

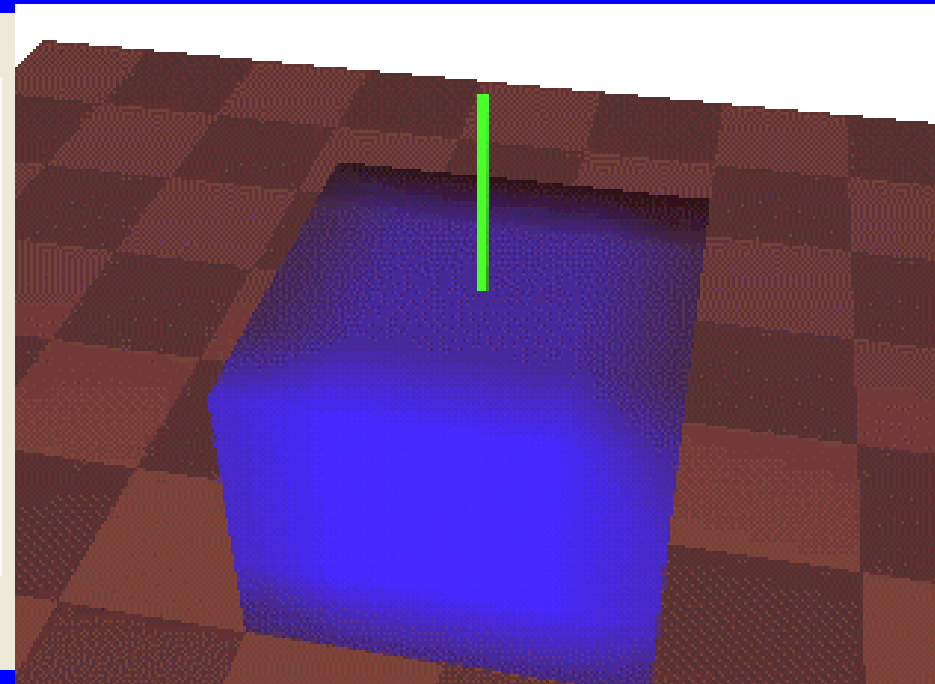
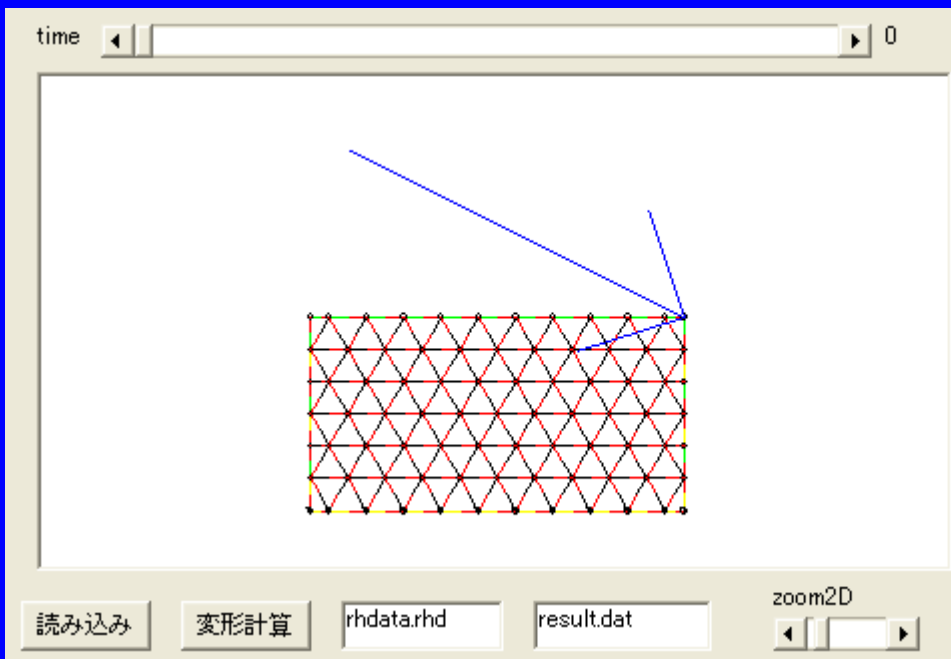
仮想レオロジー物体

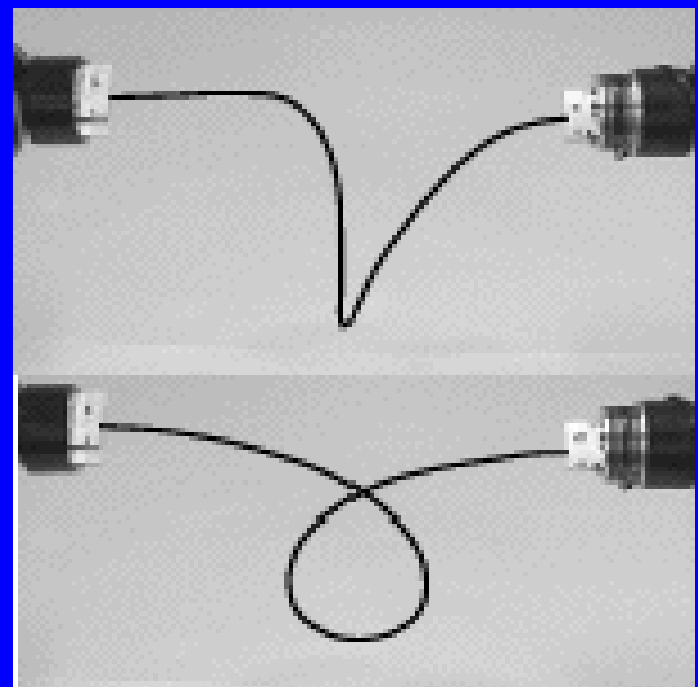
平井慎一

立命館大学ロボティクス学科

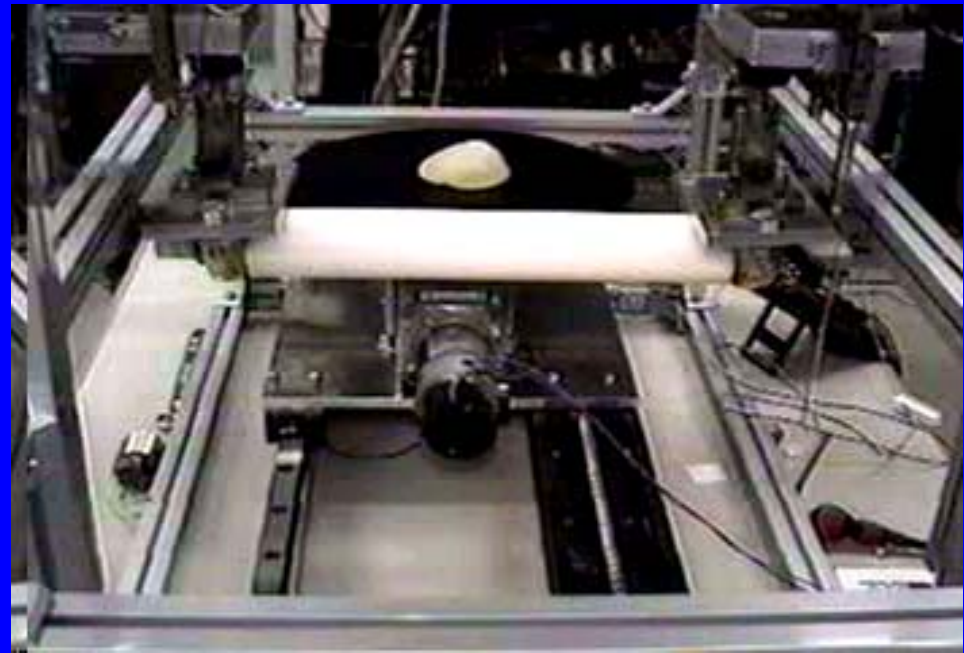
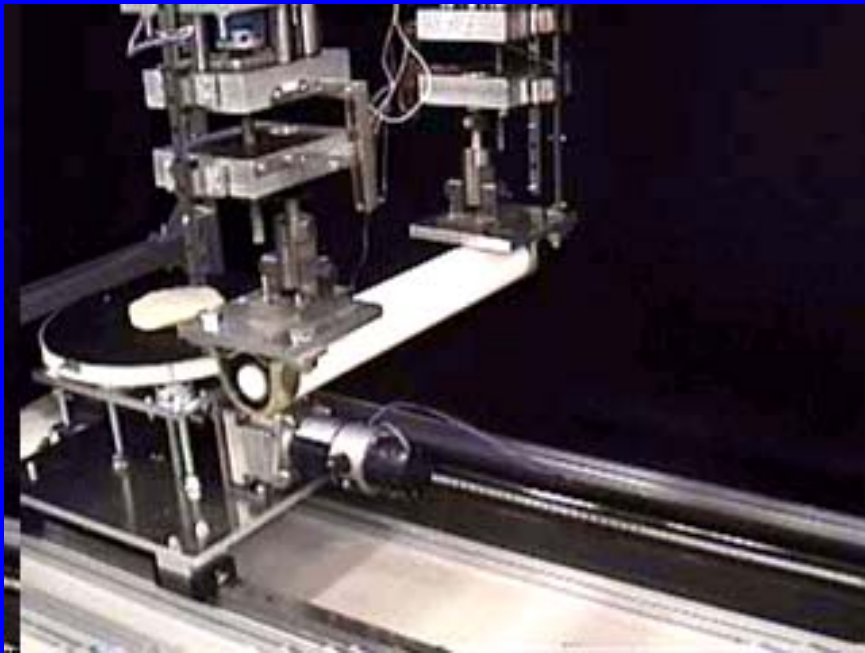
VLSIセンター

