



物理モデルを利用した Windowsベース リアルタイムシステムの構築

制御理論の応用事例、市販ツール活用事例

MBD中部コンファレンス 2014/12/18

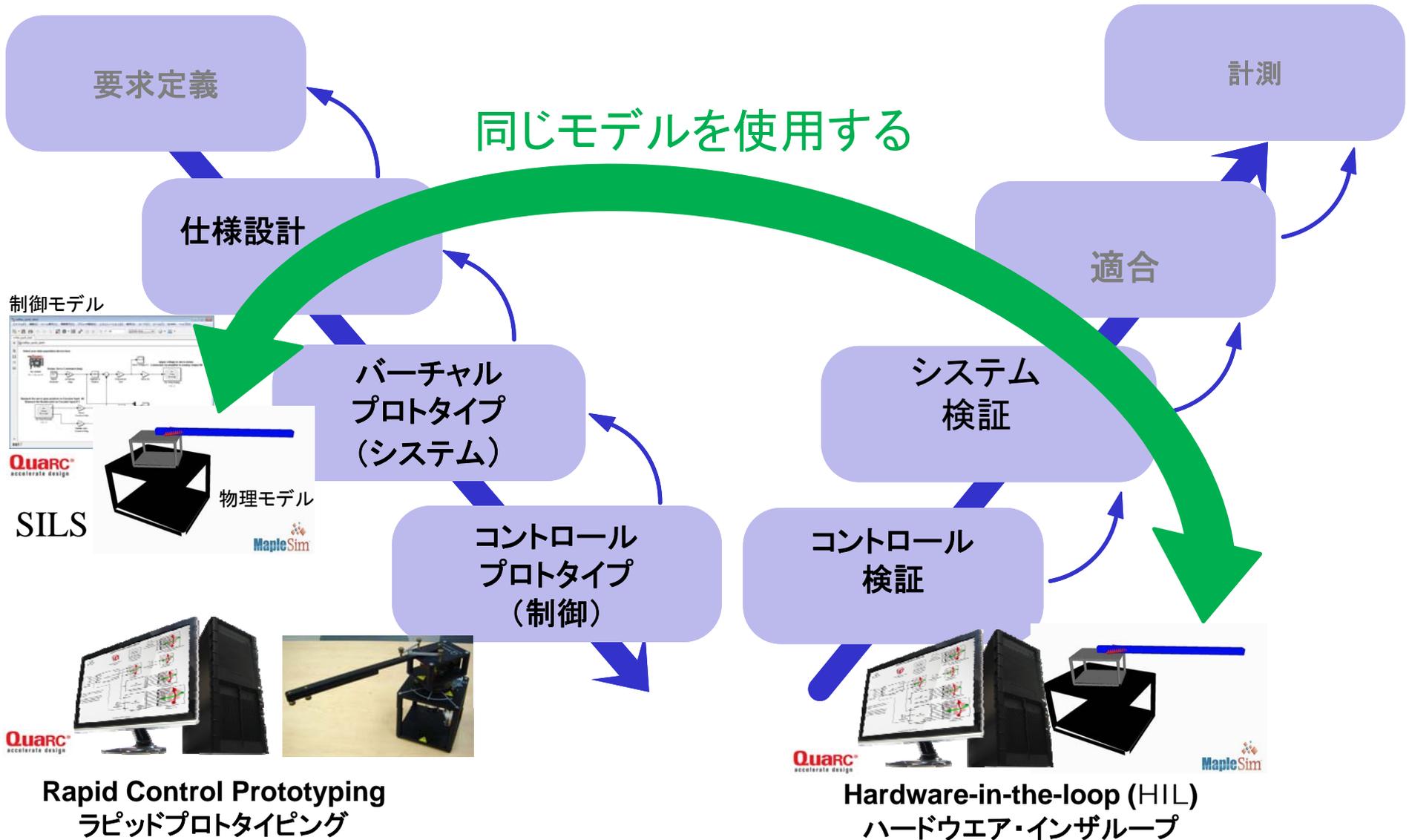
株式会社NEAT
瀧谷 晃広
Shashank Swaminathan

NEAT

Make a NEAT job of it!



前提としての物理モデルの妥当性の検証



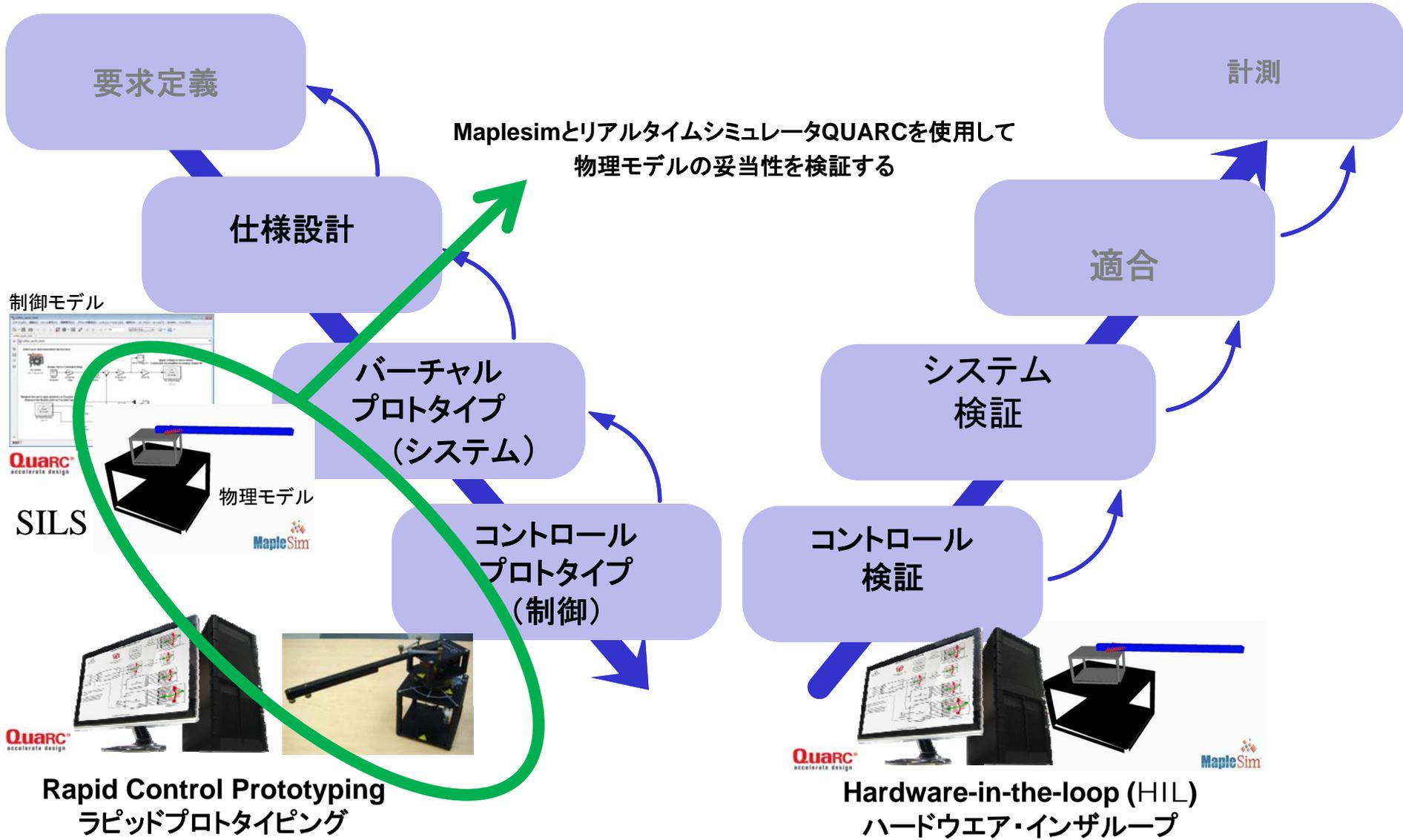
実際のMBDプロセスでは SILSプロセスで使用するモデルと HILSで使用するモデルは同じものであることが好ましい

