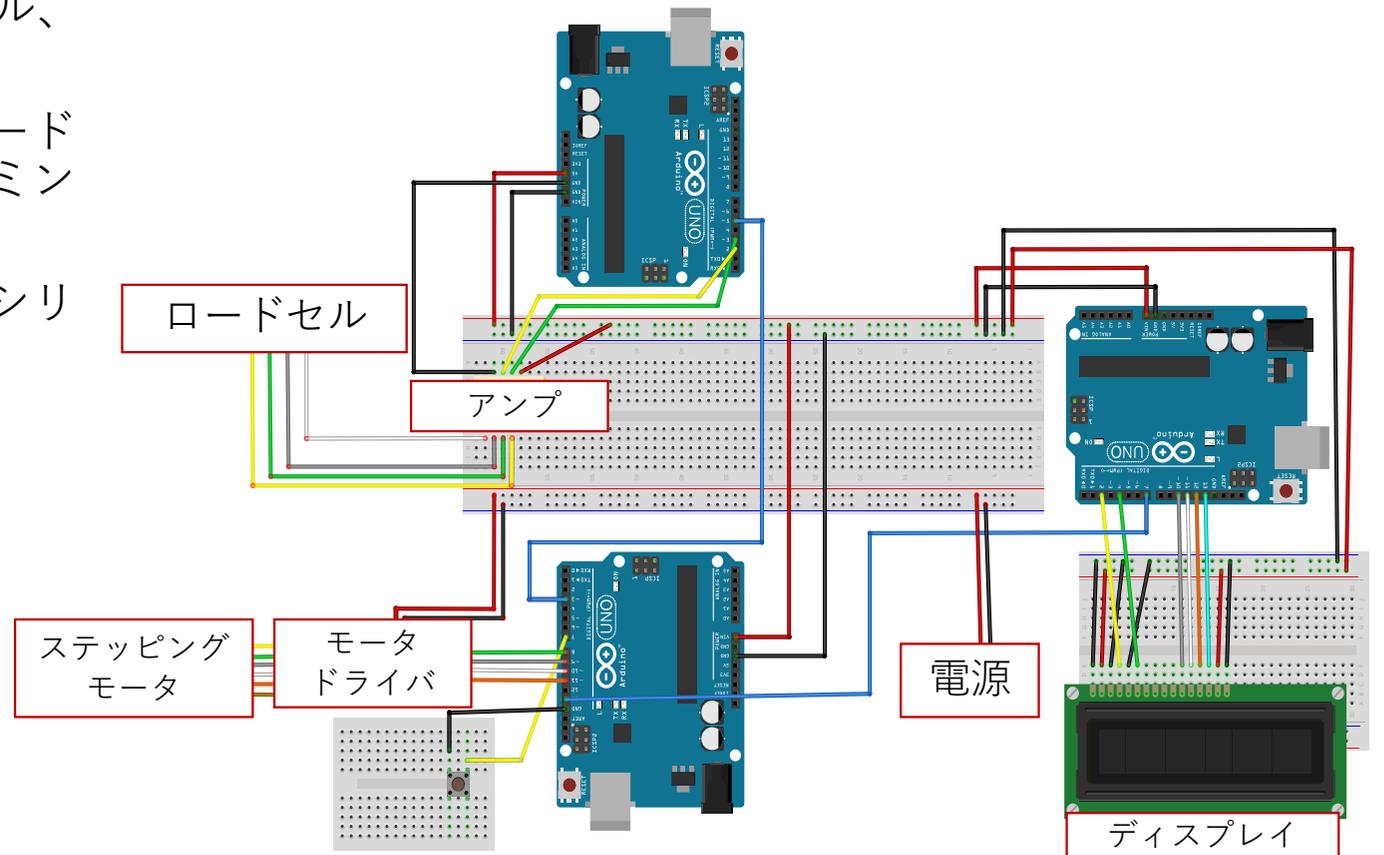
計測器の機能と構成(計測部)

- ・ モーターでスライダーを動かしロードセルで計測
- ・ サンプルングレート80Hzで時間変化する抵抗値を計測可能



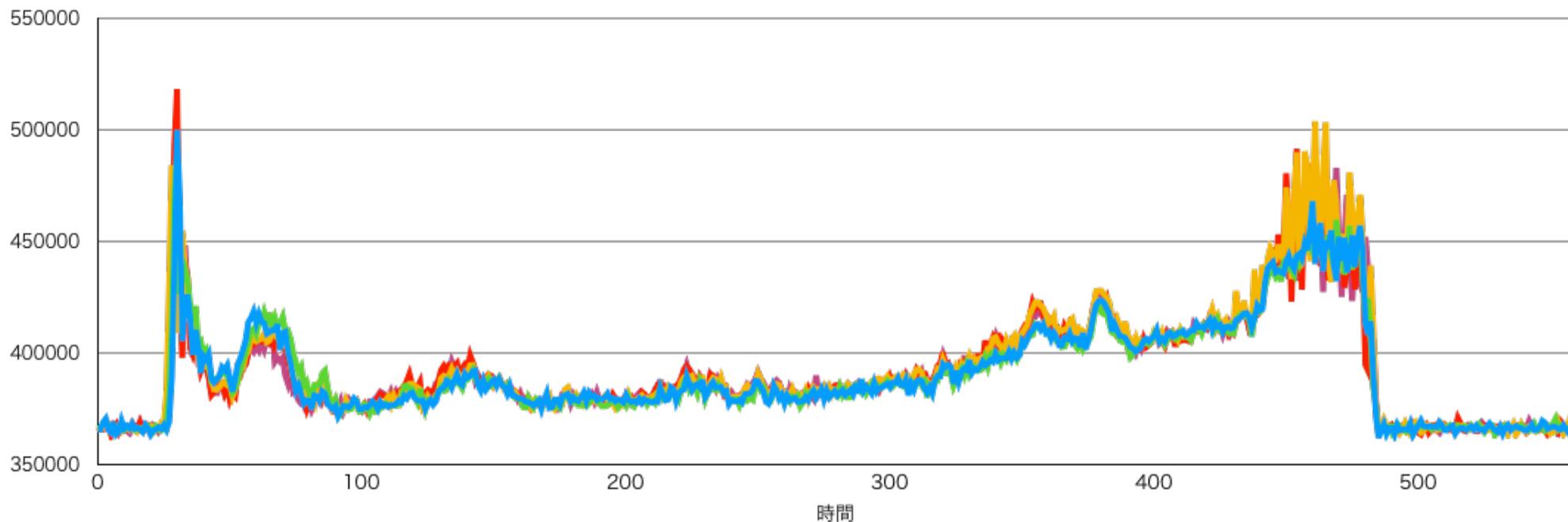
計測器の機能と構成(制御部)

- 2台のArduinoでロードセル、モータの制御を行った
- 一つにまとめないのはロードセルのサンプリングタイミングに影響が出たため
- ロードセルからの出力はシリアル通信でPCに送られる



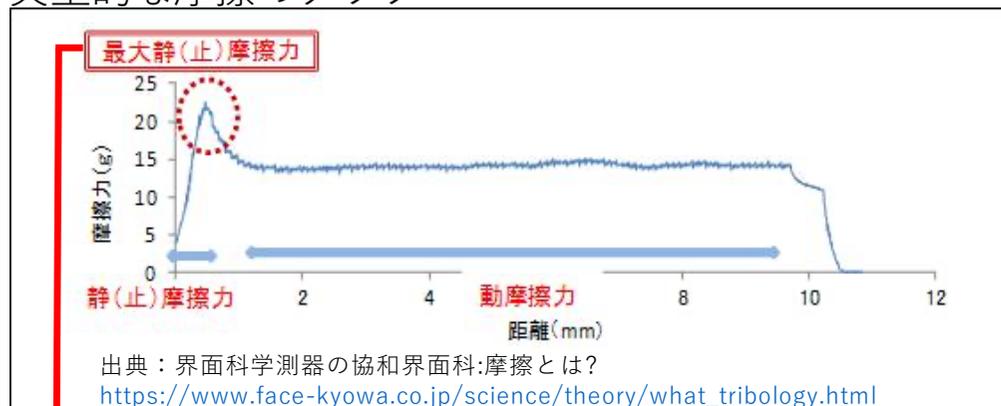
摩擦抵抗計測器の評価

- ・ 5回計測して比較
- ・ 縦軸の値はロードセルの出力そのまま

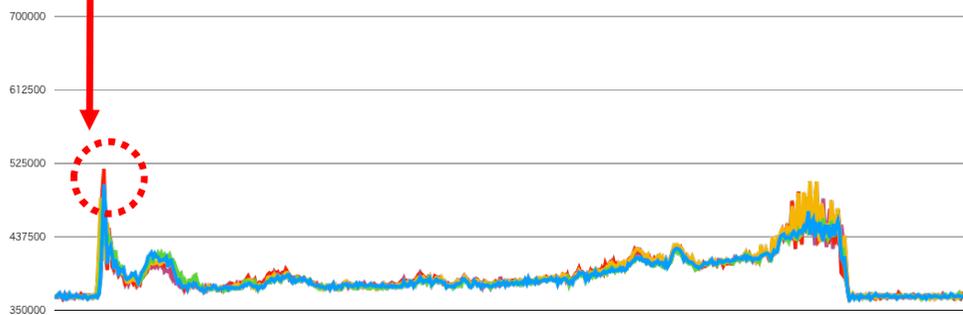


摩擦抵抗計測器の評価

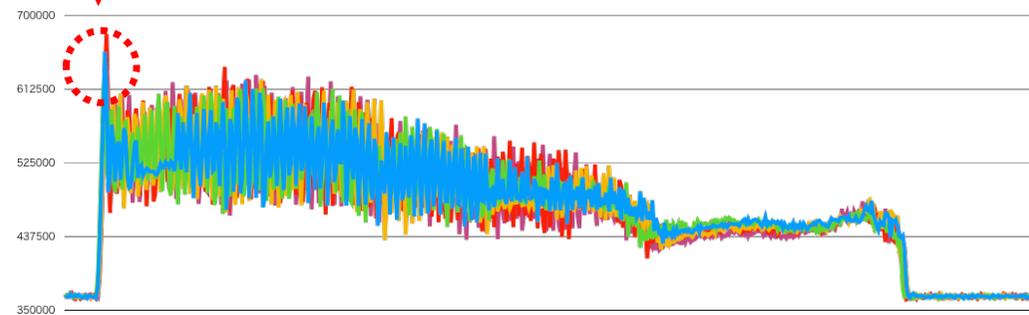
典型的な摩擦のグラフ



- ・ 計測結果と典型的な摩擦のグラフが同様の形をとる
- ・ 抵抗が大きい時値が振れるがグラフの概形は取れている



抵抗が小さい組み合わせを計測した場合



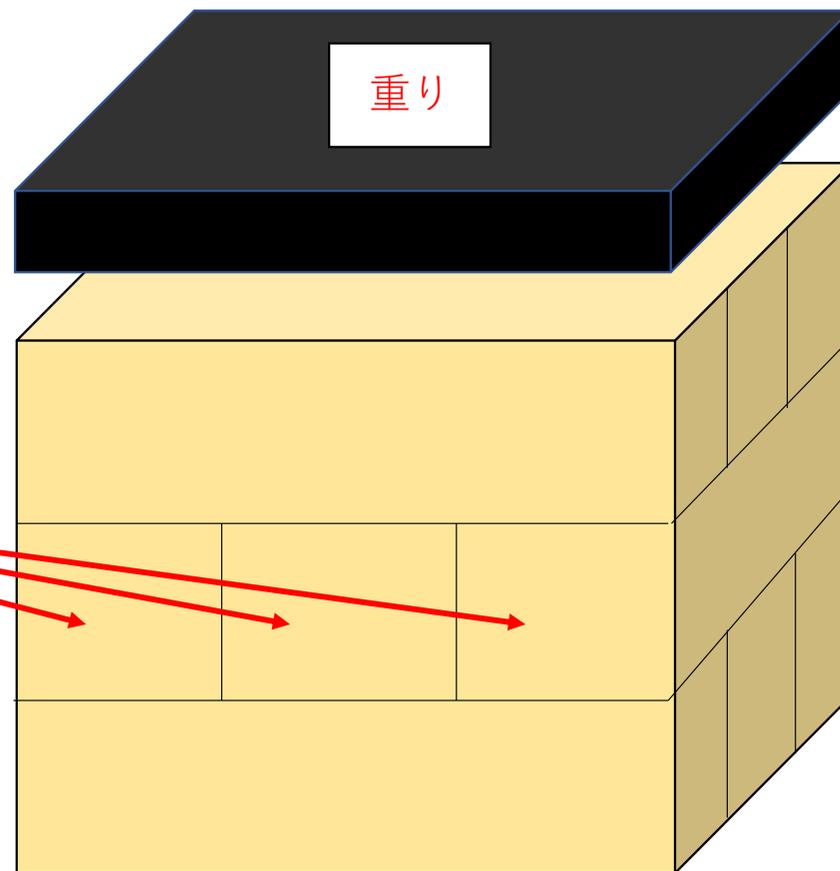
抵抗が大きい組み合わせを計測した場合

作成した摩擦抵抗計測器を用いた実験

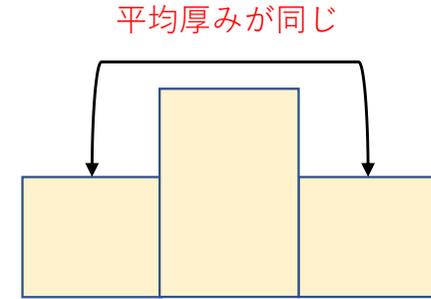
- 3段まで組み、残りは重りで代用
- 2段目のブロックを押して計測
- 1,3段目は平均厚みが近いブロックを配置
- 5回ずつ計測