2D／3D仮想レオロジー物体

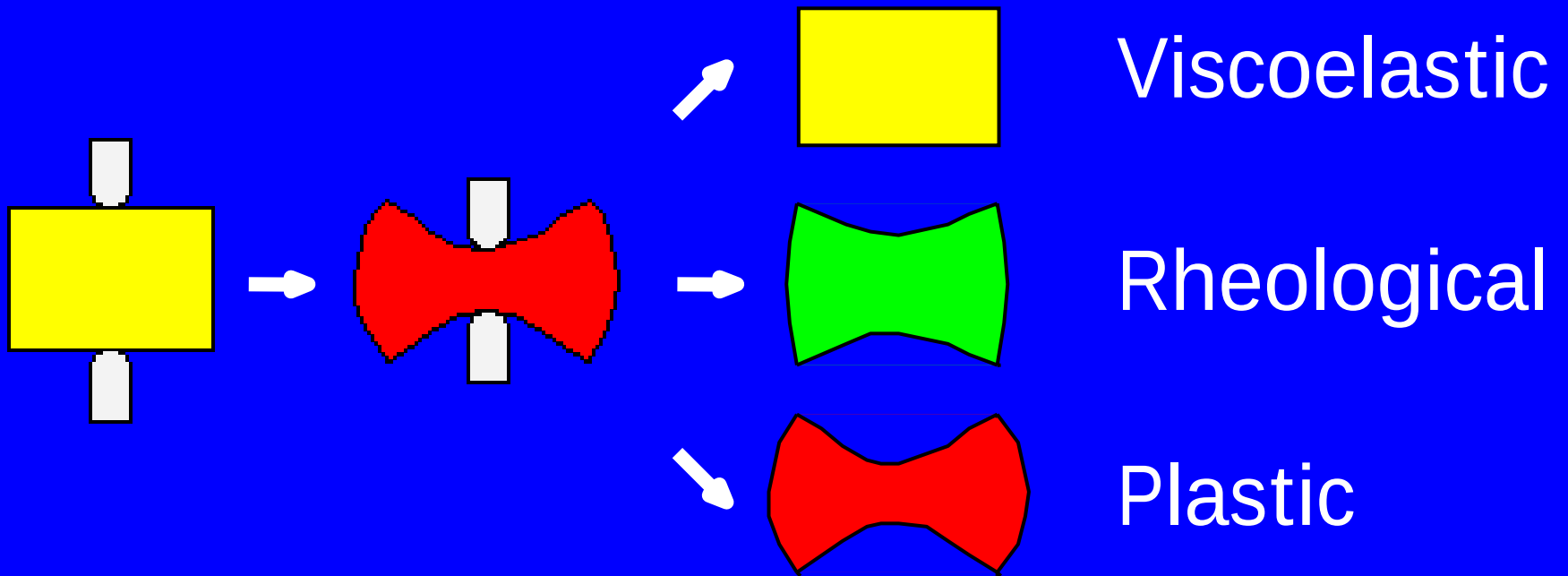




レオロジー物体の変形制御



レオロジー物体



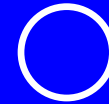
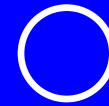
背景

仮想物体

剛体

弾性物体

塑性物体



レオロジー物体

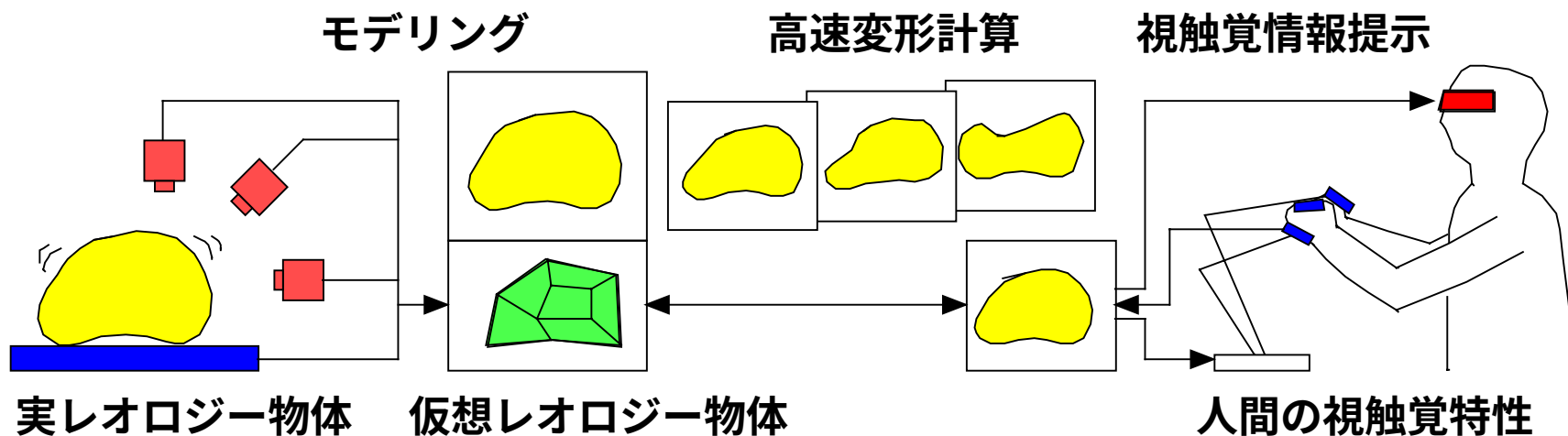


食品

生物

生体組織

プロジェクトの概念



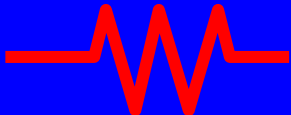
アプリケーション

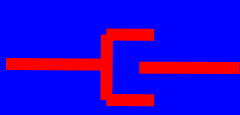
- 手術シミュレータ
 - 生体組織モデル 内臓モデル
- テレショッピング
 - 質感提示 食感提示
- 技能トレーニング
 - 陶芸 麺打ち

内容

- レオロジー要素の選択
- 格子モデリング
- コンピュータシミュレーション
- FPGA実装

レオロジー特性の表現

弾性要素 

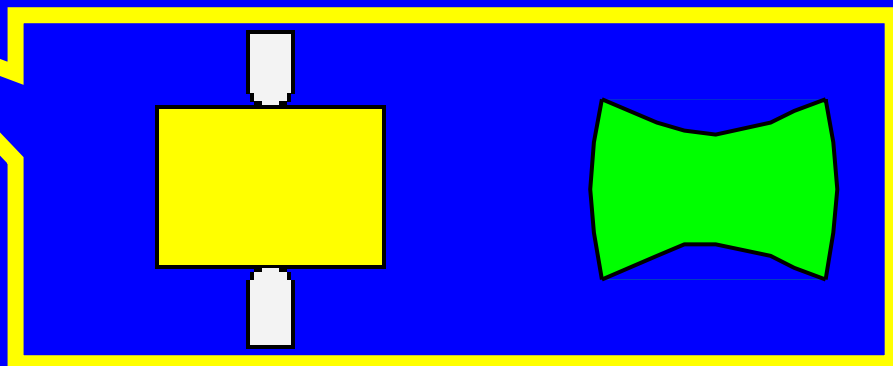
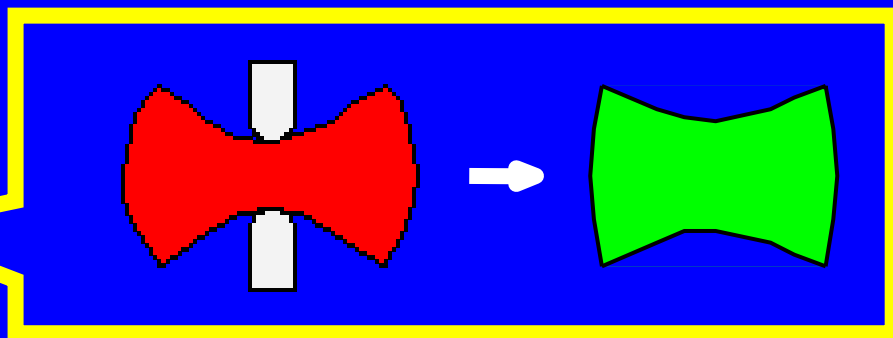
粘性要素 

