

# 人間と機械の関係から 見る機械工学・ロボット 工学の進む道

2014年3月17日

大日方五郎

名古屋大学エコトピア科学研究所

# 構成

- **動機（夢）**

歴史、コンピュータ、ロボット

- **研究テーマに共通するもの**

機械系と制御系の統合化設計、人間機械系

- **学術の視点、これからの機械工学・制御工学**

ニーズではなくシーズから駆動されるもの

- **これからの機械工学と教育**

人間と機械の関係から見える機械工学・ロボット工学の将来

# 動機

## 大日方略歴

東北大学機械工学科入学  
東北大学機械工学専攻博士課程修了  
秋田大学生産機械工学科講師  
助教授 ANU客員研究員  
  
教授  
TU Delft, Purdue Univ. 客員教授  
名古屋大学機械理工学専攻教授  
先端技術共同研究センター教授  
エトピア科学研究所教授

## 関連分野の歴史

1900

1912

1950

1964

1968

1977

1980

1984

1990

1992

2000

2003

2007

2014

ヒルベルト (フルビッツ、ハーディ)

チューリング

ノーバート・ウィーナー

グレイ・ウォルター

ユニメート (産業用マニピュレータ)

マイクロプロセッサ誕生

日本ロボット元年

既約分解法 Vidyasagar

ソニー アイボ・プロジェクト

フレデリック・カプラン

# はじめに“キーワード”が二つ

“サイバー...”

新しいコンセプトを作り出す才能

cyberspace cyberstation

cyborg cyberpunk

CyberAngels cyberathelete

cyberattack cyberbuck cybercasing

cybercitizen cybercop cybergrave, ...

“Cybernetics” proposed by

Norbert Wiener, 1948 MIT press.

— 動物と機械における**制御**と通信 —

いまや 情報技術とそれが作った世界の接頭語のようであるが？動物の運動を手本とした制御に中心がある。



<http://1000ya.isis.ne.jp/0867.html>

## グレイ・ウォルターの亀型ロボット

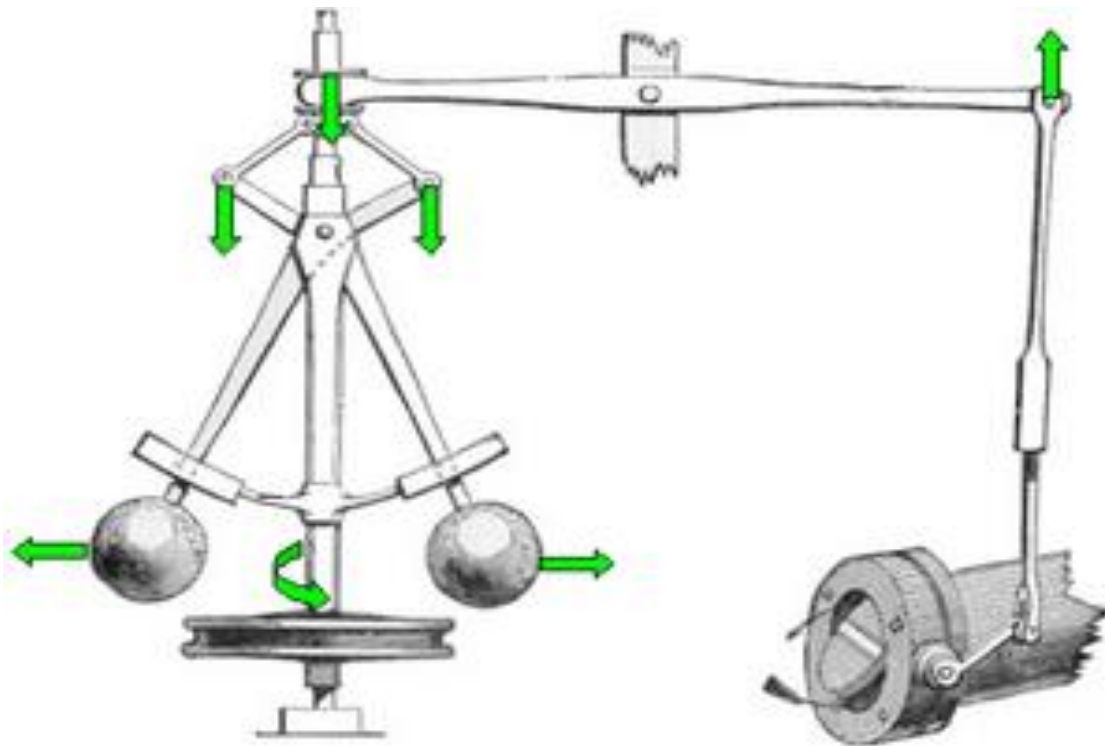
“エルマーとエルシー：「鏡の国のアリス」から” 1940年代

光センサーと真空管2本



<http://makino.exblog.jp/15632>

# 遠心调速機 Governor



蒸気機関制御装置  
ジェームス・ワット

Cyber... → Gover

フルビッツ:フィード  
バック系の安定判別  
(マックスウェル,1868)

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%AA%BF%E9%80%9F%E6%A9%9F>

# “・・・システム”

## “自動運転システム”の広がり

- ・**制御**が核心
- ・人間機械系
- ・そこそこ複雑なシステム
- ・都市交通システム、社会システム
- ・ライフスタイルとのかかわり
- ・健康やスキル、生物種としてのヒト
- ・国際的な製品だが？
- ・文化に依存する差異
- ・“心理”の占める割合



## “遊び”をどう考えるか？

- ・ヒトの特徴？
- ・文化の要素
- ・“おもちゃ”と“パートナーロボット”の違い？
- ・“パロ”のマーケット
- ・人工知能の行く末
- ・言葉が論理、言葉が思考、言葉がヒトの本質？
- ・シリアスゲーム

ソニー・アイボプロジェクト  
フレデリックカプラン

<http://sonytsu.jugem.jp/?eid=15>

# 動機 1968 サイバネティックス Cybernetics

ノバート・ウィーナー 動物と機械における制御と通信 1964日本語版  
岩波書店

ニュートンの時間とベルグソンの時間

群と統計力学

時系列、情報及び通信  
フィードバックと振動

計算機と神経系

ゲシュタルト心理学と普遍的概念  
サイバネティックスと精神病理学

情報、言語および社会  
学習する機械、増殖する機械  
脳波と自己組織系

剛体リンク系の動力学

熱力学、エネルギー変換

振動工学、制御工学、通信工学

計算論的神経科学

心理学  
整形外科学、生理学

ヒューマン・ロボットインタラクション  
夢と現実、人間と機械  
ヒューマン・インターフェース

# 学生時代 —高速力学研究所—

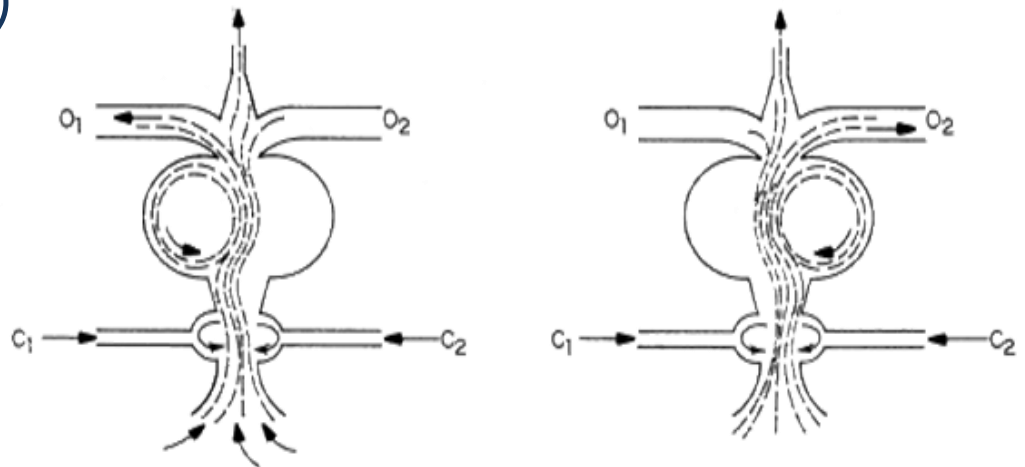
計算尺、プラニメーター



[http://pds.exblog.jp/pds/1/201202/19/09/c0164709\\_20432841.jpg](http://pds.exblog.jp/pds/1/201202/19/09/c0164709_20432841.jpg)

流体素子

フリップフロップ  
(1ビットのメモリー)



パソコンの登場  
(ドクターコースの時)

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%81%E4%BD%93%E7%B4%A0%E5%AD%90>



# そして今 2000～ ロボットは友だちになれるか

フレデリック・カプラン 日本人と機械の不思議な関係 2011日本語版

NTT出版

日本製の小型ロボットが巻き起こした驚くべき反応  
自律型ロボットの歴史における、二つの奇妙な系統  
世界初のペット・ロボットの懐胎と、その必然的な無用さ  
私たちの生きる平衡世界と、その世界が動物・機械の世界と交わる場所  
未成熟なロボットと時間のかかる学習  
私たちが身の回りの人間以外の存在と築く関係性  
日本の伝統文化における自然、人工物、ロボット  
機械が映し出す人間のイメージ  
ロボットを飼い慣らす子供たち  
科学、イリュージョン、ペテン師