厚みの異なる
ブロックを配置

- 予備実験以上の結果は得られず
- 3点測定のみでは平均厚みだけでは説明できない

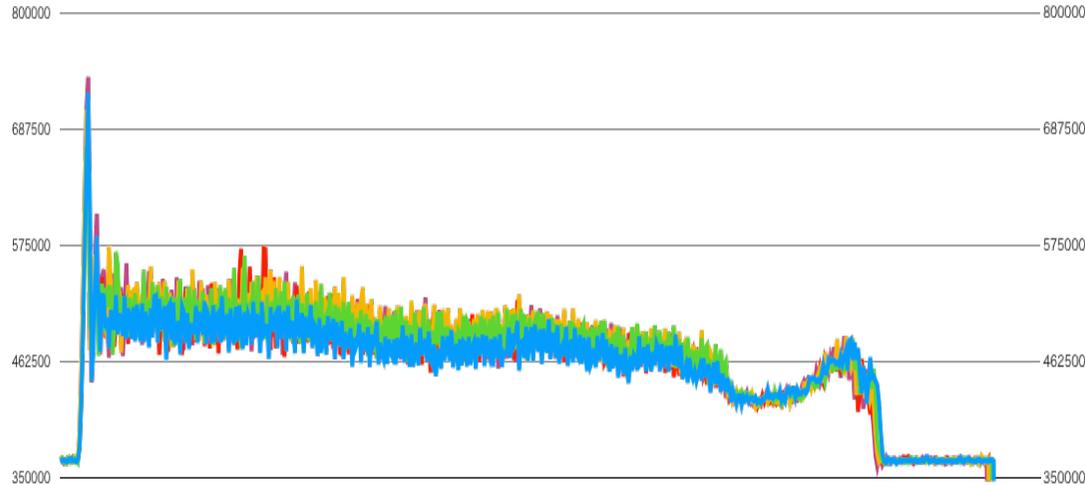


- 例1: 左右の平均厚みが同じだが押しにくさが異なる



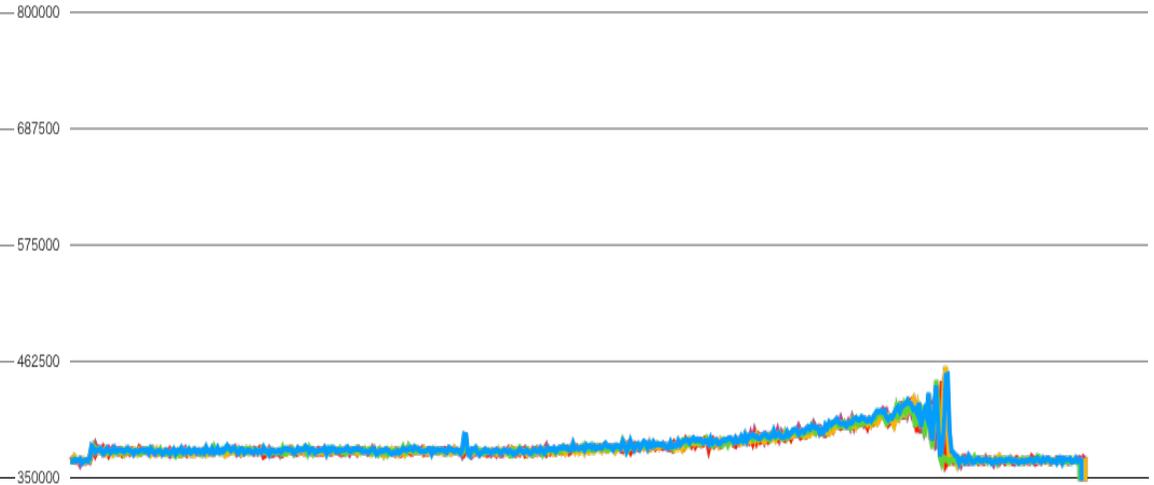
左のブロックを計測

- 1 - 2 - 3 - 4 - 5

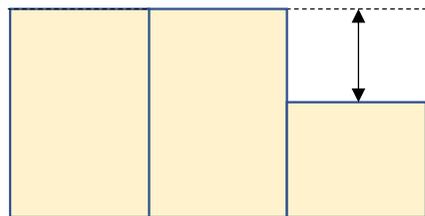


右のブロックを計測

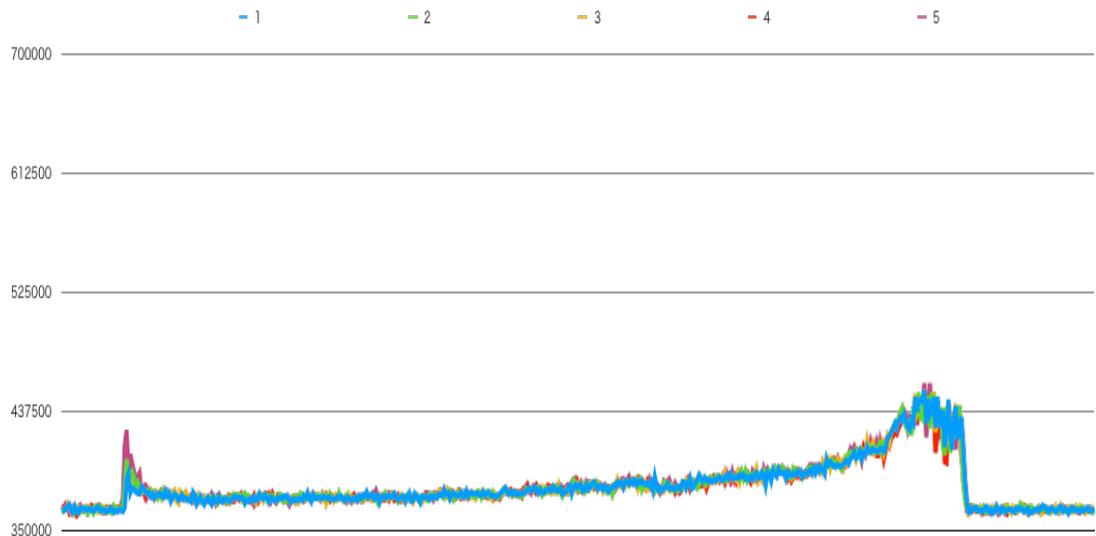
- 1 - 2 - 3 - 4 - 5



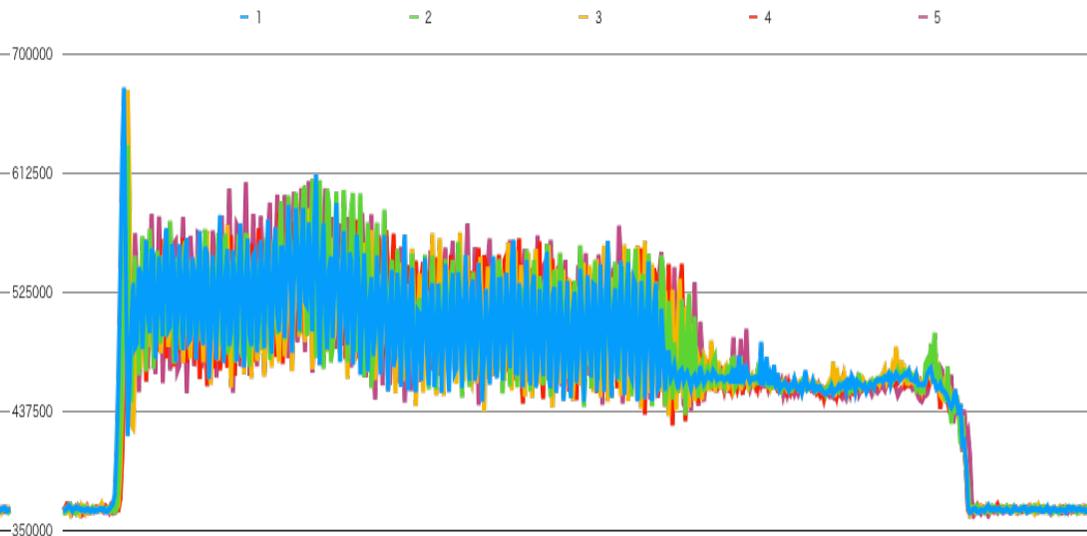
- 例2: 右の平均厚みが低いが右が押しにくい



左のブロックを計測

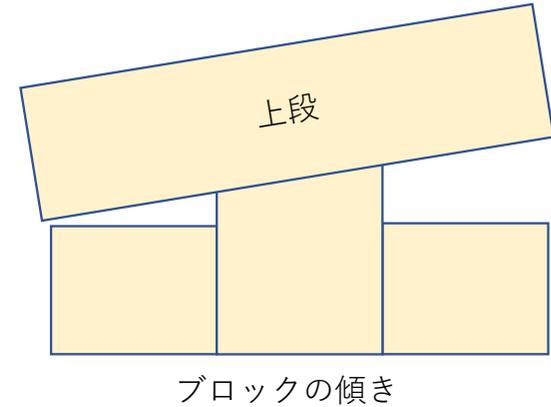


右のブロックを計測



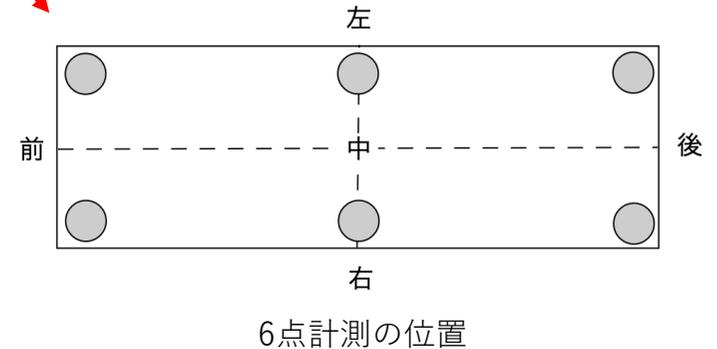
考察

- ブロックの上に乗る段が傾いている？
- 真ん中のブロックの厚みを6点で計測
- 左右で0.04~0.05mmの差がある
- 計測結果から説明ができそう



	前左	前右	中左	中右	後左	後右
例1	14.60	14.65	14.60	14.66	14.59	14.65
例2	14.68	14.64	14.68	14.63	14.65	14.62