NEAT

Make a NEAT job of it!



コントロールモデルと組み合わせる物理モデルの妥当性の検証



リアルタイムシステムにとって物理モデルは軽く(速く)動き
且つ実コントローラをつないだ際に実機と同じ動作をする必要がある



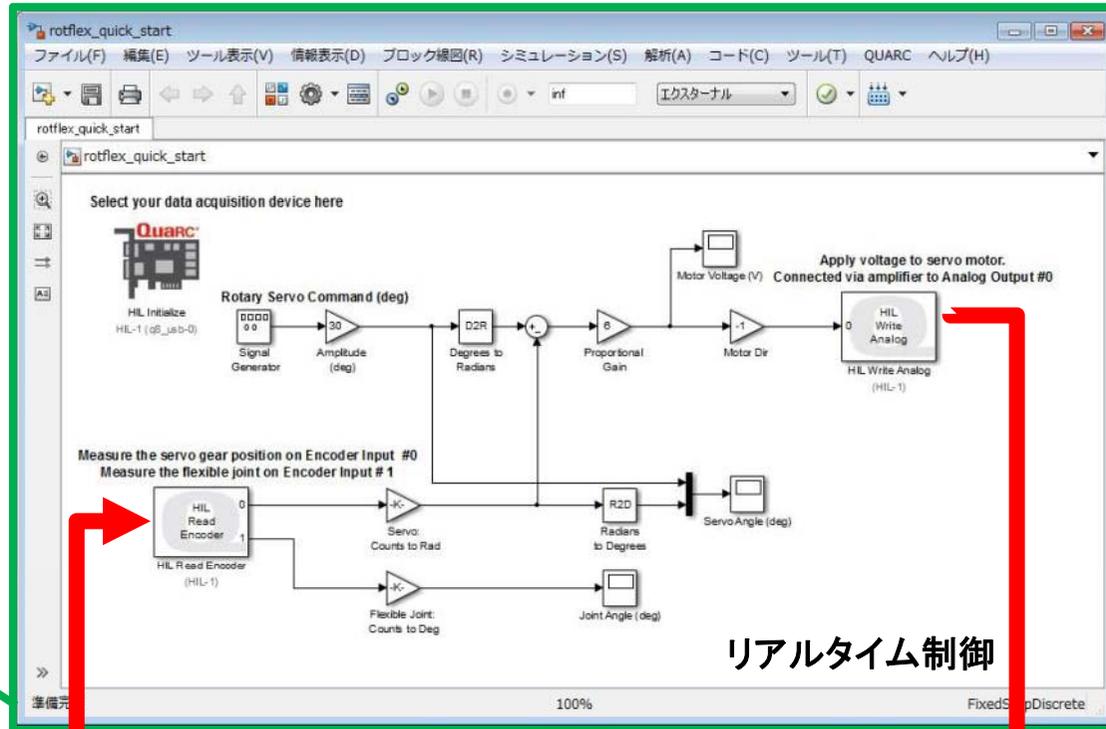
Quarc/Simulink制御モデル

Quarc[®]
accelerate design



Windows PCで制御します

リアルタイム実行



リアルタイム制御



実機

Quarcは、Quanser社製のWindowsリアルタイム・ソフトウェア。

ここでは、実機を制御するリアルタイムシミュレーションを行う。

QUANSER
INNOVATE · EDUCATE

NEAT

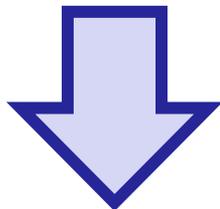
Make a NEAT job of it!



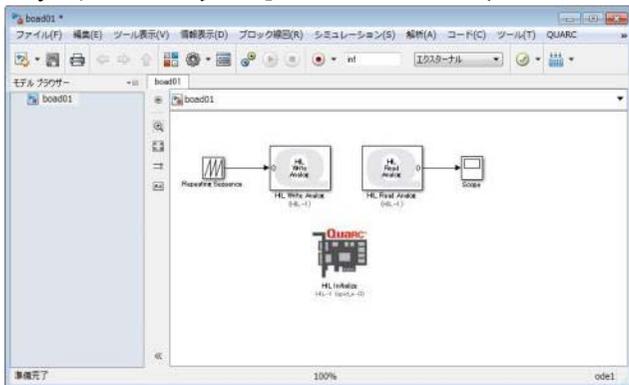
リアルタイムシステムQuarc



WindowsPC



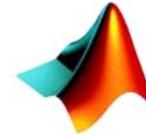
リアルタイムシステム



ソフトウェア



Quarcソフトウェア



MATLAB® /
Simulink® /
Simulink Coder™



Microsoft
Visual Studio
Microsoft Visual Studio

ハードウェア



QPIDe PCI Expressボード
(I/O + リアルタイムクロック)

インターフェース	PCI Express	
アナログ	Input:8 / Output:8	
デジタル	56 (Input/Output)	
PWM	8 チャンネル	
エンコーダ入力	8 (Input/4X Quadeature)	
I/O スペック	PWM	デジタル
In	なし	0-5.5V
Out	0V-3.3V	0V-3.3V
最低最大限 周波数	10Hz-10MHz	なし
分解能	16ビット	なし
アナログ I/Os	-/+10V	分解能16ビット

Simulink画面上でそのままリアルタイム実行可能な、扱いやすいリアルタイムシステム。



MapleSimモデル(物理モデル)

The image displays the MapleSim 7 interface. The main window shows a control block diagram for a "Rotary Flexible Joint Model". The diagram includes a "Desired value" input, a gain block k , and a feedback loop with a gain K . A 3D model of the joint is shown below the control diagram. To the right, a detailed physical model is shown, featuring a "DC Motor", "LiftSpring", "RightSpring", and "Rotating Chassis". The physical model includes various mechanical components like gears, shafts, and springs, along with a "Viz" block for visualization. The MapleSim logo is visible in the bottom right corner of the physical model area.