“機械システム(robot)”は  
より直接的に人間と社会へ広がろうとしている！

# 構成

- 動機（夢）

歴史、コンピュータ、ロボット

- **研究テーマに共通するもの**

機械系と制御系の統合化設計、人間機械系

- 学術の視点、これからの機械工学・制御工学

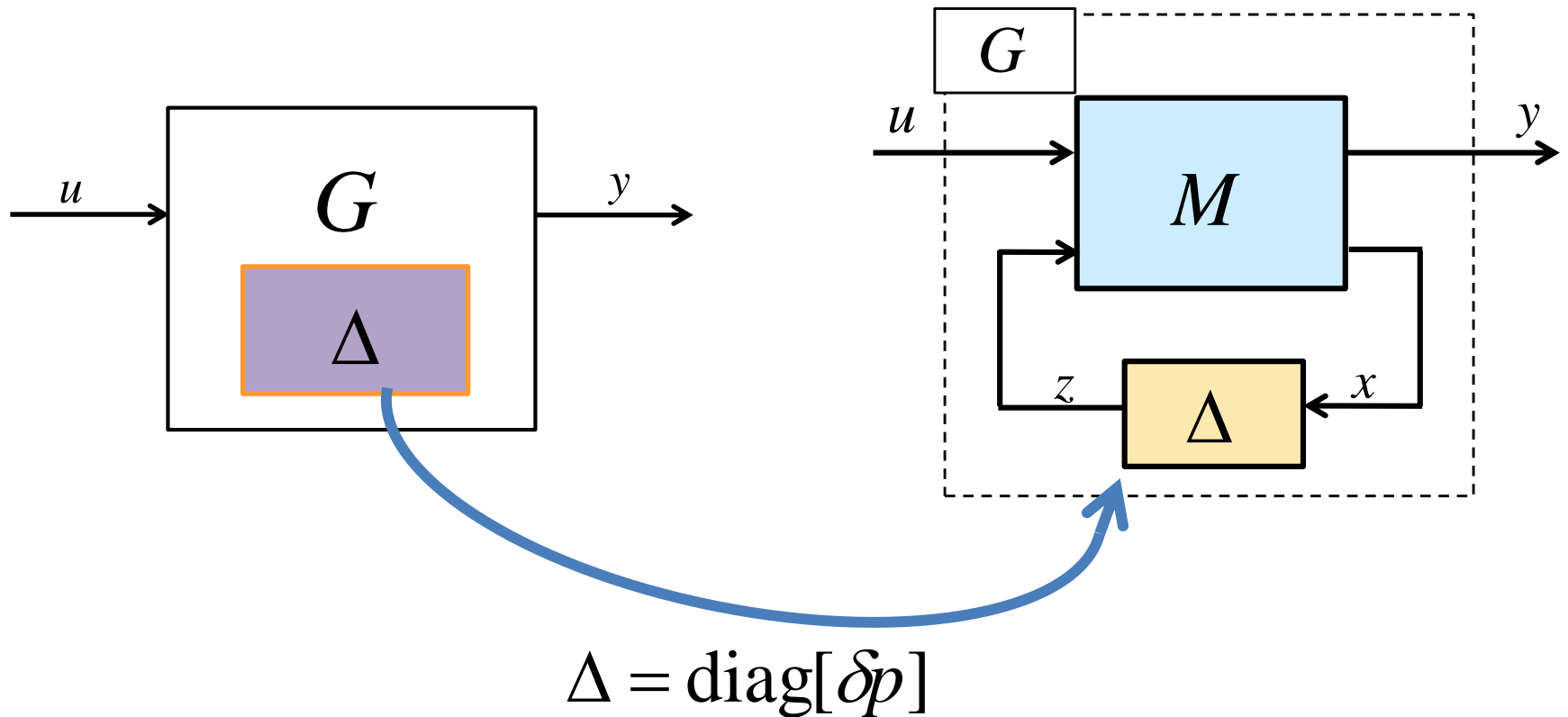
ニーズではなくシーズから駆動されるもの

- これからの機械工学と教育

人間と機械の関係から見える機械工学・ロボット工学の将来

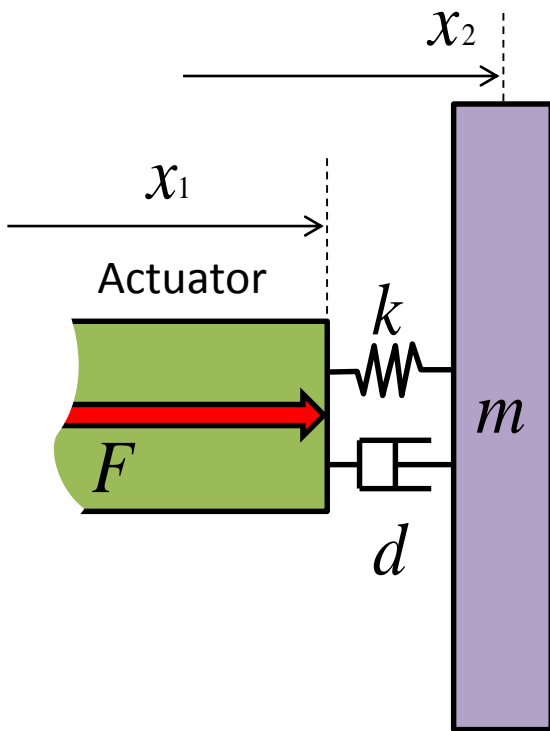
# 制御対象のパラメトリゼーション

## Linear Fractional Transformation

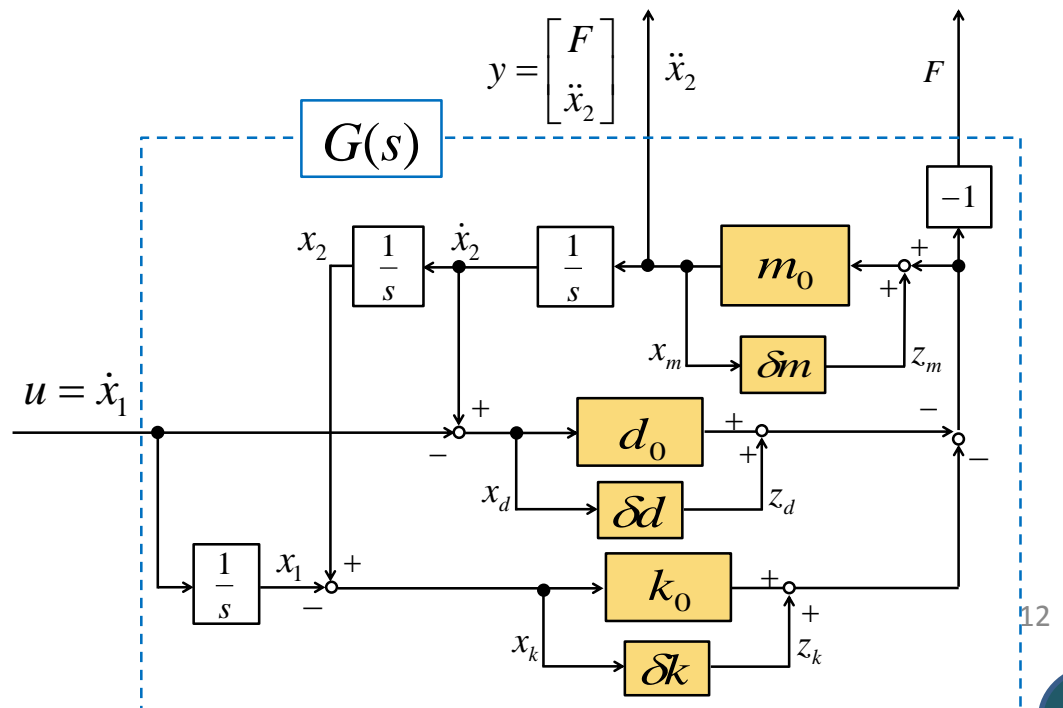


$$G(s) = M_{11} + M_{12}\Delta(I - M_{22}\Delta)^{-1}M_{21}$$

# LFTの例

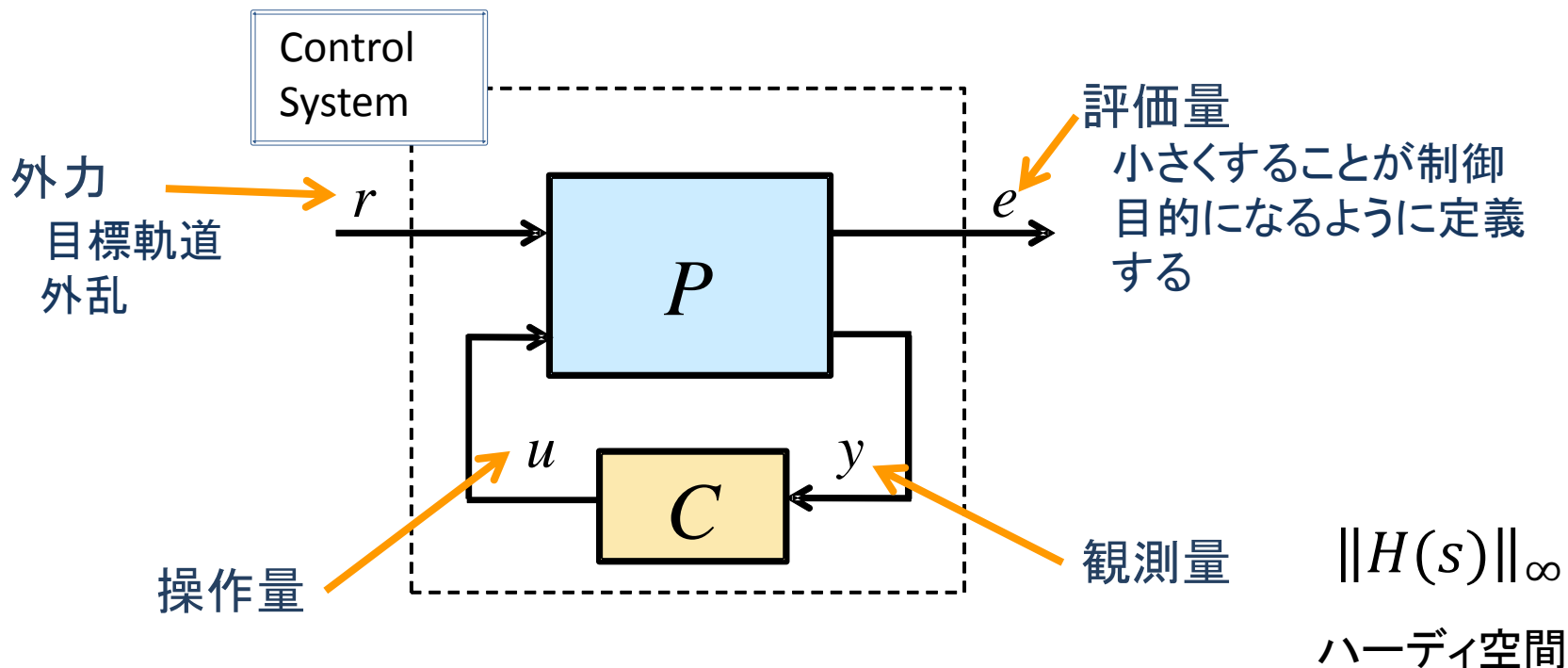


	Symbol
アクチュエータ変位	$x^1$
振動体変位	$x^2$
振動体質量	$m$
粘性	$d$
剛性	$k$
アクチュエータ発揮力	$F$



# 制御系の構造 一般化プラント

通常の制御システム設計は2ステップである！



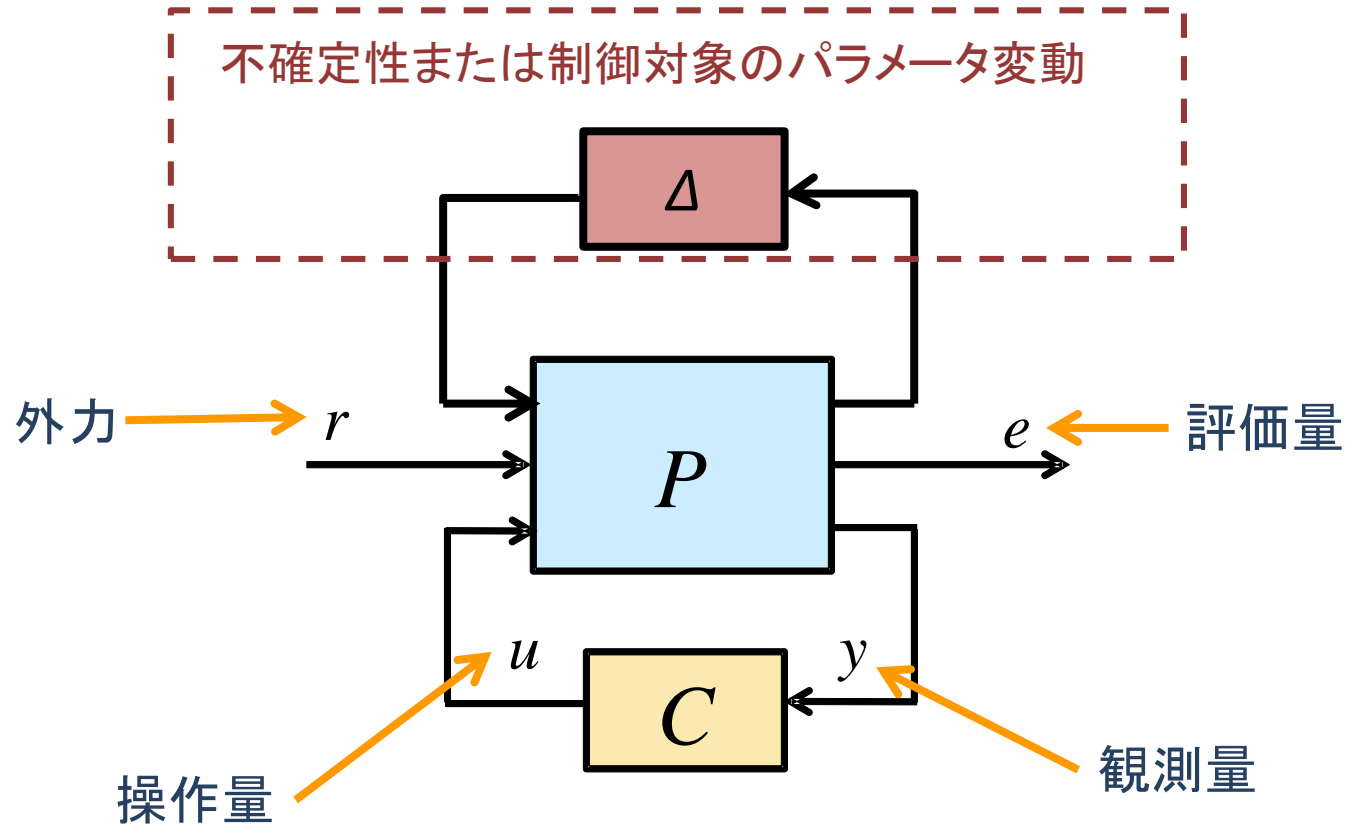
$$E(s) = H(s)R(s)$$

$$H(s) = P_{11}(s) + P_{12}(s)(I - C(s)P_{22}(s))^{-1}P_{21}(s)$$

$$\min_{C(s)} \|H(s)\|$$

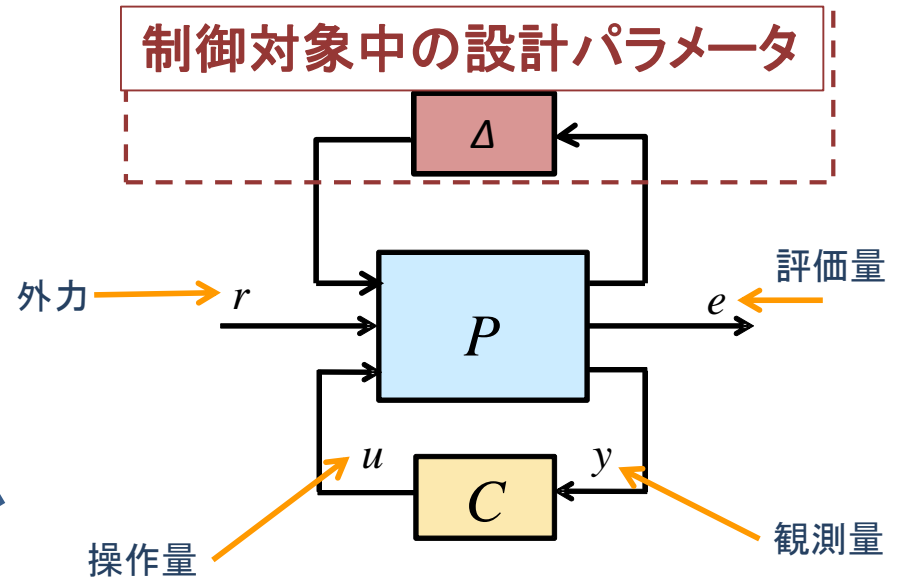
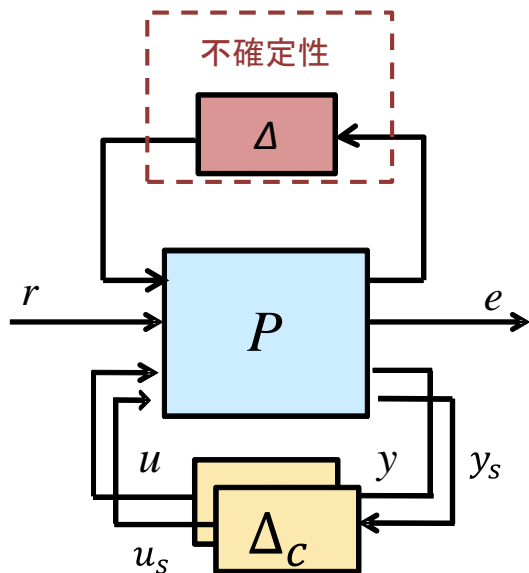
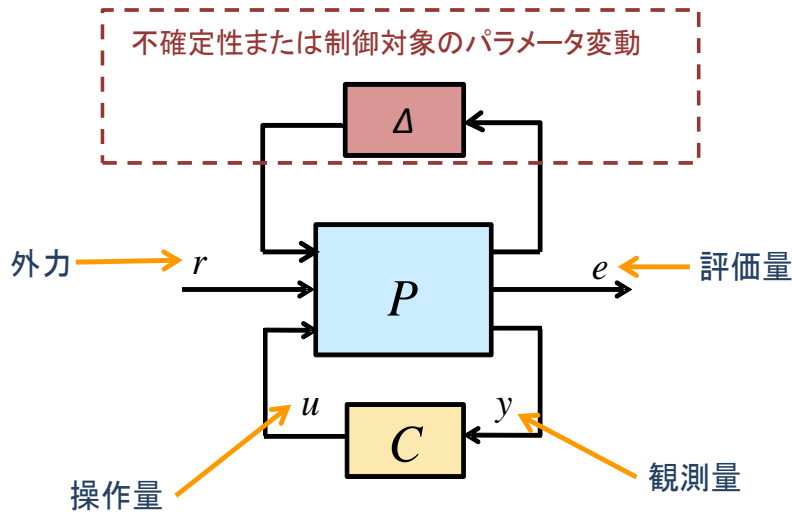
# ロバスト制御、適応制御

不確定性または変動パラメータがある場合



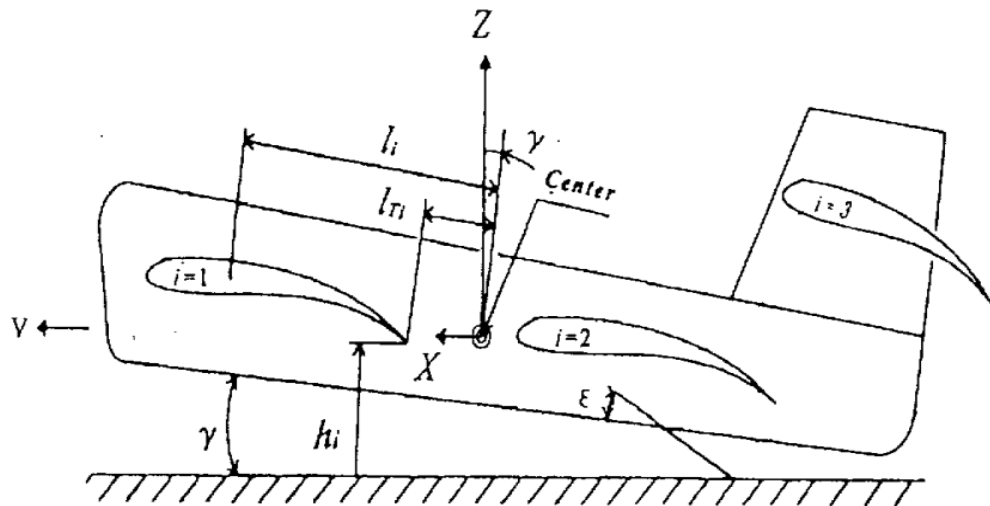
# パラメトリゼーションの統合的設計問題への適用

- より良い性能を持つ制御システムを設計できる、なぜ使われないのか？ -



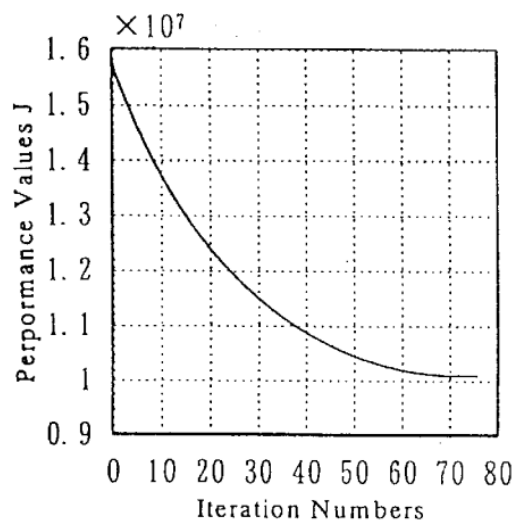
# 統合化設計の例 1 地面効果翼機

孫、大日方、他：地面効果翼機における機体設計と安定化コントローラの統合化設計、  
日本機械学会論文集C編、1999



設計するもの：

フィードバック制御器(LQR)  
翼の取り付け位置  
翼弦長

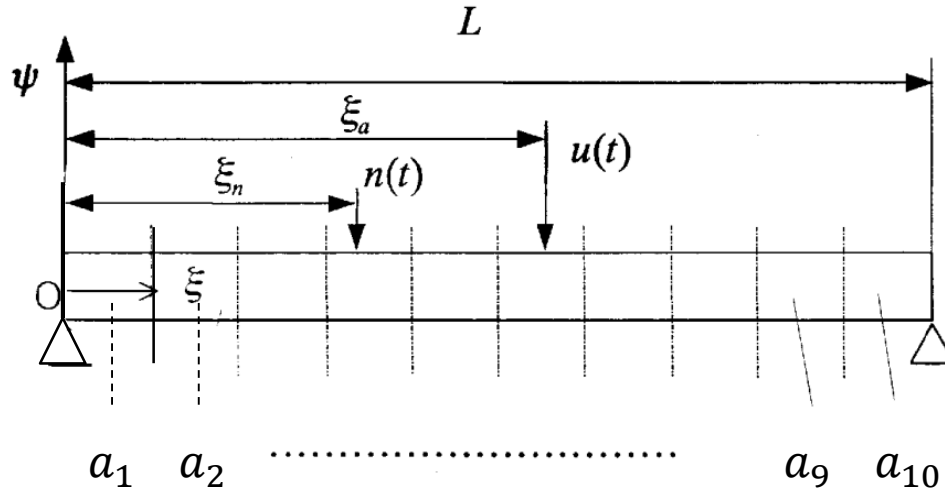


	<i>Initial Values</i> [m]	<i>Optimal values</i> [m]
$l_1$	9	7.508
$l_2$	-2	-0.142
$l_3$	-4	-5.411
$c_1$	6	3.780
$c_2$	6	5.815



# 統合化設計の例 2 はりの制振

Hiramoto, Obinata, et.al: Simultaneous Optimal Design of Structure and Control Systems Based on Youla Parameterization, Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, 2000.