0.04~0.05mmの差

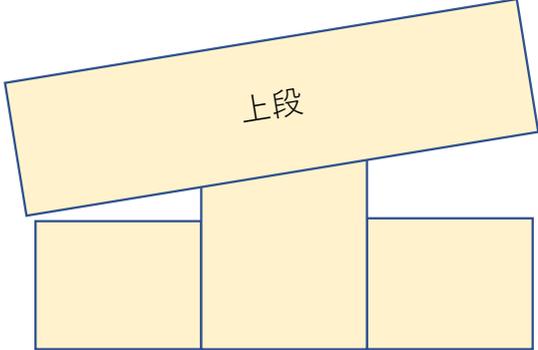


再実験

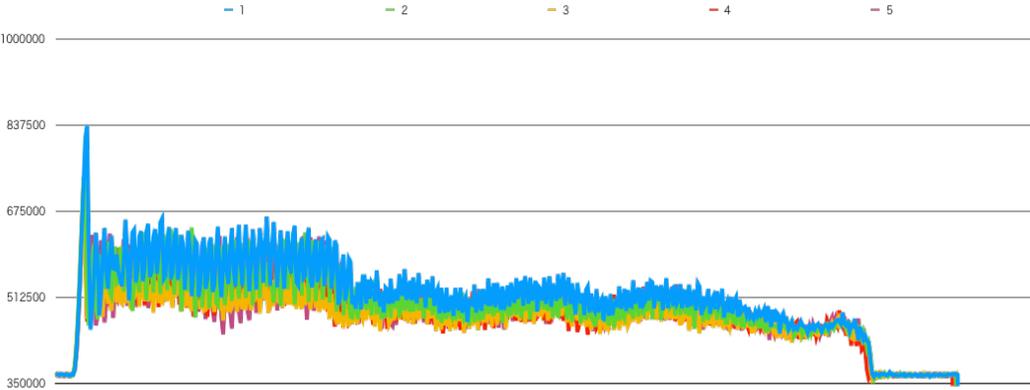
- ブロックの厚みを6点で再計測
- その平均厚みに基づいて抵抗値を改めて計測

- 形状を考慮することで説明がつくものが増加
- しかし、説明が困難な部分も残る

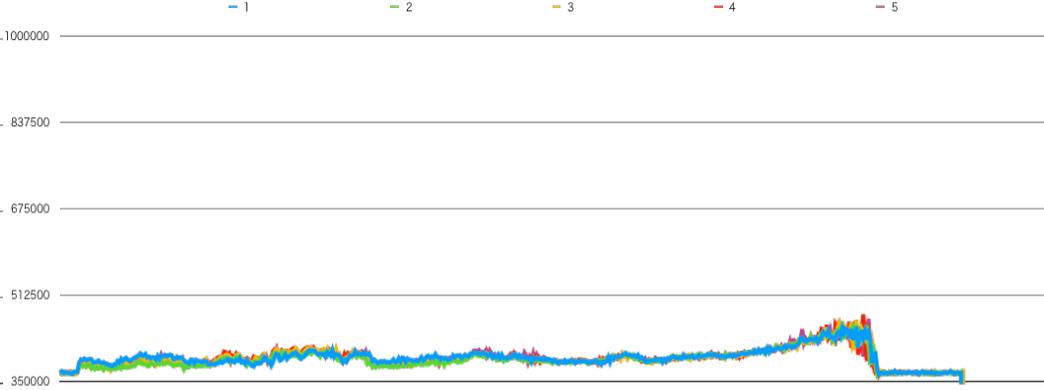
説明がつけられる例



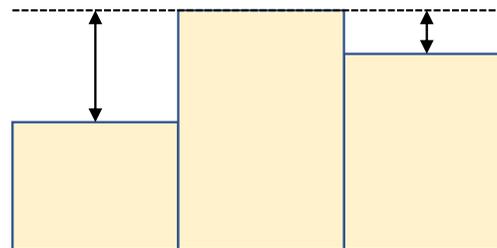
左のブロックを計測



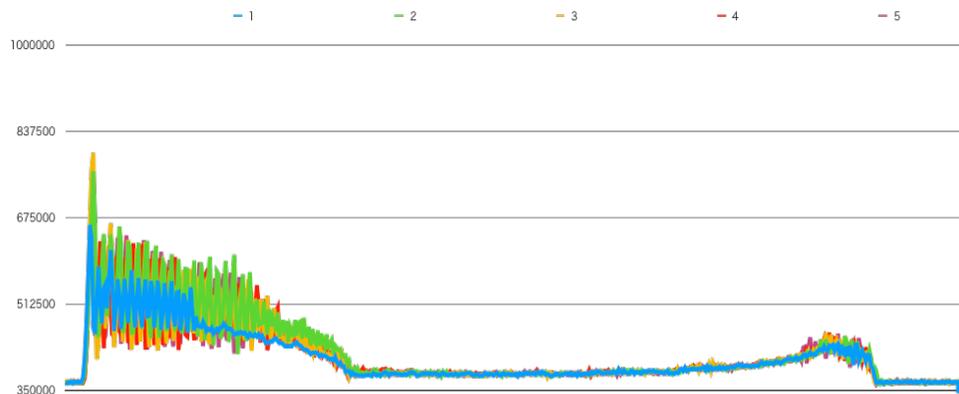
右のブロックを計測



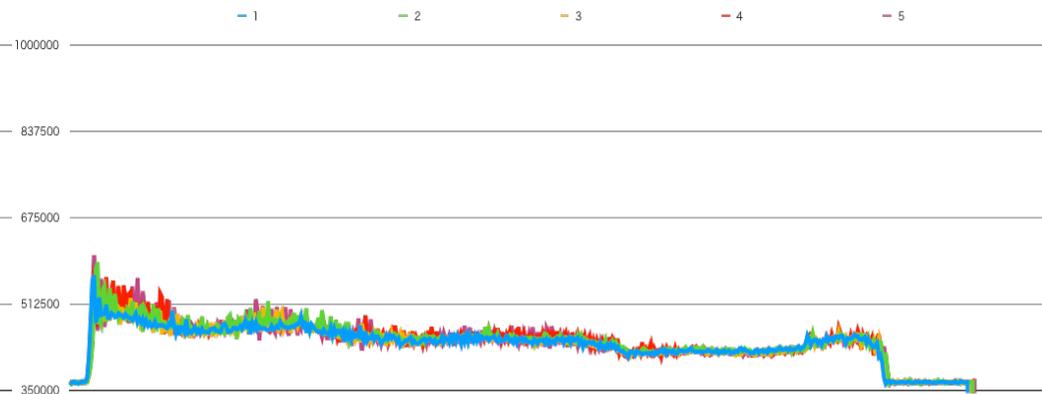
説明がつけられない例



左のブロックを計測



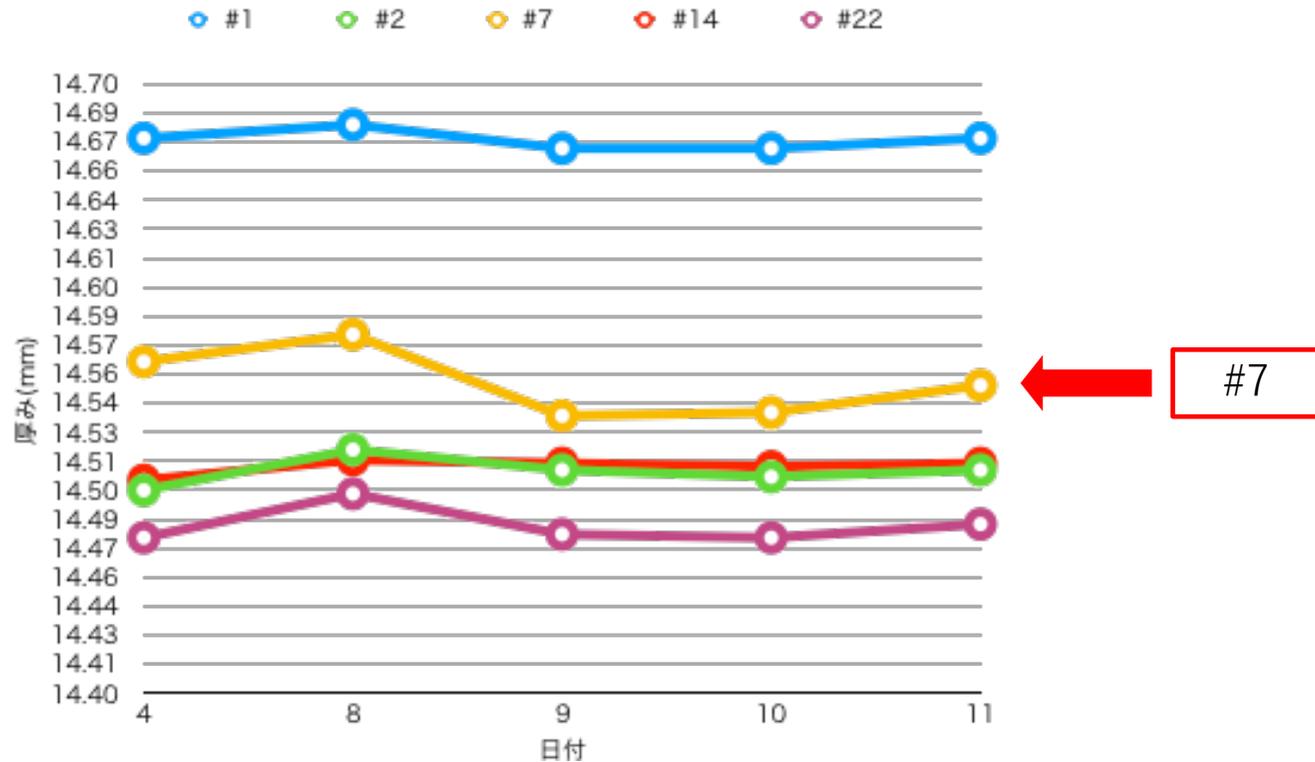
右のブロックを計測



6点計測したデータから説明が出来ない

計測ごとに厚みが異なるブロック

- 継続して測定していると7番ブロックだけ値の差が大きい
- 測定位置のわずかなズレで結果に大きな差
- 6点計測よりさらに細かな形状情報が必要



形状計測装置の作成

- レーザー距離計の紹介
- 分解能 $5\mu\text{m}$ (=0.005mm)
- レーザーを照射し、対象までの距離を計測可能
- 三角測距方式(CMOS)
- 付属のアンプユニットで実測値をリアルタイムで見る事も可能