並列・直列に接続

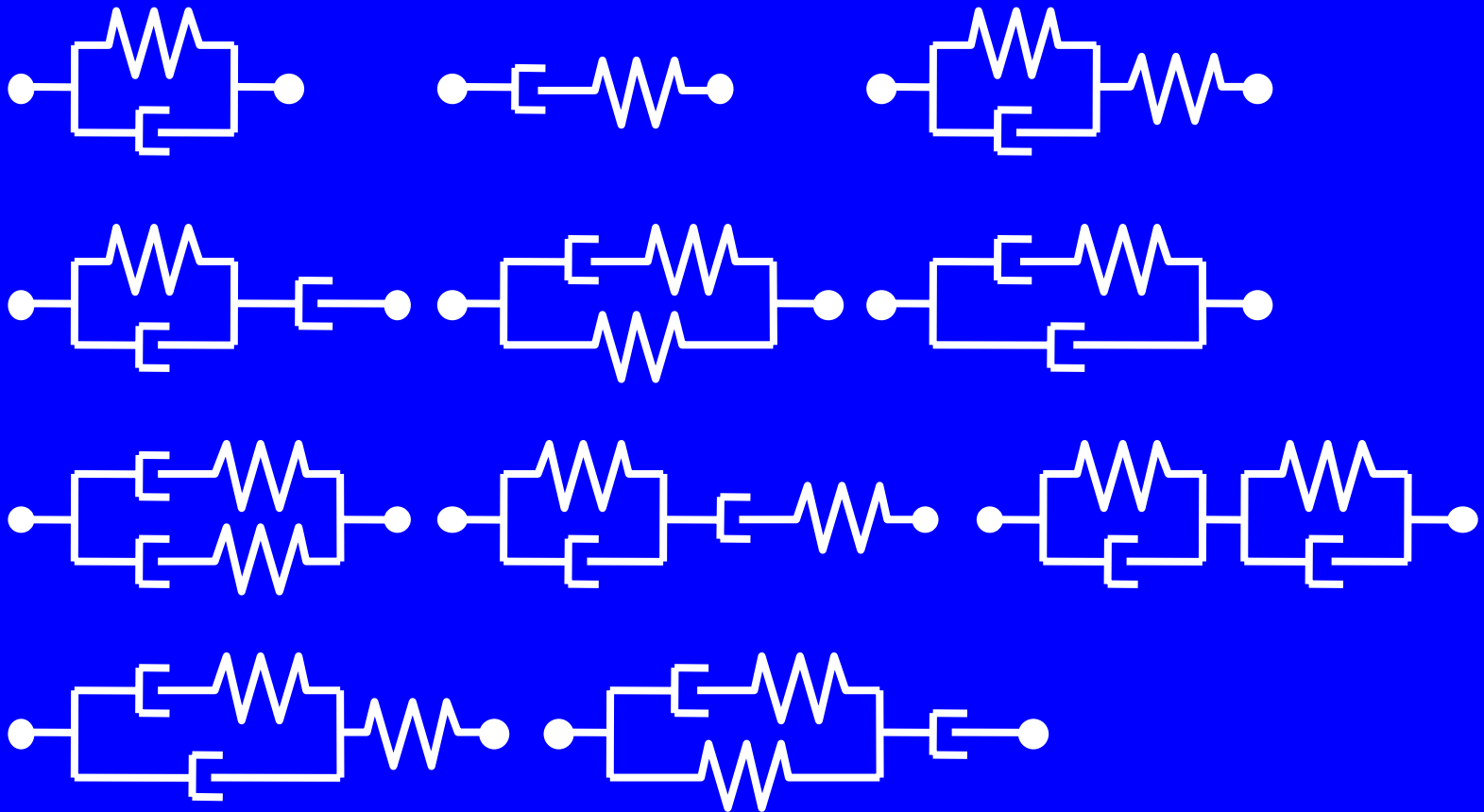
戻り変位

残留変形

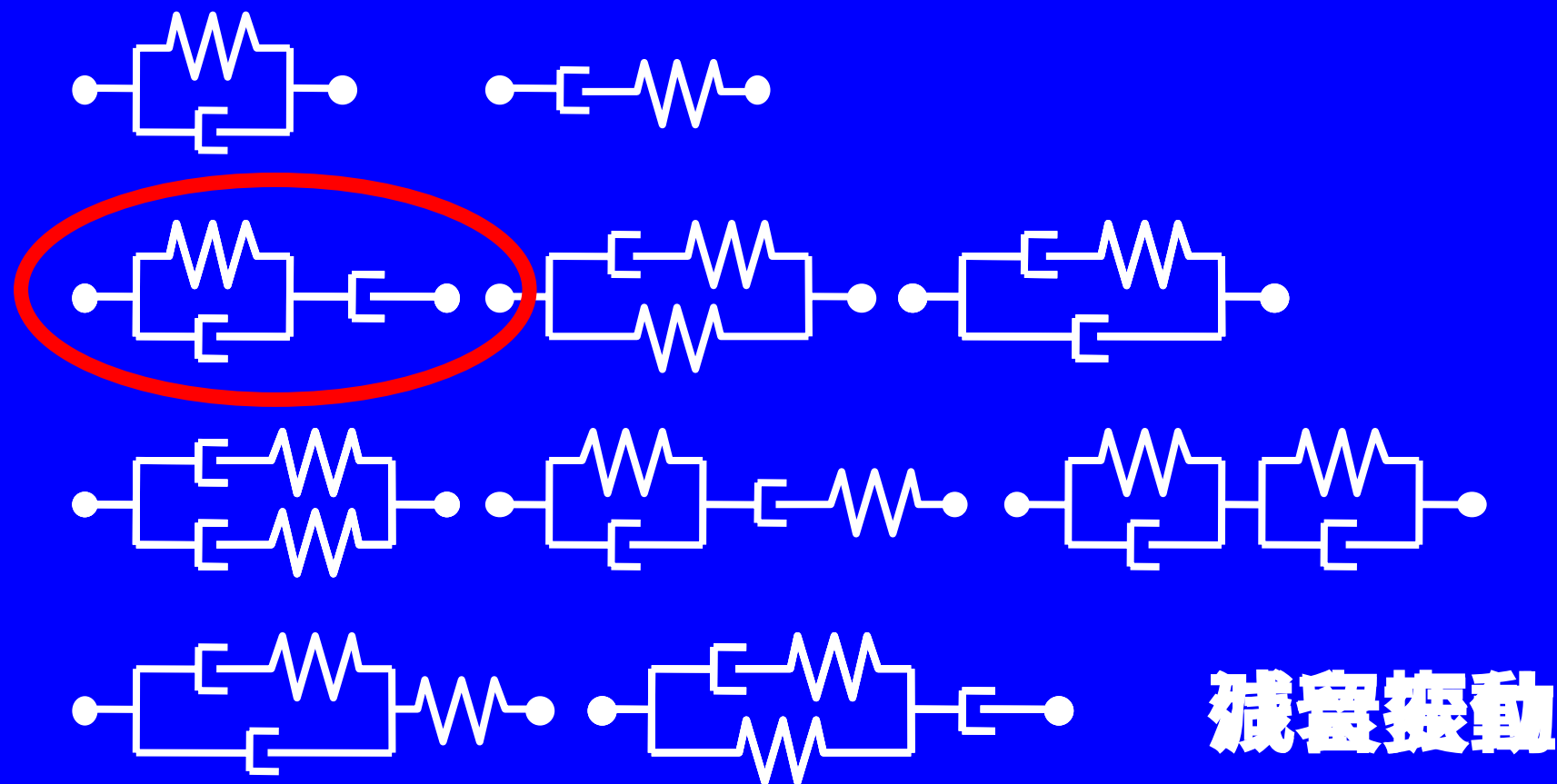
減衰振動



レオロジー要素



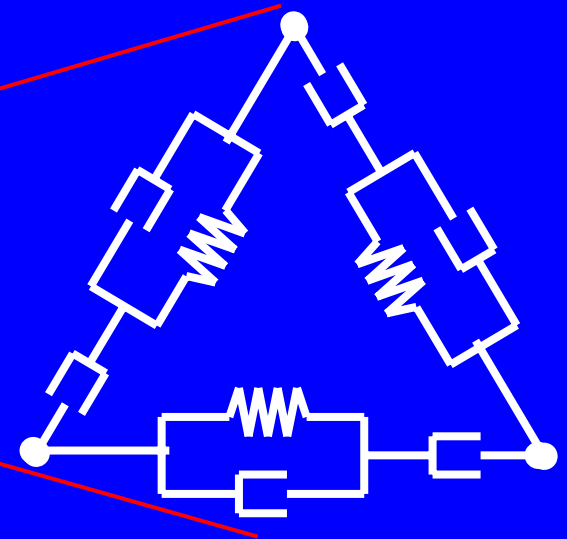
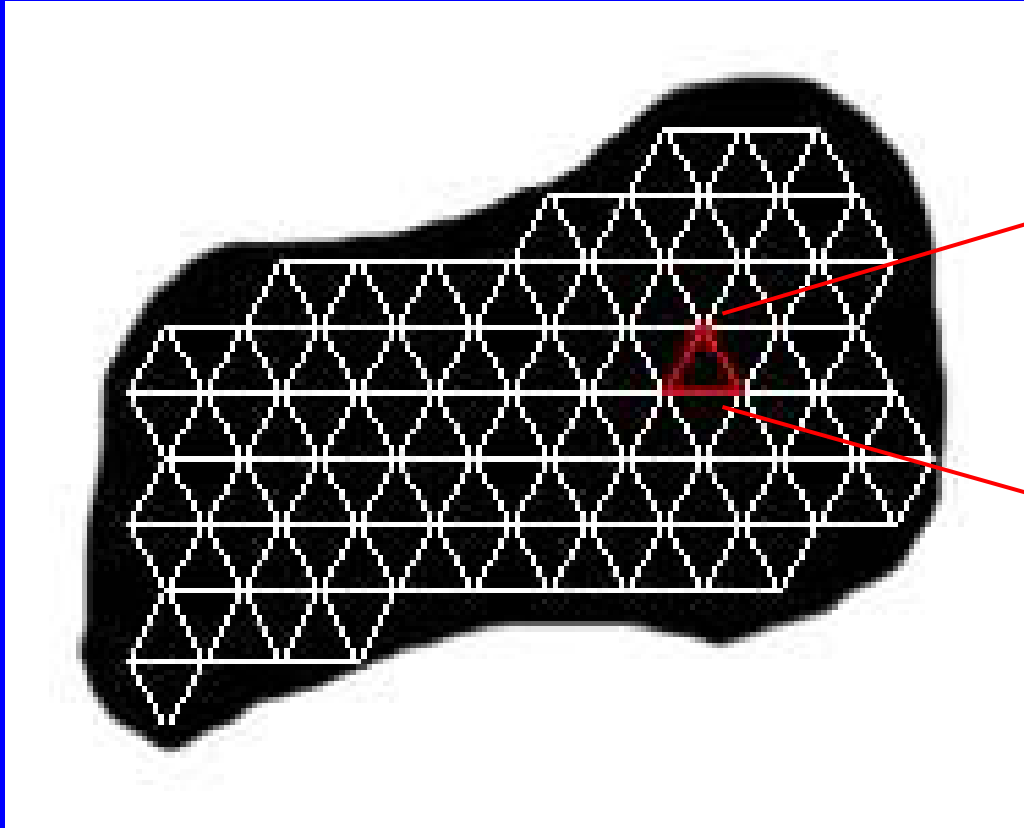
レオロジー要素の選択