設計するもの:

- フィードバック制御器
- はりの断面径
- アクチュエータの位置

$$\frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \left( EI(\xi) \frac{\partial^2 \psi(\xi, t)}{\partial \xi^2} \right) + \rho S(\xi) \frac{\partial \psi(\xi, t)}{\partial t^2} + D_o \dot{\psi}(\xi, t) = n(t) \delta(\xi - \xi_n) + u(t) \delta(\xi - \xi_a),$$

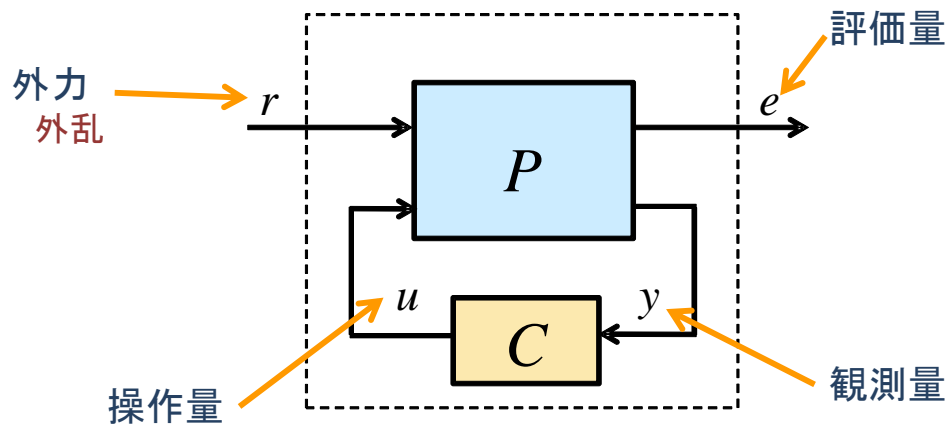
$$\psi(0, t) = \psi(L, t) = 0, \quad \frac{\partial^2 \psi(0, t)}{\partial \xi^2} = \frac{\partial^2 \psi(L, t)}{\partial \xi^2} = 0,$$

無限次元系の有限次元近似



$$M(p) \ddot{q}(t) + D(p) \dot{q}(t) + K(p) q(t) = L_n(p) n(t) + L_a(p) u(t), \quad (1)$$

# 統合化設計の例 2 はりの制振



$$P(s) = \begin{bmatrix} P_{vn}(s) & P_{vu}(s) \\ P_{yv}(s) & P_{yu}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_v & 0 & D_v \\ C_2 & D_{21} & 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

where :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M(p)^{-1}K(p) & -M(p)^{-1}D(p) \end{bmatrix},$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ M(p)^{-1}L_n(p) \end{bmatrix},$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ M(p)^{-1}L_a(p) \end{bmatrix}, \quad C_2 = \begin{bmatrix} L_a(p)^T & 0 \\ 0 & L_a(p)^T \end{bmatrix}.$$

$$J_c = \|W_v(s)G_{vn}(s)W_n(s)\|, \quad (7)$$

1. Minimize an objective function defined as

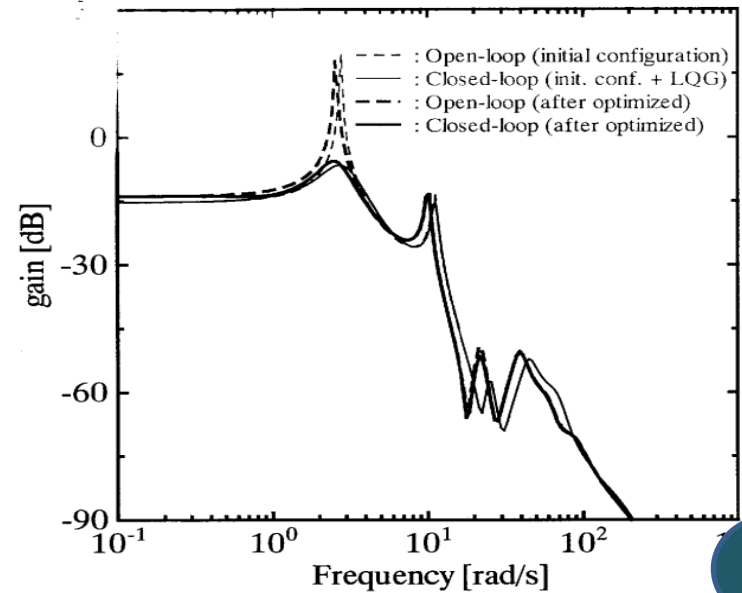
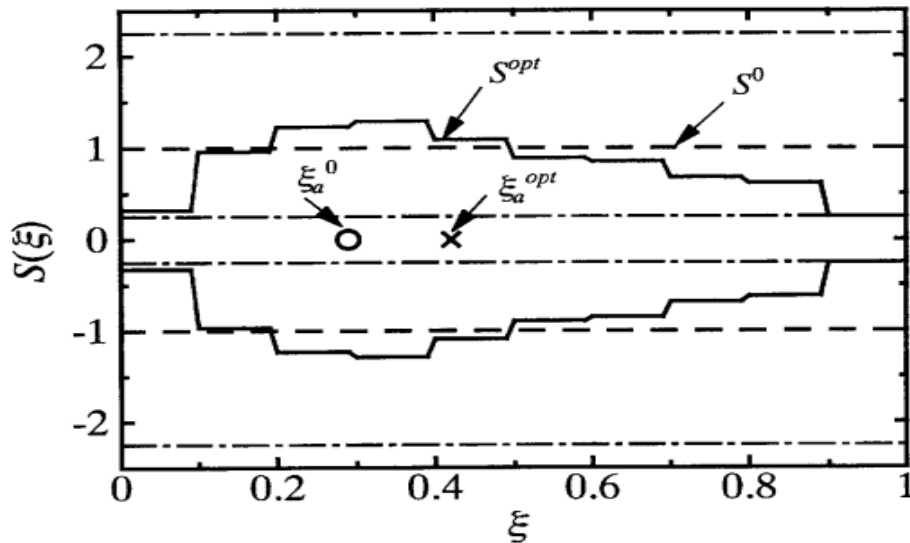
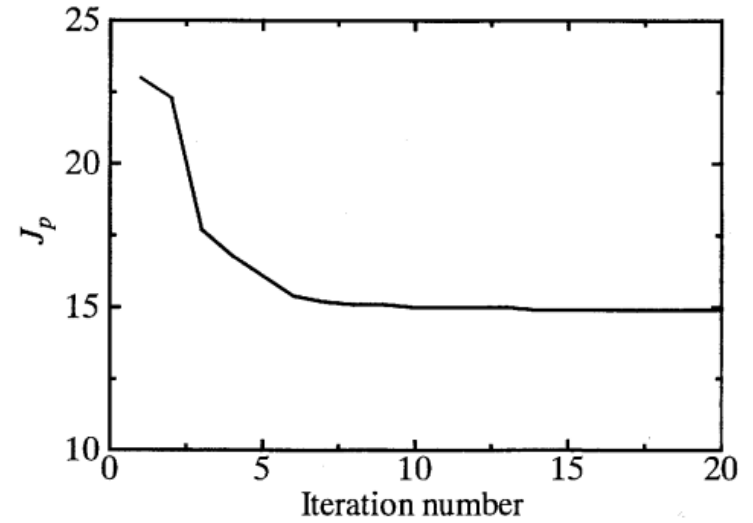
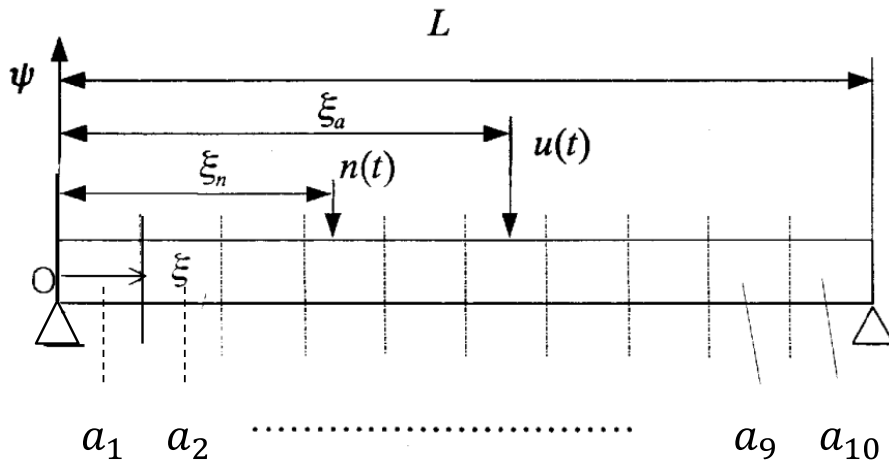
$$J_c = \|G_{un}(s)\|_2^2, \quad (25)$$