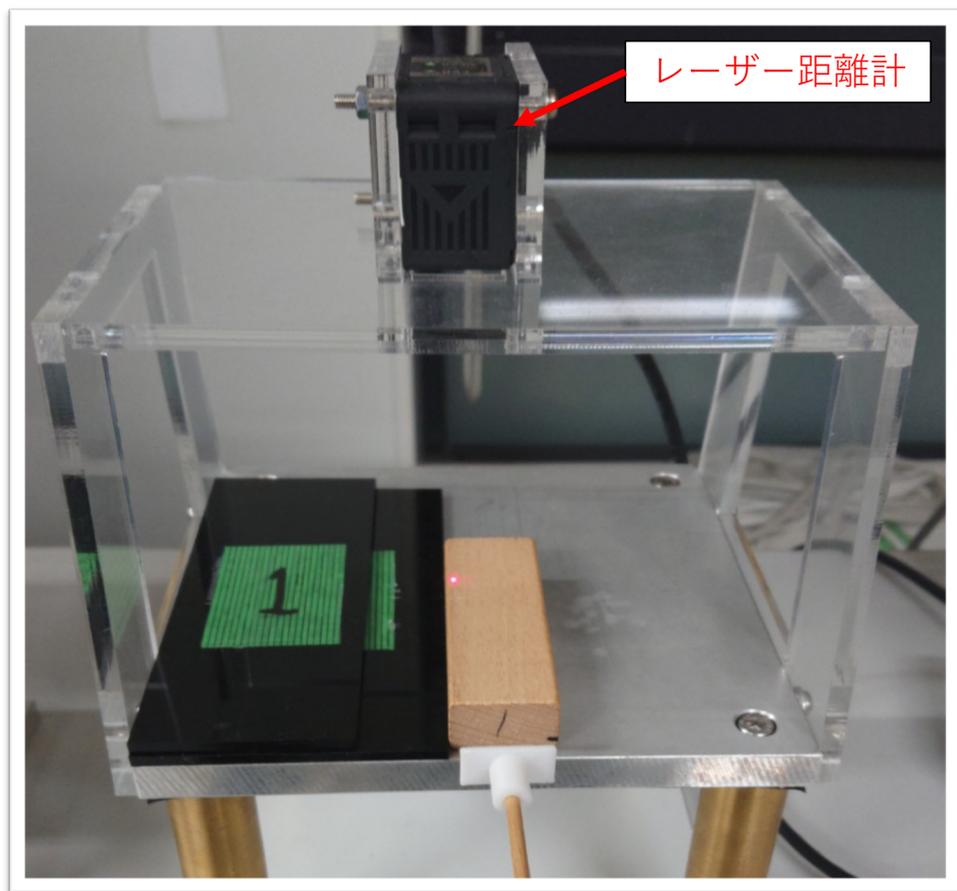


アンプユニット

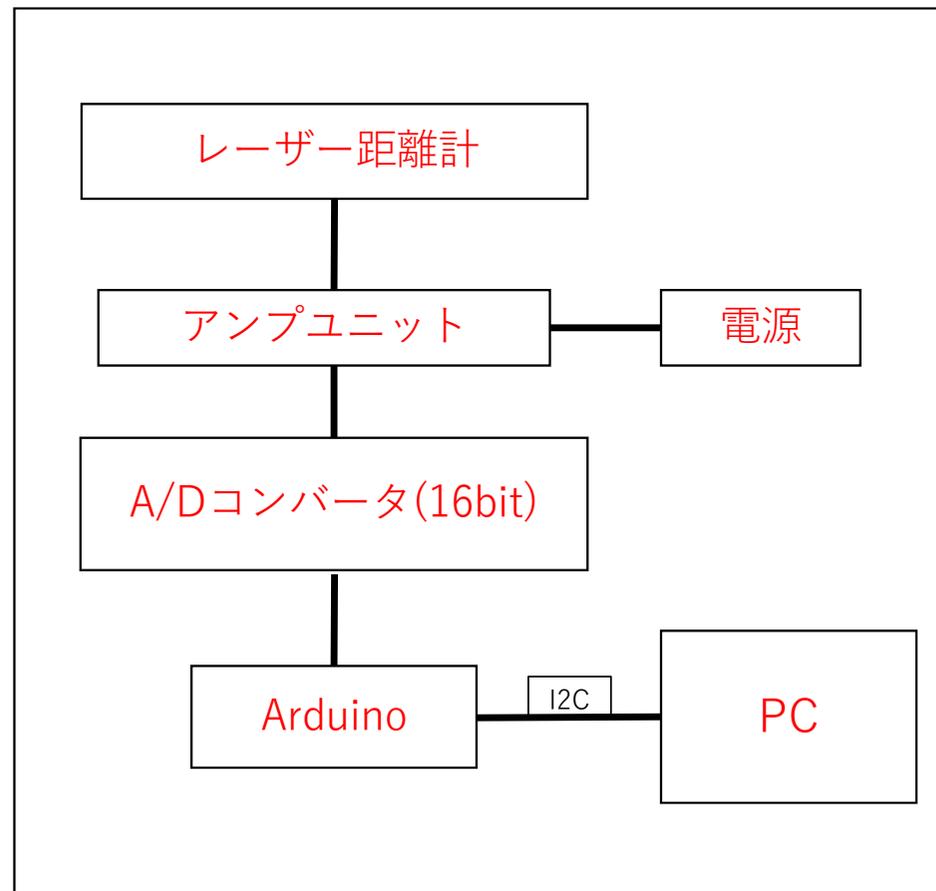


距離計: OMRON社製 ZX2-LD100

装置の構成



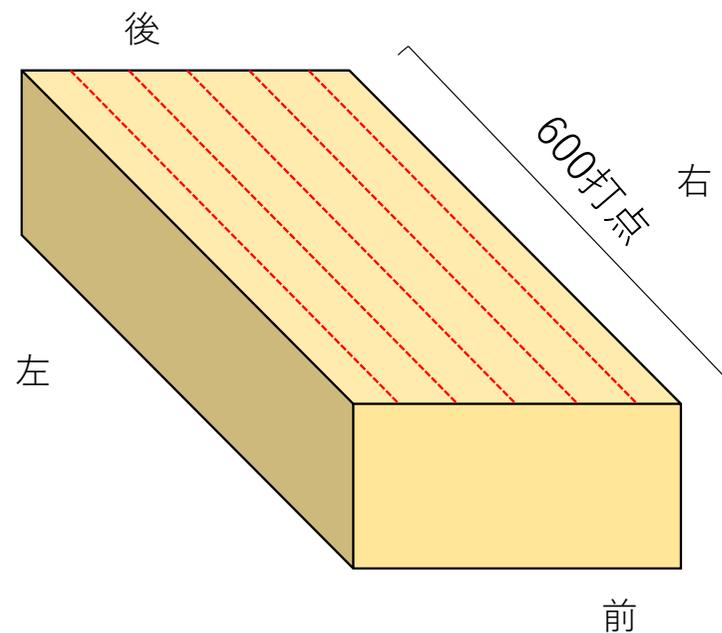
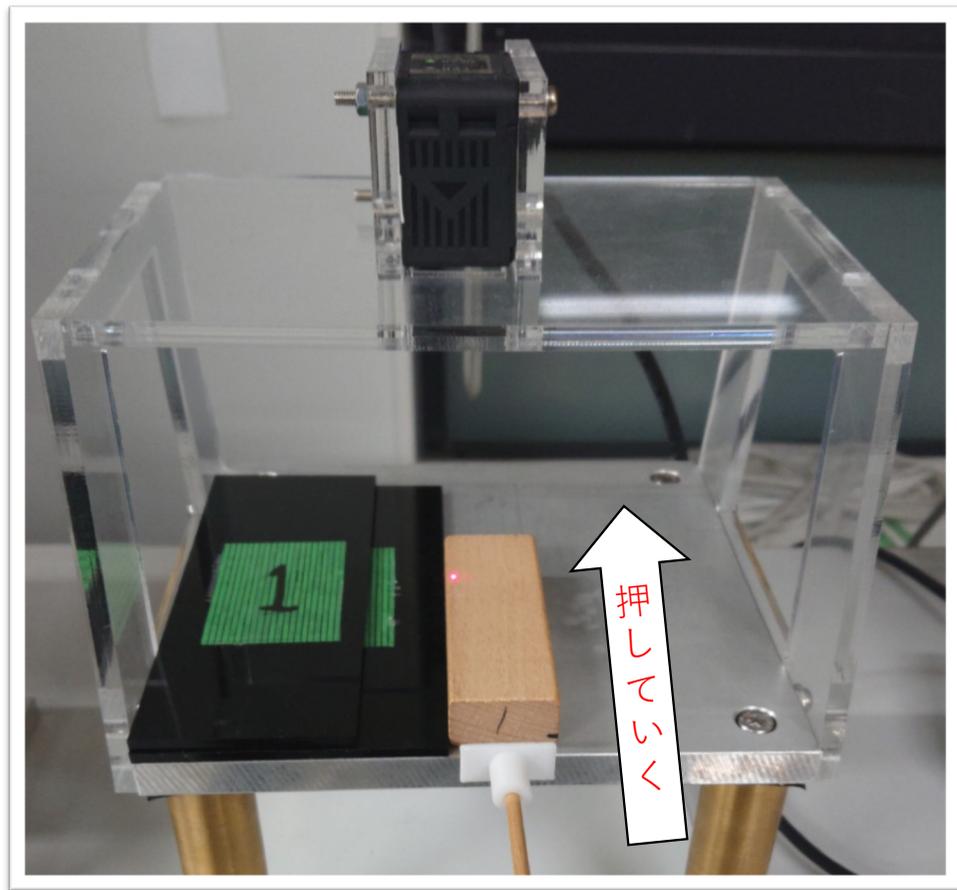
形状計測装置(距離計部分)



