

# 卓球ロボット開発史 ～人と機械の融和に向けて～

2018年 8月 31日

オムロン株式会社 技術・知財本部

無線・組込研究室

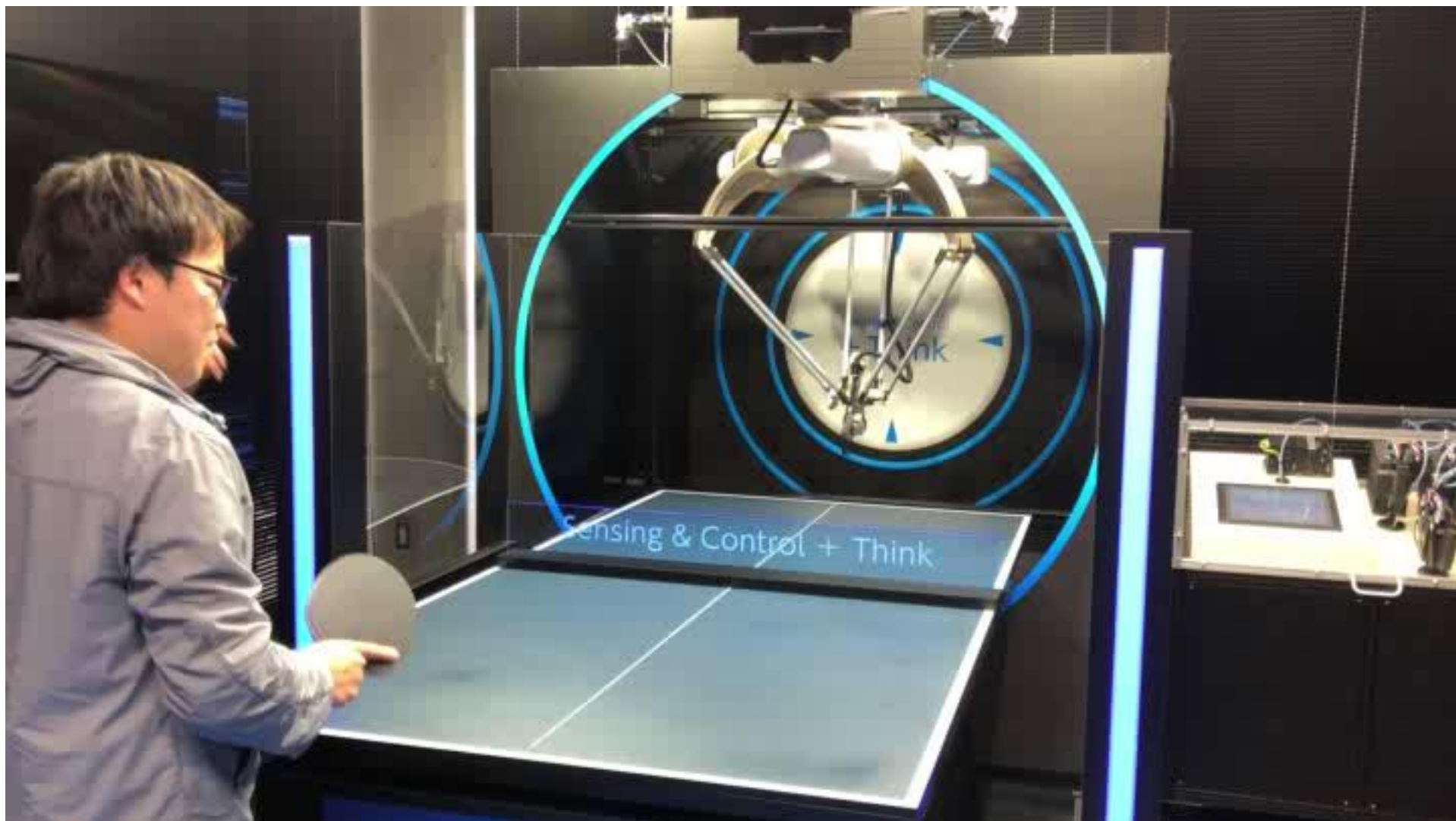
八瀬 哲志

**OMRON**

# 卓球ロボット ver 2013



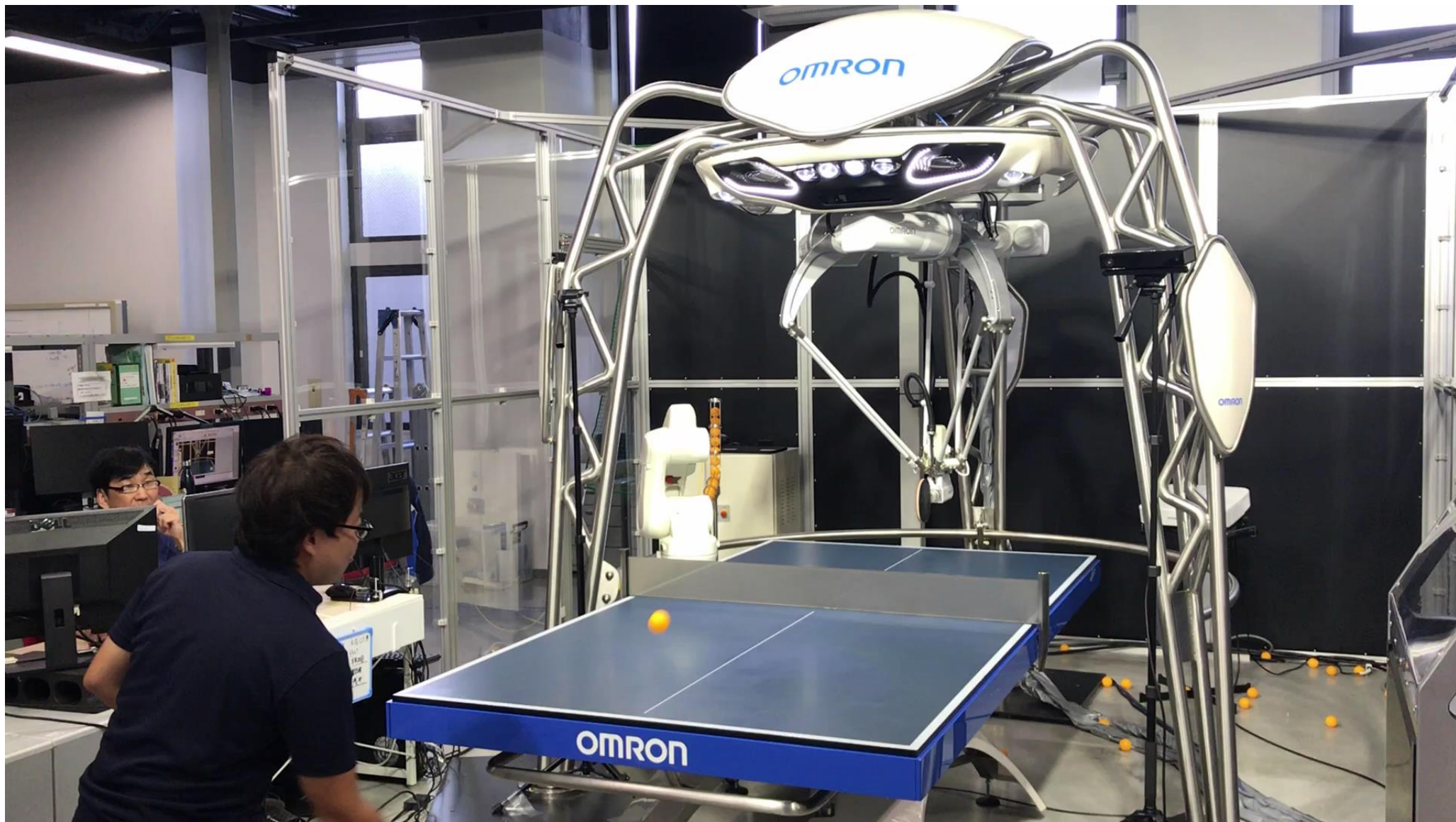
# 卓球ロボット ver 2015



# 卓球ロボット ver 2017



# 卓球ロボット ver 2018(開発風景)



# Contents

1. 卓球ロボット開発の目的
2. フォルフェウスの基本技術
3. フォルフェウス開発史
4. 今後の進化の方向性

---

**Q. なぜオムロンが卓球ロボット？**

**A1. オムロンのコア技術のシンボル**

# オムロンのコア技術 = センシング & コントロール + Think

② 現場の経験に基づき、データから読み取れる現象に意味づけをする

+ Think

蓄積した現場データ 人の知見

センシング  コントロール

電波 画像 光 音波 磁気  
力

位置 向き 情報  
力 助言

社内および顧客の現場



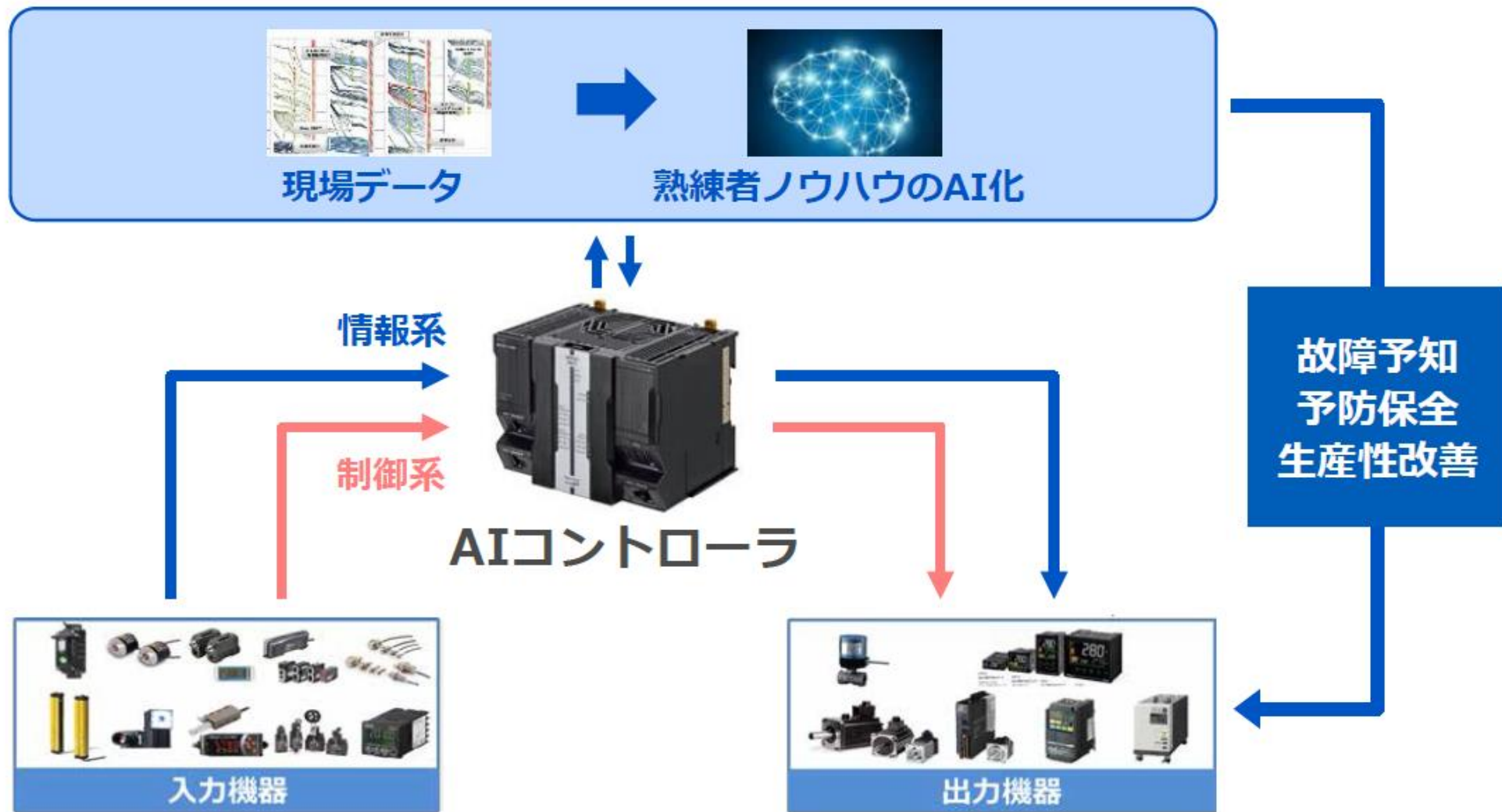
① 現場の知見に基づき、  
必要なデータを取得する

③ 解釈に基づき、現場に適切な  
フィードバックを行なう



# 例) 熟練者の“勘”を実現するFA用AIコントローラ

「機械のいつもと違う動き」を検知する

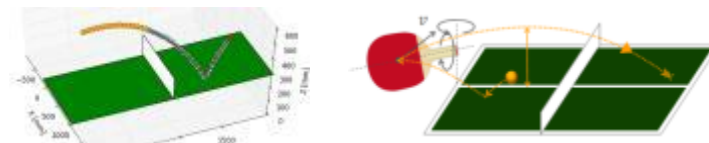


# 卓球はセンシング & コントロール +Thinkの詰め合わせ

卓球 = 「100m走をしながらチェスをするようなスポーツ」

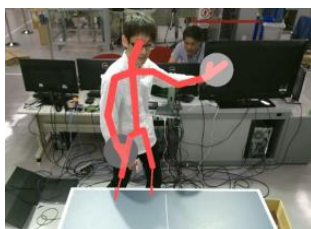
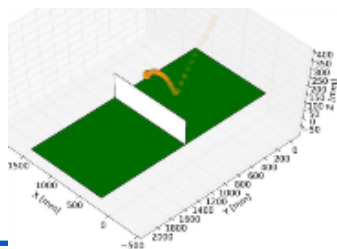
## + Think

- ボールの軌道予測
- ラケット経路計算
- 相手のレベルや意図の読み取り & 返球計画への反映



### センシング

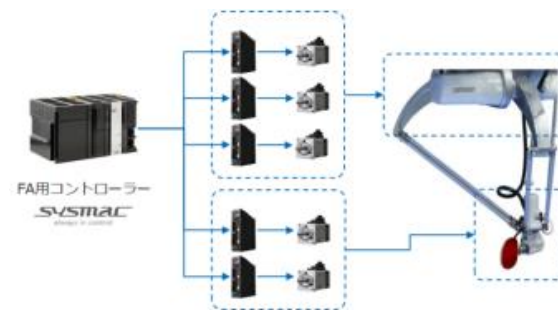
- ・ ボールの3次元位置と速度を正確に計測
- ・ 「人」の動作を計測



動かしながら  
同時に実行

### コントロール

ロボットを正確に動作



# 高度な卓球動作を一般産業用機器をベースに実現

## ボールの3次元位置計測

一般産業用  
VGAカメラ



## ボールをトス

**オムロン**

垂直多関節ロボット  
Viper



## 全ての機器の制御

**オムロン**

マシンオートメーション  
コントローラ NJ



**SYSTMAC**  
always in control