2. Satisfy an inequality constraint given by

$$\varphi = \|G_{qn}(s)\|_2^2 \leq \gamma_c, \quad (26)$$

$$J_s = \sum_{i=1}^{N_d} \frac{\rho a_i L}{N_d}. \quad (27)$$

# 統合化設計の例 2 はりの制振



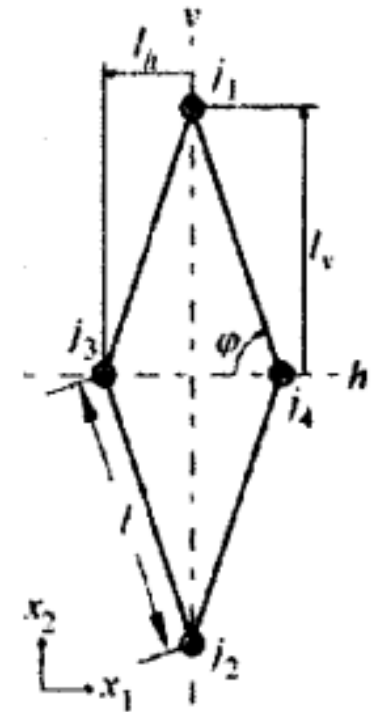
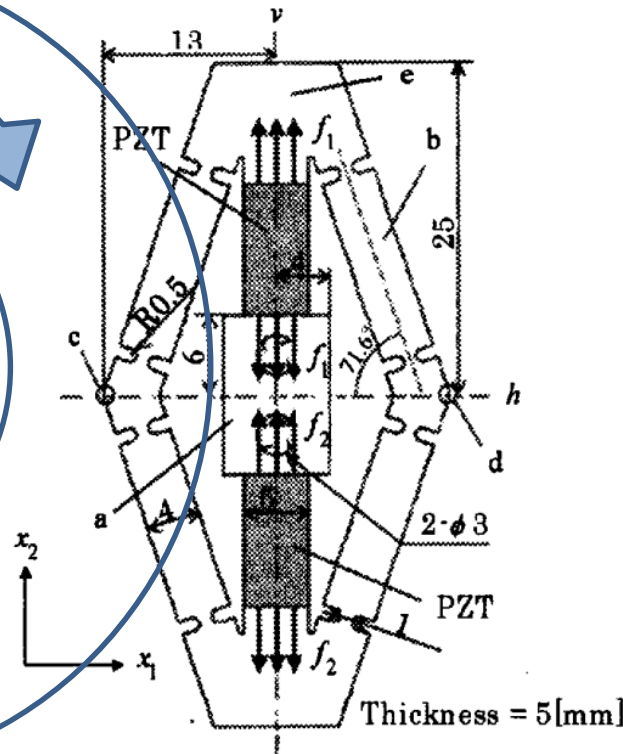
# 統合化設計の例 3 ディスクドライブ

コンピュータ用ハードディスク：競争の激化した装置、価格と高密度化・高速化

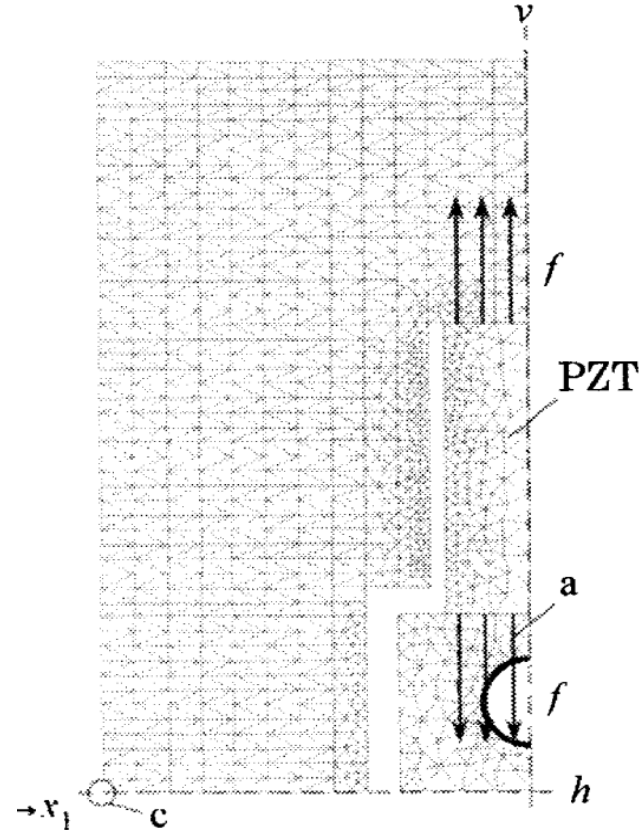
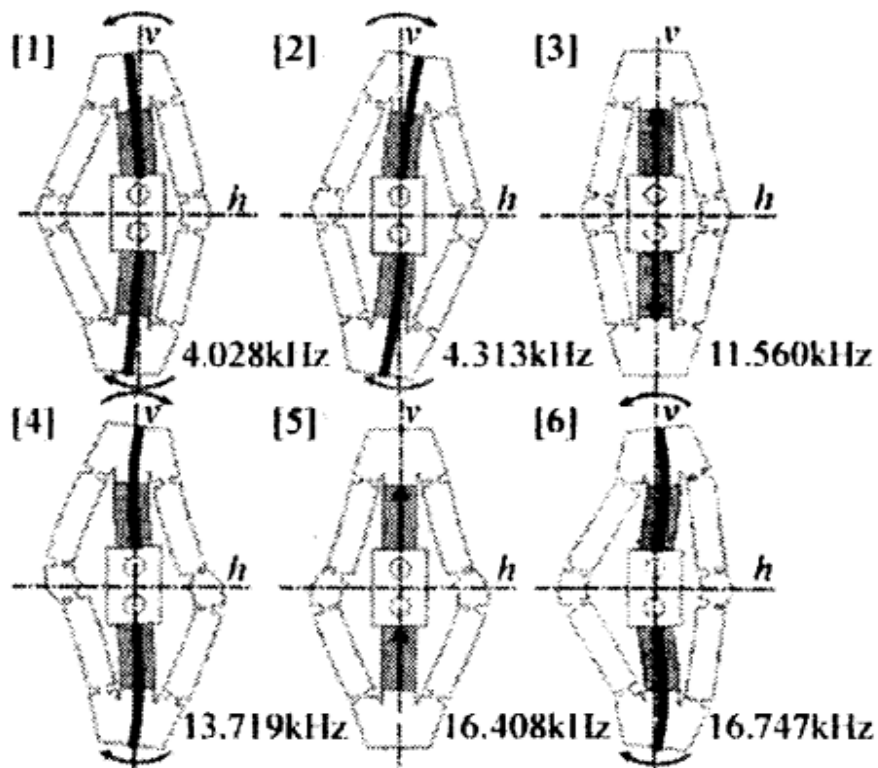
安藤、酒井、大日方：磁気記録評価装置用変位拡大位置決め制御機構の機構形状とコントローラの統合化設計、日本機械学会論文集C編、2006

狙い：

- ・カ・モーメントをヘッドアセンブリ内に閉じ込める  
→ ヘッド駆動のケーシングとの振動干渉を避ける
- ・高速化のために圧電素子駆動とし、その変位拡大機構を設計する



基本構造



Case1 : 出力変位を評価する評価関数

$$J_y = 1/(y_s / y_s^*) \quad (14.1)$$

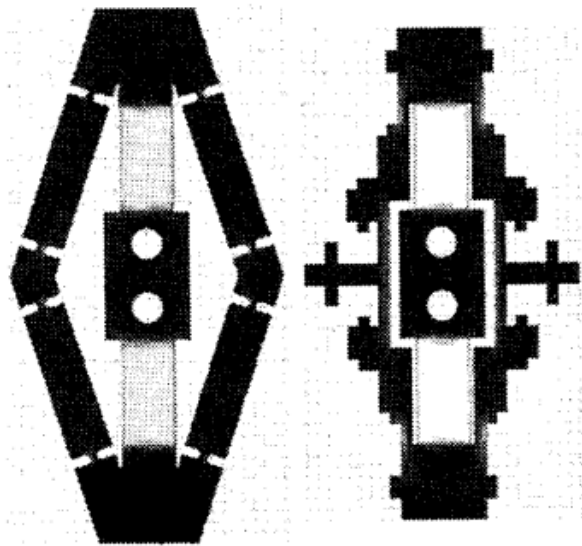
Case2 : 整定時間を評価する評価関数

$$J_T = T_s / T_s^* \quad (14.2)$$

Case3 : 出力変位と整定時間を評価する評価関数

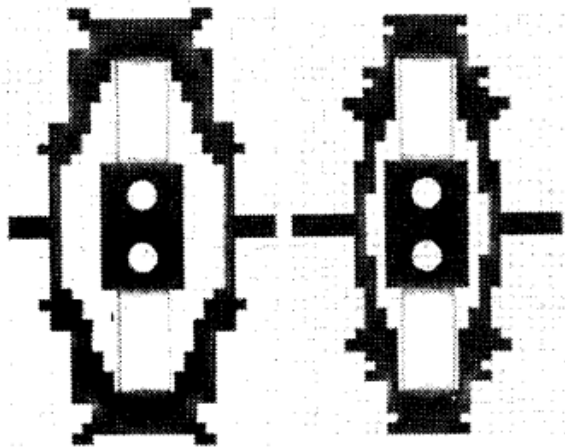
$$J_{yT} = 2 \times J_y + J_T \quad (14.3)$$

$$\left\| \begin{bmatrix} H(s) \\ I \end{bmatrix} (I + G(s)H(s))^{-1} \begin{bmatrix} I & G(s) \end{bmatrix} \right\|_{\infty} < \gamma \quad (10)$$



Case 0

Case 1



Case 2

Case 3

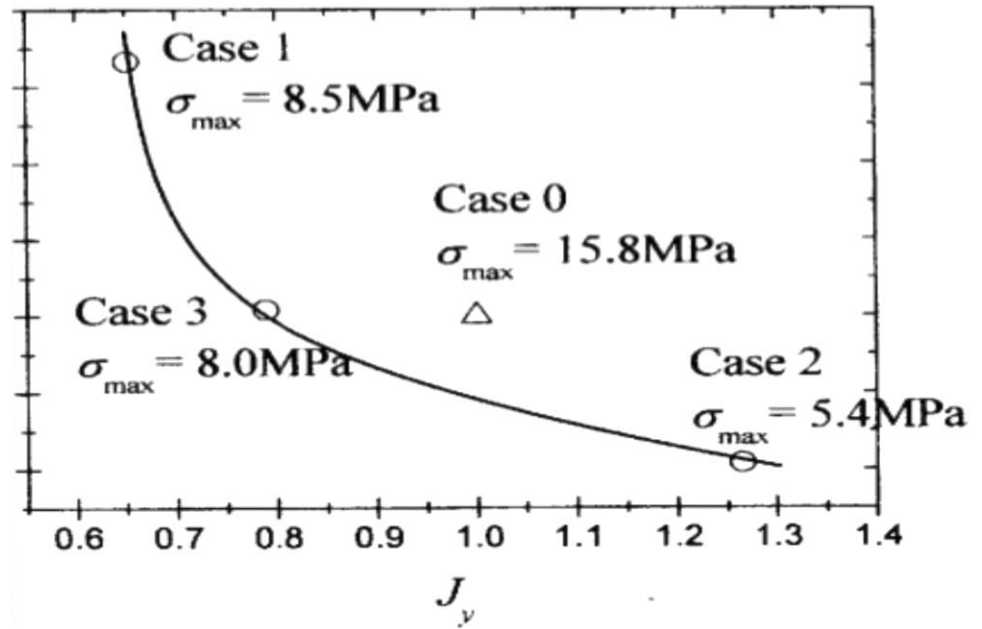


Table 1  $T_s$ ,  $\sigma_{max}$ ,  $y_s$  and  $f_1$  of case 0 to 3

	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3
$T_s$ [ $\mu$ s]	60	100	37	61
$\sigma_{max}$ [MPa]	15.8	8.5	5.4	8.0
$y_s$ [ $\mu$ m]	8.6	13.2	6.8	10.9
$f_1$ [kHz]	10.6	6.5	16.6	10.1

形の設計ができた！



# 自由度の多い複雑なシステムをどのようにして設計するのか？

モデル低次元化 Robert Skelton, Purdue Univ.