システム構成

装置の機能

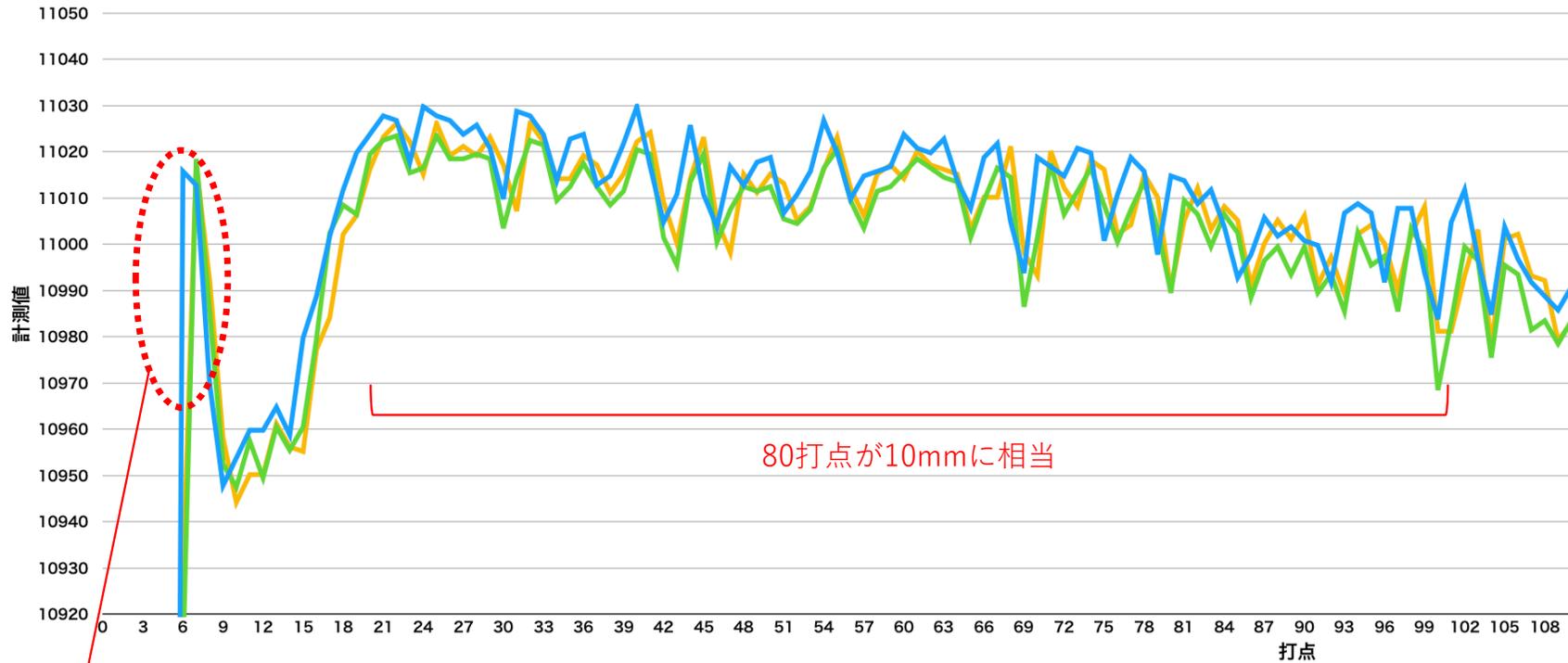
- ・ブロックごとに600打点を5列計測可能



5列計測

計測結果の評価

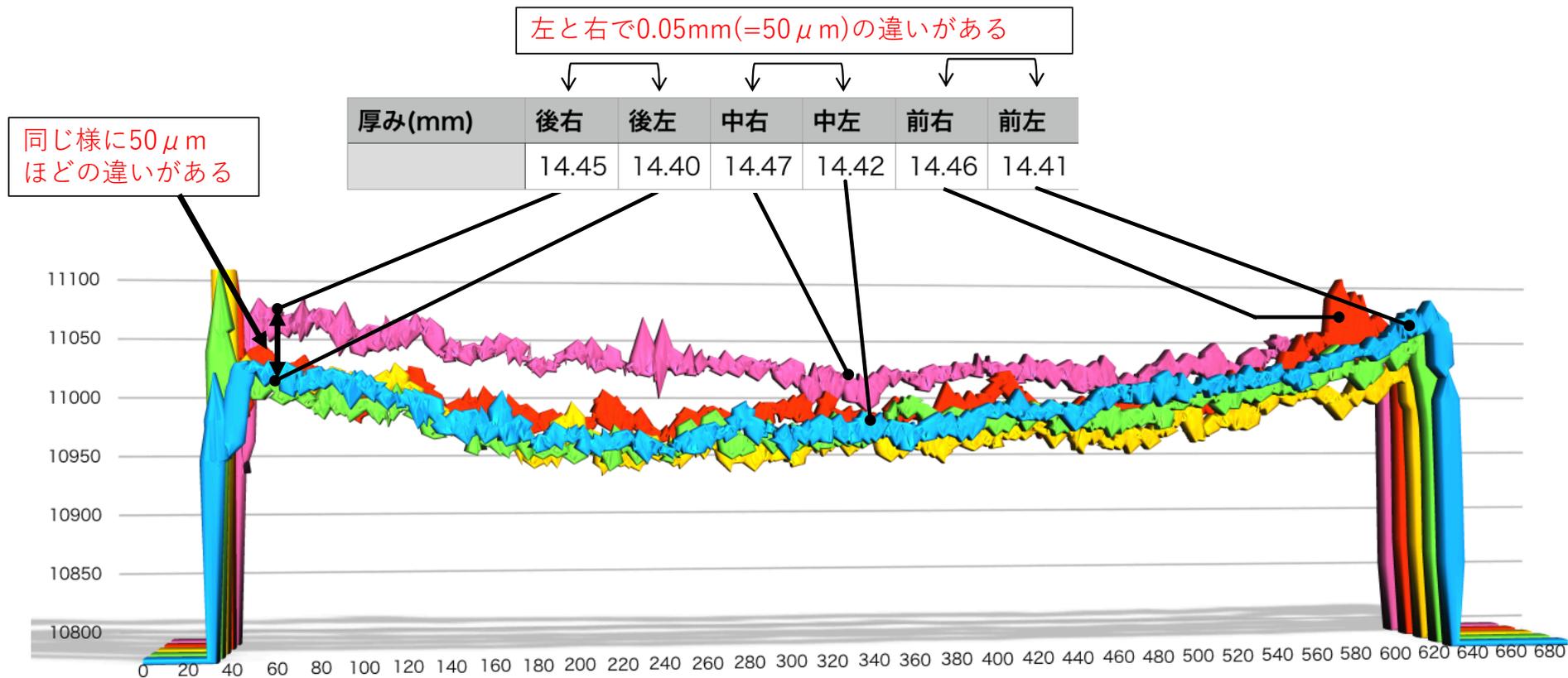
同じ列を3回計測



ブロックの角の部分はレーザーが正しく反射されない為、計測出来ない

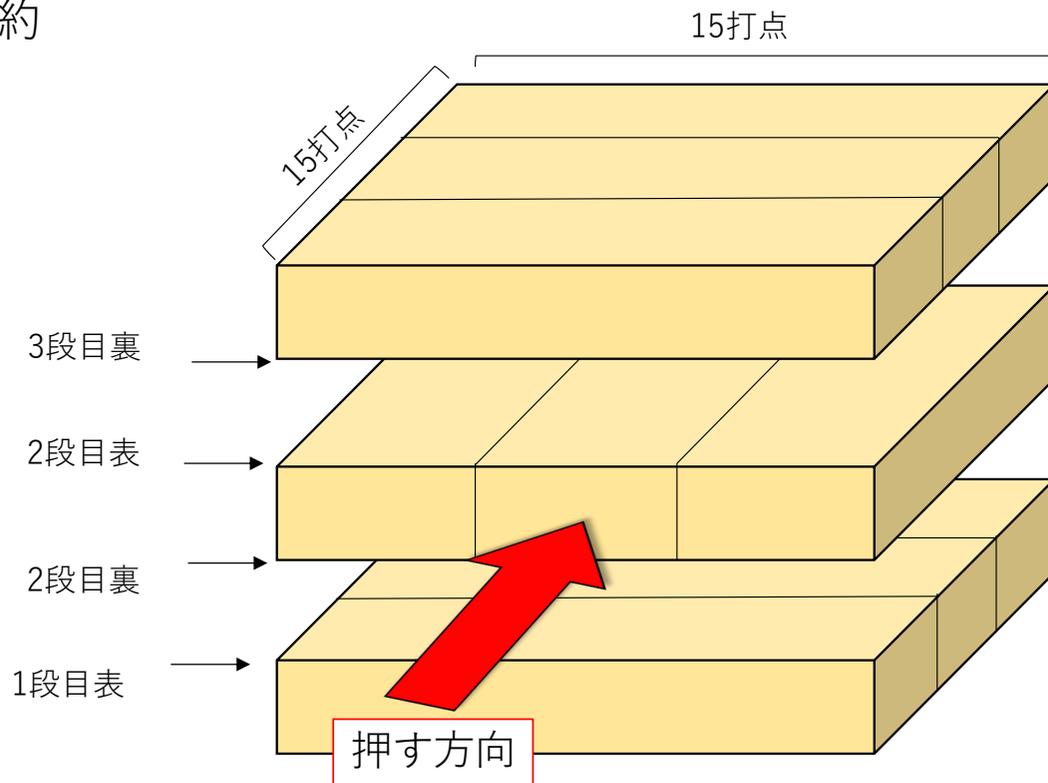
計測結果の評価

- 6点計測との照らし合わせ

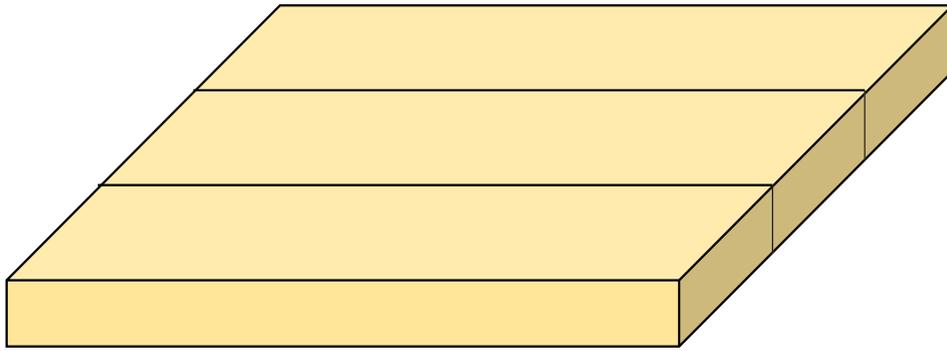


シミュレータの検討

- 形状情報に基づいた押しにくさの推定
- 5*600打点は5*15の高さに集約
- 2段目の各ブロックについて
- 4面の接触状態から推定

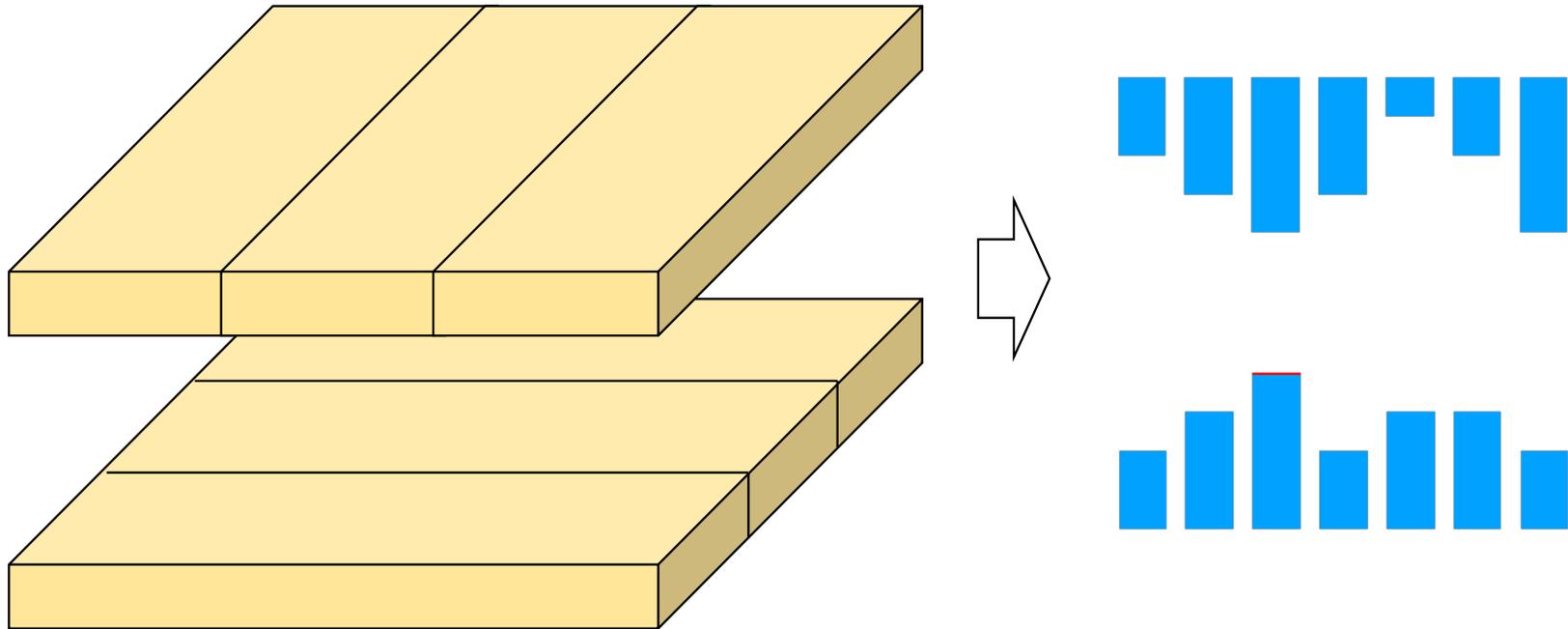


シミュレータの動作



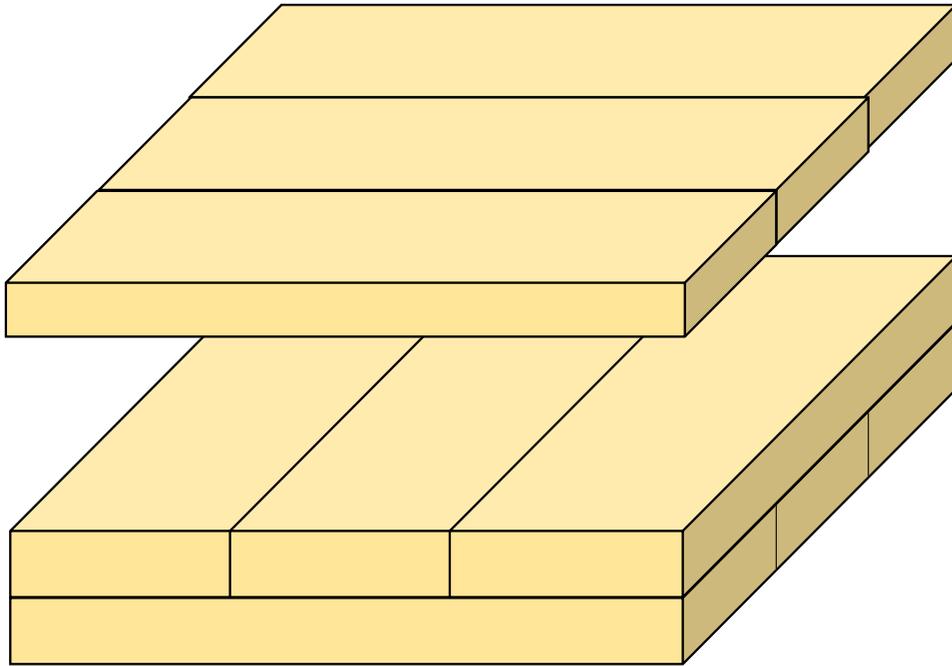
シミュレータの動作

- 2段目のブロックを真っ直ぐ降ろしていき、どこか一箇所でも接触したら止める



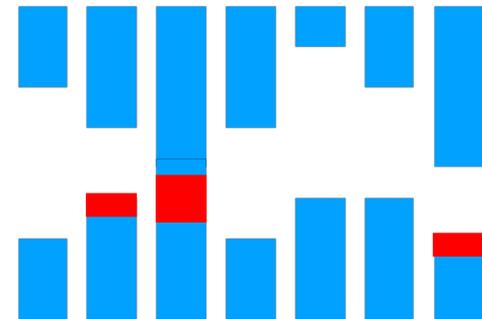
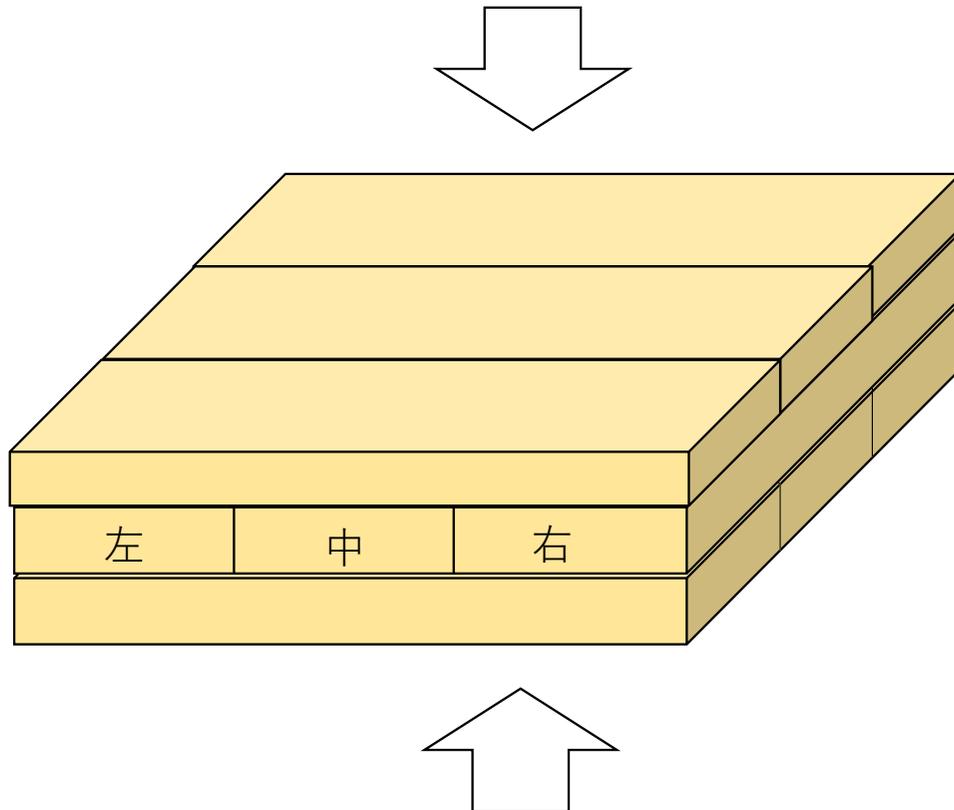
シミュレータの動作