Copyright 2013, Maplesoft, a Division of Waterloo Maple Inc.
This application or example has been developed for software evaluation purposes only. It may not be used for any purpose, commercial or otherwise, other than evaluation Maplesoft products without Maplesoft's express permission. Maplesoft retains all copyright and rights to use this content in the future for any purpose including, but not limited to, marketing and promotion, commercialization, and as service to other clients.

実機Rotary Flexible Jointを模擬した物理モデル

- ・ 制御モデルと物理モデルの構成で最大の課題は物理モデルの精度
- ・ 物理モデルは実機のすべての情報が反映されているわけではない
- ・ 出来る限りシンプルなほうが軽快に動くが精度は悪くなる

ここでは、実行速度に優れるMapleSimを使用して実験を行うものとする。

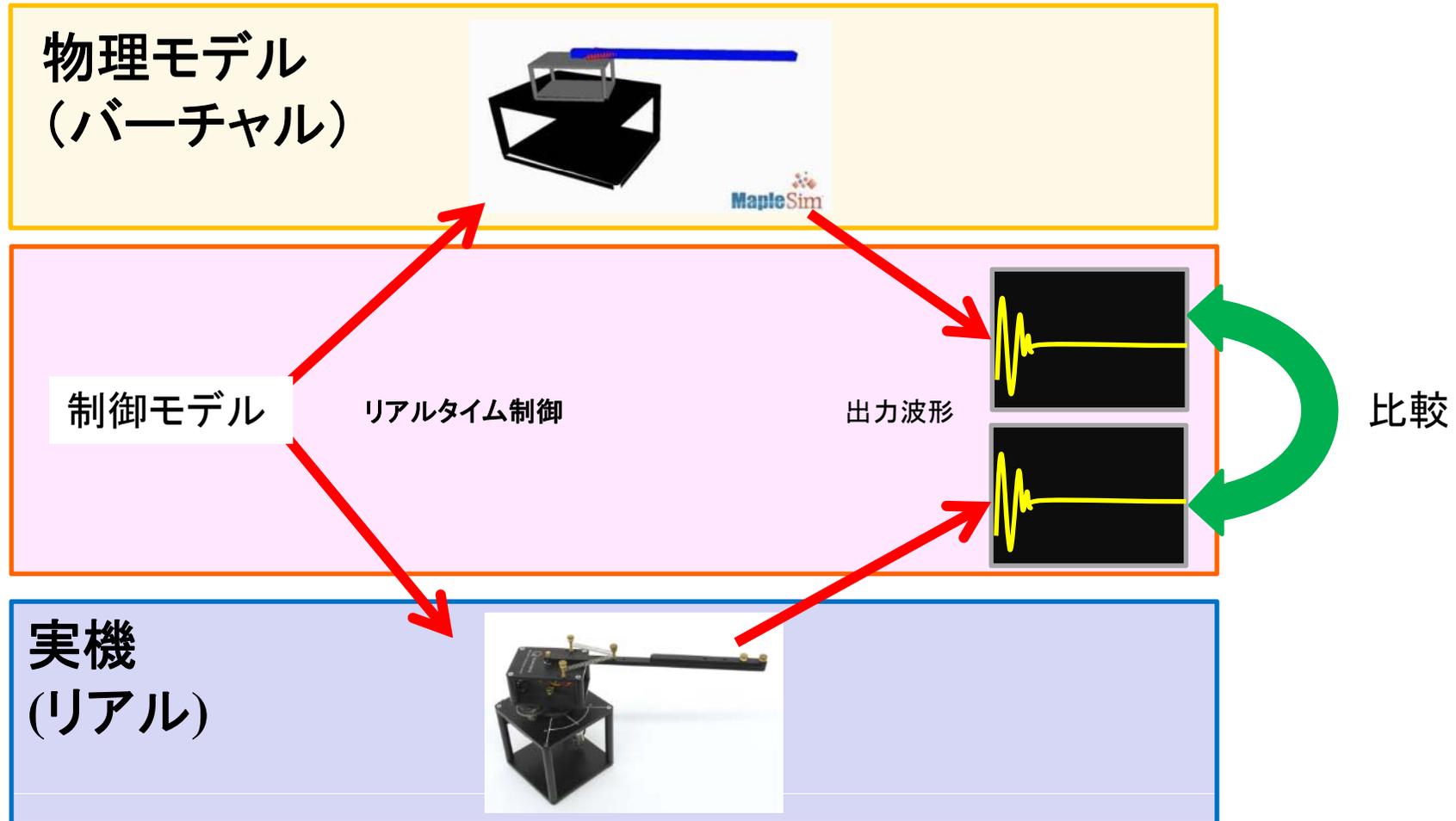
NEAT

Make a NEAT job of it!