## Tensegrity structure

(クローラー・ミュージアム美術館、オランダ)

どちらが良いか？

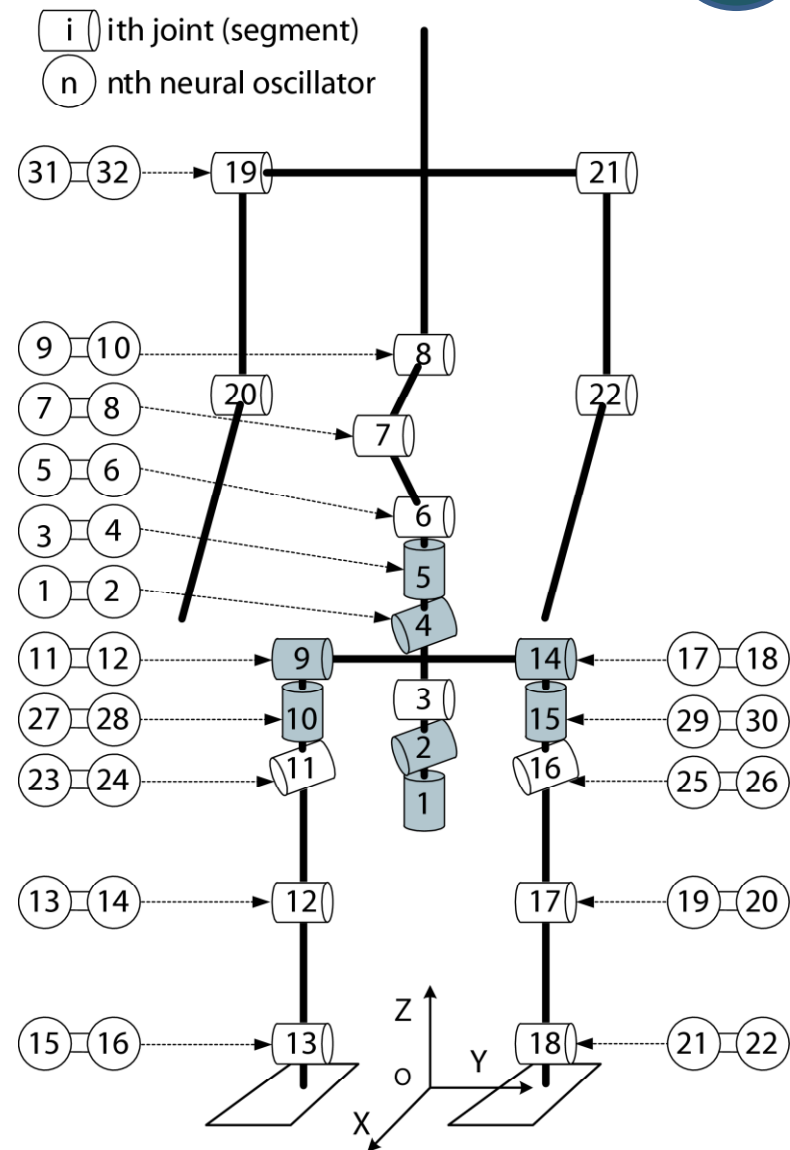
簡単なものから 複雑なものへ拡張する

○ 複雑なものを 単純化する



[http://www.kmm.nl/collection-search.php?artist=&characteristic=&characteristic\\_type=Sculpture&van=0&tot=0&start=756&reload=1](http://www.kmm.nl/collection-search.php?artist=&characteristic=&characteristic_type=Sculpture&van=0&tot=0&start=756&reload=1)

# 機能を下げないで自由度を下げる 機構の設計



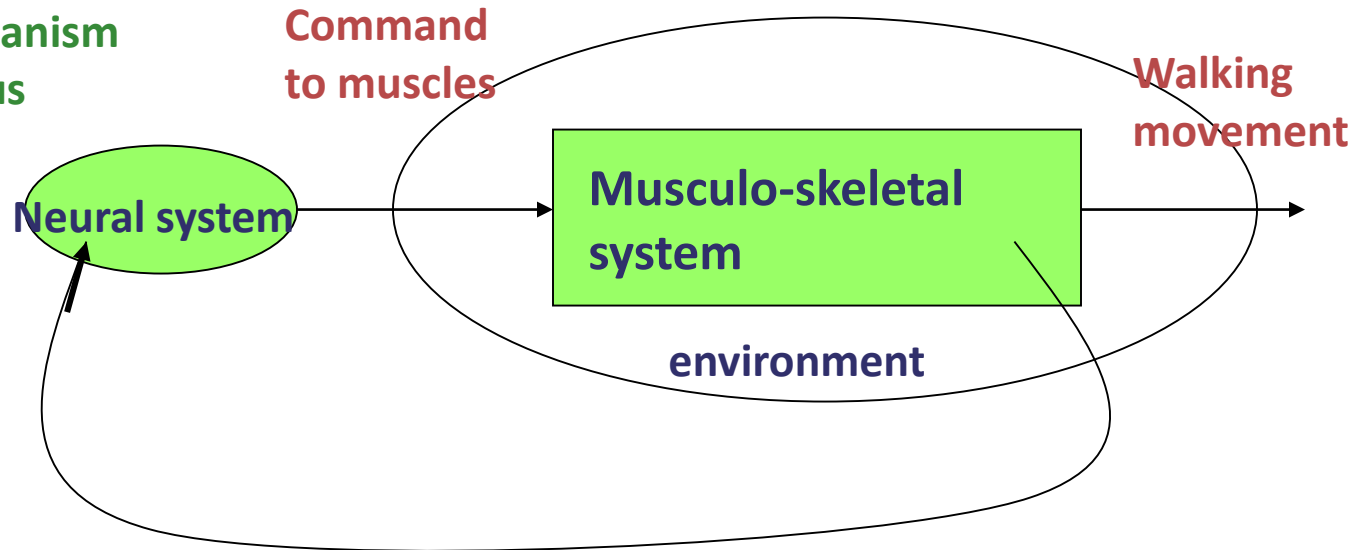
Hase, K. and Yamazaki, N. (2002). *JSME Int. J. Ser. C*, 45, 1040-1050.



# 歩行運動の生成

## - 歩行シミュレーション -

Adding a mechanism  
for autonomous  
movement

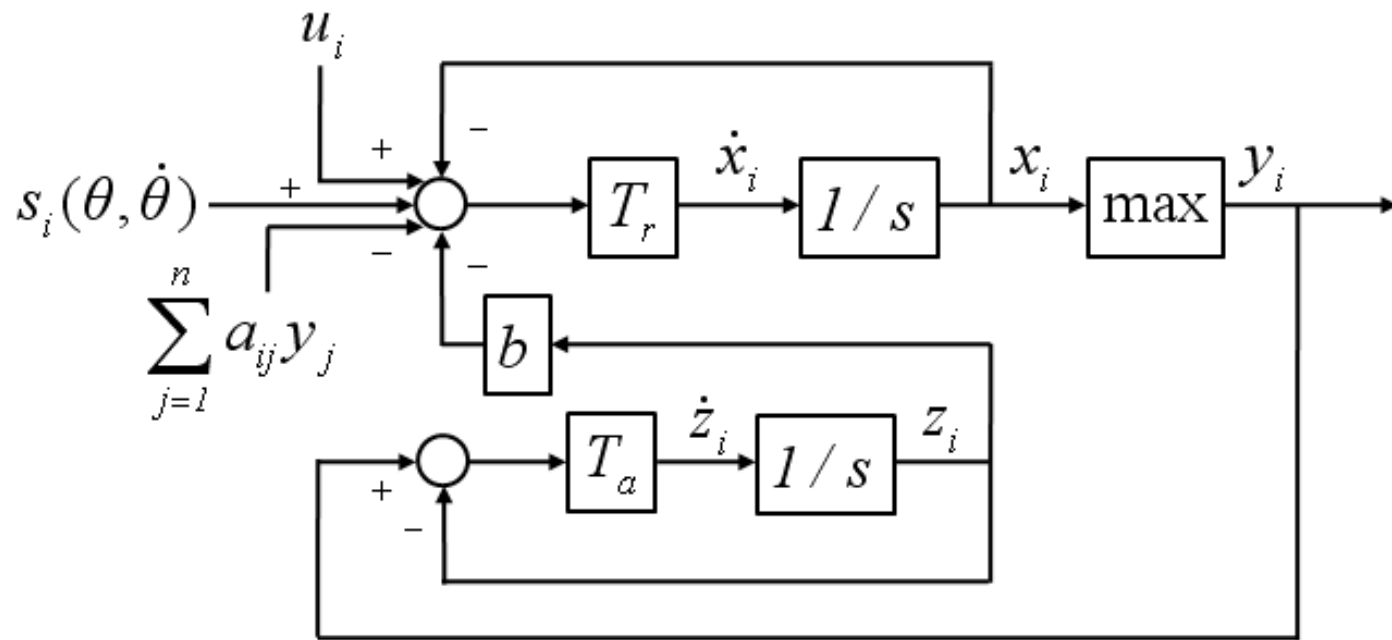


Adding feedback pass from position and orientation

2次元の筋骨格モデル、非線形振動子の引き込み現象

Taga, G., Yamaguchi, Y. and Shimizu, H. (1991).  
Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators  
in unpredictable environment, *Biological Cybernetics*, 65, 147-159.