- 3段目のブロックも同様に降ろしていき止める

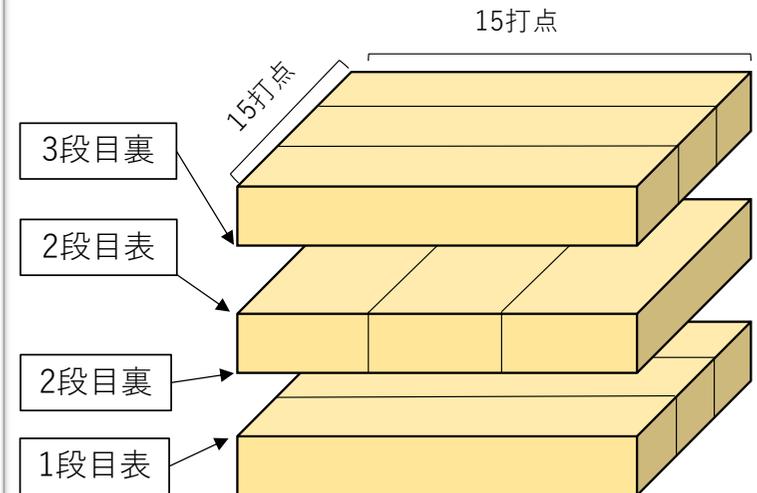
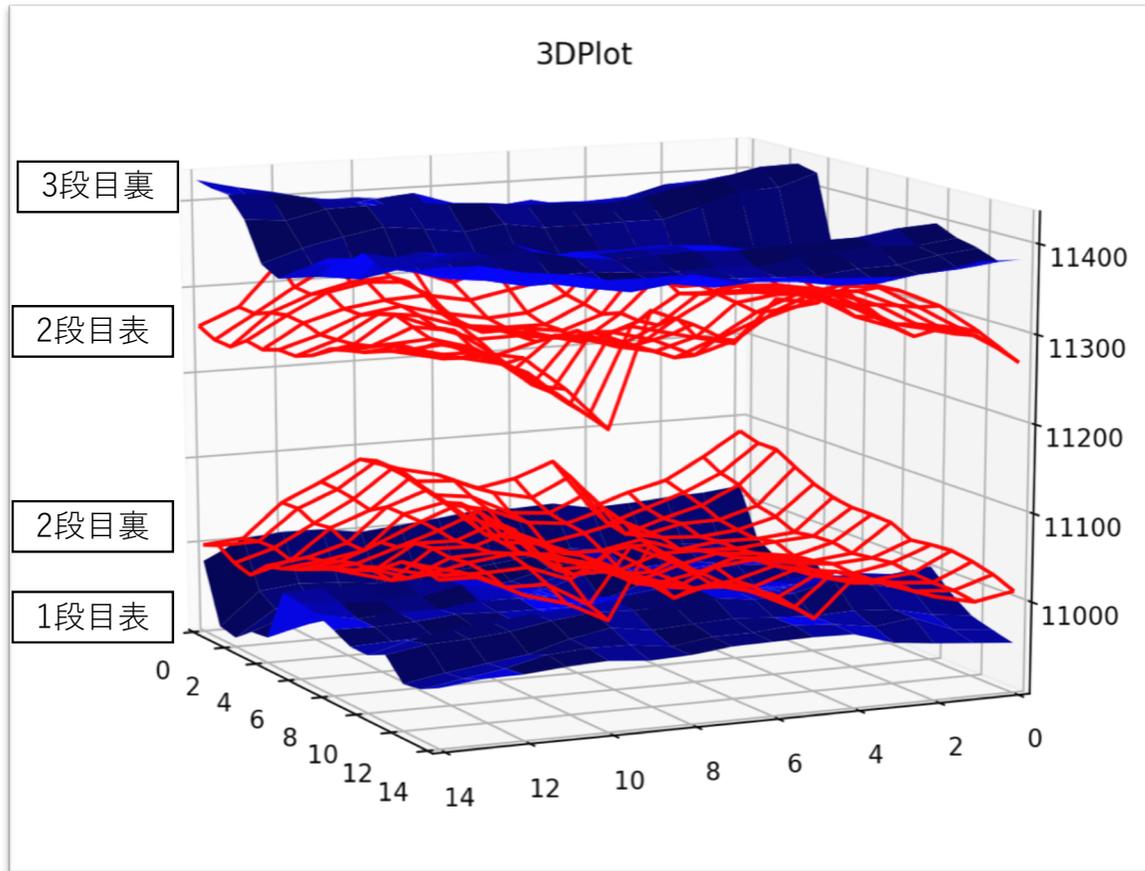


シミュレータの動作

- 重みで更に押し込まれて接触箇所が増えることを想定
- 3段目全体を押す

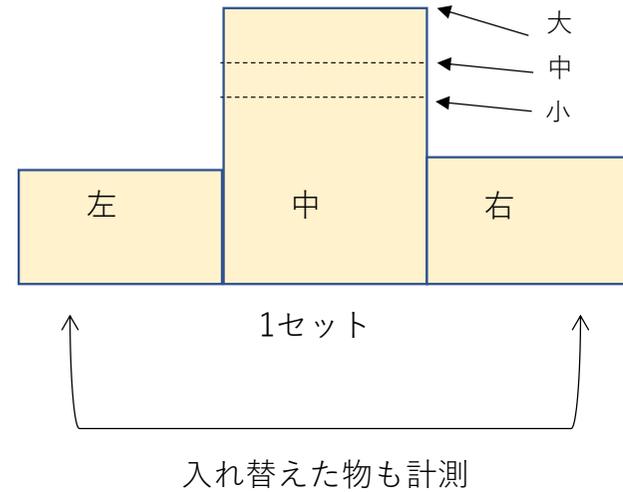


シミュレート結果の表示



実験

- 図の様に配置
- 中の高さを3段階分で1セット
- 3セット、左右入れ替え
- 合計18パターンの押しにくさ計測



	セット1		セット2		セット3	
	左右	右左	左右	右左	左右	右左
大						
中						
小						

シミュレート結果との比較

判定方法

実測値	推定値	判定	
		○	左右の大小関係が合っている
		△	左右の大小関係が逆転している
		×	そもそも凸型じゃない

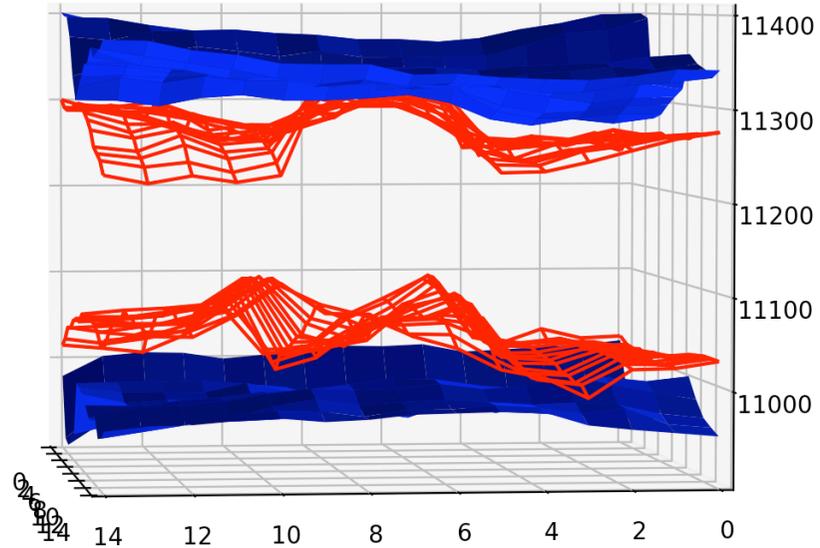
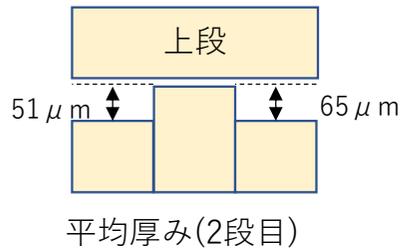
- 推定値が中 < 左右だと ×
- 中 > 左右ではあるが左右の大小が逆転だと △
- それ以外を ○ と判定

判定結果

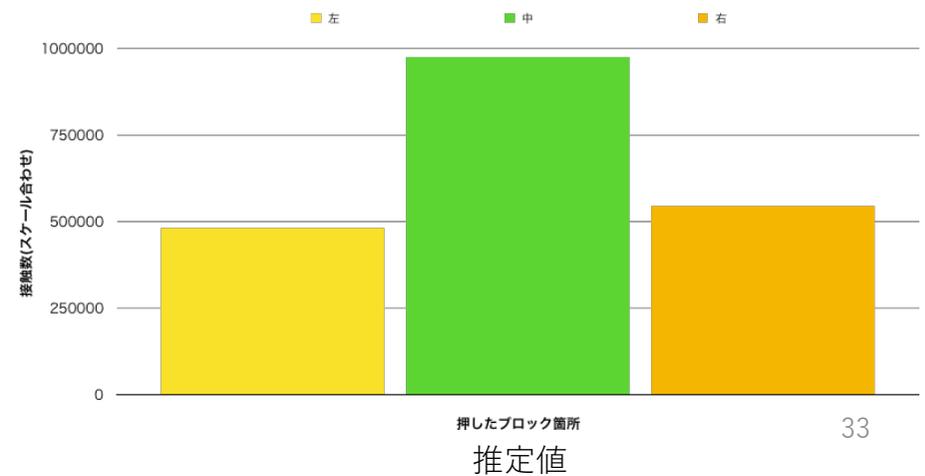
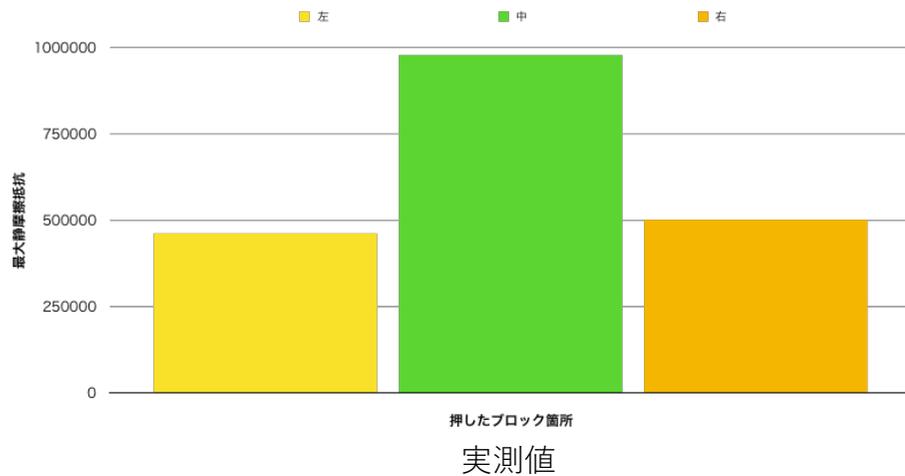
	セット1		セット2		セット3	
	左右	右左	左右	右左	左右	右左
大	△	△	○	△	○	△
中	△	△	△	△	△	△
小	×	○	△	○	○	○

○と判定

- 形状情報から図示

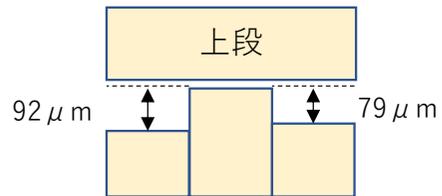


- 推定値が実測値に近い

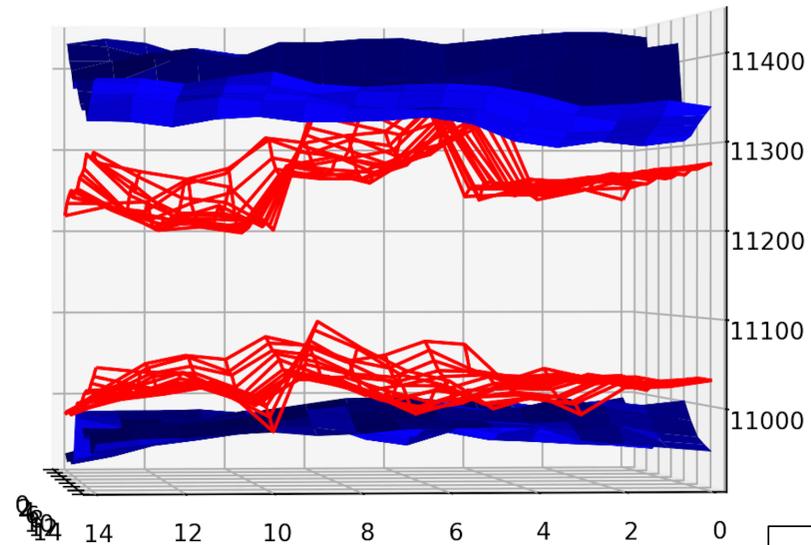
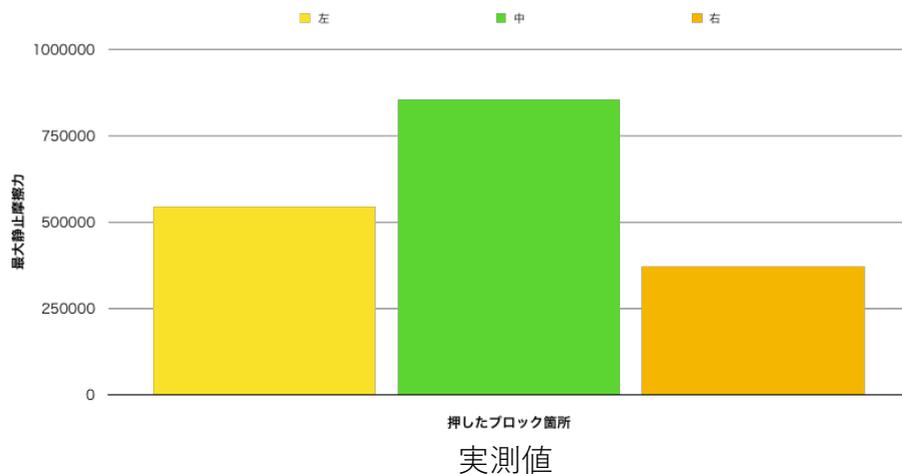