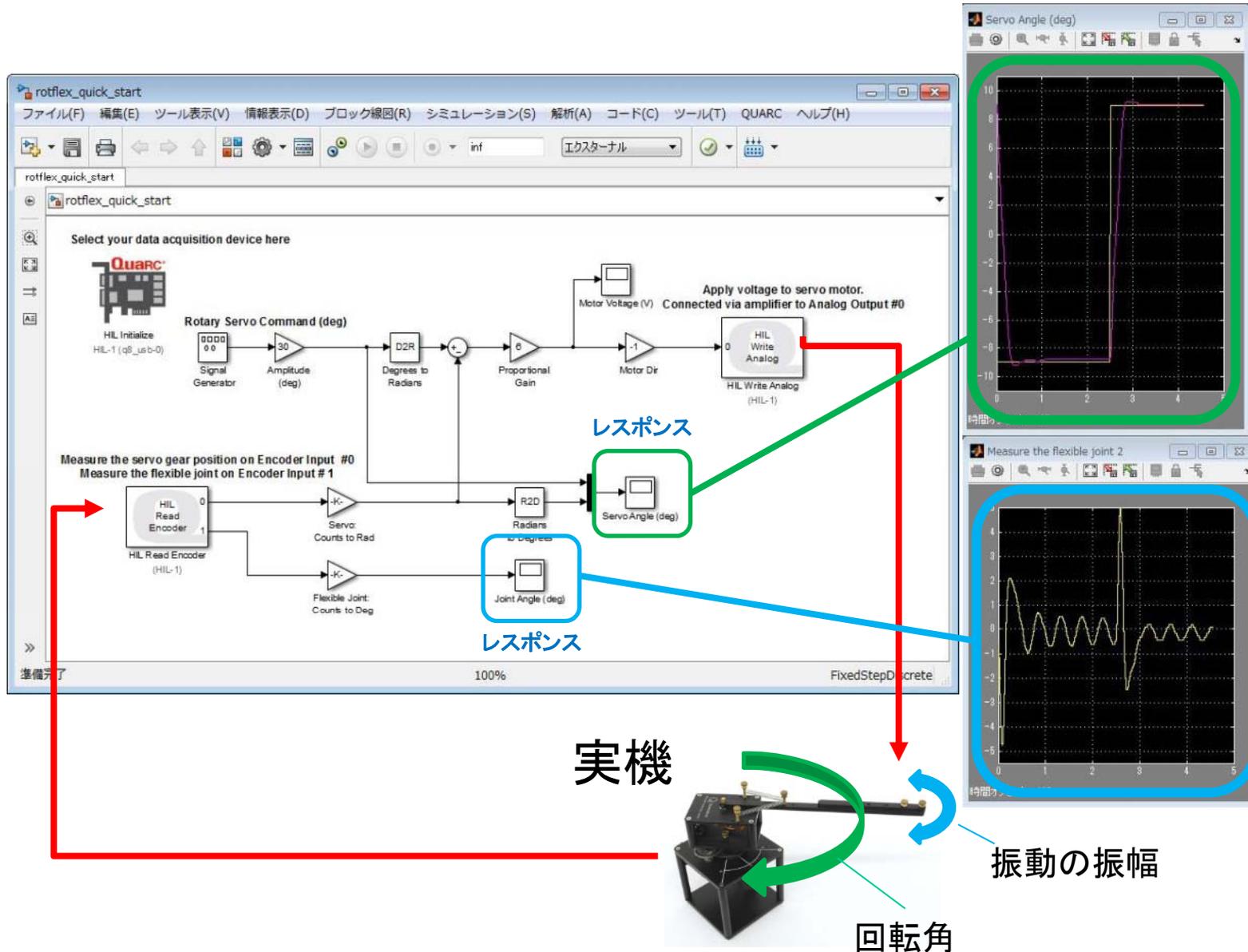
物理モデルと実機の比較方法

今回の例では、実機と物理モデルを並列で設置し、リアルタイムに比較する。





実機を用いた制御ループ(リアルタイム)

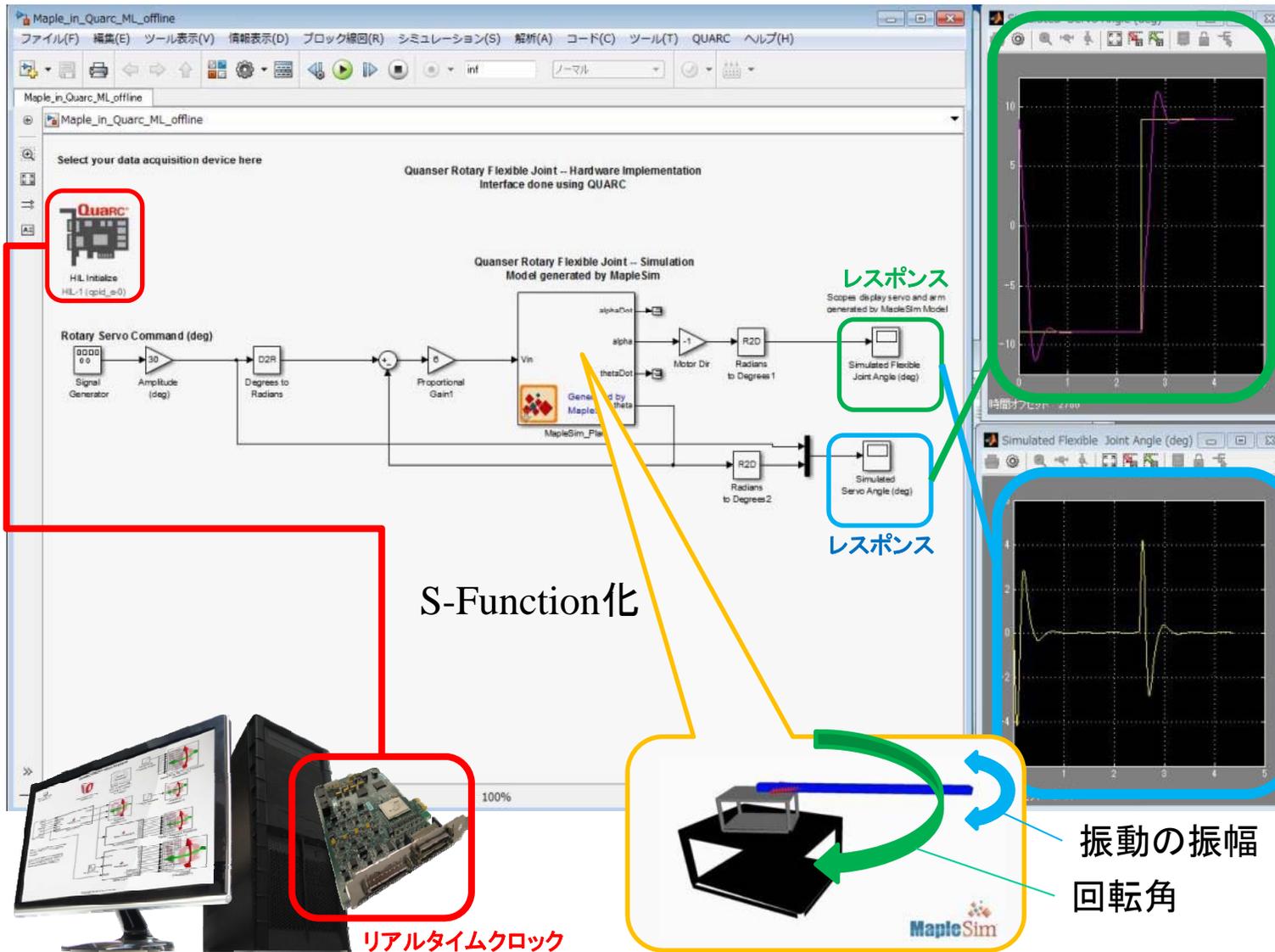


回転角
黄: 指示値
赤: 戻り値
X軸: 秒
Y軸: 回転角

振動の振幅
黄: 戻り値
X軸: 秒
Y軸: 振幅



物理モデルを用いた制御ループ(リアルタイム)