## ラケットスイングの動力

**オムロン**

サーボシステム  
1Sシリーズ  
(1.5KW)



## ラケットのスイング

一般産業用  
パラレルリンク  
ロボット



## ラケット角度調整の動力

**オムロン**

サーボシステム  
1Sシリーズ  
(100W)



---

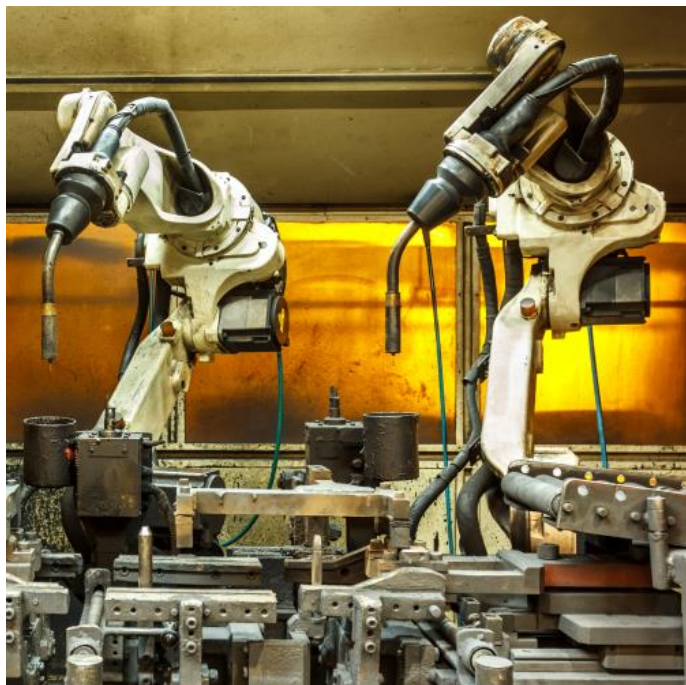
**Q. なぜオムロンが卓球ロボット？**

A1. オムロンのコア技術のシンボル

**A2. オムロンが目指す人と機械の関係  
「融和」の具現化**

# 「オートメーション」の近未来は?

機械だけで働く



AI



ロボティクス



IoT



センシング

人と機械が共に働く



# 「人と機械の関係」の変化

機械の高度化に伴い「人と機械の関係」は変化している

## 自動操縦



## 自動運転



## 接客

この服の配送料いくらですか？

お問い合わせありがとうございます。  
配送料は500円となっております。  
2,500円以上のお買い上げで配送料  
は無料です。

## 診察



# オムロンが目指す人と機械の関係



「機械にできることは機械に任せ、  
人間はより創造的な分野での活動を楽しむべきである」

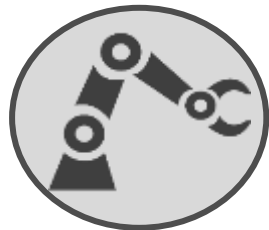
オムロン創業者 立石一真

## 「代替」

機械が人の作業を置換え

機械

人

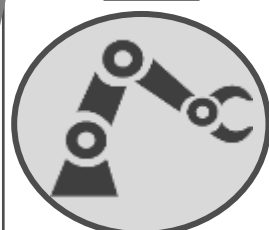


## 「協働」

機械と人が作業を分担

機械

人

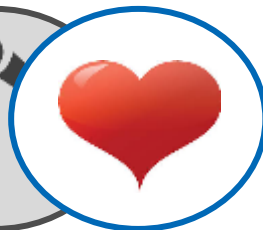
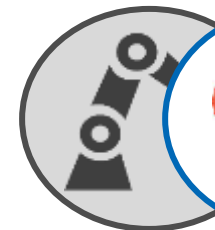


## 「融和」

機械が人の  
能力や創造性を引出す

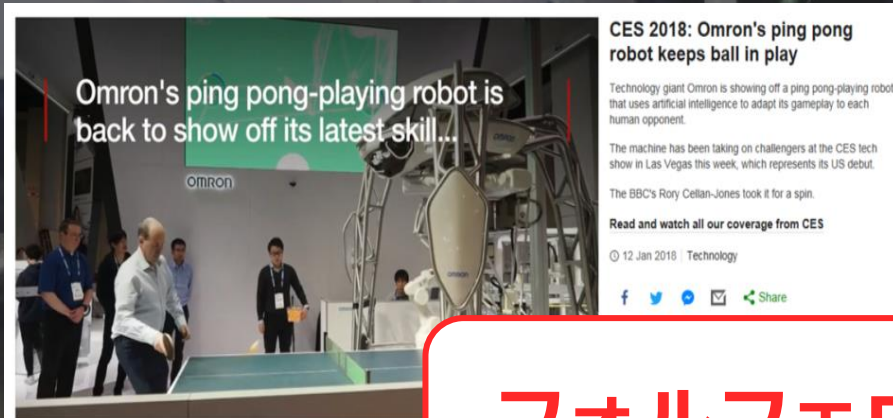
機械

人



# 「融和」のコンセプトに大きな反響@CES2018

## BBC



**CES 2018: Omron's ping pong robot keeps ball in play**

Technology giant Omron is showing off a ping-pong playing robot that uses artificial intelligence to adapt its gameplay to each human opponent.

The machine has been taking on challengers at the CES tech show in Las Vegas this week, which represents its US debut.