△と判定

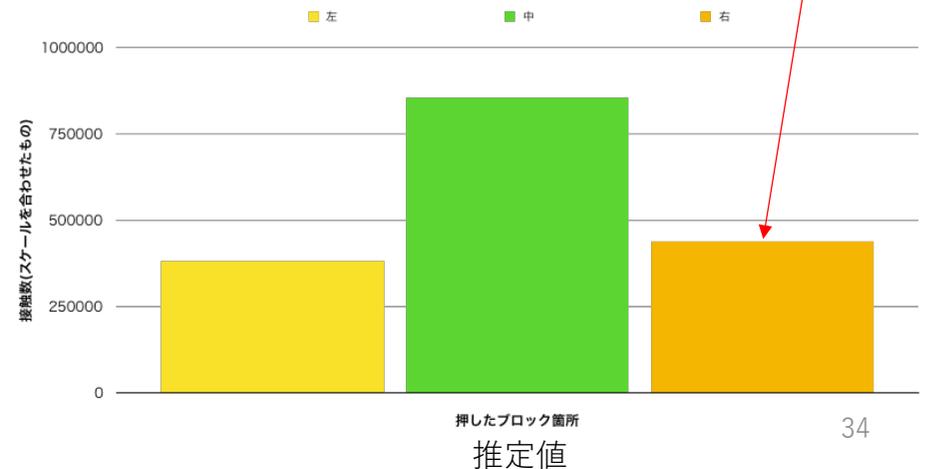
- 形状情報から図示



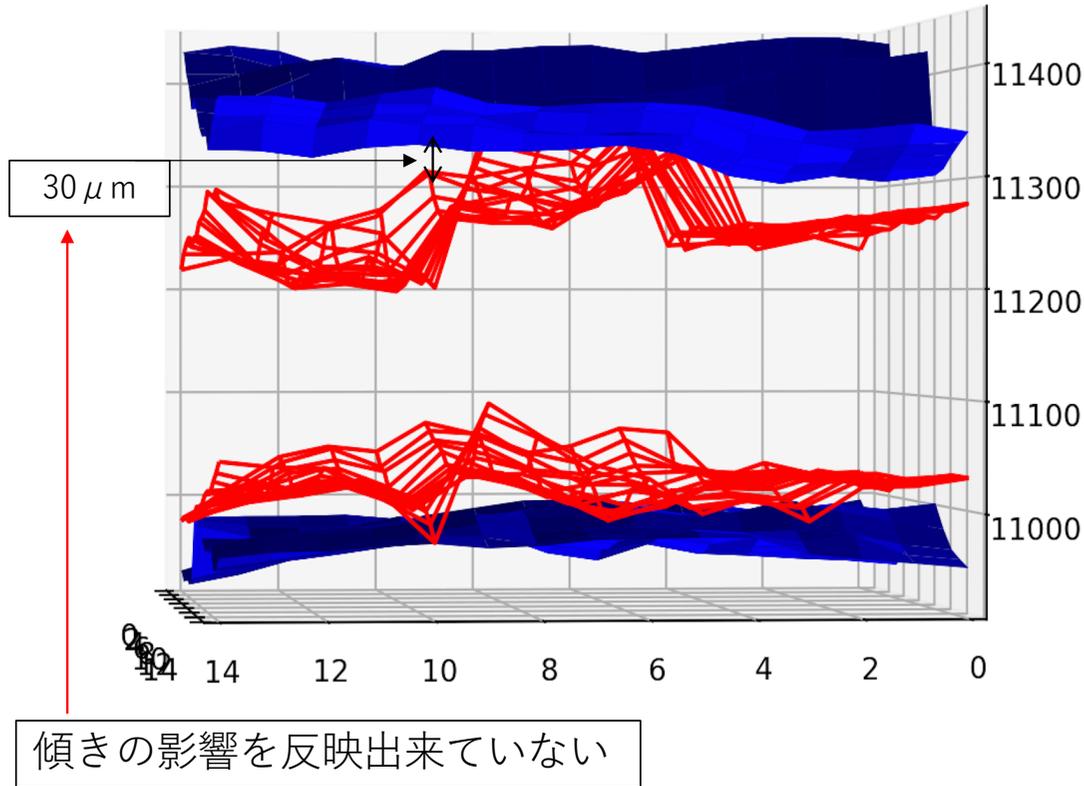
- 左右の大小関係が推定値では逆転



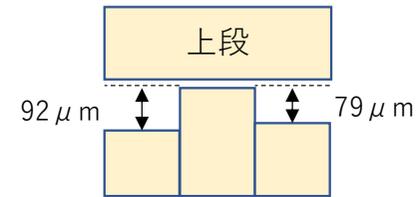
右のほうが高い



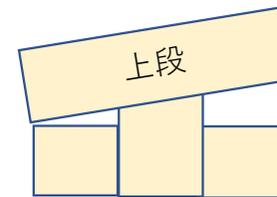
△の例について詳しく見る



平均厚みでは



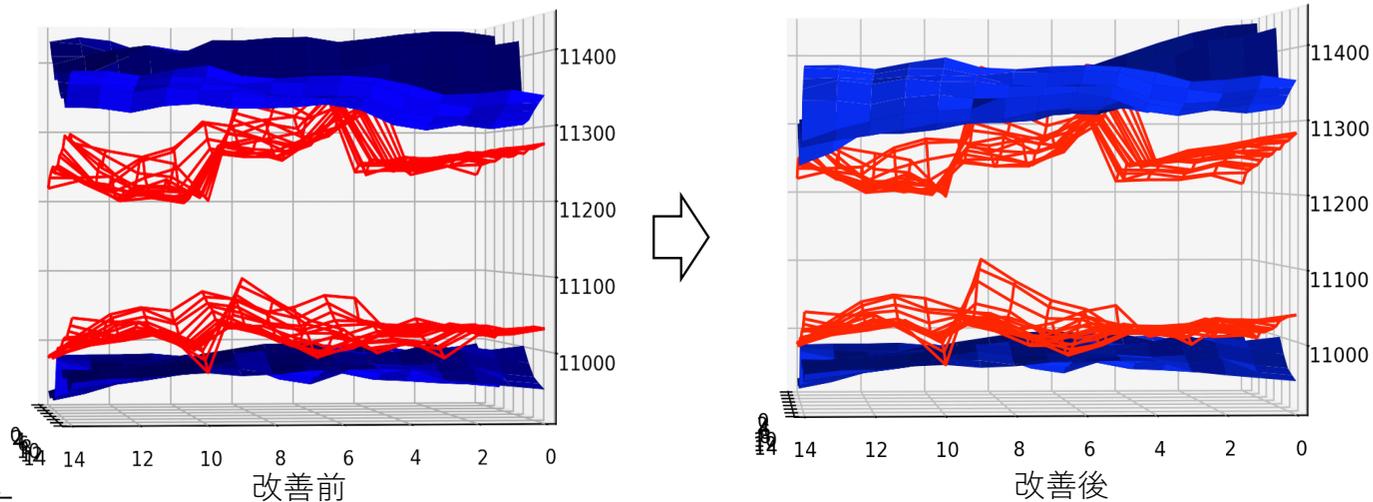
実際は



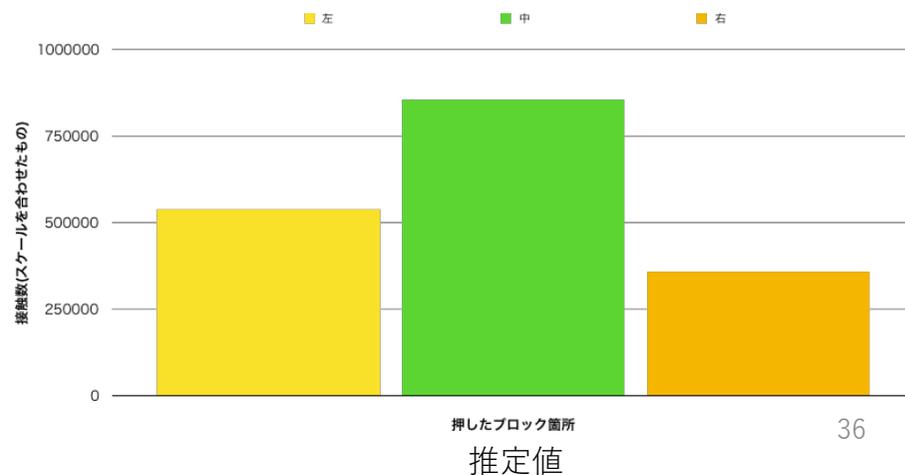
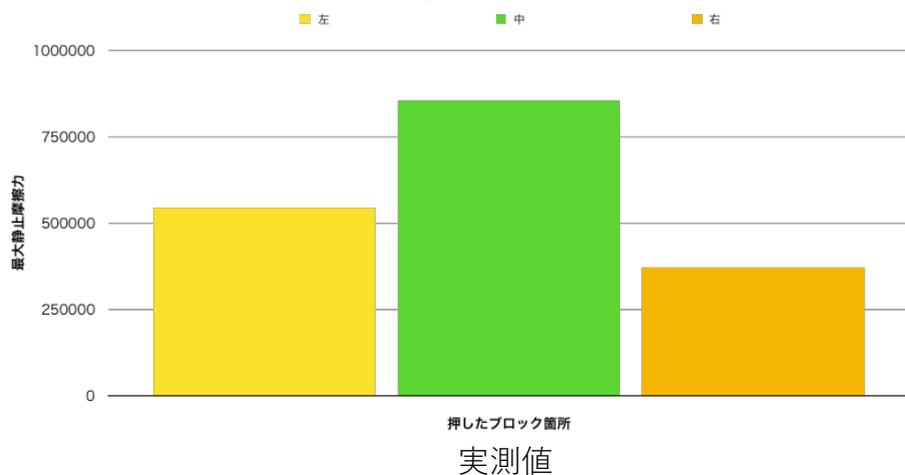
結論:最初の接触の後に更に傾いて2点で接触する様にシミュレータの改善が必要

シミュレータの改善結果

- 改善前と後の3Dグラフ



- 実測値と改善後の推定値



再判定

- 再び判定

	セット1		セット2		セット3	
	左右	右左	左右	右左	左右	右左
大	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\bigcirc \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\bigcirc \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \Delta$
中	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \bigcirc$
小	$x \rightarrow x$	$\bigcirc \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\bigcirc \rightarrow \bigcirc$	$\bigcirc \rightarrow x$	$\bigcirc \rightarrow \bigcirc$

- 結果が改善されたかどうか

	セット1		セット2		セット3	
	左右	右左	左右	右左	左右	右左
大	↑	↑	↓	→	↓	→
中	↑	→	→	↑	→	↑
小	→	→	→	→	↓	→

再判定

- 18パターン中
- 5つの結果が向上
- 3つについて悪化
- 残りの内 $\Delta \rightarrow \Delta$ が6つ

	セット1		セット2		セット3	
	左右	右左	左右	右左	左右	右左
大	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\bigcirc \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\bigcirc \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \Delta$
中	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \bigcirc$
小	$x \rightarrow x$	$\bigcirc \rightarrow \bigcirc$	$\Delta \rightarrow \Delta$	$\bigcirc \rightarrow \bigcirc$	$\bigcirc \rightarrow x$	$\bigcirc \rightarrow \bigcirc$

	セット1		セット2		セット3	
	左右	右左	左右	右左	左右	右左
大	↑	↑	↓	→	↓	→
中	↑	→	→	↑	→	↑
小	→	→	→	→	↓	→

考慮不足な点

- 接触箇所数に基づく推定処理は1段目と2段目の接触、2段目と3段目の接触の両方から出すはずだが、後者だけを使っている
- 接触箇所数だけで、押し込まれて食い込む度合いをシミュレート結果に反映出来ていない
- 傾き具合を出すのは2点では不十分
- 途中まで押されたブロックの押しにくさについて検証していない

まとめ

- ブロックの配置からジェンガの押しにくさを推定
 - 押しにくさの定量化 → 摩擦抵抗計測器を作成
 - 細かい形状を高い精度で計測 → 形状計測器を作成
 - 形状情報を使った押しにくさの推定 → シミュレータの作成
-
- 結果、ある程度正しい推定値が得られた
 - 0.1mm程度の高低差については正しく推定
 - しかし、シミュレータの完成度が低く、十分とは言えない状態