回転角
 黄: 指示値
 赤: 戻り値
 X軸: 秒
 Y軸: 回転角

振動の振幅
 黄: 戻り値
 X軸: 秒
 Y軸: 振幅

振動の振幅
 回転角

QuARC
 accelerate design

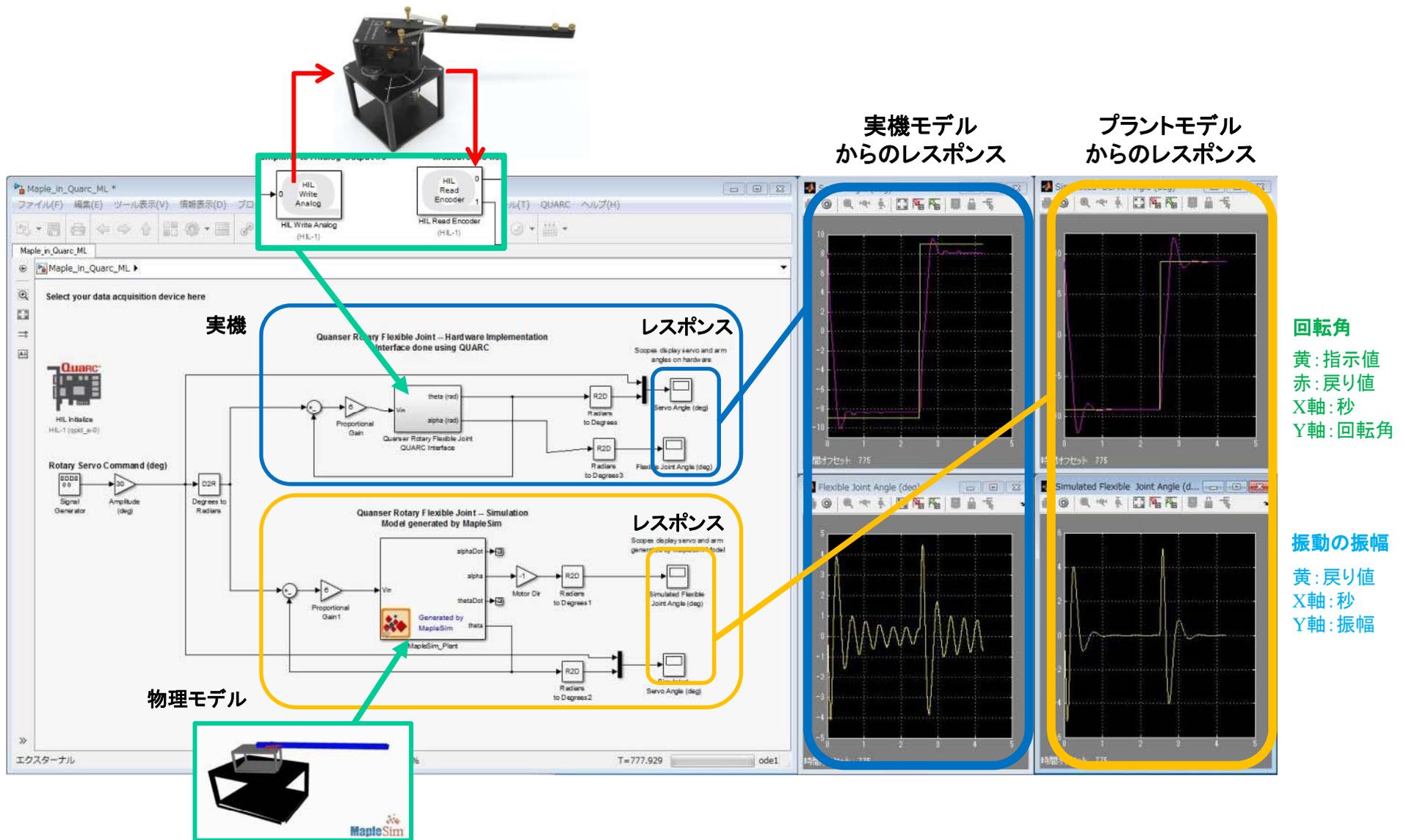
リアルタイムクロック
 & I/O

物理モデル

NEAT
 Make a NEAT job of it!



実機と物理モデルをパラレルでリアルタイム制御する



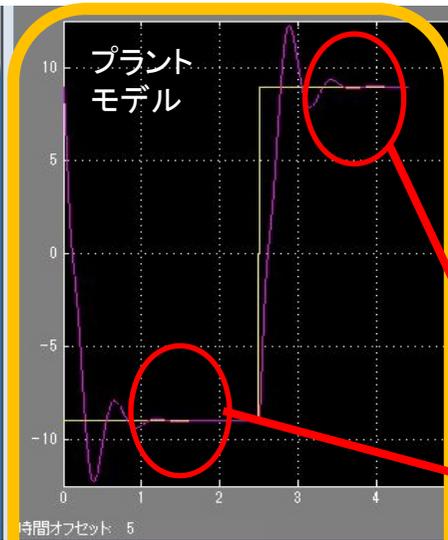
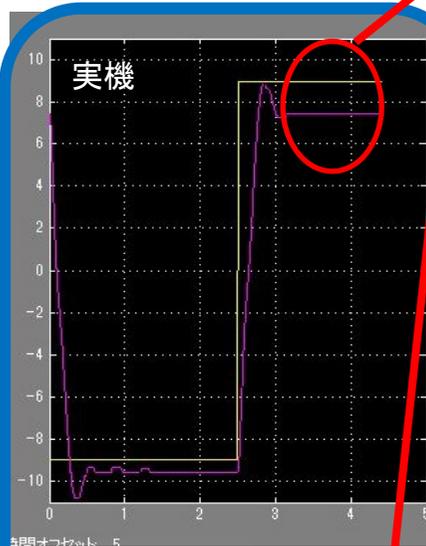
NEAT

Make a NEAT job of it!



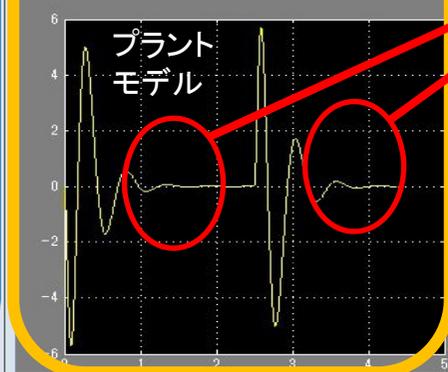
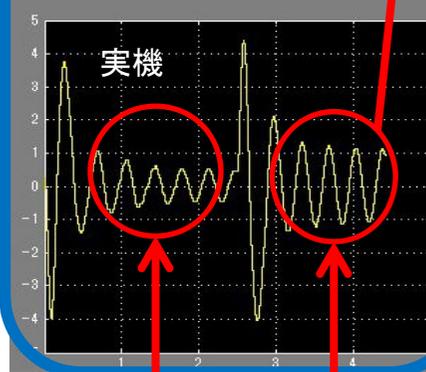
実機と物理モデルの波形の違い

ダンピングを抑えるための制動が働いていない



回転角
黄: 指示値
赤: 戻り値
X軸: 秒
Y軸: 回転角

プラントモデルでは
制動が理想的に
働いている



振動の振幅
黄: 戻り値
X軸: 秒
Y軸: 振幅

プラス側/マイナス側で制動の利きが異なる

原因の予測

物理モデルへ反映させる
パラメータを考える。

- ・モーターの
レジスタンス?
- ・モーターの
インダクタンス?
- ・バネの係数?

波形を比較する事でモデルや実機の改善点を予測する。

NEAT

Make a NEAT job of it!



予測を元に物理モデルを修正

ライブラリ: MapleSim_Plant

MapleSimから再生成した物理モデル(S-Function)

準備完了 100%

Robotics - 1 Flexible Joint - Simulation

Generated by MapleSim

Function ブロックパラメータ: MapleSim_Plant

パラメータ

Initial Conditions:
[0, 0, 0, 0, 0]

Plant_DC.Motor2_EMF1_fixed_phi0:
0.

Plant_DC.Motor2_F1_phi0:
0.

Plant_DC.Motor2_R1_T_ref:
300.15

Plant_DC.Motor2_R1_alpha:
0.

Plant_F1_phi0:
0.

Plant_FlexArm_Parameters1_BI:
0.

Plant_FlexArm_Parameters1_KspringLeft:
565.

Plant_FlexArm_Parameters1_KspringRight:
565.