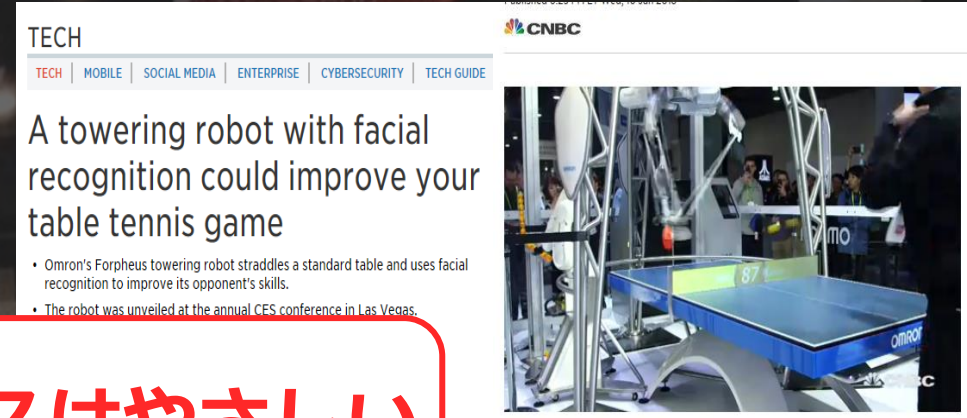
The BBC's Rory Cellan-Jones took it for a spin.

Read and watch all our coverage from CES

12 Jan 2018 Technology

Share

## CNBC



**TECH**

TECH | MOBILE | SOCIAL MEDIA | ENTERPRISE | CYBERSECURITY | TECH GUIDE

**A towering robot with facial recognition could improve your table tennis game**

- Omron's Forpheus towering robot straddles a standard table and uses facial recognition to improve its opponent's skills.
- The robot was unveiled at the annual CES conference in Las Vegas.

フォルフェウスはやさしい

## TechCrunch



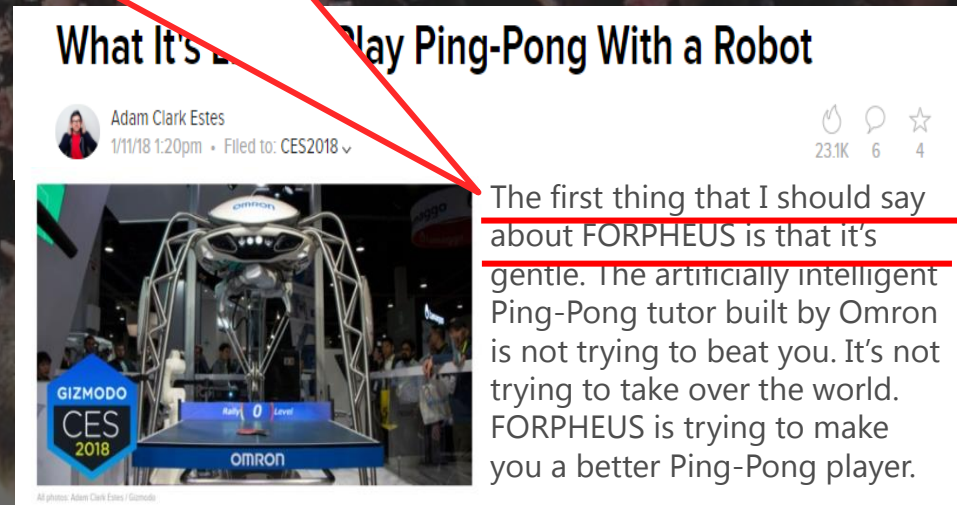
**TE** Shows Apps Bubbleproof Bullish Crunch Report Disrupt SF 2017 Judah vs the Machines

**I played Ping Pong against a robot**

January 8, 2018 (3:07)

SHARE

## GIZMODO



**What It's Like to Play Ping-Pong With a Robot**

Adam Clark Estes  
1/11/18 1:20pm • Filed to: CES2018

23.1K 6 4

The first thing that I should say about FORPHEUS is that it's gentle. The artificially intelligent Ping-Pong tutor built by Omron is not trying to beat you. It's not trying to take over the world. FORPHEUS is trying to make you a better Ping-Pong player.



# 「融和」のコンセプトに大きな反響@CES2018

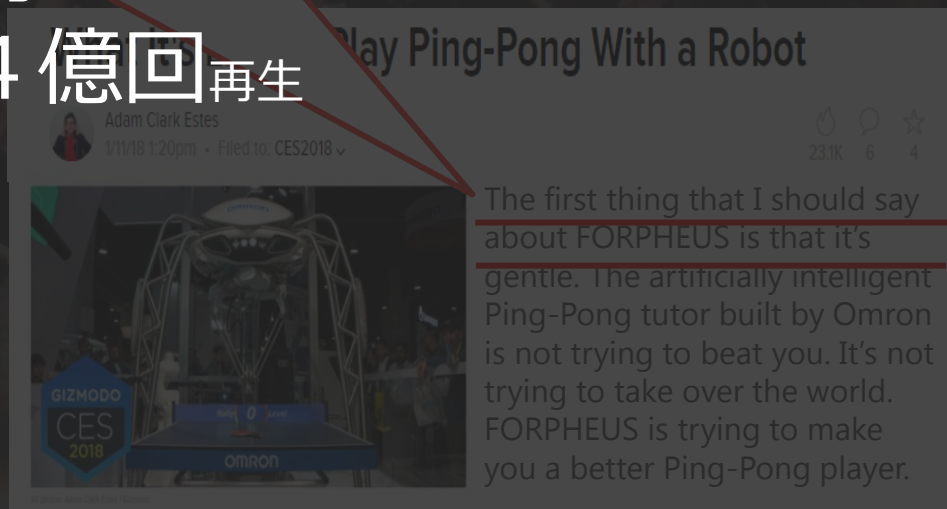
オムロン掲載記事の表示回数

# 38億回以上

フォルフェウスはやさしい

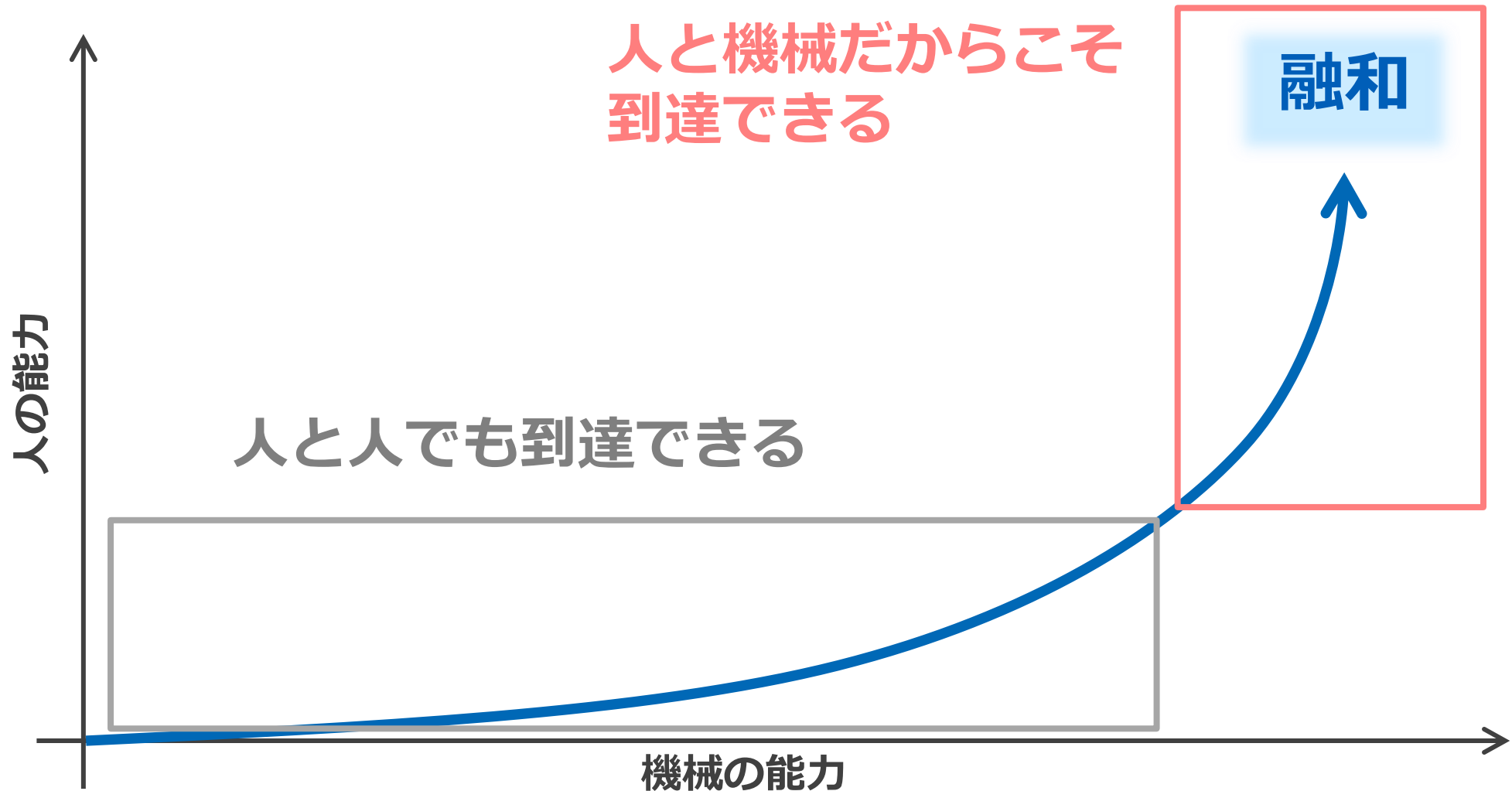
参考

PPAP : 4億回再生



# 「人と機械の融和」の目指す姿

「人と機械」で人が成長し、自身の（人間の）限界を超えられる



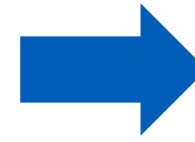
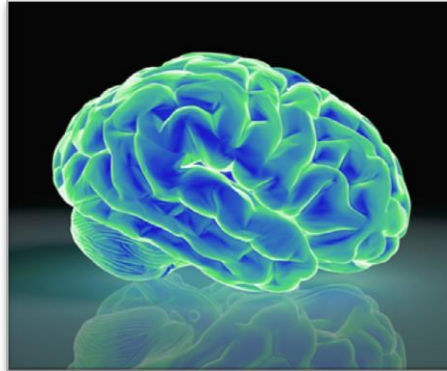
# AIによって人は進化する

AI×制御で人はどんな進化を遂げるか？

## AI（頭脳）のみの世界



×

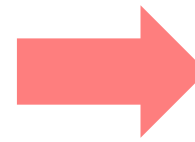
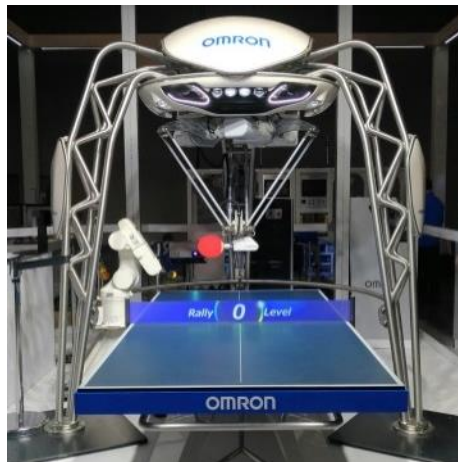


戦術の飛躍的進化  
&  
"人"のスーパー  
スターの誕生

## AI（頭脳）× 制御（肉体）の世界



×



?