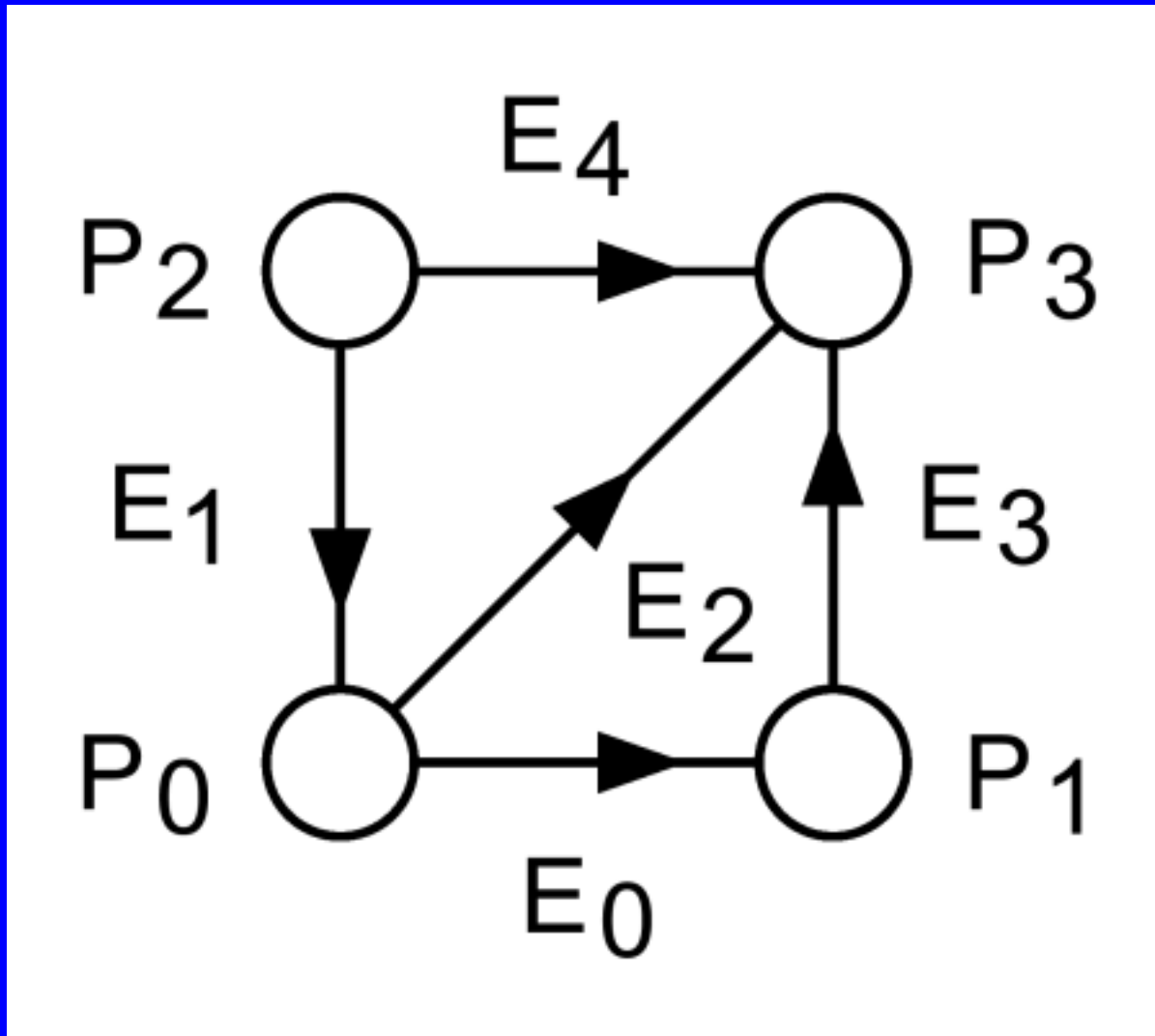
内容

- レオロジー要素の選択
- 格子モデリング
- コンピュータシミュレーション
- FPGA実装

格子モデル



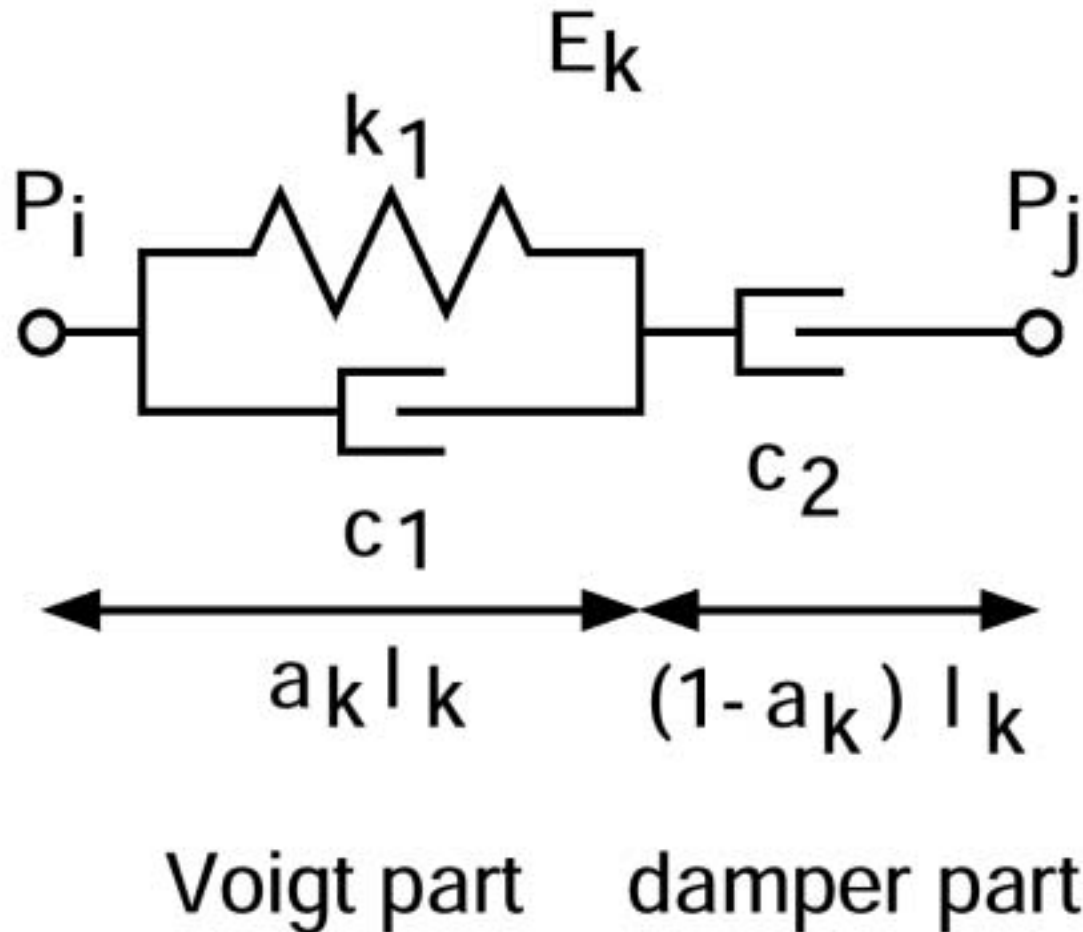
格子モデルのグラフ表現



格子モデル記述

rheological element	start point	end point
E_0	P_0	P_1
E_1	P_2	P_0
E_2	P_0	P_3
E_3	P_1	P_3
E_4	P_2	P_3