Plant_FlexArm_Parameters1_L1:
29845

Plant_FlexArm_Parameters1_L2:
155575

Plant_FlexArm_Parameters1_m1:
0.

プロパティで
変更可能なパラメータ

3 SYSTEM SPECIFICATIONS

Table 3.1, below, lists and characterizes the main parameters associated with the ROTFLEX module. Some of the parameters listed in Table 3.1 are used in the mathematical model.

Symbol	Description	Value	Unit
Module Dimensions			
L_1	Main arm length	10 x 8 x 5	cm ³
L_2	Load arm length	29.8	cm
		15.6	cm
Distance between joint to middle of load arm			
d_{12}	Arm Anchor Point 1	21.0	cm
d_{12}	Arm Anchor Point 2	23.5	cm
d_{12}	Arm Anchor Point 3	26.0	cm
Module body mass			
m_1	Main arm mass	0.3	kg
m_2	Load arm mass	0.064	kg
K_{enc}	Encoder resolution (in quadrature mode)	0.03	kg
K_1	Spring #1 stiffness	4096	Counts/Rev
K_2	Spring #2 stiffness	187	N/m
K_3	Spring #3 stiffness	313	N/m
		565	N/m

Table 3.1: Rotary Flexible Joint specifications.

Figure 3.1 is a model depicting the Rotary Flexible Joint system. The ROTFLEX module has been designed to allow many configurations. As shown in Figure 3.1, there are three anchor positions on the arm as well as three anchor positions on the body. The force exerted by the springs can be varied by attaching the springs in different anchor points. The ROTFLEX system is also supplied with three sets of springs of different stiffness constants (values shown in Table 3.1). The secondary load arm attaches underneath the main arm and can be connected to different anchor points, allowing the total arm length to be changed.

The spring anchor locations, variable load length, and springs with different stiffnesses allows for many configurations.

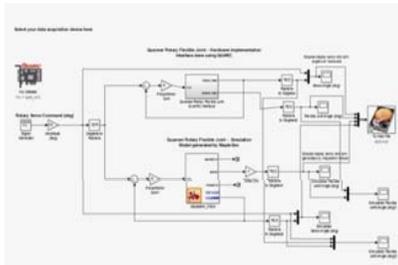
実機仕様

実機を参照しつつパラメータを入力

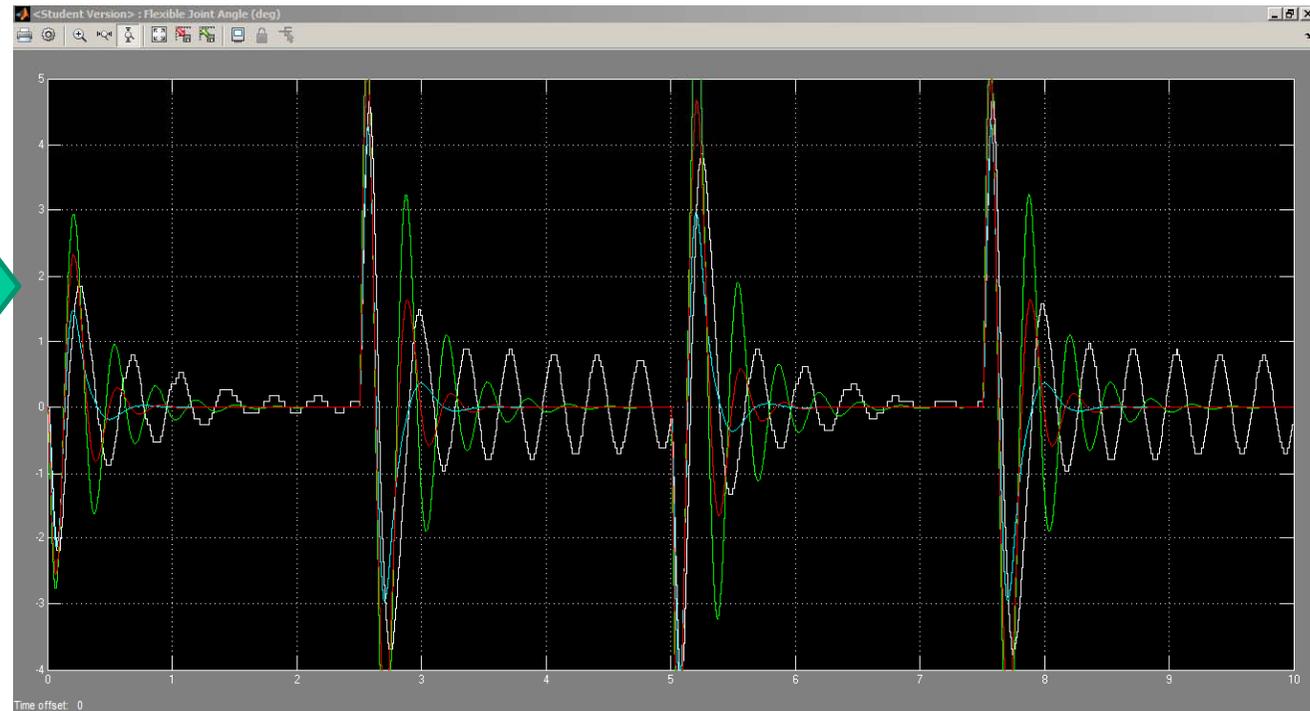


振動波形の比較

物理モデルよりDCモーターのレジスタンスやバネ係数を調整し、
数パターンを重ねて比較した。



複数パターン



白のライン : 実機からの波形
白以外 : 物理モデルからの波形

X軸: 秒
Y軸: 振幅

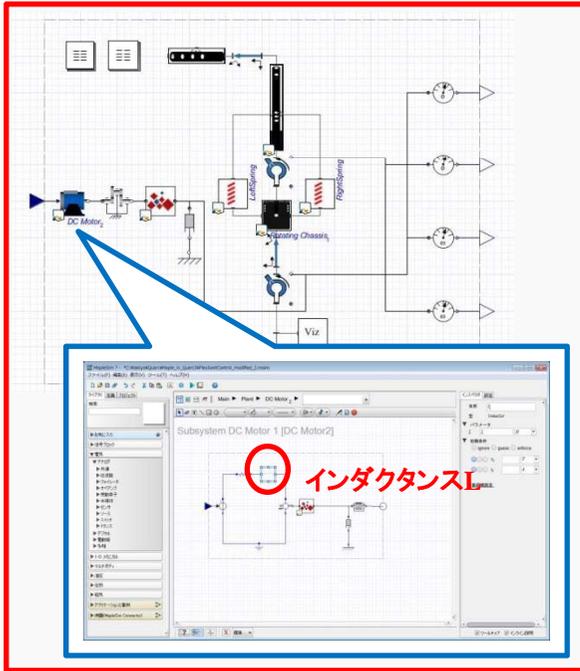
NEAT

Make a NEAT job of it!