予備スライド

関連研究

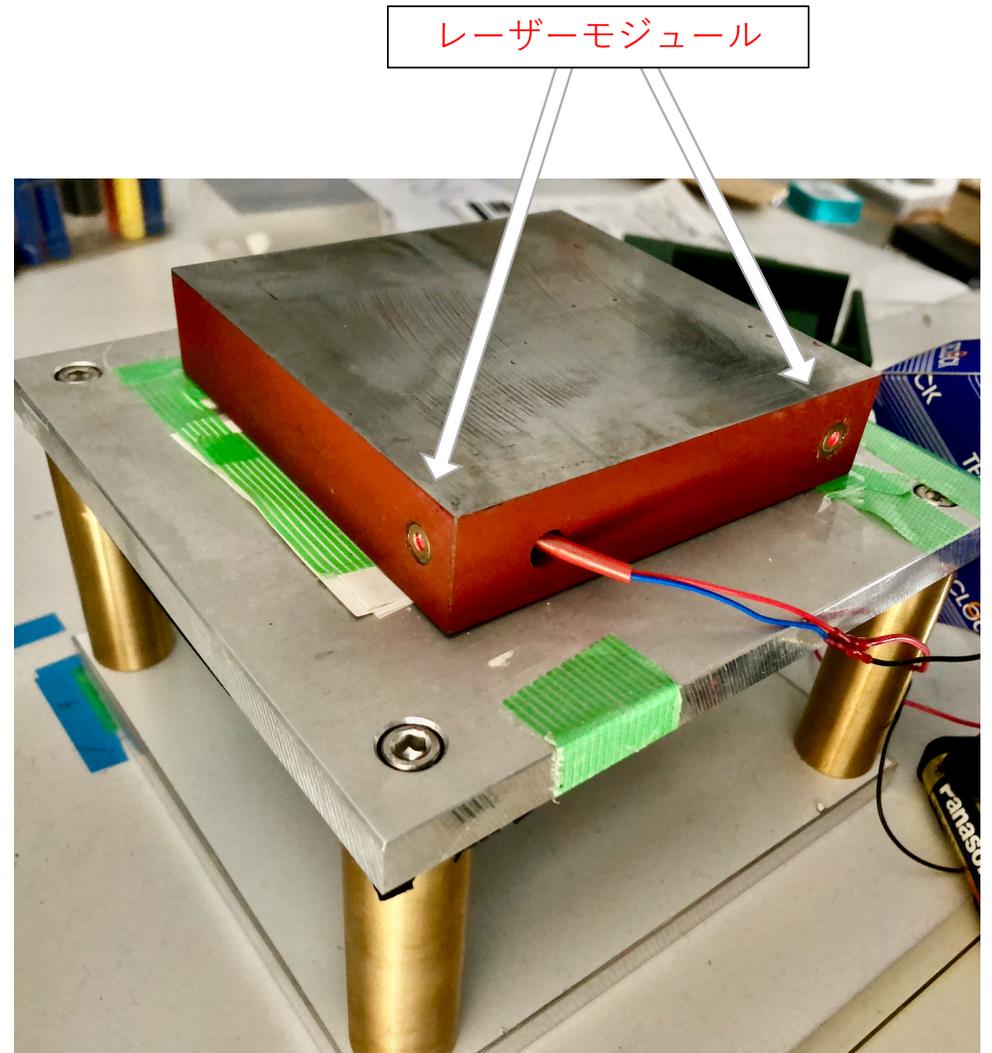
- ジェンガゲームロボットの開発
篠田裕仁, 小枝正直, 吉川恒夫 (立命館大), 2008
- ジェンガブロックの器用な引き抜きのための捻り動作の導入
石井宏紀, 相山康道 (筑波大), 2013
- ジェンガブロック引き抜き操作のための理想的な力学モデルの提案
木村真也, 相山康道 (筑波大), 2010

そもそも精密にシミュレートしたら解けるのか？

- 摩擦は一般に
 - 多くの要素が絡みその相互作用が複雑
 - 原理から摩擦を計算することは非現実的
 - そのため「実証研究的なアプローチ」が取られる
- じゃあこんなに精度上げて何やってんのよ？
 - この研究では、
 - ある程度の精度での計測結果を基に、
 - 必要な程度の正確さで推定できれば良い

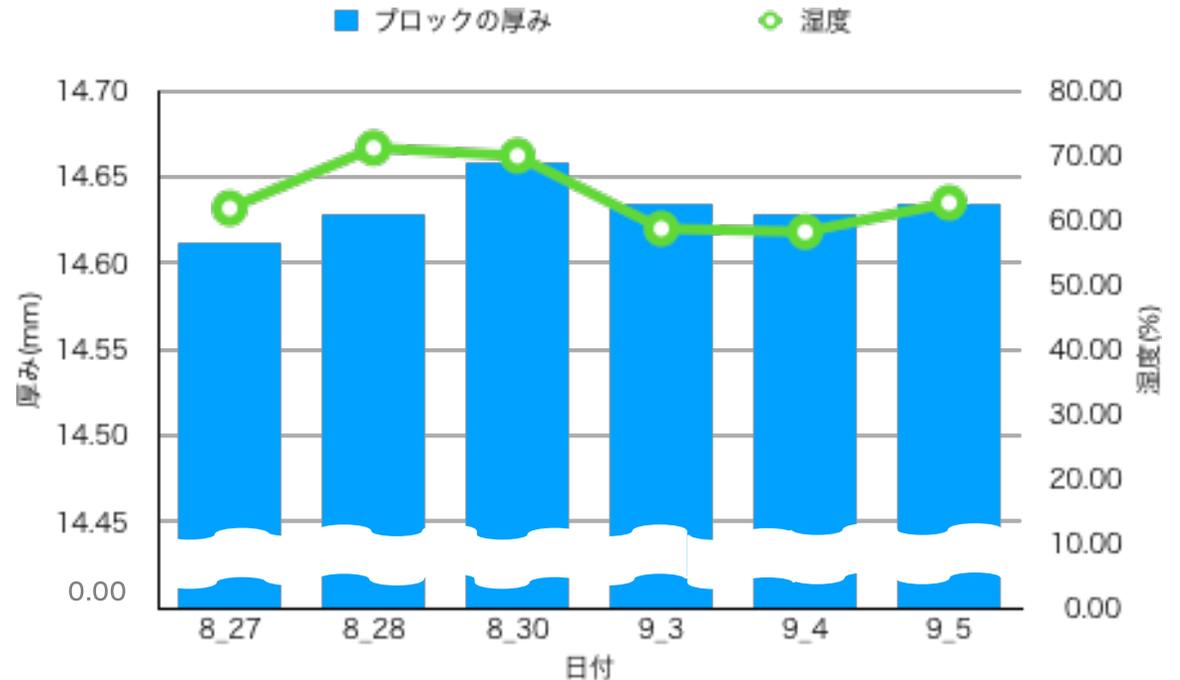
傾きの影響

- 台の傾きや歪みでジェンガの抜け方に影響あり
- 平らな鉄板を台として使用し水平器で平行になるように調整
- 鉄板にレーザーモジュールを埋め込み、計測毎に照射位置(1~1.5m先)を確認する事で水平性を保つ



環境に起因する厚みの変化

- 厚みを再計測した所、ブロックが全体的に膨張していることを確認
- 春から夏へと測定期間が空いていた為、膨張したのは環境変化が原因だと推定
- 実験で使用していたブロック群から10個選び継続的に厚みを測定した結果、湿度と厚みの相関がありそう



結論: 厚みが変わらないように環境の固定が必要

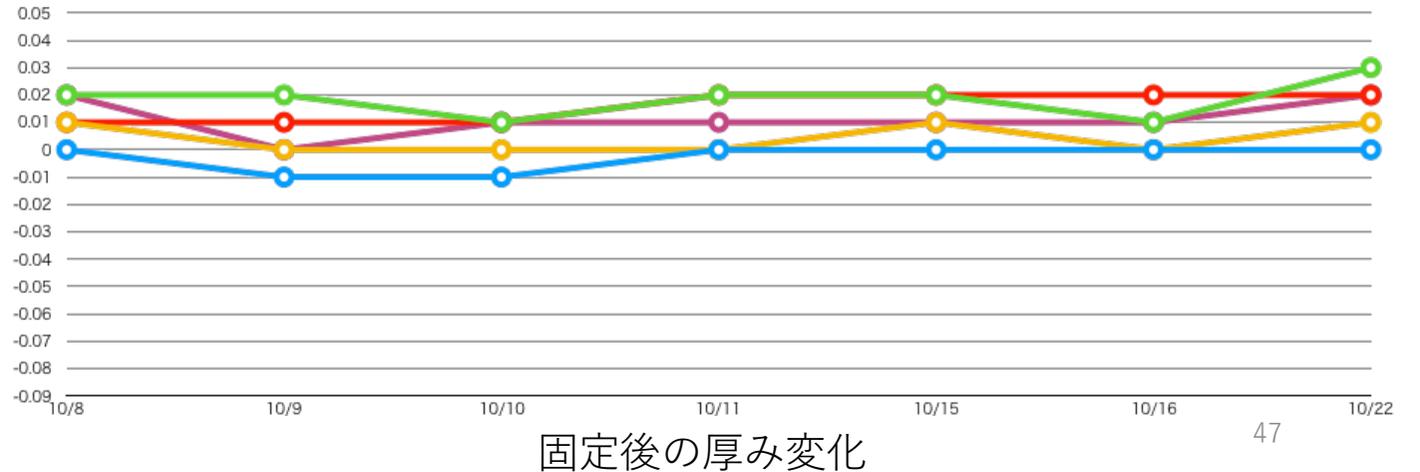
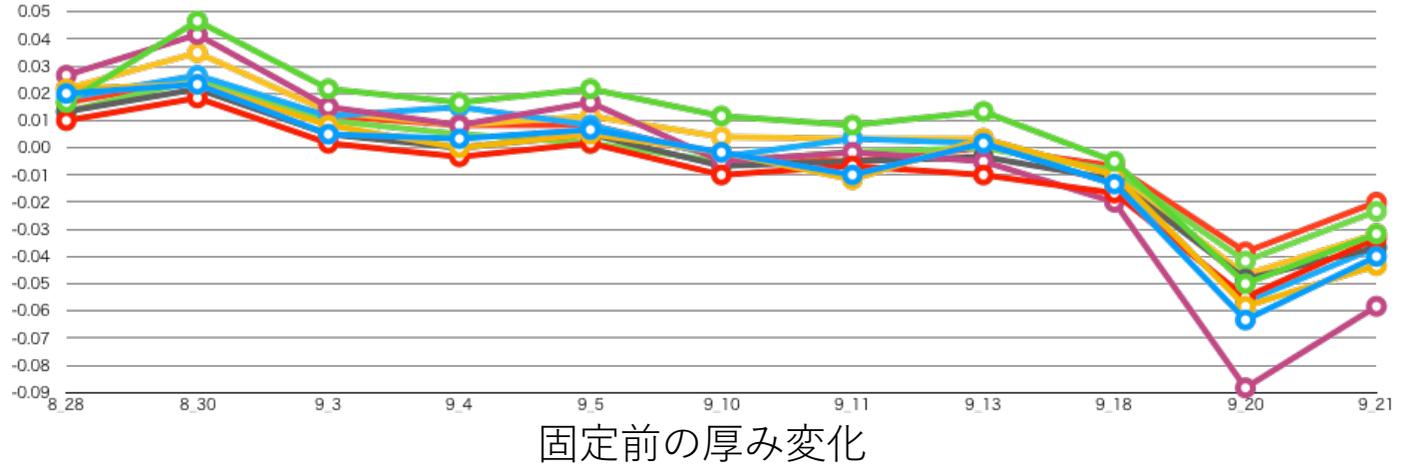
保存環境の作成

- 恒温槽にブロックと吸湿剤を入れ温度と湿度を管理している。
- 当初はシリカゲルを入れていたが湿度が下がりすぎてしまったため現在は吸湿剤を使用している。



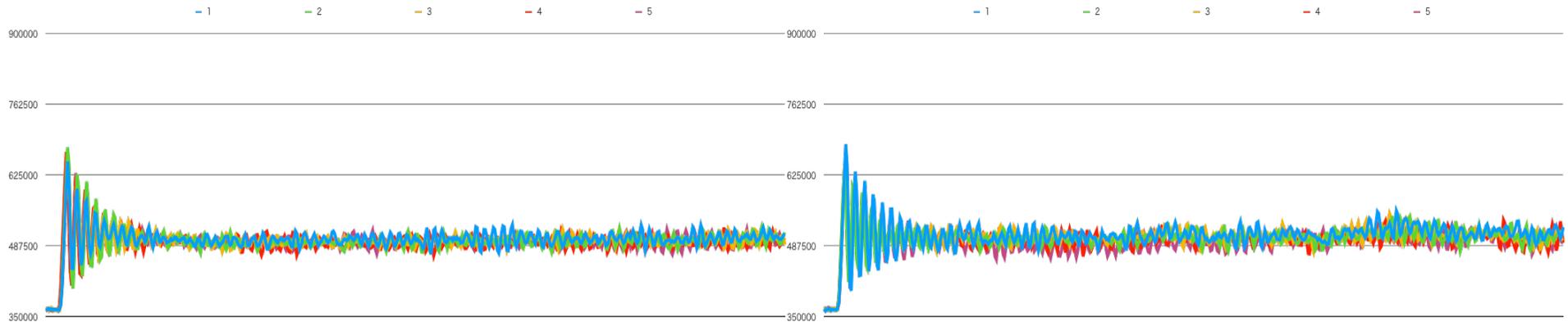
環境固定の結果

- 恒温槽による環境の固定後のブロック変化を見ると、固定前よりも厚みの変化が小さくなっている。



結果からの検討1

- 押しにくさの説明が付けられない理由として3つのブロックの高低差が微小な時には高低差よりもブロックごとの摩擦係数の違いが押しにくさに影響を及ぼすと仮説
- 木目の異なる2つのブロックの計測結果(5回ずつ)



結論:5つほど計測したが摩擦係数に違いは見られず。明らかに木目の違うものでも見られない。

結果からの検討2

- 環境固定後に継続的に厚みを測定していたブロック群の内7番だけ測定誤差が大きくなる事に注目
- マイクロメータの測定位置の少しのズレで測定結果に大きな変化がある事に気付く

結論: 6点以上の細かい形状情報が必要だと推定