# 神経系のモデル CPG : Central Pattern Generator

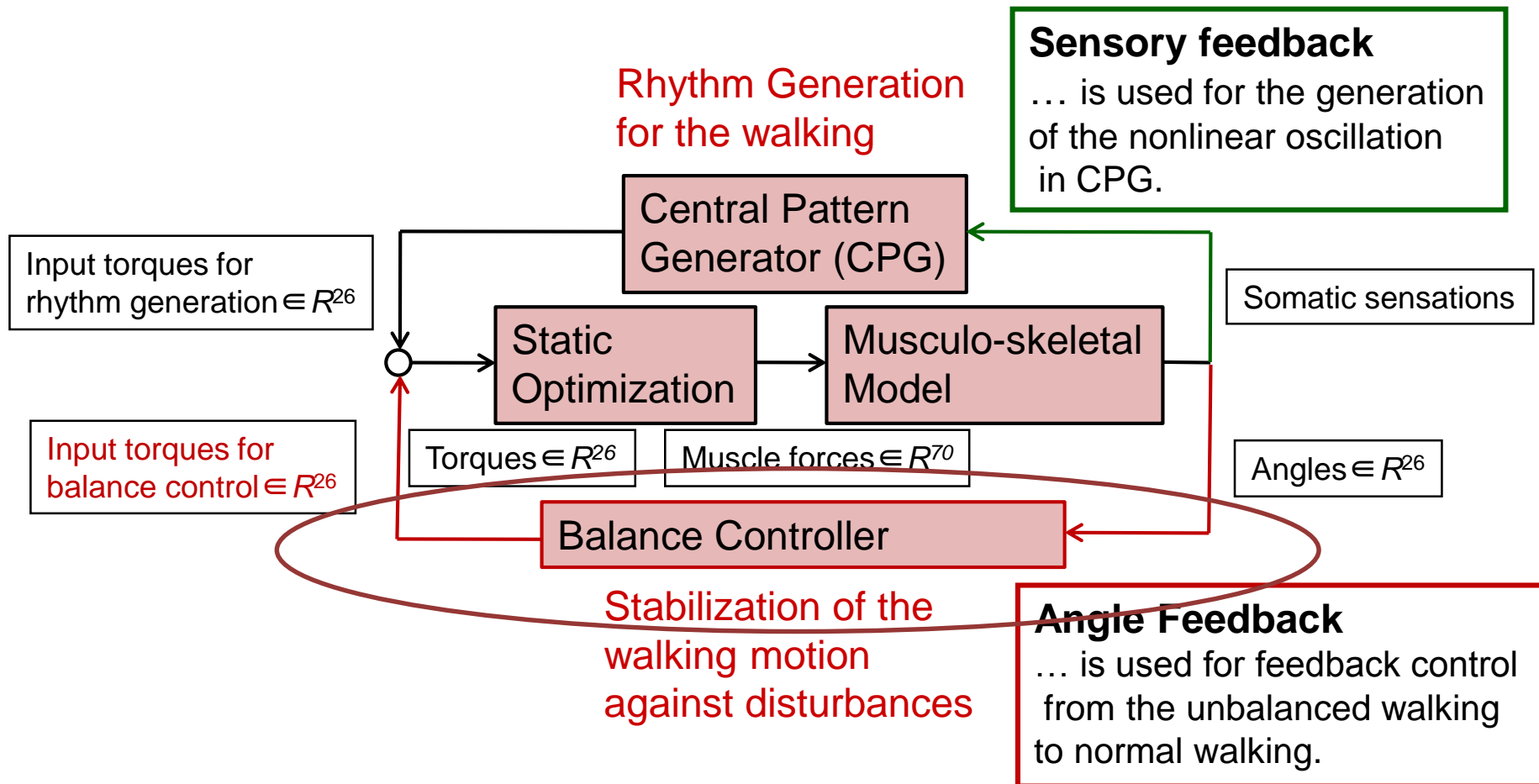


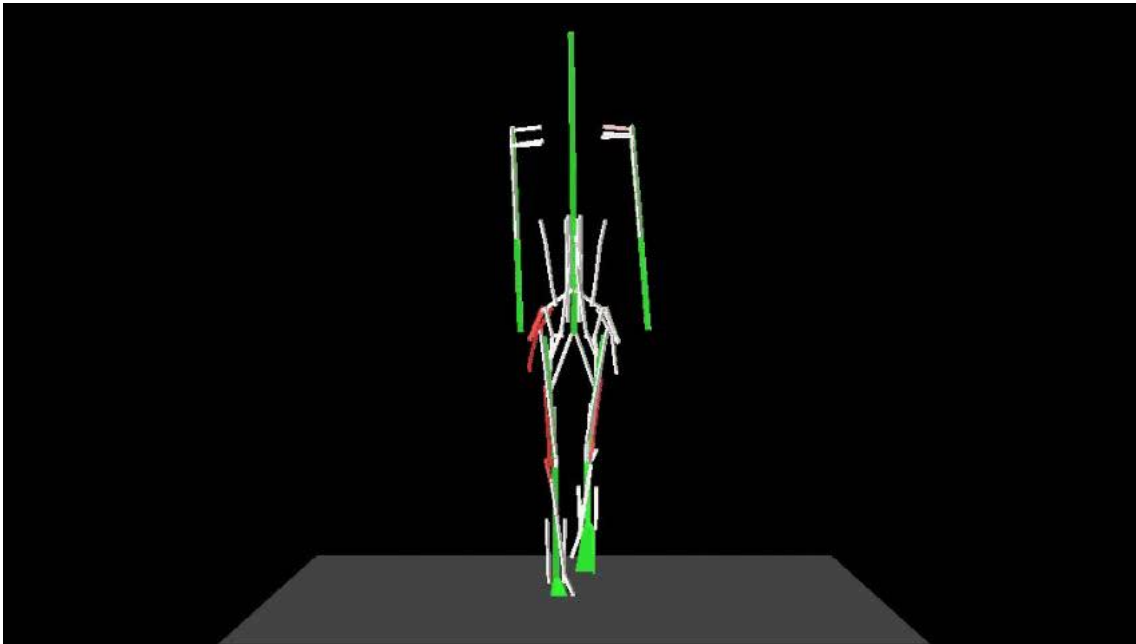
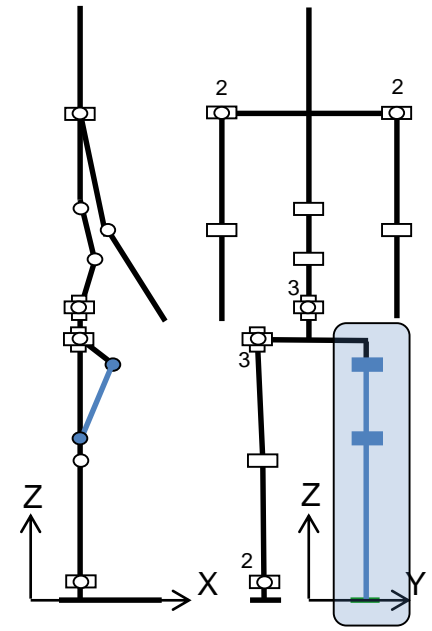
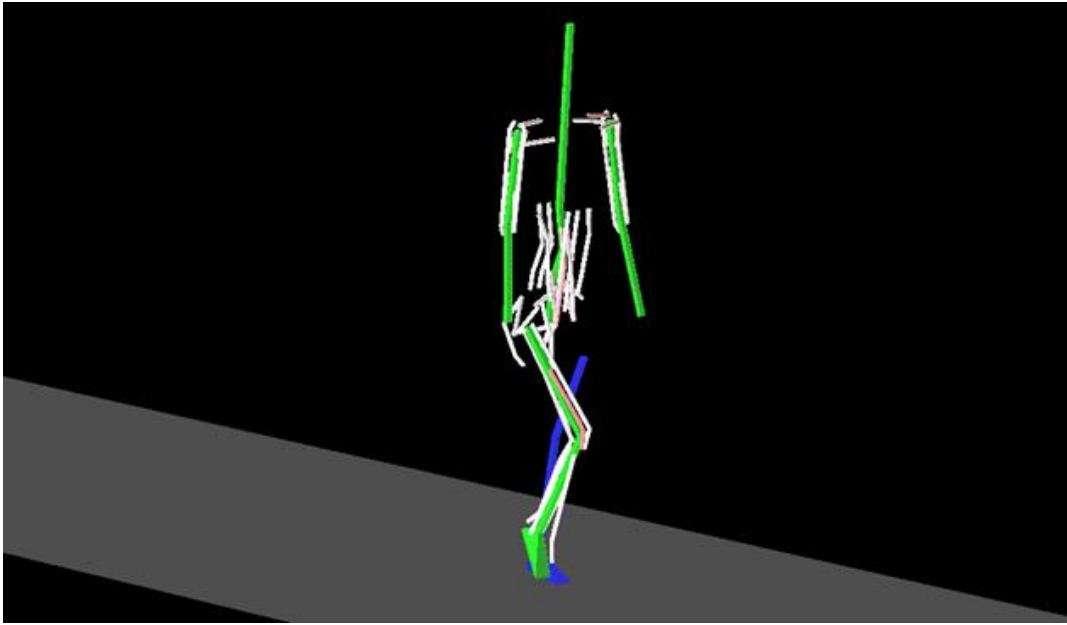
**Matsuoka, K.** (1985). Sustained oscillations generated by mutually inhibiting neurons with adaptation, *Biological Cybernetics*, 52, 367-376

$$\frac{1}{T_r} \dot{x}_i + x_i = - \sum_{j=1}^n a_{ij} y_j - b z_i + u_i + \text{Feed}_i$$

$$\frac{1}{T_a} \dot{z}_i + z_i = y_i \quad y_i = \max(0, x_i)$$

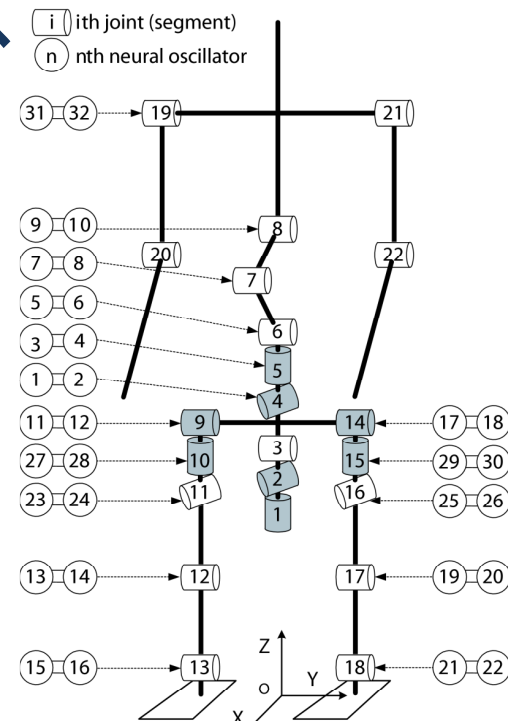
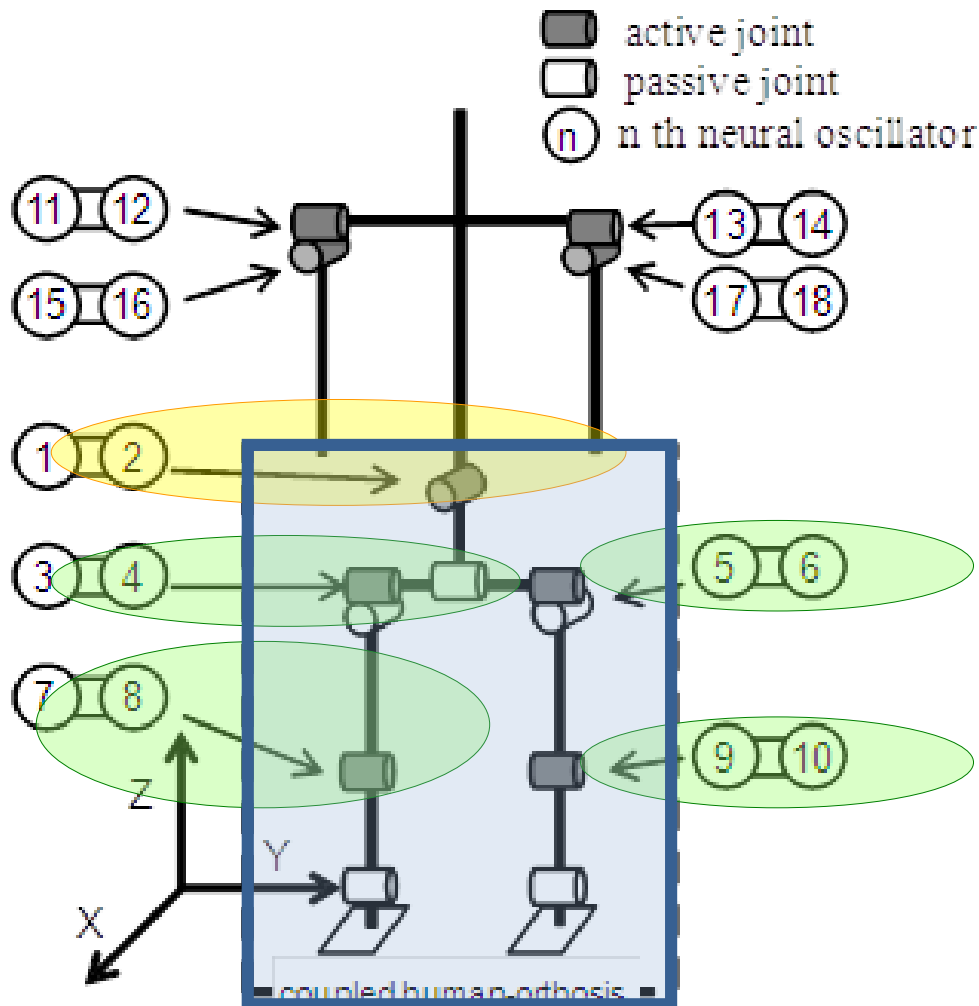
# 外乱に対するロバスト性の向上





# 少ない自由度で3次元空間を歩く

## A new musculo-skeletal model



Hase, K. and Yamazaki, N. (2002).  
*JSME Int. J. Ser. C*, 45, 1040-1050.