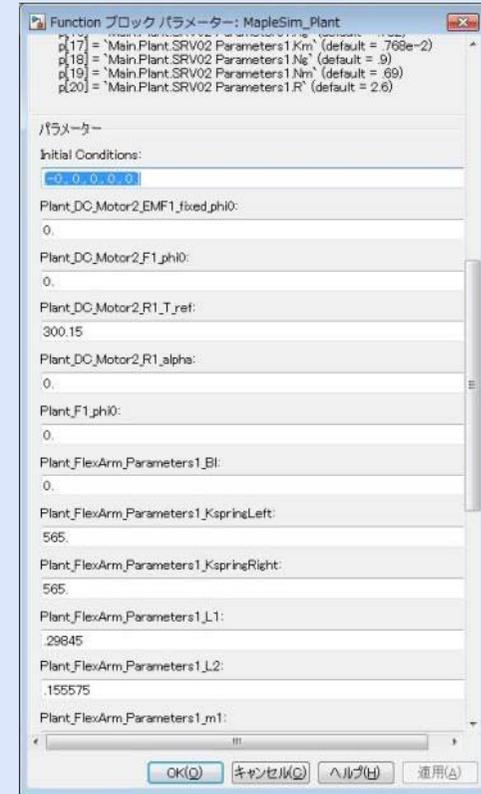
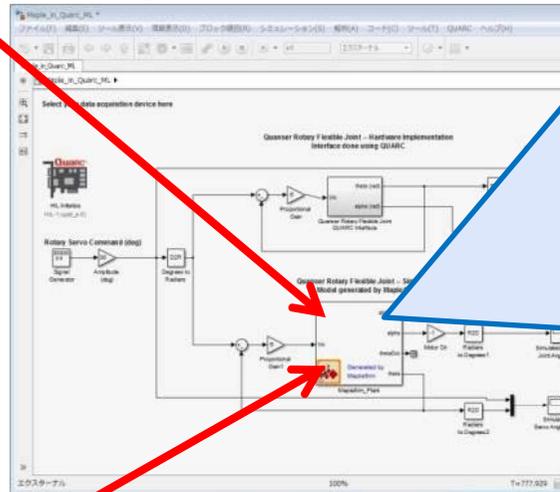
予測を物理モデルのパラメータとして作り込む

物理モデルのインダクタンスを調整する



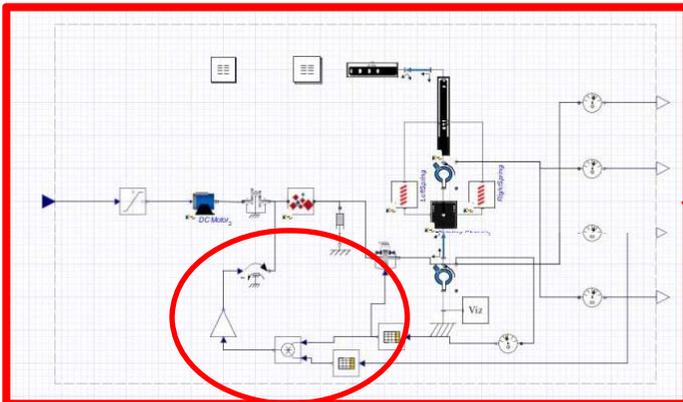
物理モデルの再生成

Simulink/Quarcモデル



プロパティで
変更可能に

物理モデルにトルクなどを
パラメータとして作り込む



NEAT

Make a NEAT job of it!



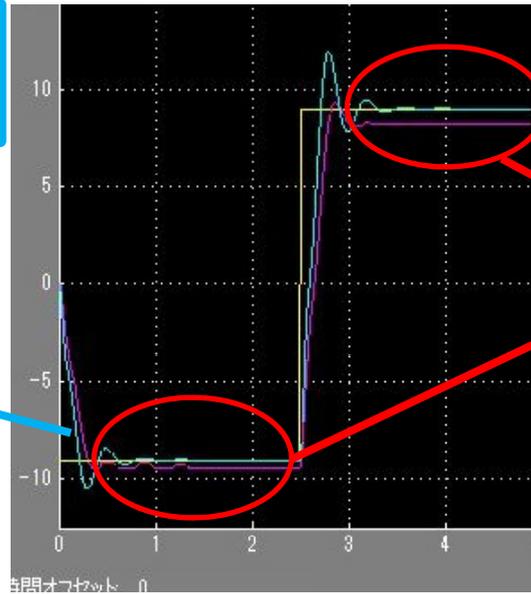
予測の結果から次の課題を考える

実験により、
より実機に近い波形が得られた。

次の課題

位相が近くなった

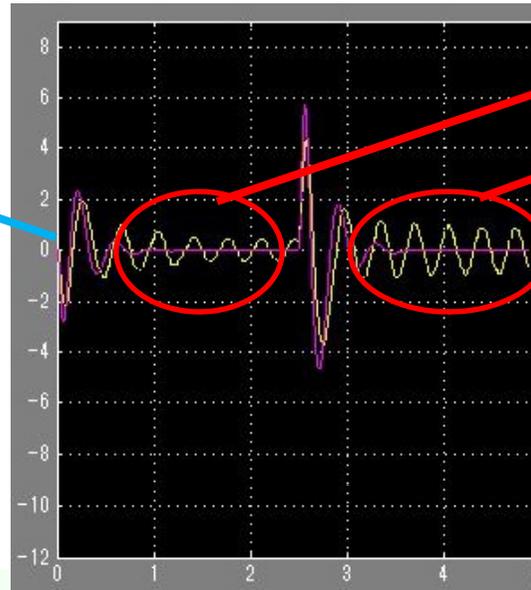
波形の振幅が異なる



回転角
黄: 指示値
赤: 戻り値
青: 物理モデル戻り値
X軸: 秒
Y軸: 回転角

位相と振幅が近くなった

ダンピングを抑える制動が
実機と異なる



振動の振幅
黄: 戻り値
X軸: 秒
Y軸: 振幅

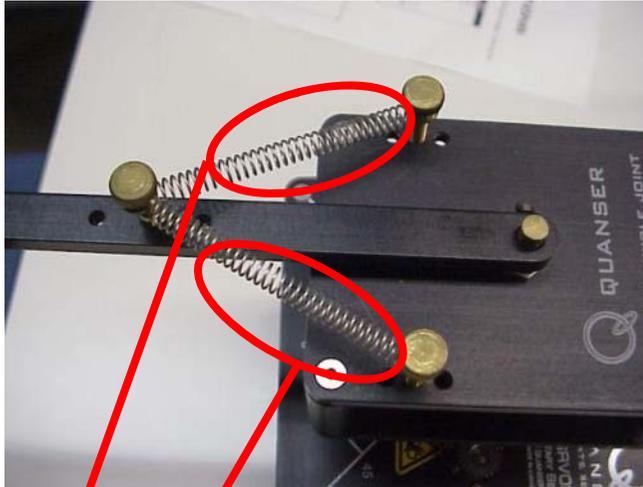
NEAT

Make a NEAT job of it!