# Contents

1. 卓球ロボット開発の目的
2. **フォルフエウスの基本技術**
3. フォルフエウス開発史
4. 今後の進化の方向性

# 卓球ロボットを実現する技術

ボールの位置・人の動きを  
**Sensing**する

最適な返球計画を  
**Think**する

ロボットを正確に  
**Control**する

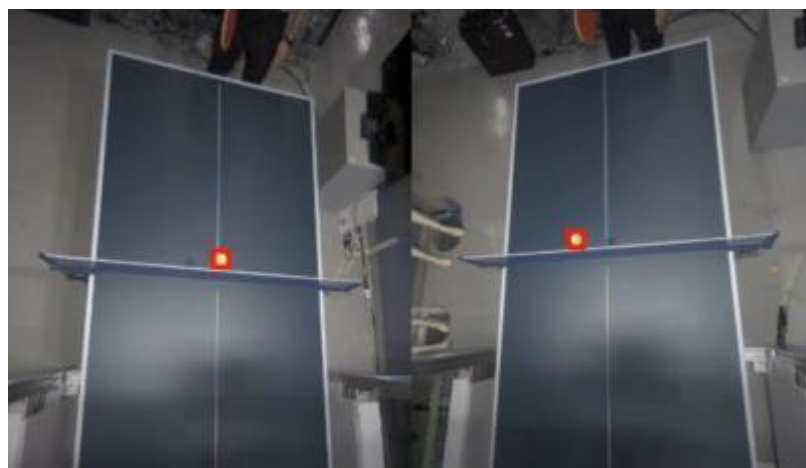


# Sensing : ピン球の3次元位置を計測



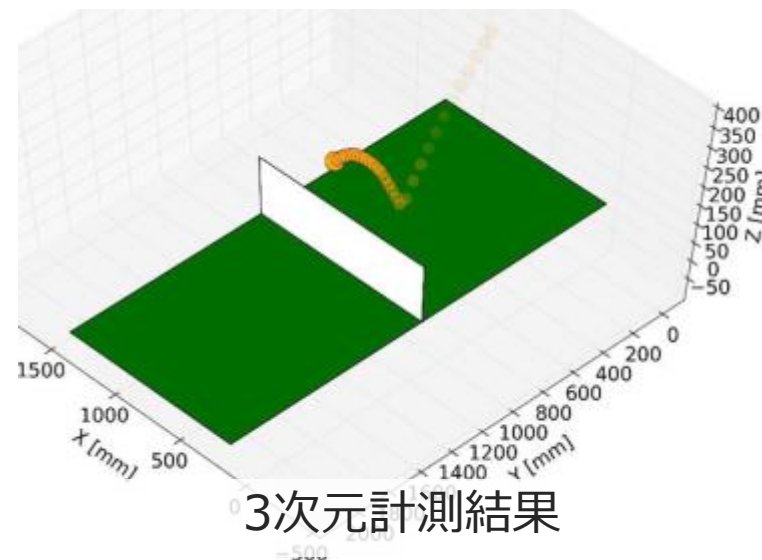
2つのQuadVGAカメラ

ボールの3次元位置を正確に計測 (毎秒80回、精度±5mm)



右カメラ画像

左カメラ画像



3次元計測結果

# 卓球ロボットを実現する技術

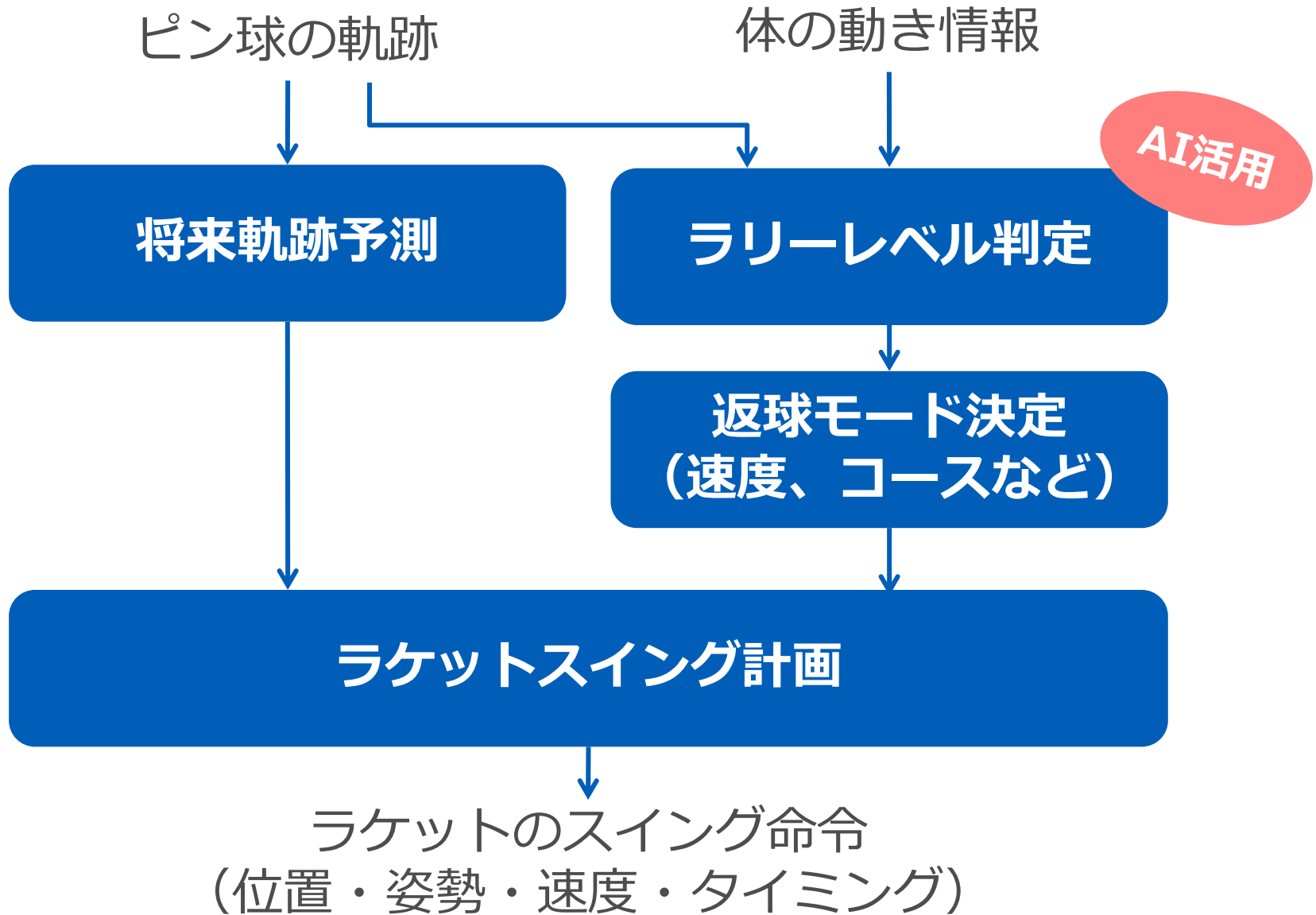
ピン球の3次元位置を  
**Sensing**する

最適な返球計画を  
**Think**する

ロボットを正確に  
**Control**する



# Think : 最適な返球計画を決定



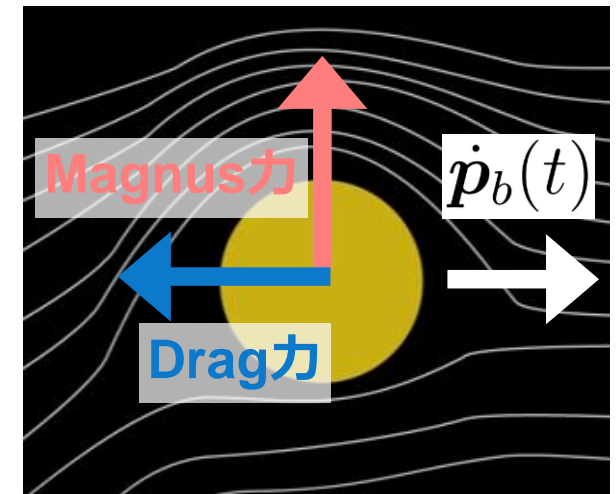
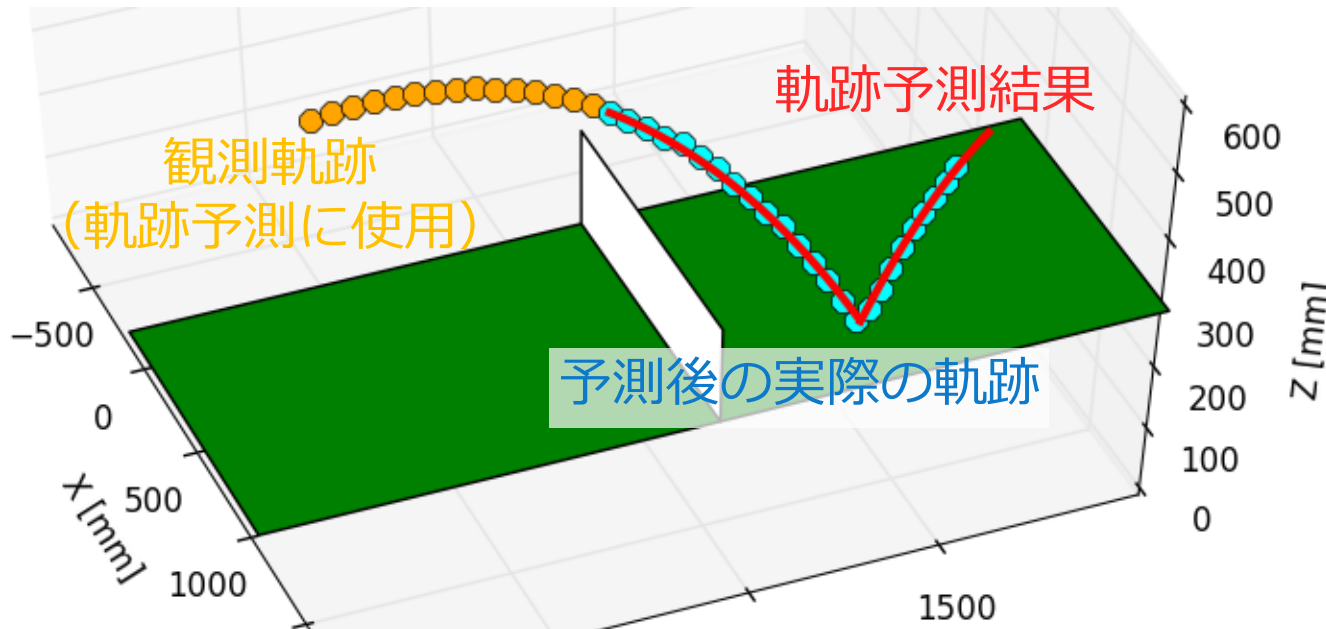