10 rigid links

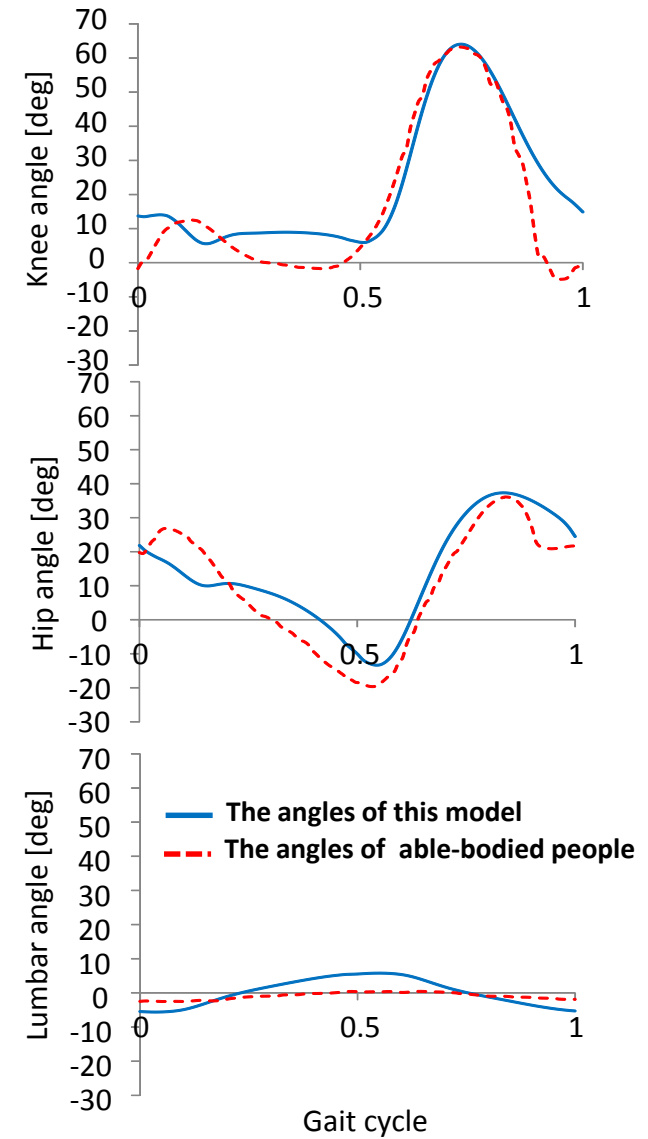
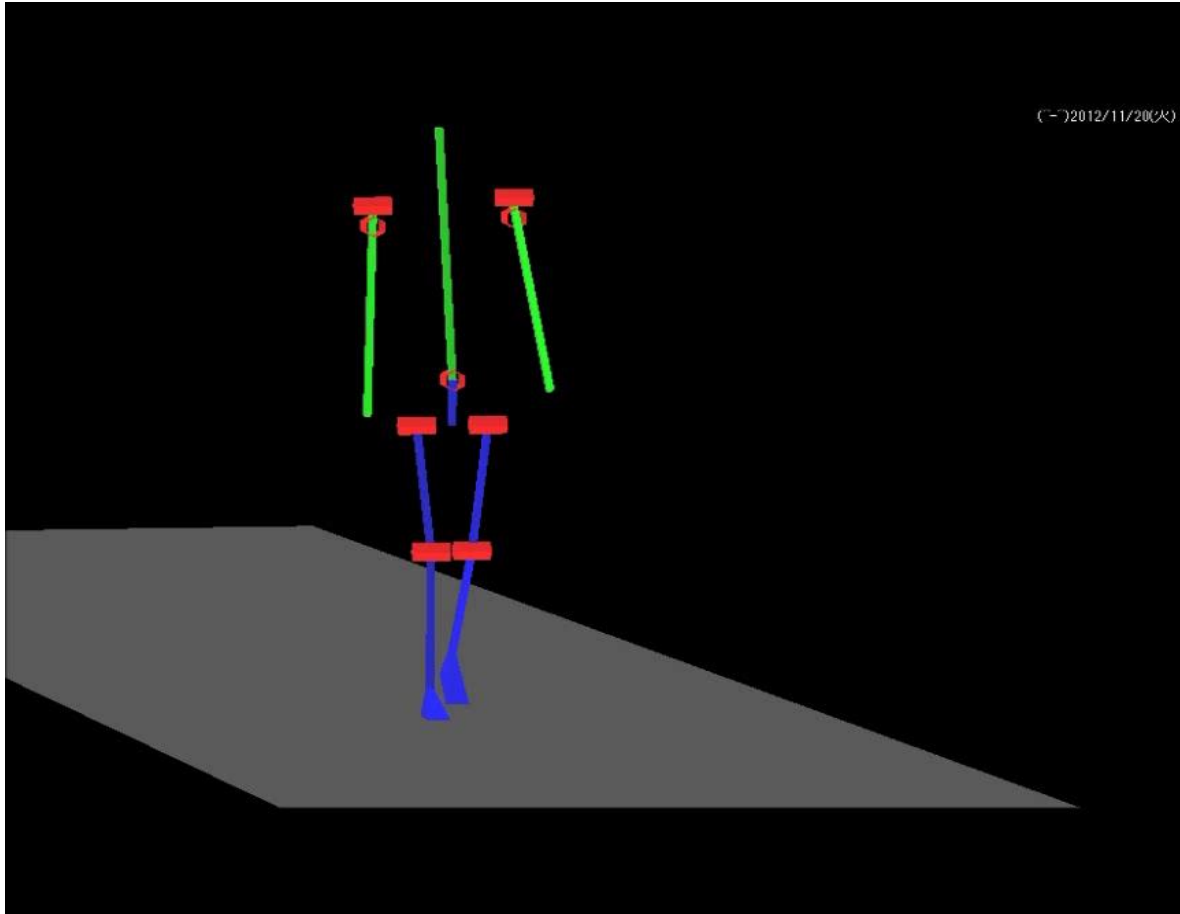
5 joints in frontal plane  
 (3 active, 2 passive)

9 joints in sagittal plane  
 (6 active, 3 passive)

, which correspond to  
 5 actuators in the assistive  
 orthosis

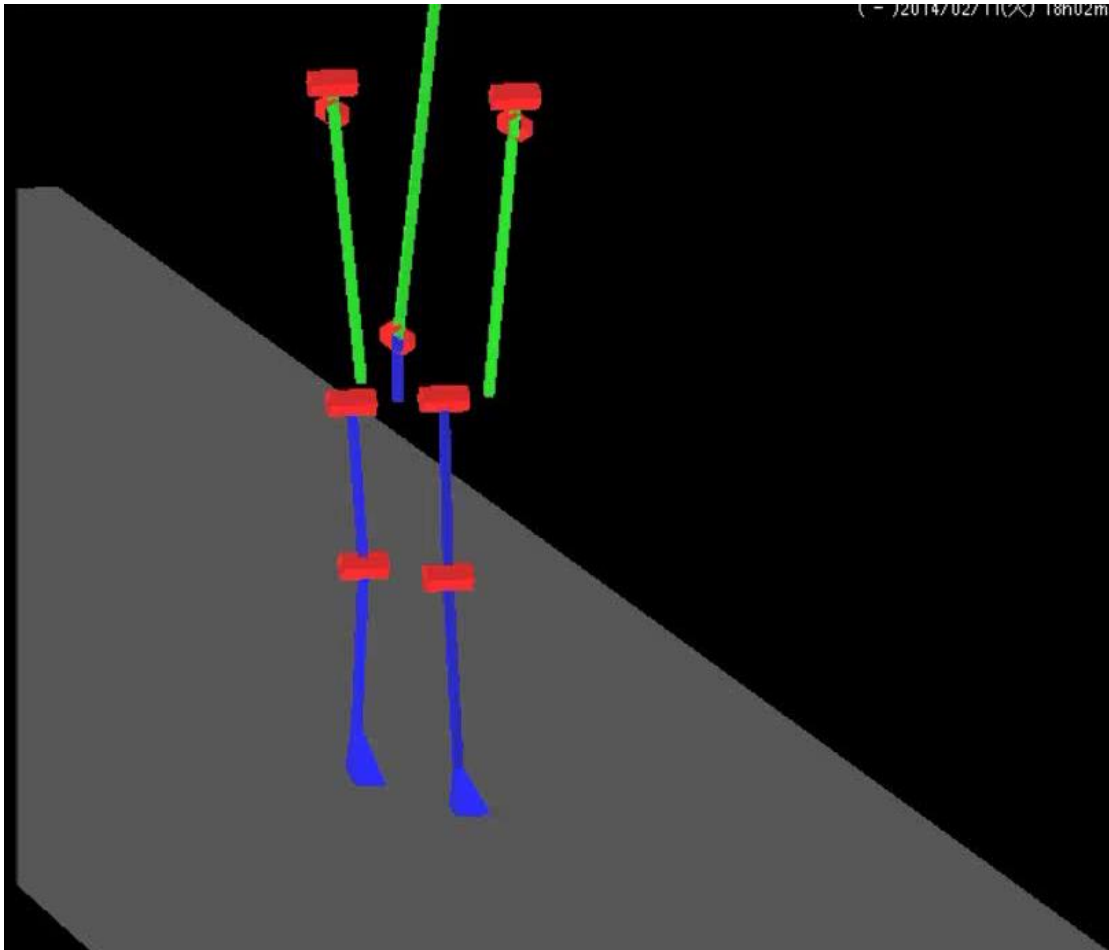
# シミュレーション

～定常歩行～



# シミュレーション

～外乱下での歩行～



## 外力付加条件



計180試行

大きさ : 10N~100N

タイミング

右足遊脚初期  
右足遊脚中期  
右足遊脚後期

前額面の運動が歩行の安定化に寄与しているか検証

# 外骨格装具の設計製作

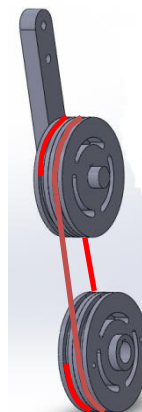
装具

<アクチュエータ数>

- 4つ 両股関節(屈曲伸展)  
両膝関節
- 5つ 腰関節(側屈)

<トルク伝達方法>

タイミングベルト  
↓  
二重ワイヤ



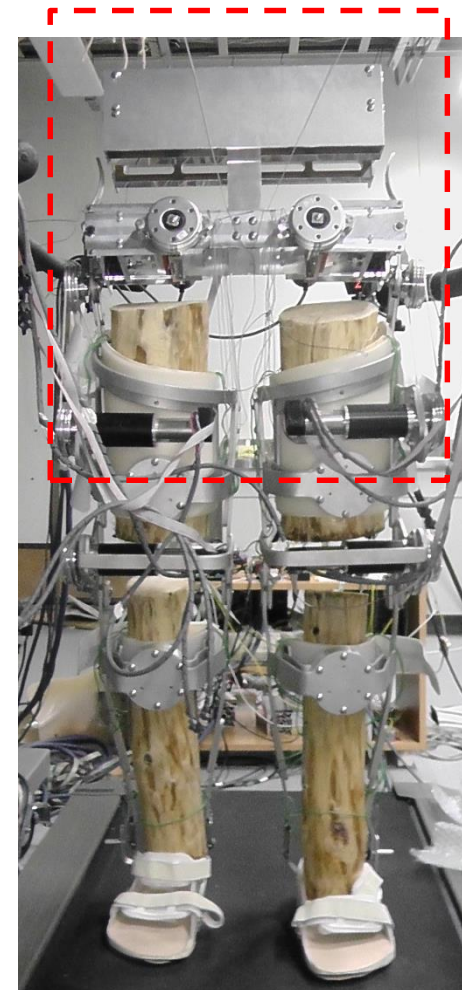
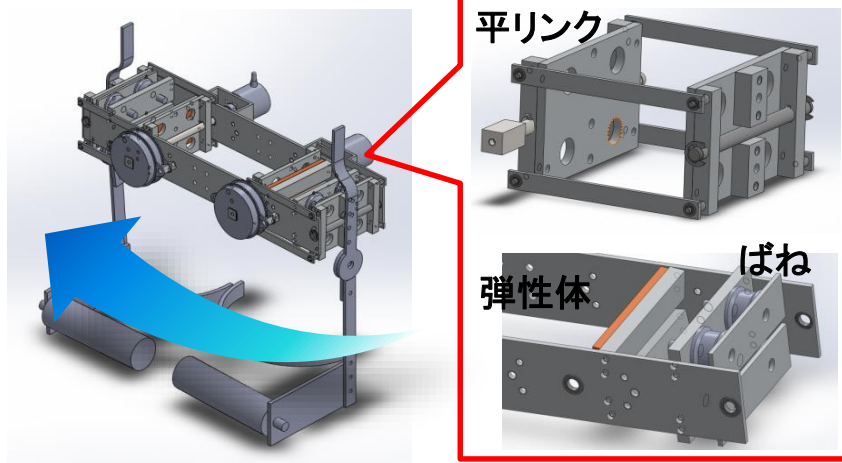
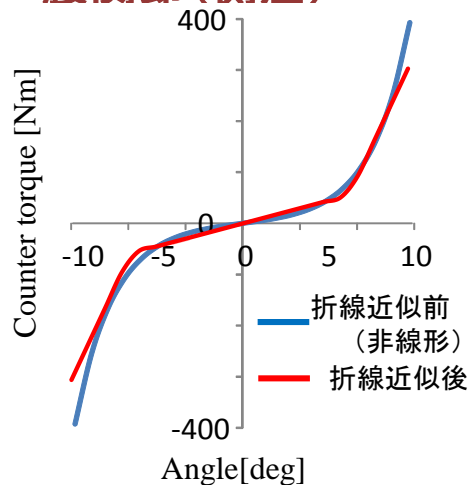
<関節数>

Activeな関節

- 両股関節(屈曲伸展)
- 両膝関節
- 腰関節(側屈)

Passiveな関節

- 足関節
- 腰関節(前屈後屈)
- 股関節(内外転)