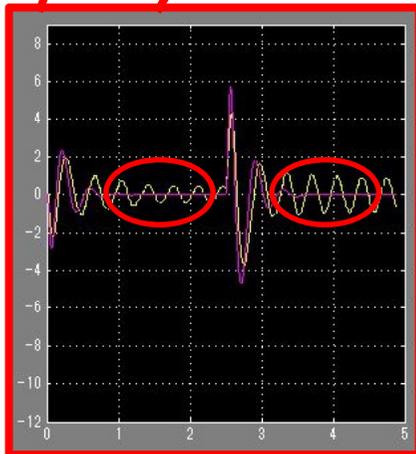


今後の検討課題

ばねの劣化



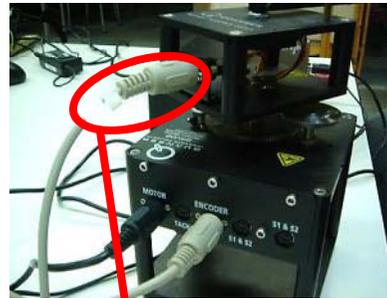
左右の劣化の差



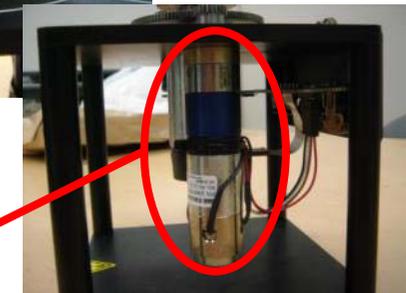
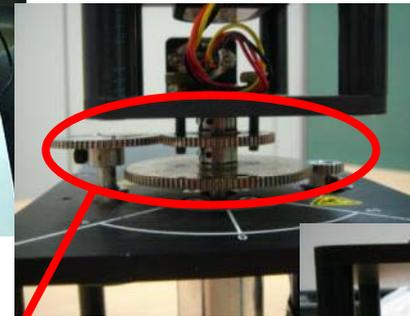
振動の振幅

黄: 戻り値
 X軸: 秒
 Y軸: 振幅

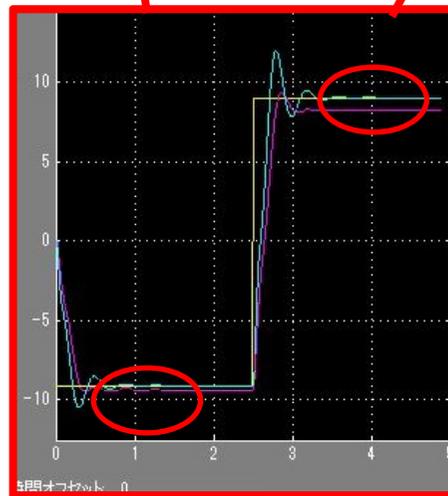
ケーブルの弾力



ギアの摩擦



モーターの劣化



回転角

黄: 指示値
 赤: 戻り値
 青: 物理モデル戻り値
 X軸: 秒
 Y軸: 回転角



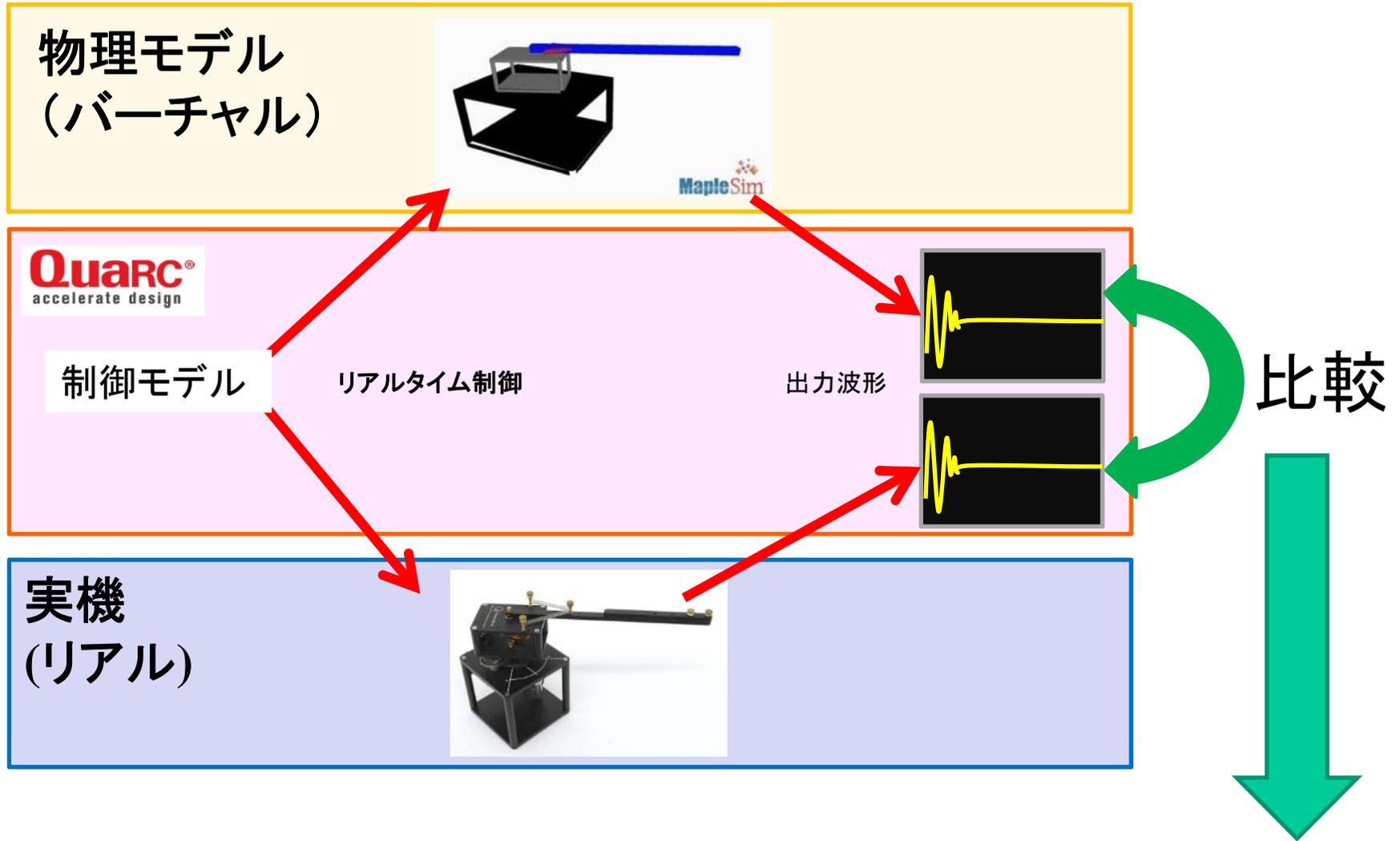
個体差

NEAT

Make a NEAT job of it!



まとめ



予測と実験

リアルタイムシステムにより、実機と物理モデルの検証が可能

NEAT
Make a NEAT job of it!



WEBで続きを連載します

株式会社NEAT - Make a neat job of it -

NEAT

Make a NEAT job of it!



ご清聴ありがとうございました

NEAT

Make a NEAT job of it!