# 将来の軌跡を正確に予測

- ラケットの打点を決めるために、ピン球の将来の軌跡を計算
- ピン球の空力モデル[Nakashimaら, ICRB2011]（2次常微分方程式）をルンゲ=クッタ法を用いて数値積分
- 予測した軌跡と実際の観測軌跡の平均誤差は20mm以下

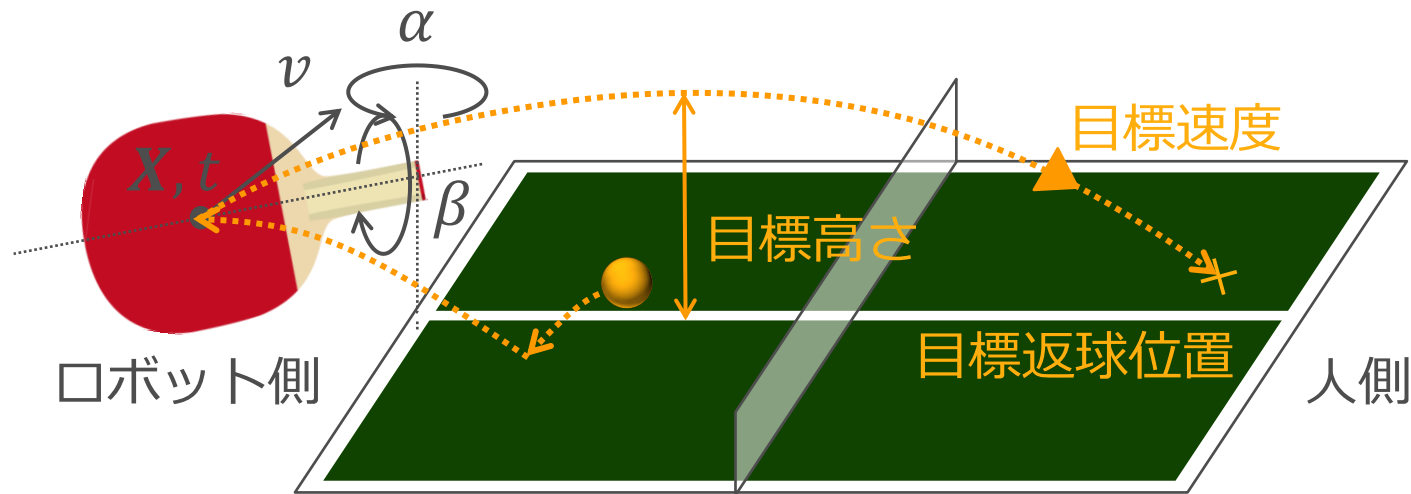
$$\boxed{\ddot{\mathbf{p}}_b(t)} = \boxed{-g} - \boxed{C_D(t) \frac{\rho}{m} S_b \|\dot{\mathbf{p}}_b(t)\| \dot{\mathbf{p}}_b(t)} + \boxed{C_M(t) \frac{\rho}{m} V_b \boldsymbol{\omega} \times \dot{\mathbf{p}}_b(t)}$$

ピン球加速度      重力加速度      Drag力      Magnus力



# 最適なラケットスイングを計画

- 返球目標（返球位置、速度、高さ）を定め、目標を実現するラケットスイングを計画
- 小さいロボット負荷かつ小さい目標偏差を両立できるスイングパラメータ  $p_{\text{swing}} = (\text{位置}X, \text{姿勢}\alpha, \beta, \text{速度}v, \text{タイミング}t)$  を探索



$$\hat{p}_{\text{swing}} = \underset{p_{\text{swing}}}{\operatorname{argmin}} \{ \text{目標偏差}(p_{\text{swing}}) + \lambda \text{ロボット負荷}(p_{\text{swing}}) \}$$