三要素レオロジーモデル



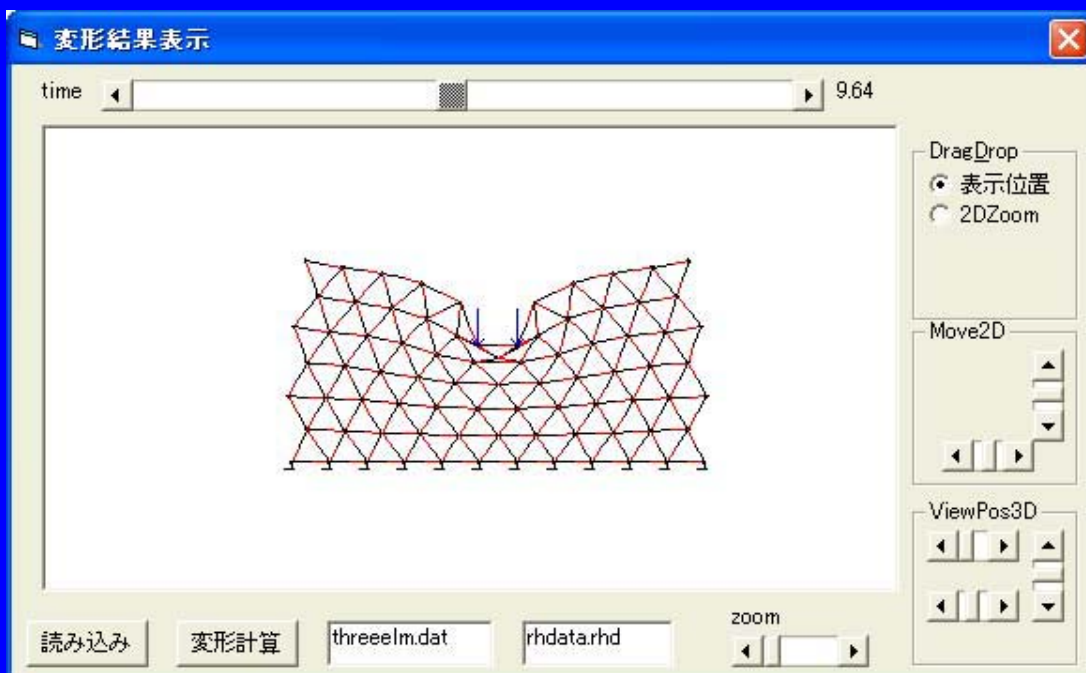
内容

- レオロジー要素の選択
- 格子モデリング
- コンピュータシミュレーション
- FPGA実装

コンピュータシミュレーション

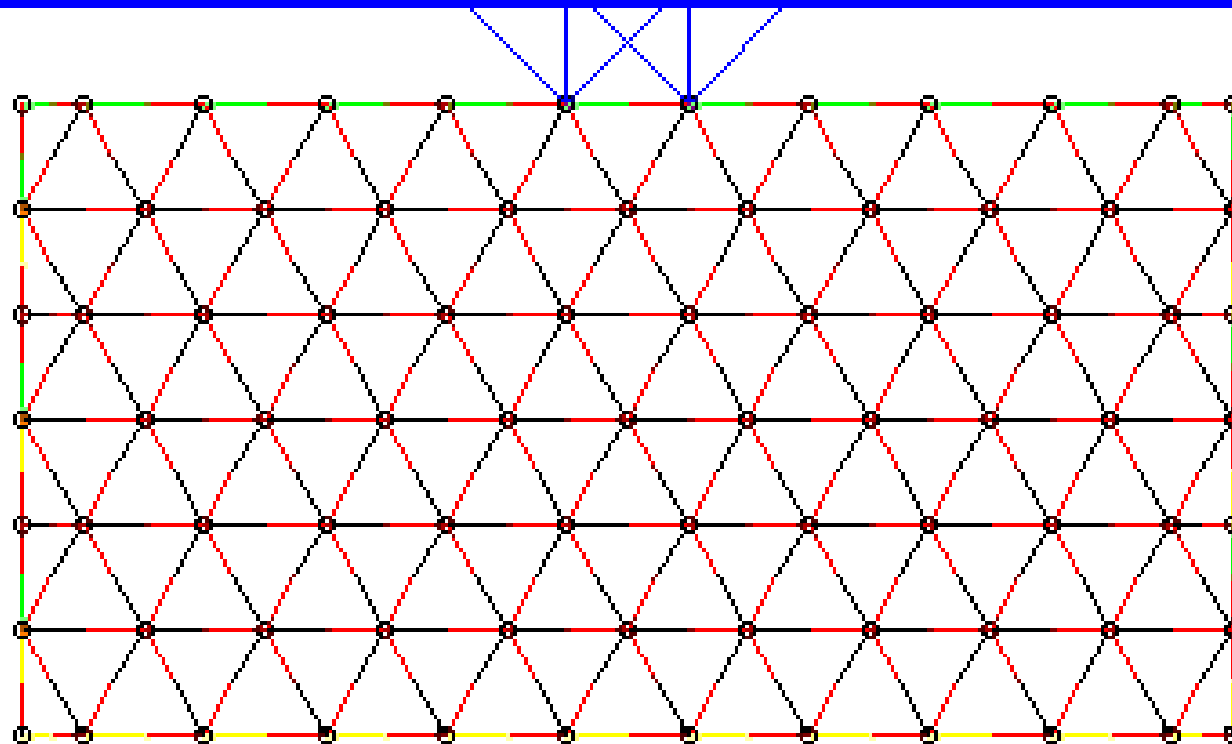


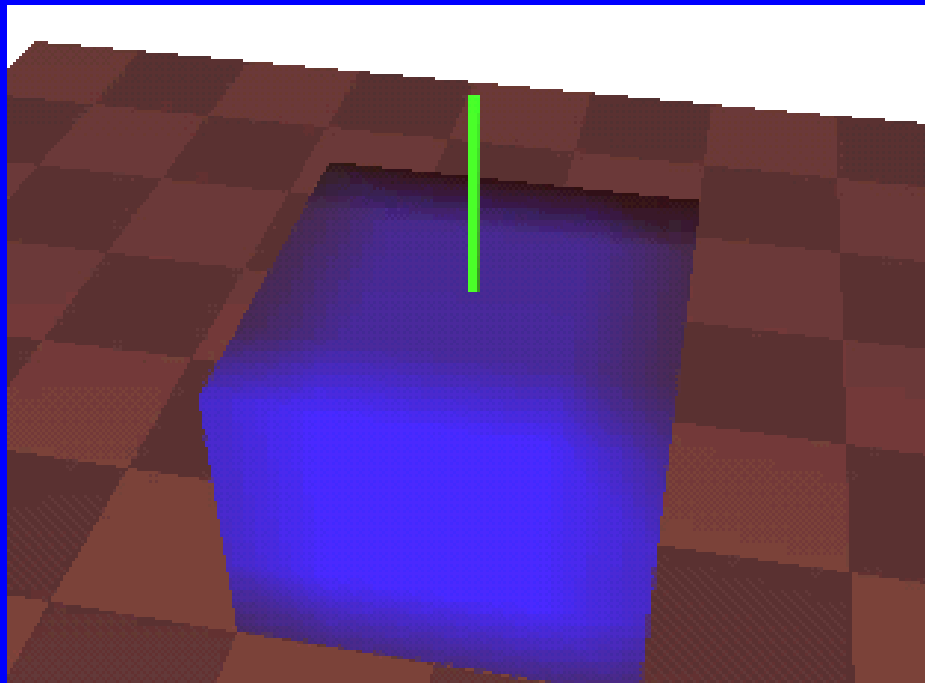
格子生成



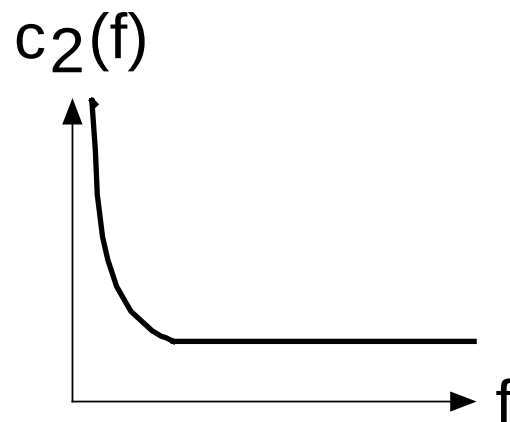
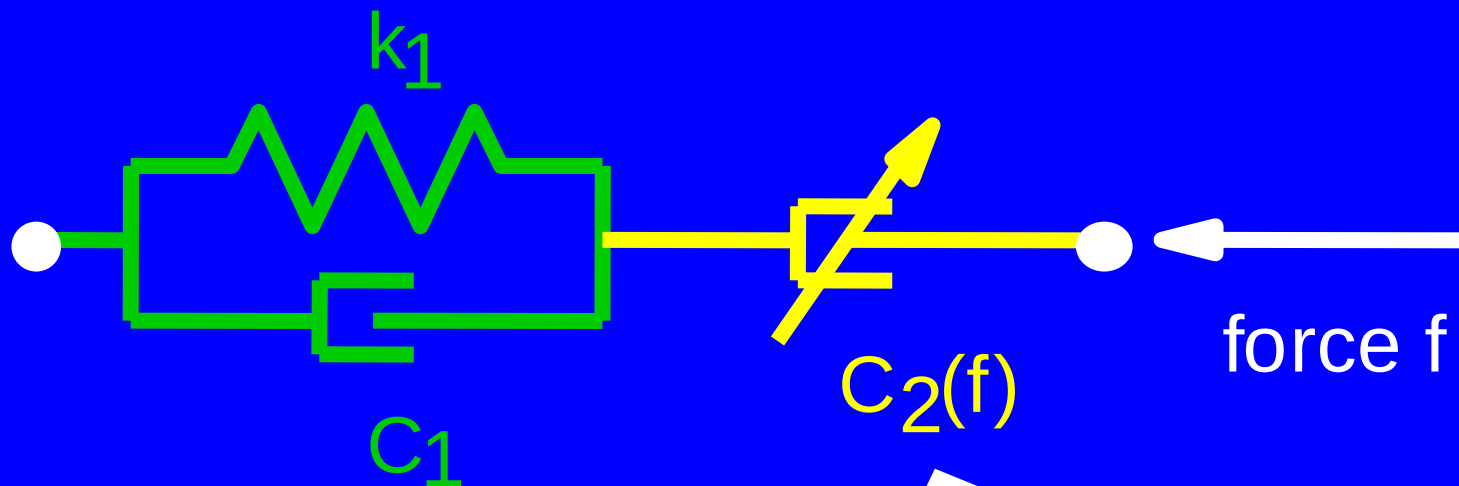
変形計算

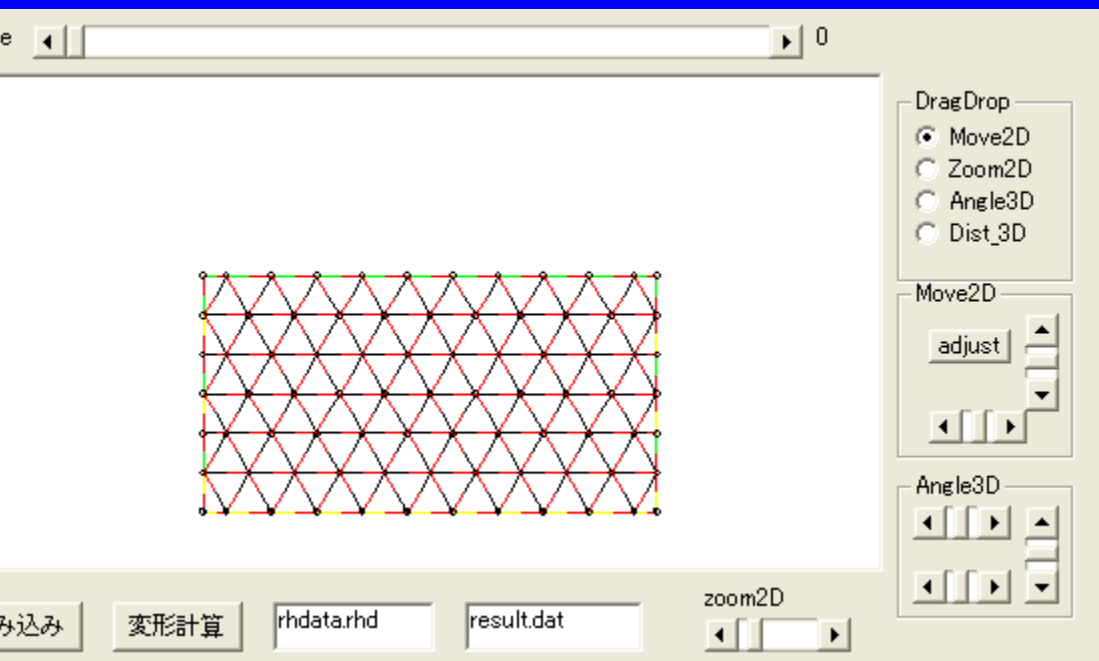
変形計算例



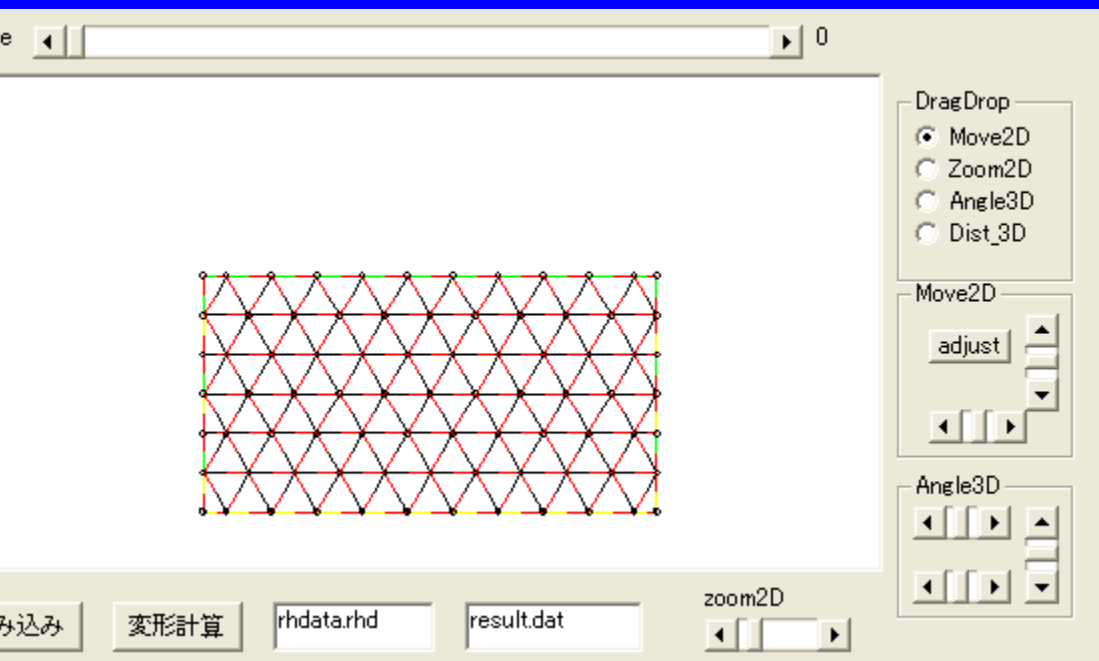
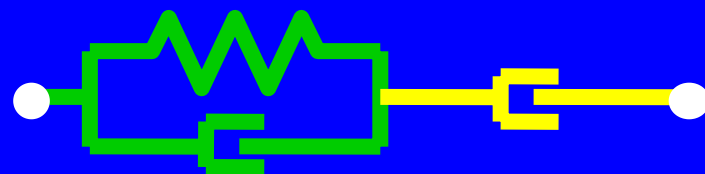