※目標偏差は返球後の軌跡予測を行うことで算出

# 相手の実力に応じて返球を調整

## Easyモード（初心者）



## Hardモード（上級者）



ゆっくり

球速

速い

山なり

ピン球高さ

低い

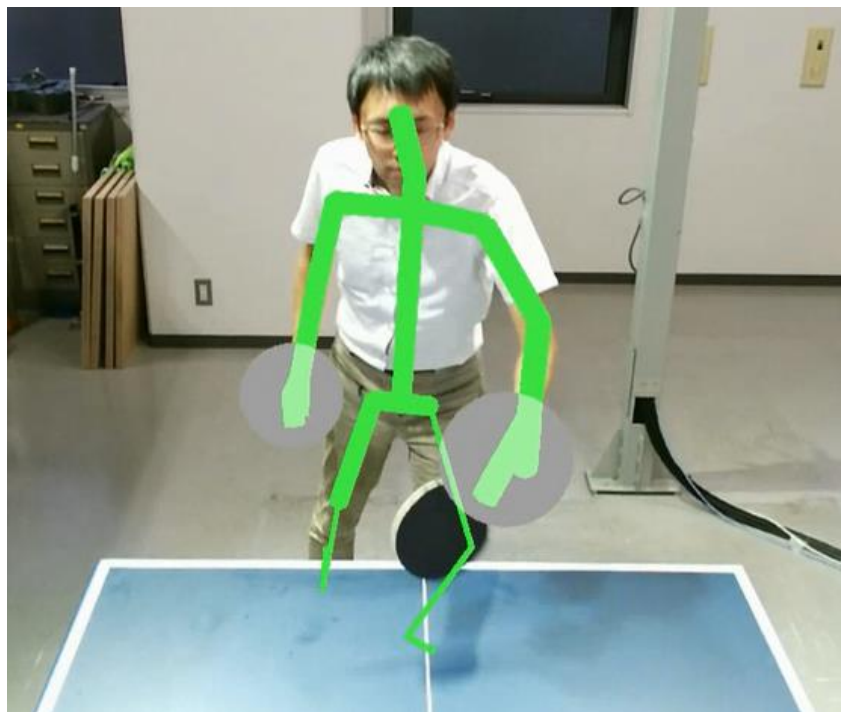
常にプレイヤー位置

コース

ランダム

# 実力を見分けるための入力

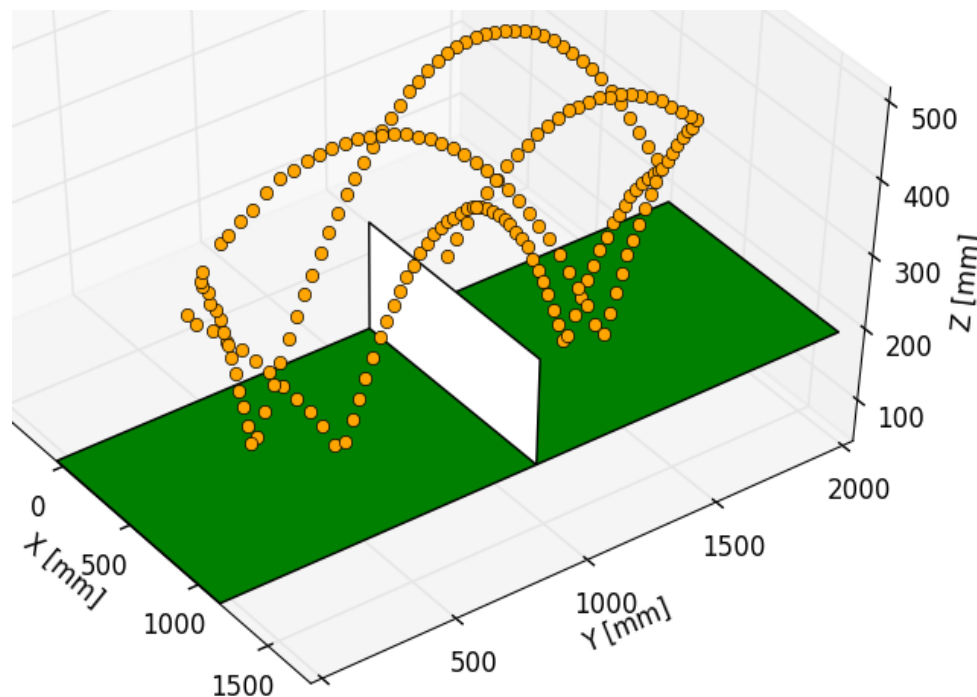
## 身体情報



**初心者** 無駄な動きが多い

**上級者** 必要最小限の動き

## 軌跡情報

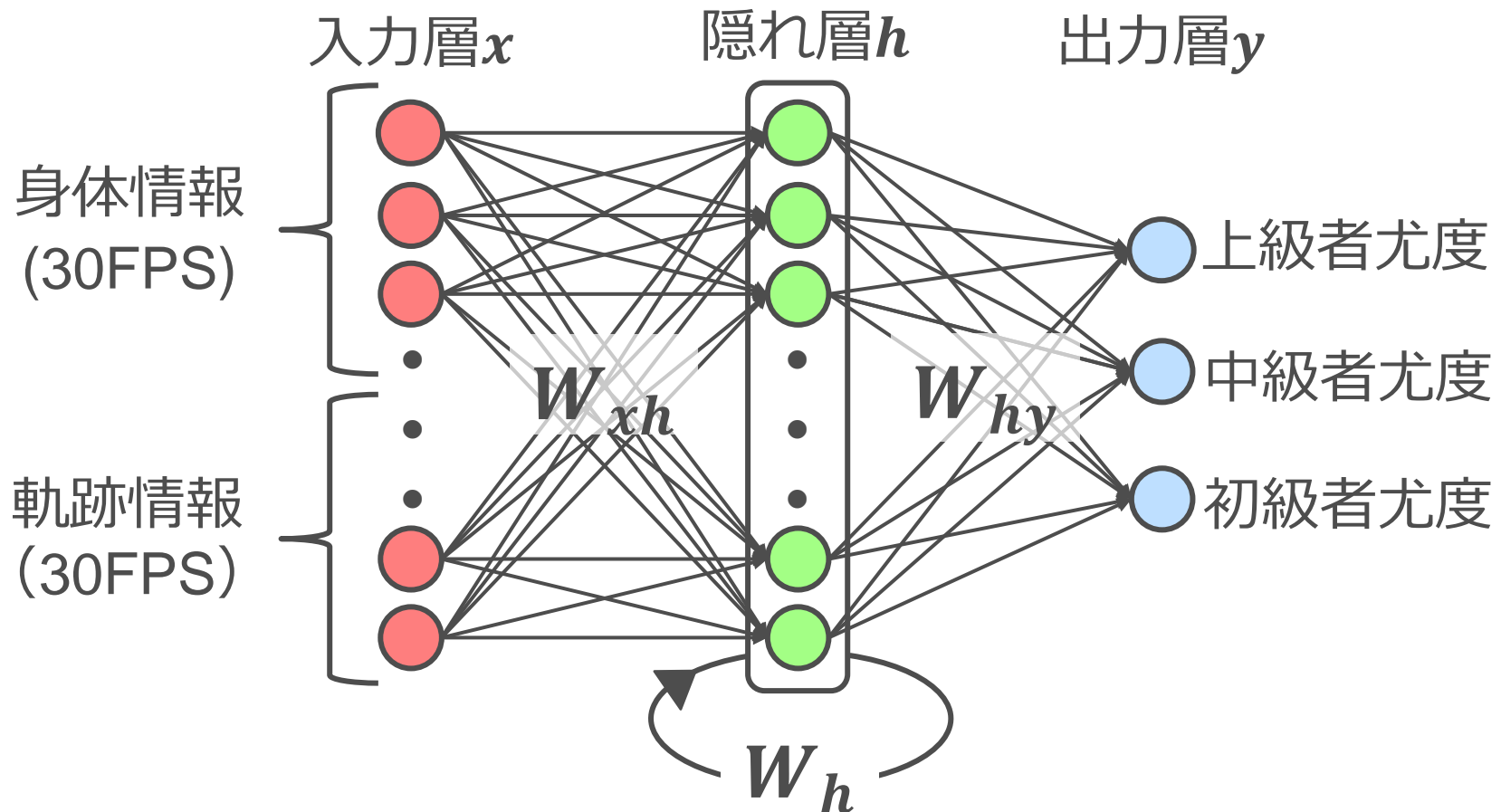


**初心者** 山なり、遅い

**上級者** 低位置、速い

# RNN (Recurrent Neural Network)

- 時系列データ・可変長データを取り扱うことのできるDeep learningの一つ
- 画像分野においては行動認識・動作認識でstate-of-the-artの性能
- 卓球ロボットにおいてラリーレベル判別精度90%以上達成
- ラリー開始から3往復で識別開始、以降毎フレーム識別結果を更新



# 卓球ロボットを実現する技術

ピン球の3次元位置を  
**Sensing**する

最適な返球計画を  
**Think**する

ロボットを正確に  
**Control**する



# Control : ロボットを高速・高精度に制御

FAの現場で使われている製品（PLC、サーボドライバ）の構成により  
ロボットを動かす5軸のモータを高速・高精度に制御（全てオムロン製品）

## Programmable Logic Controller (PLC)

- ラケットのスイング命令からロボットの軌道計画を計算
- 1msecの周期でロボットを高速制御

## サーボドライバ

- モータを駆動、フィードバック制御

ロボット軌道命令



モータ

ラケットのスイング命令

- 位置
- 姿勢
- 速度
- タイミング

PC



デルタロボット  
(3軸+2軸)