力依存型ダンパー

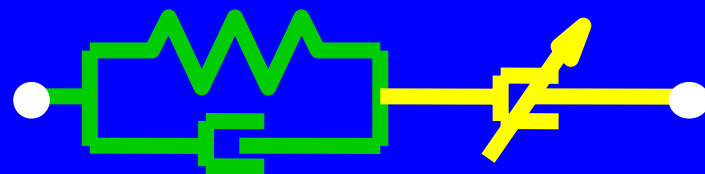


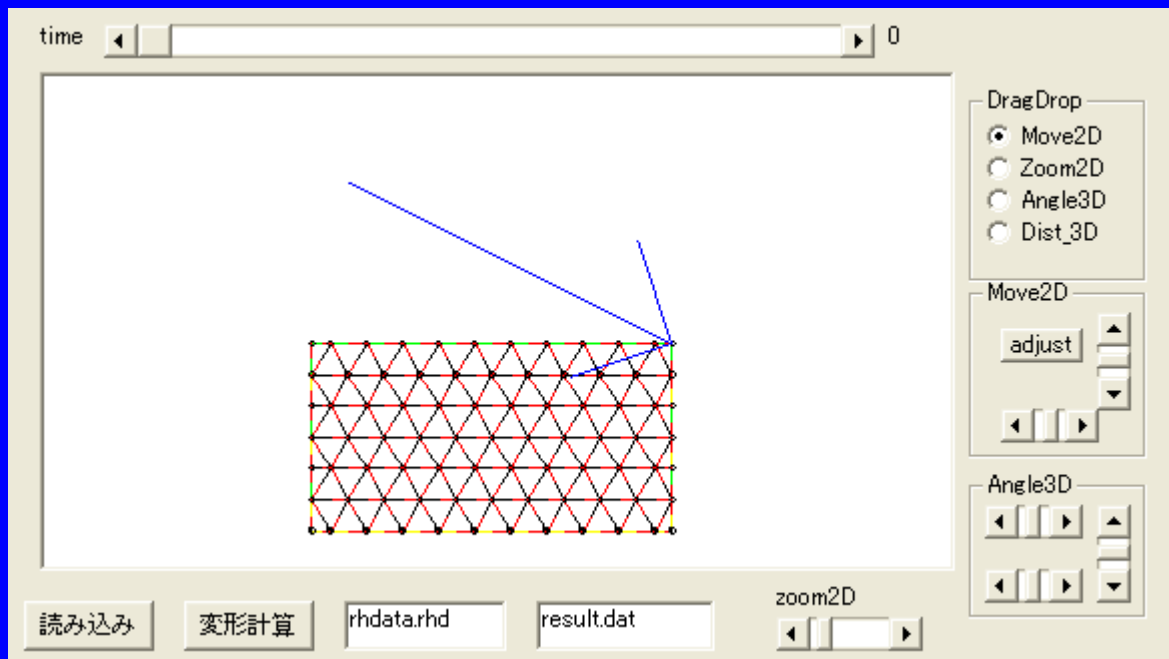


線形ダンパー

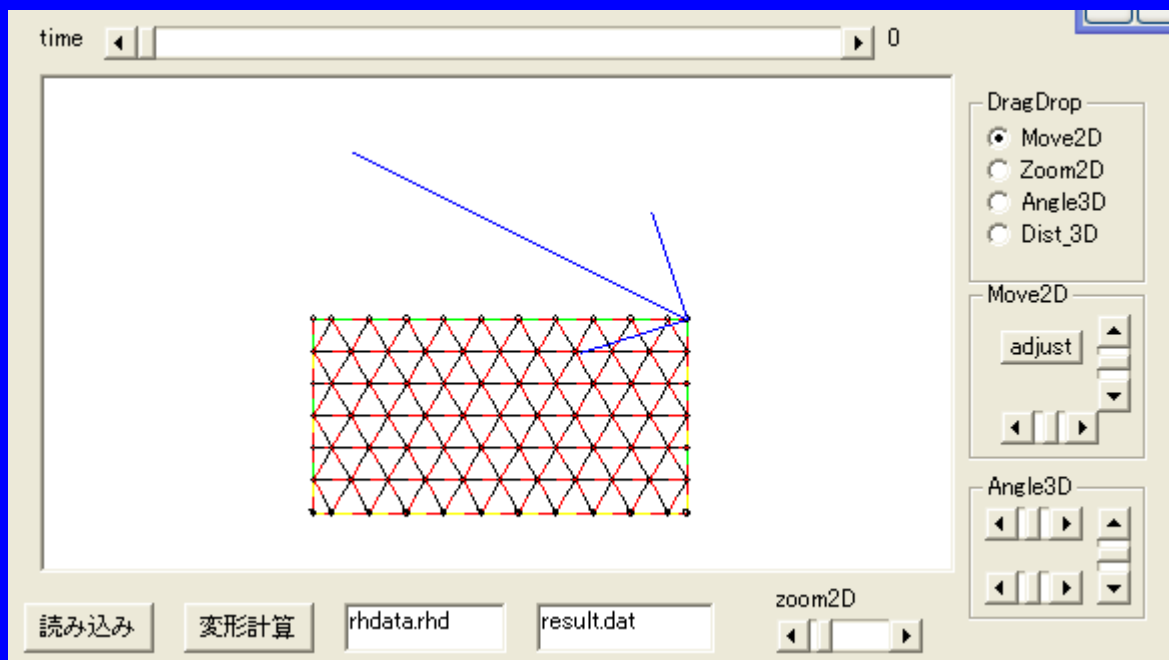


力依存型ダンパー





重力なし



重力あり

内容

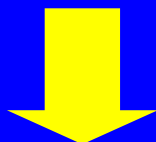
- レオロジー要素の選択
- 格子モデリング
- コンピュータシミュレーション
- **FPGA実装**