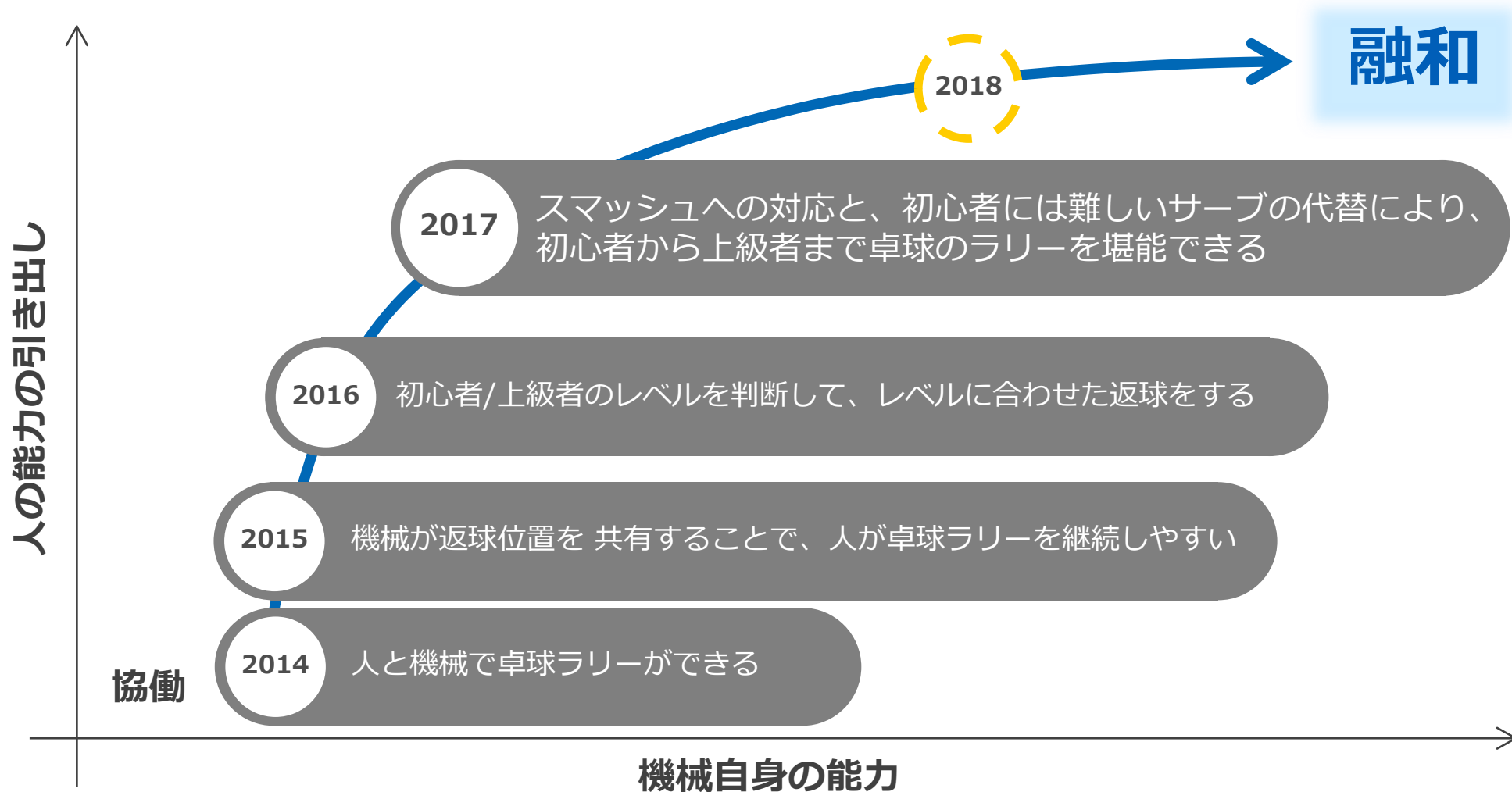


# Contents

1. 卓球ロボット開発の目的
2. フォルフェウスの基本技術
- 3. フォルフェウス開発史**
4. 今後の進化の方向性

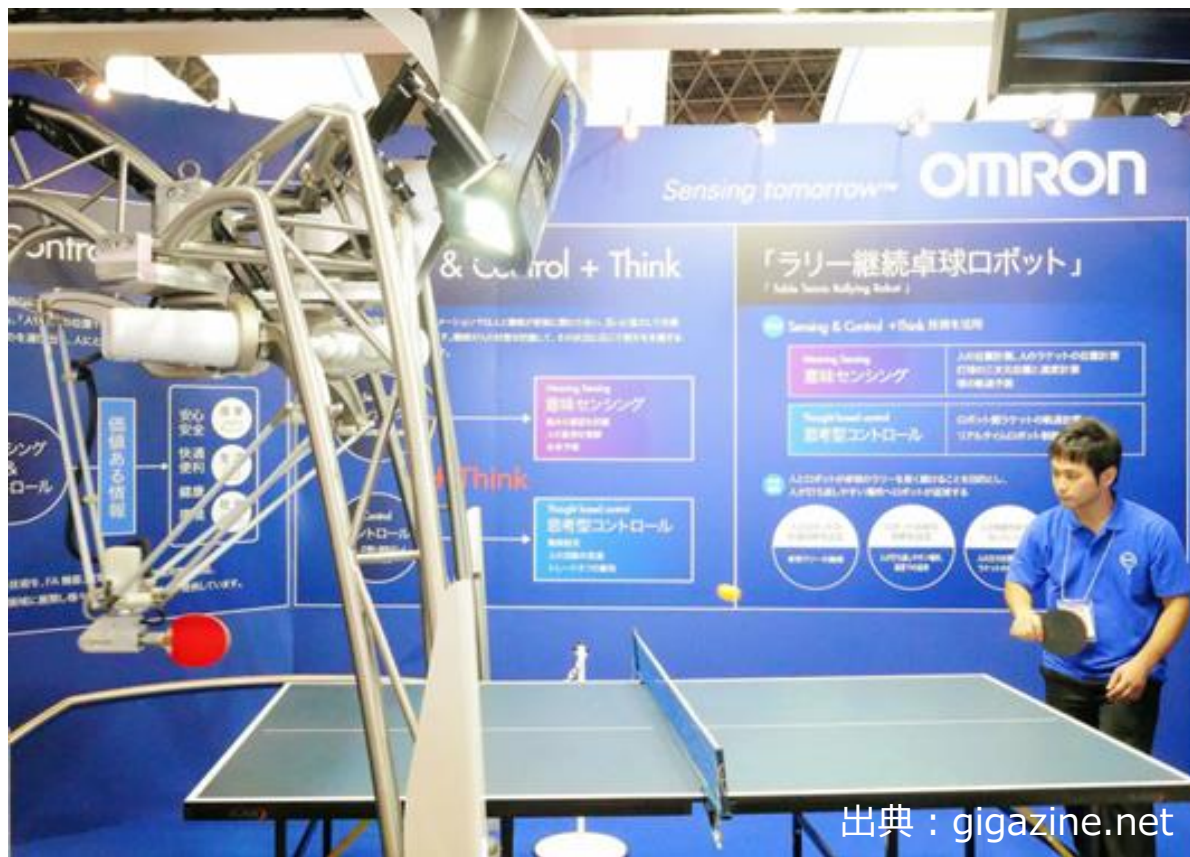


# 「フォルフェウス」は「融和」を目指して進化してきた



# 2014 : 人とラリーのできる卓球ロボットの登場

人と機械の新しい関係を象徴するラリー継続卓球ロボットを  
CEATEC JAPAN 2014で初お披露目



CEATEC JAPAN  
米国メディアパネル  
イノベーションアワード受賞

# 2015 : 人にラリーをコーチング

ロボットからの返球位置を卓球台に表示することで、ラリーが継続するようにコーチング



「世界初の卓球トレーニング  
ロボット」として  
2016年9月に  
ギネス世界記録認定

# 2016 : AI卓球ロボット～人の実力に合わせて返球～

相手の上手さを読み取り、相手に合わせたラリーを実現

プレイヤーの卓球の上手さ  
(初級～上級)を自動で理解

プレイヤーの上手さに合わせて  
動作モードを変化

誰でも卓球が  
上達する

3次元の身体位置  
情報(頭、腕など)

Deep  
Learning

3次元のボール  
軌跡情報



初心者にはEasyモード



上級者にはHardモード

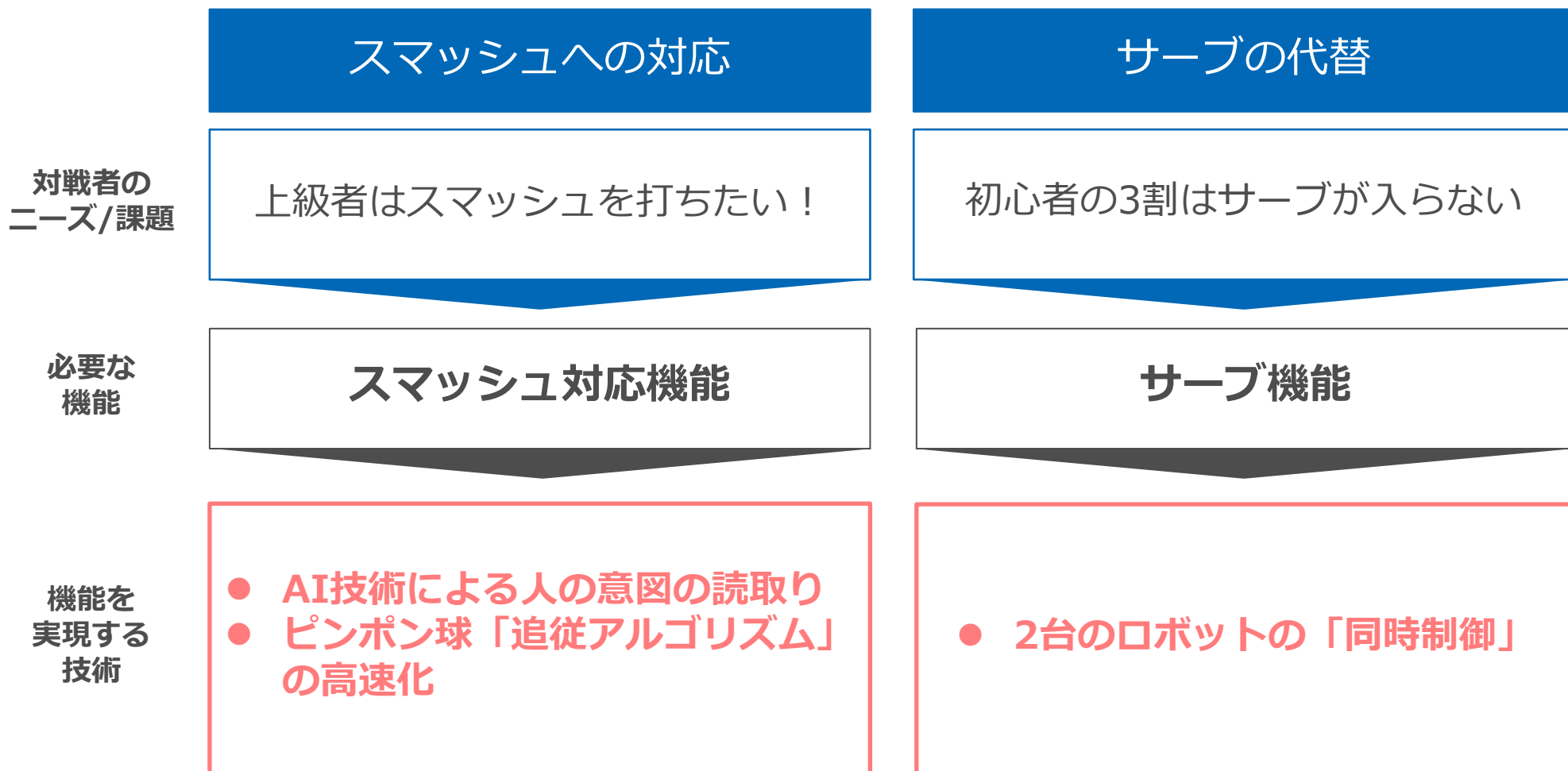


# 100人以上のラリーデータを用いて学習



# 2017 : 初心者から上級者まで楽しめるロボット

スマッシュへの対応と、初心者には難しいサーブの代替により、初心者から上級者までラリーを楽しむことができる



# 人がやりたいことを先回りして予測する



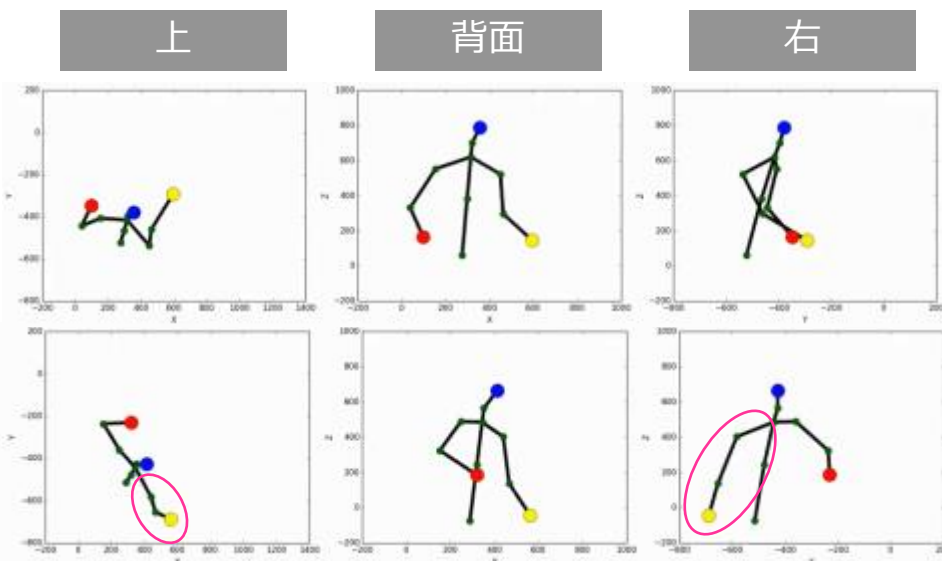
人体センサー  
(Kinect)

対戦者の身体の動きをAI技術で解析  
スマッシュを打とうとする気配を読み取る



普通の  
返球

スマッシュ



解析画像

# 機械ができることの幅を広げる

違う種類の2台のロボットの「同期制御」

人のようにトスを上げてサーブする

ピンポン球のトス上げ (左腕)

**オムロン**

垂直多関節ロボット  
Viper650

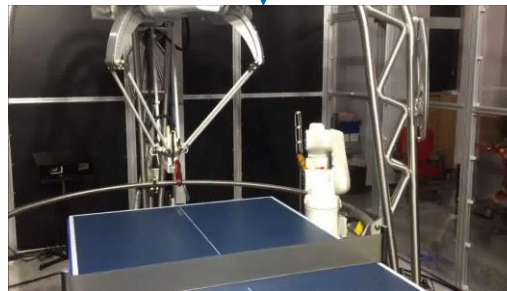


ラケットのスイング (右腕)

一般産業用  
パラレルリンク  
ロボット



1/100秒以下の  
精度で同期





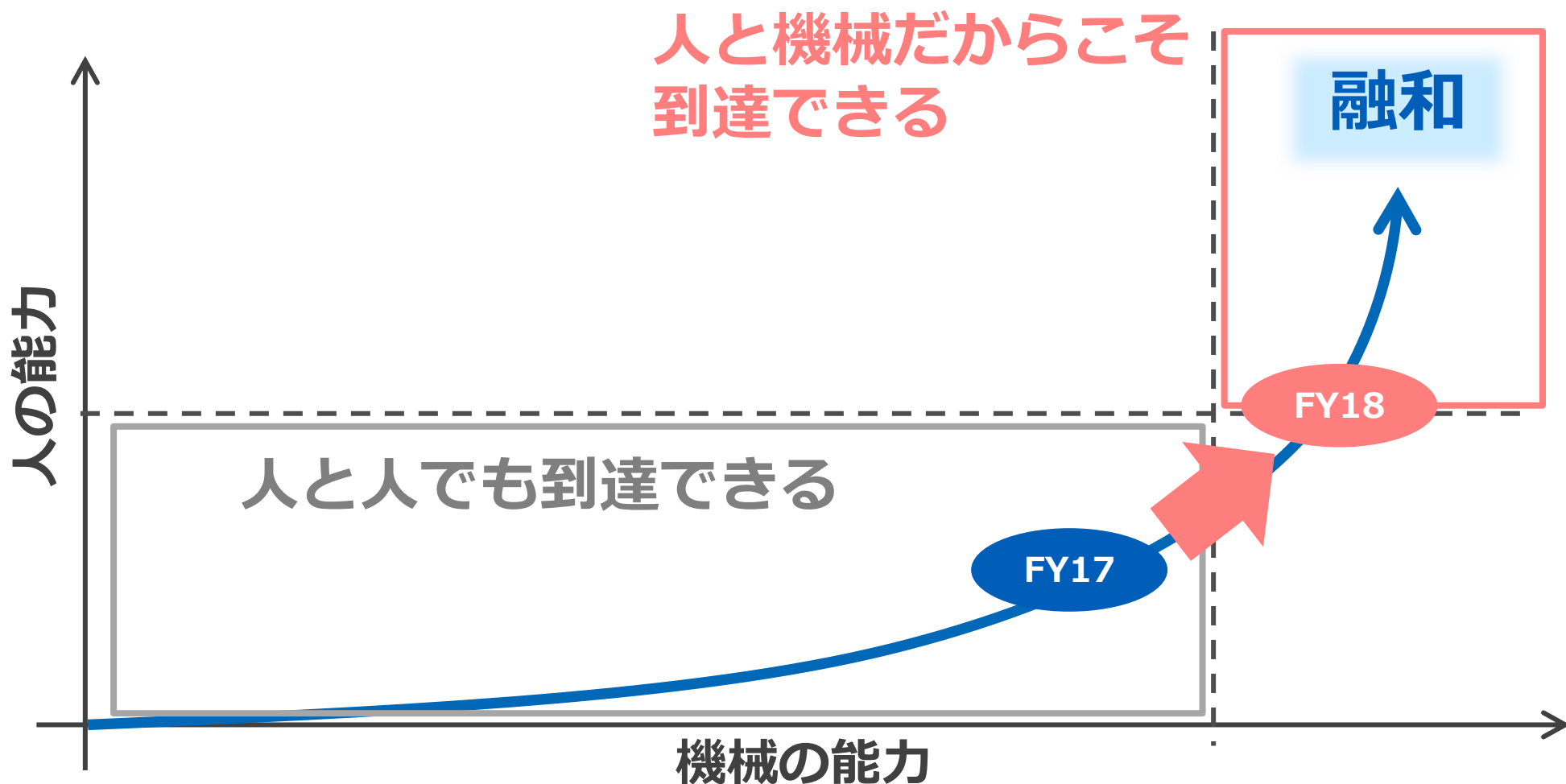
# Contents

1. 卓球ロボット開発の目的
2. フォルフエウスの基本技術
3. フォルフエウス開発史
4. **今後の進化の方向性**

# 「融和」のアップグレード

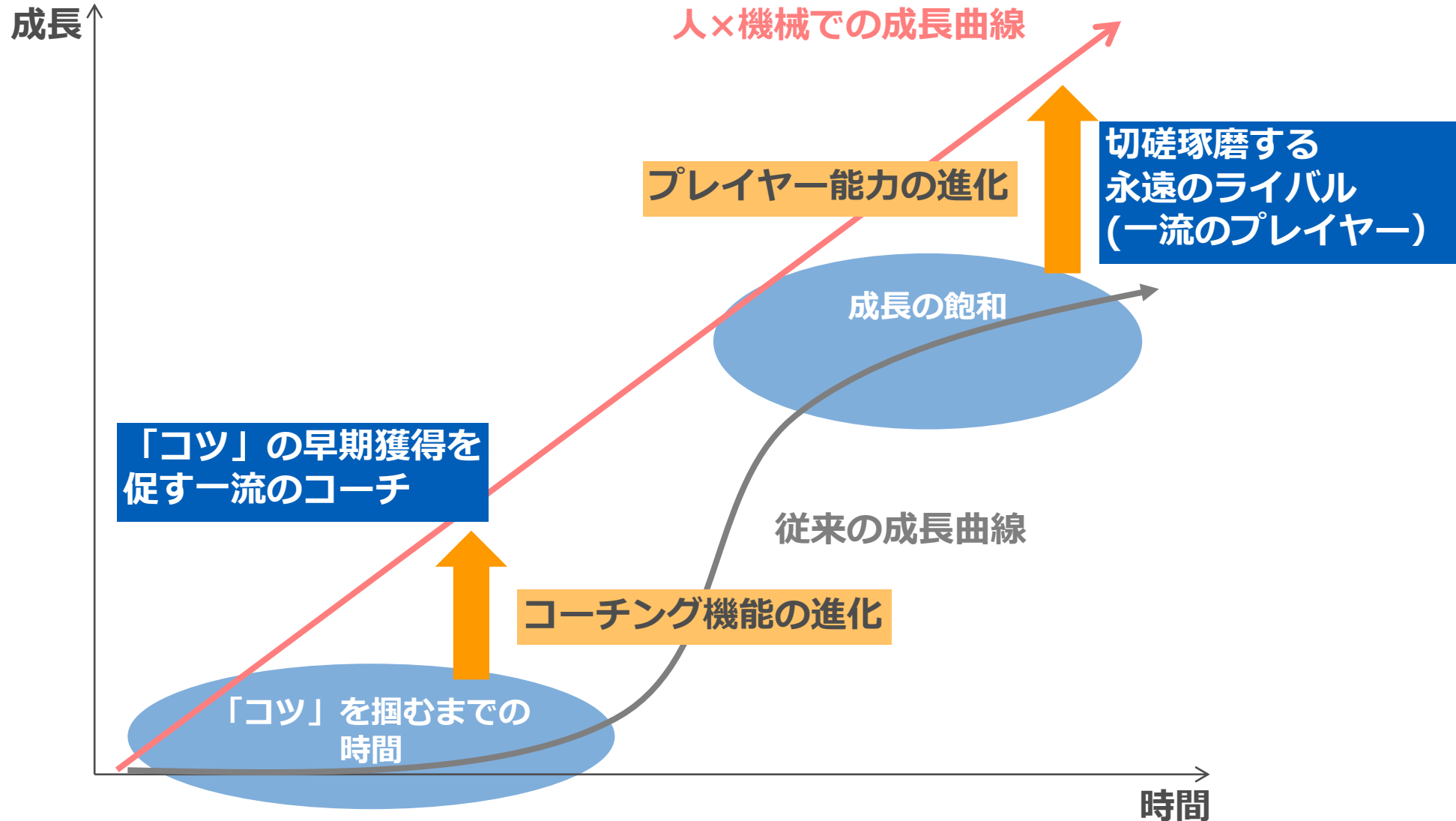
～FY17：人の成長をサポート

FY18～：人と機械で人の限界を引き上げる



# 人と機械で人の成長曲線を変えたい

ロボットのコーチング&プレイヤー能力を更に進化させる



# キーワードは「人理解」

## 人の「技」を理解する

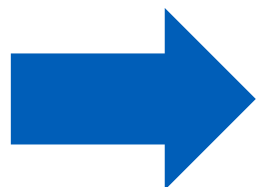
- ・ 上級者は状況や相手を見て、適切な球種を繰り出す
- ・ プロのスマッシュ時のスイング速度は20m/s
- ・ 一瞬ラケットを当てるだけで60rpsの回転

## 人の「感覚」を理解する

- ・ 人間の反応時間 = 約0.5~0.8s  
(視覚刺激により前後左右などに移動する場合)  
⇔ プロのラリー時間は早い時には片道0.2~0.3s
- ・ 上級者は一瞬で相手のレベルを把握できる

## 人の「心」を理解する

- ・ プロのコーチは人に合わせて上手にやる気/能力を引出す



「理解」から「共進化」へ

# 今後の進化にご期待ください！

次は皆様とラリーできる日を楽しみにしています！



# ご清聴ありがとうございました

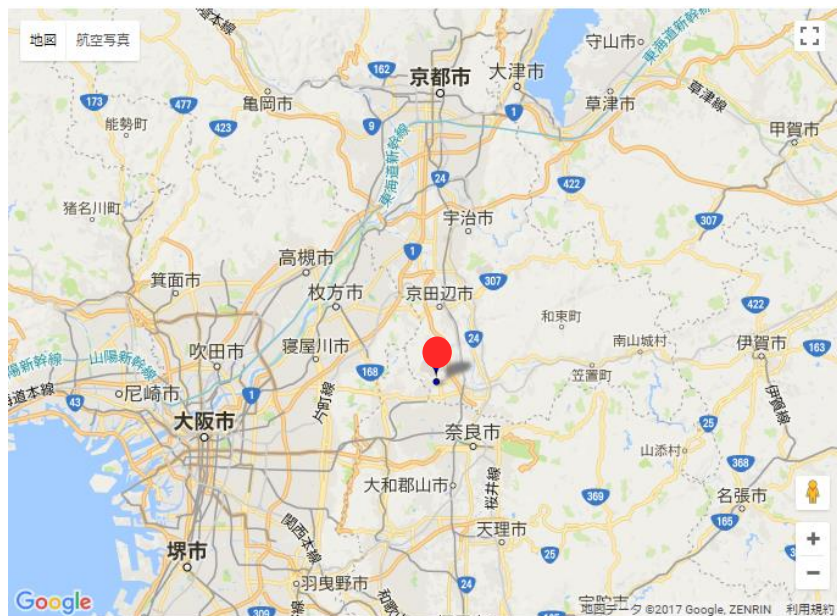
京阪奈イノベーションセンター

研究開発拠点



京都府木津川市木津川台9-1

けいはんな学研都市



連絡先

オムロン株式会社 技術・知財本部  
組込システム研究開発センタ

八瀬 哲志

Mail :

[satoshi\\_yase@omron.co.jp](mailto:satoshi_yase@omron.co.jp)

**OMRON**