変形計算

要素個々の計算は単純

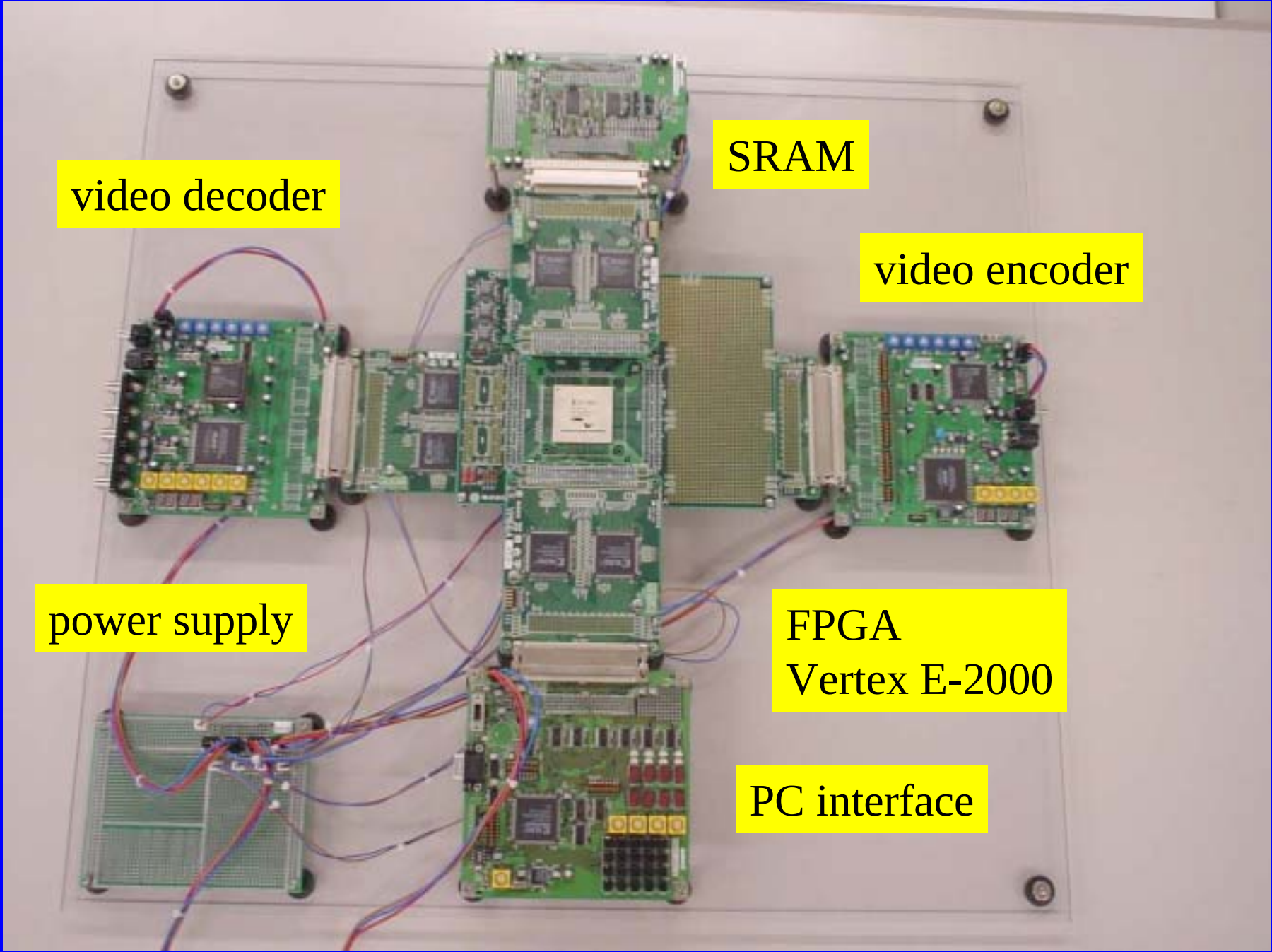
要素の数が多い

分割数³



並列計算

FPGAへの実装



video decoder

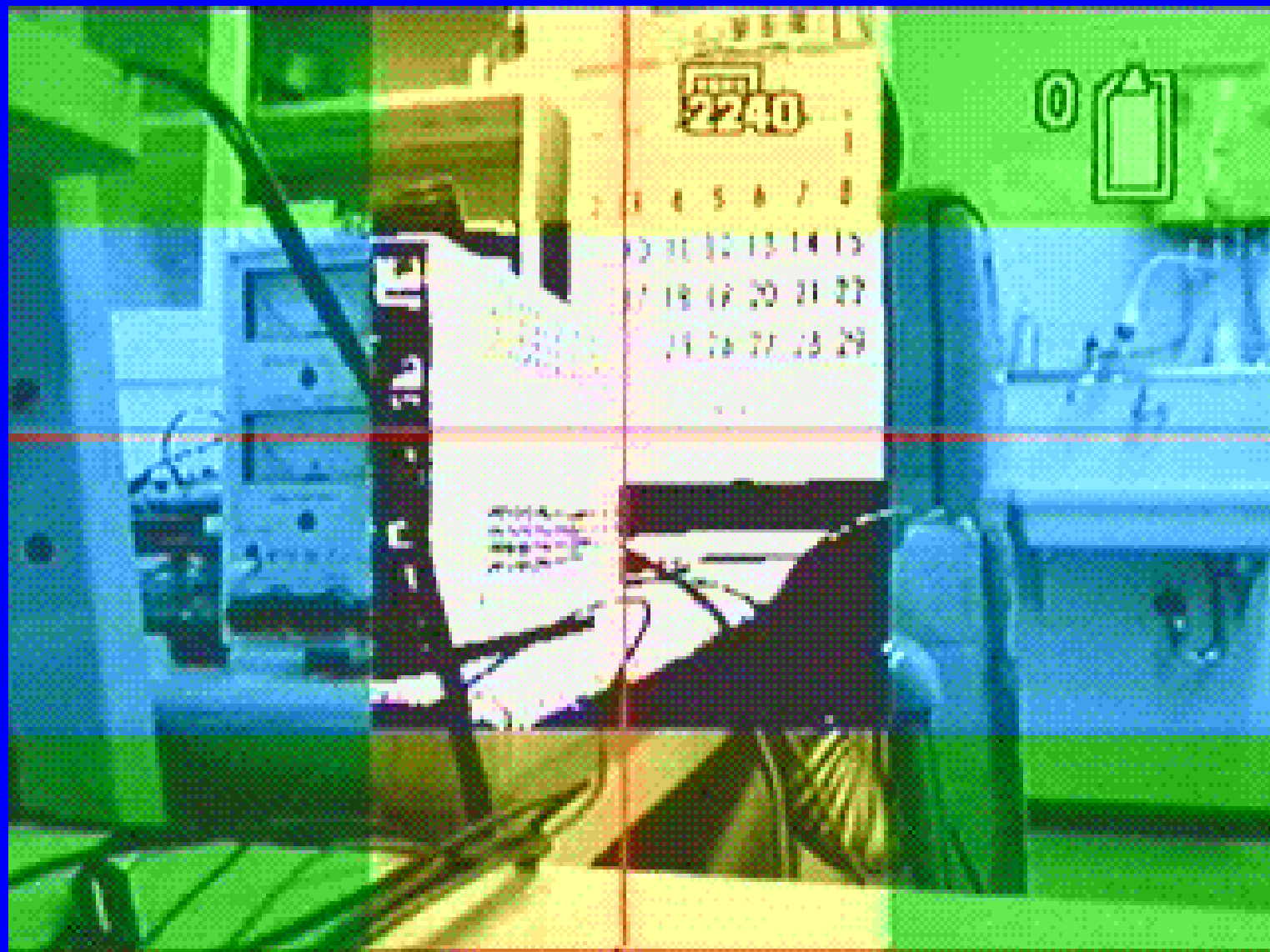
SRAM

video encoder

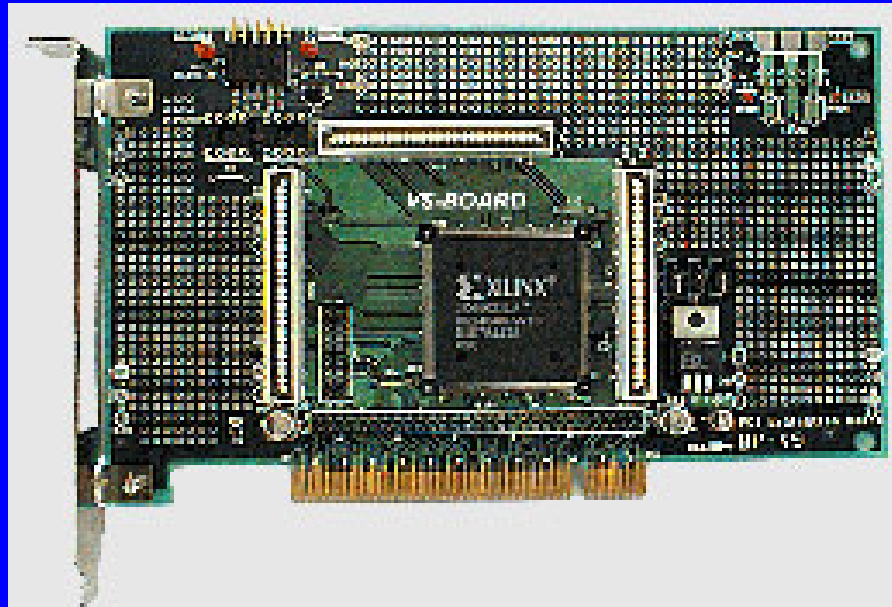
power supply

FPGA
Vertex E-2000

PC interface



FPGAボード



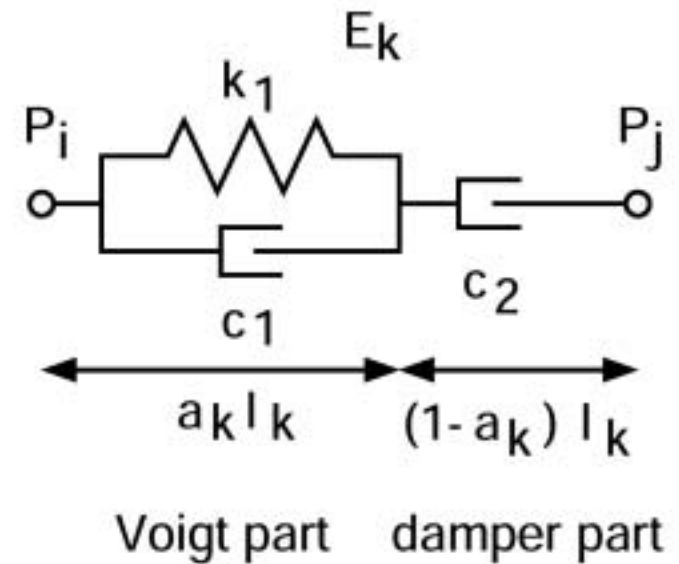
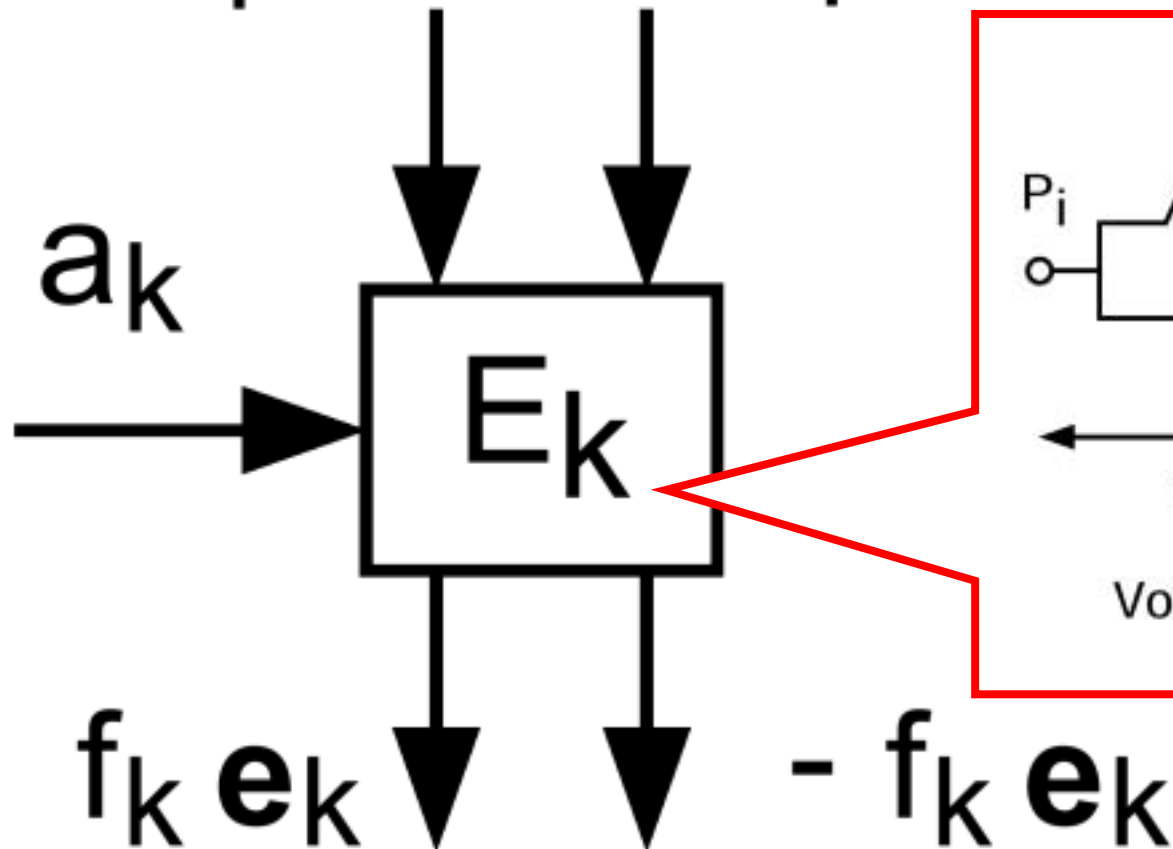
搭載FPGA
Xilinx Spartan II
20万ゲート

PCIバス

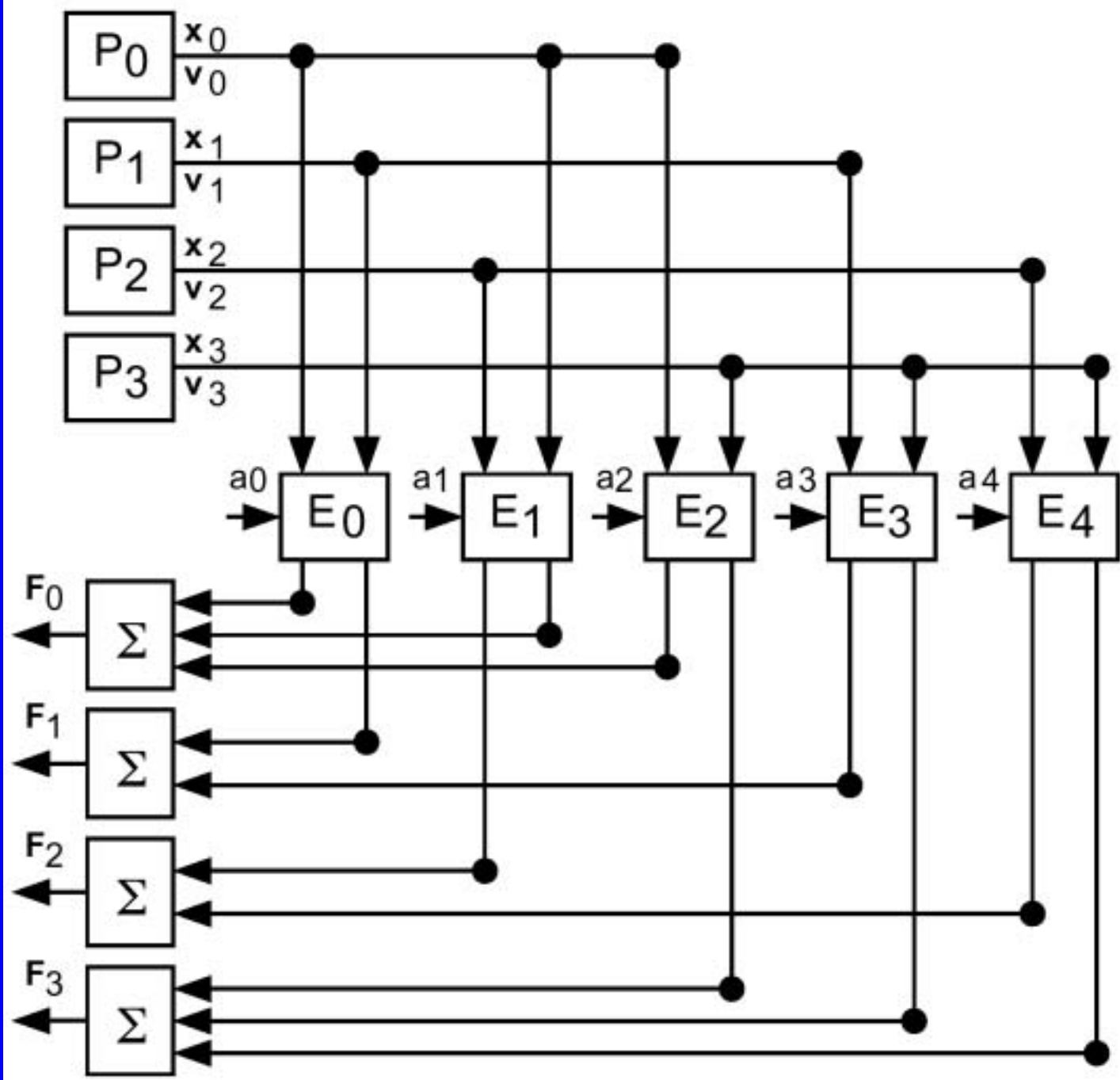
開発環境 Foundation ISE
記述言語 Verilog-HDL

計算要素

start point end point



位置
速度



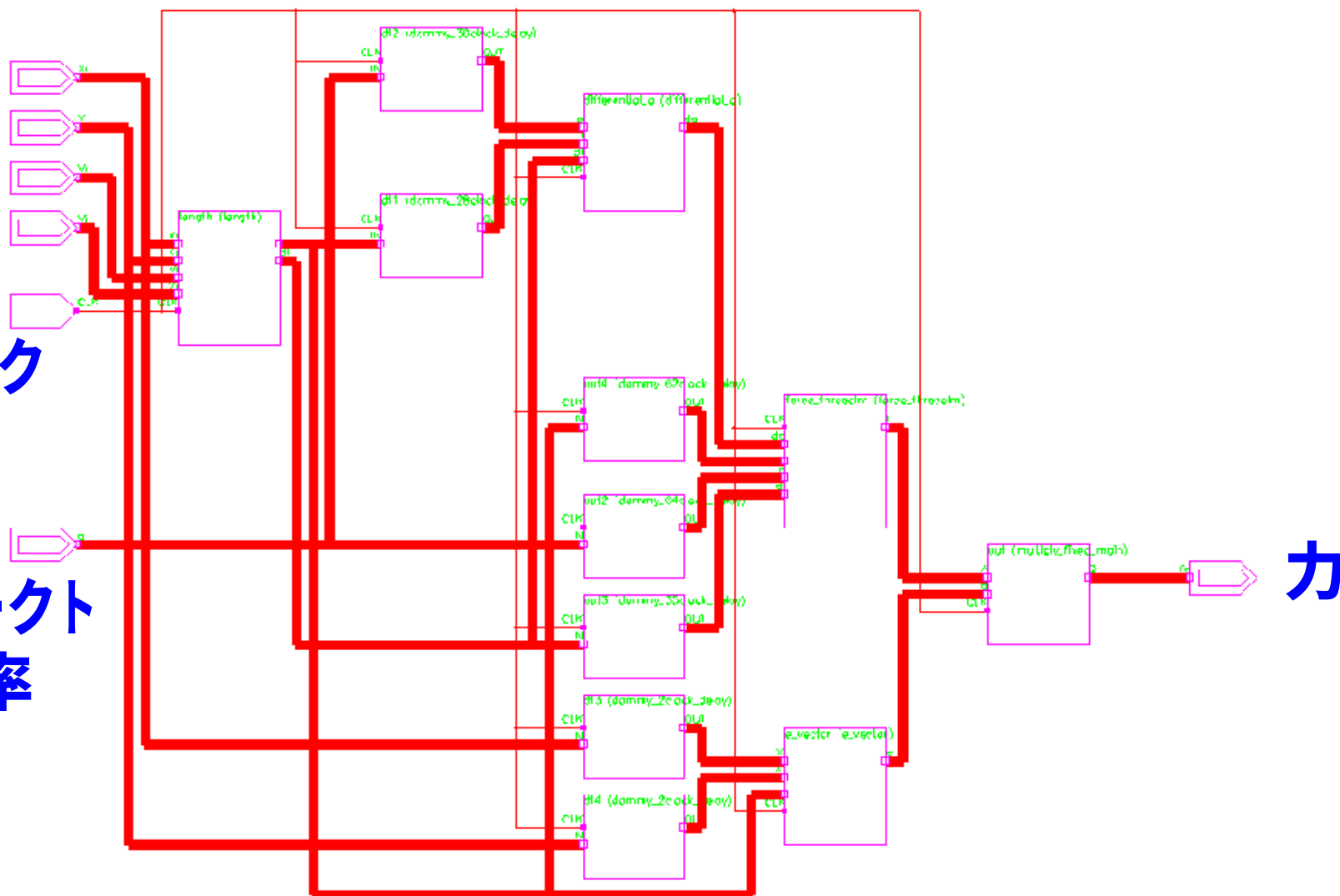
力

計算要素の論理合成結果

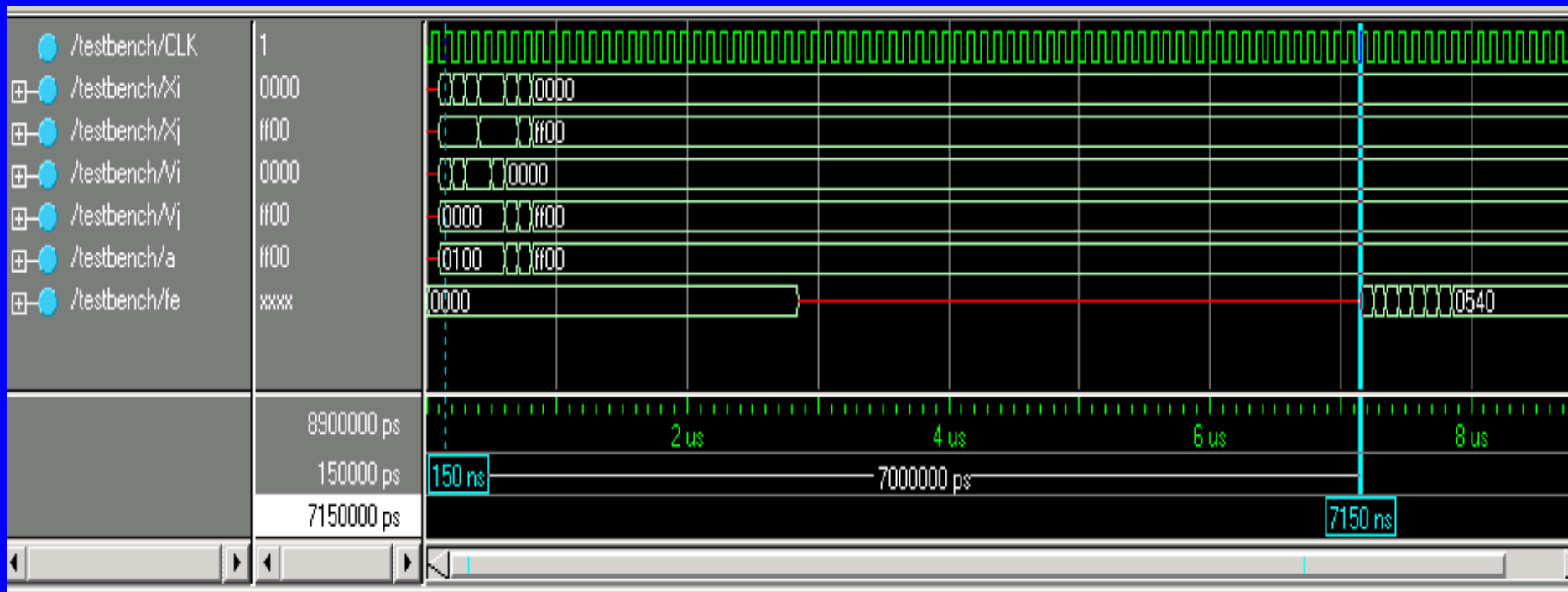
位置
速度

クロック

フォークト
部比率



論理シミュレーション



入力から70クロックで出力
1クロック=100ns の場合 0.7 μs

論理シミュレーションの結果

Vi		1	5	-1	-1	1	0	0	0
Vj		0	0	0	0	0	5	-5	-1
Xi		1	5	-1	-5	-5	0	5	0
Xj		0	0	0	5	5	5	0	-1
a		1	1	1	1	1	5	-5	-1
C1	0.5								
C2	0.5								
K	2.5								
L	5								
Fe		07C0	0DC0	04C0	F984	FA01	E5C0	E840	0540
Fe(1)		7.75	13.75	4.75	-6.48	-5.99	-26.25	-23.75	5.25
Fe(2)		7.75	13.75	4.75	-6.5	-6	-26.25	-23.75	5.25

シミュレーション

理論値

使用リソース

	計算要素1個	Spartan-II
スライス数	3,900 オーバーリソース	2,352
フリップフロップ	4,653	4,704 (2個/スライス)
ルックアップテーブル	4,314	4,704 (2個/スライス)

Cycle C による論理記述

```
class Selector {
public:
    uint1    reg;
    Selector ( void ){ reg = 0;}
    void run ( uint1, uint1, uint1, uint1, uint1, uint1& );
};

void Selector::run(uint1 clk, uint1 rst, uint1 a, uint1 b, uint1 s, uint1&y)
{
    uint1    temp = s ? a : b;
    if ( infer_clock(clk) || infer_reset(!rst) ) {
        if (!rst) { reg = 0; } else { reg = temp; }
        y = reg;
    }
}
```

まとめ

- レオロジー要素の選択
3要素モデル+力依存ダンパー
- コンピュータシミュレーション
格子モデル
重力, 床の実装
- FPGA実装
論理シミュレーションに成功
オーバーリソース

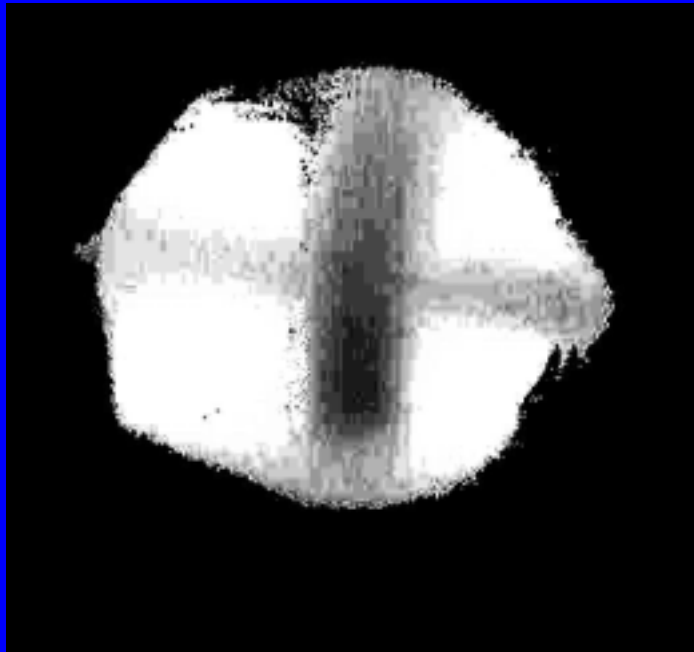
今後の課題

- **FPGA実装**
リソース使用量の削減
大規模FPGAの導入
- **変形計測とパラメータ同定法**
三次元変形形状
- **ハプティックデバイスとの接続**
- **人の感覚特性の分析**
効果的な提示法

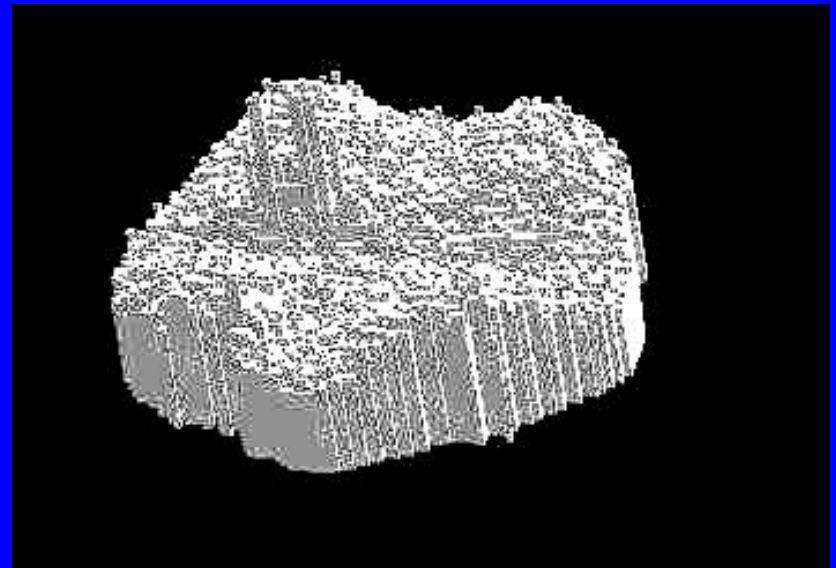
変形実験



3D形状計測



Distance image



Constructed shape

プロジェクトの概念