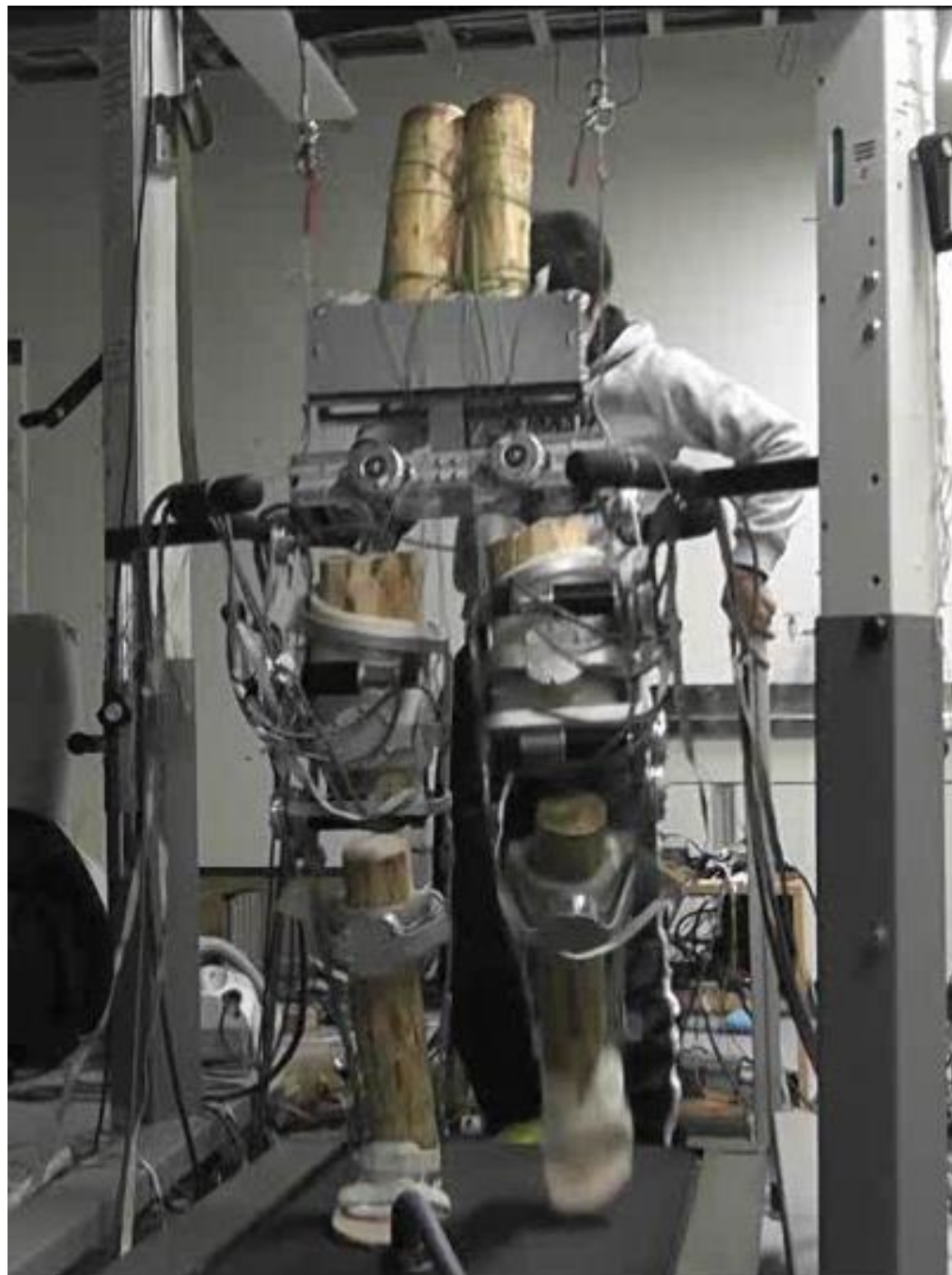
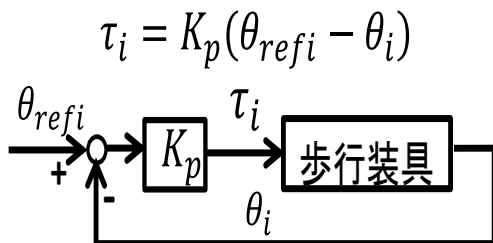
# 実験

～P制御～

シミュレーションから

股関節  
膝関節角度  
腰関節

1歩行周期を繰り返す

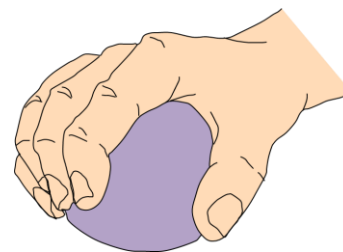


# 少ない自由度で高機能を達成する

## The Southampton Hand Assessment Procedure (SHAP)

### Abstract Object Tasks

- Spherical
- Tripod
- Power
- Lateral
- Tip
- Extension



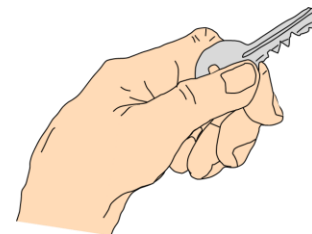
Spherical



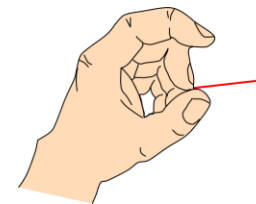
Tripod



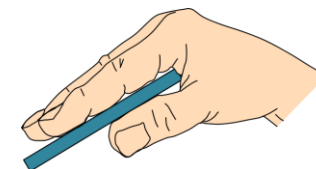
Power



Lateral



Tip



Extension

単純に対象物を把握する動作

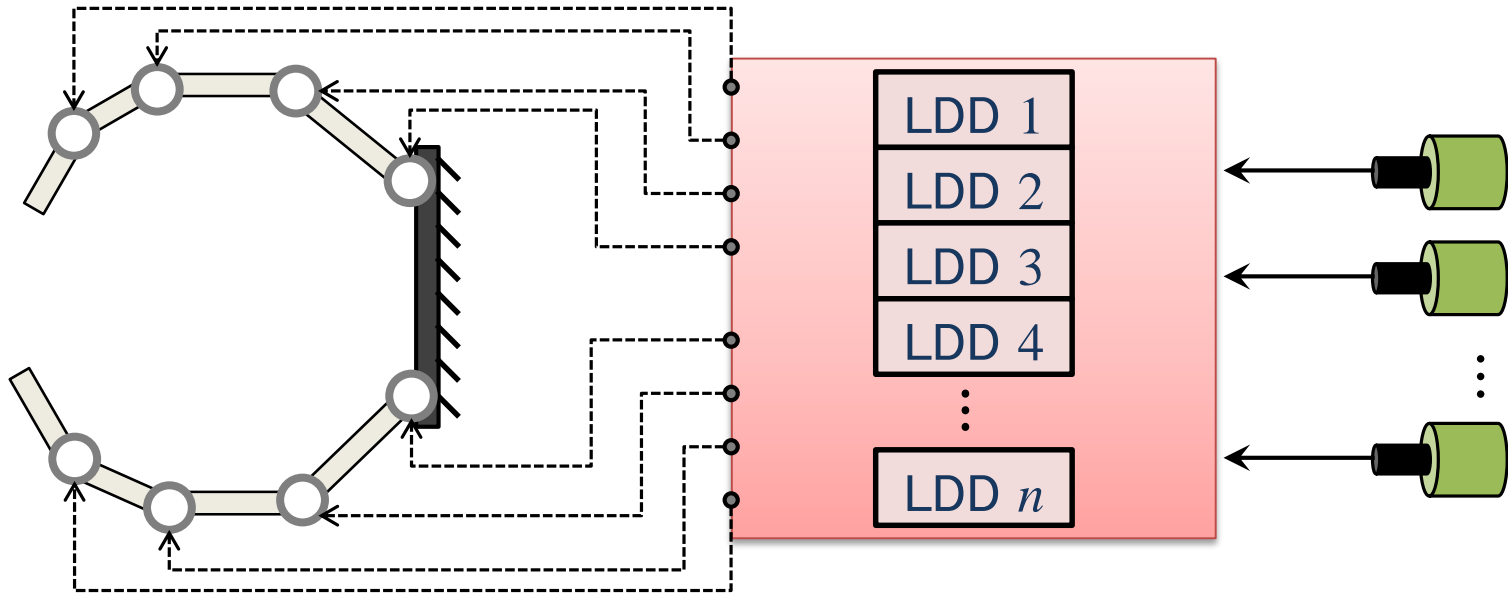
全6種類

C. M. Light et al., "Establishing a Standardized Clinical Assessment Tool of Pathologic and Prosthetic Hand Function: Normative Data Reliability, and Validity", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*(2002)

ところが、人の手の自由度は30ぐらいである考えられている。

# 設計するメカニズム

関節数より少ないアクチュエータを持つ機構



## LDD (Linear Dependent Drive) Mechanism

$$\theta_a(t) = Dq(t)$$

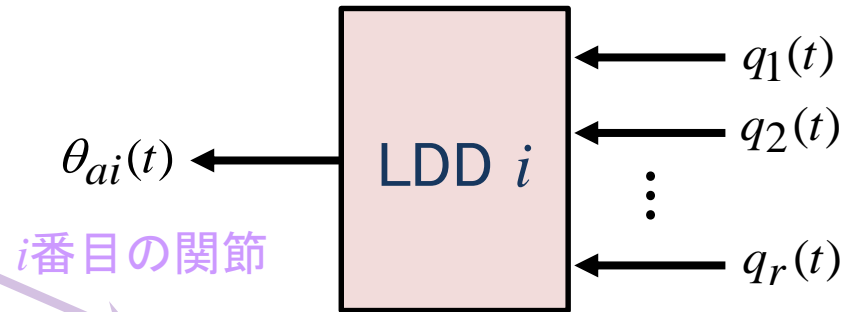
能動関節角度

アクチュエータ  
の変位

定数行列

$$\theta_a(t) = \{\theta_{ai}(t)\} \in R^n, \quad q(t) = \{q_j(t)\} \in R^r$$

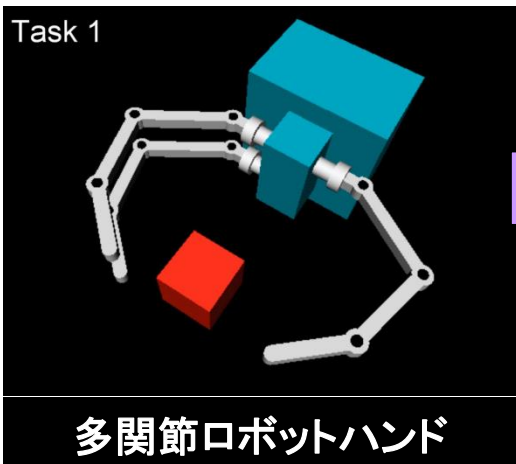
$$D = \{d_{ij}\} \in R^{n \times r}, \quad (n > r)$$



$$\theta_{ai}(t) = d_{i1}q_1(t) + d_{i2}q_2(t) + \dots + d_{ir}q_r(t)$$

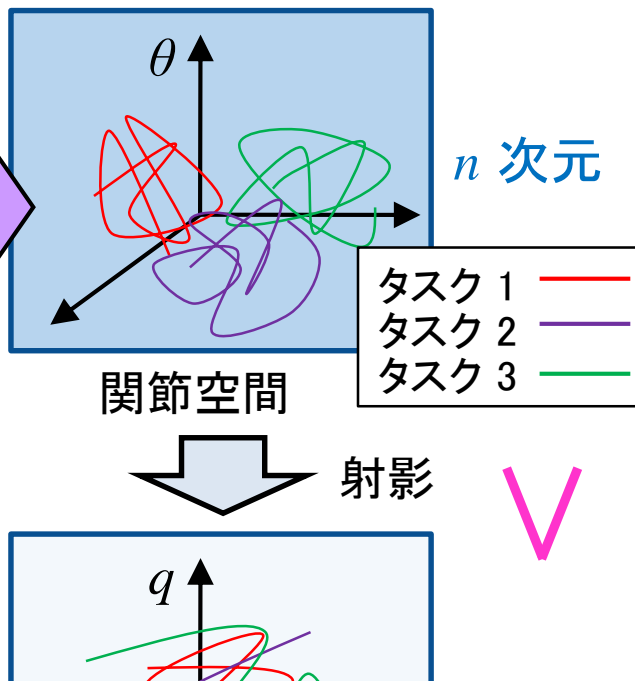
# タスクベースアプローチ

## 1. タスクの運動を与える



選択されたタスクの動作を関節を独立に駆動させられるロボットハンドで行う

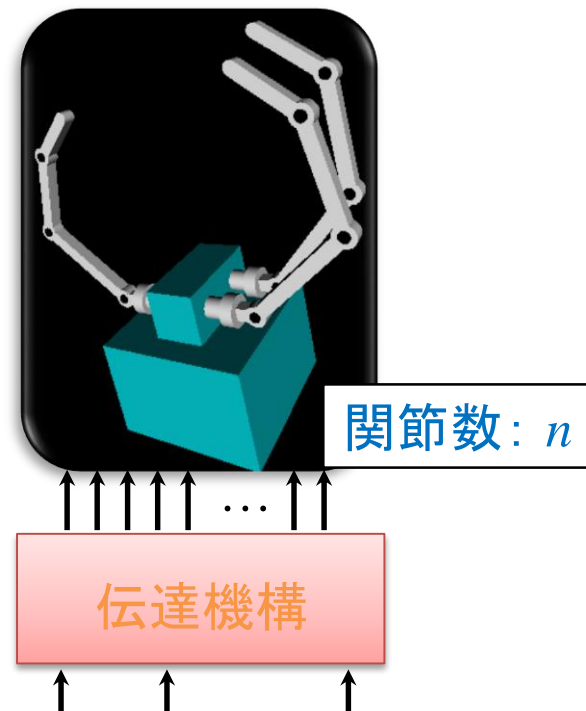
## 2. 関節の運動の低次元化



## 4. パラメータの最適化

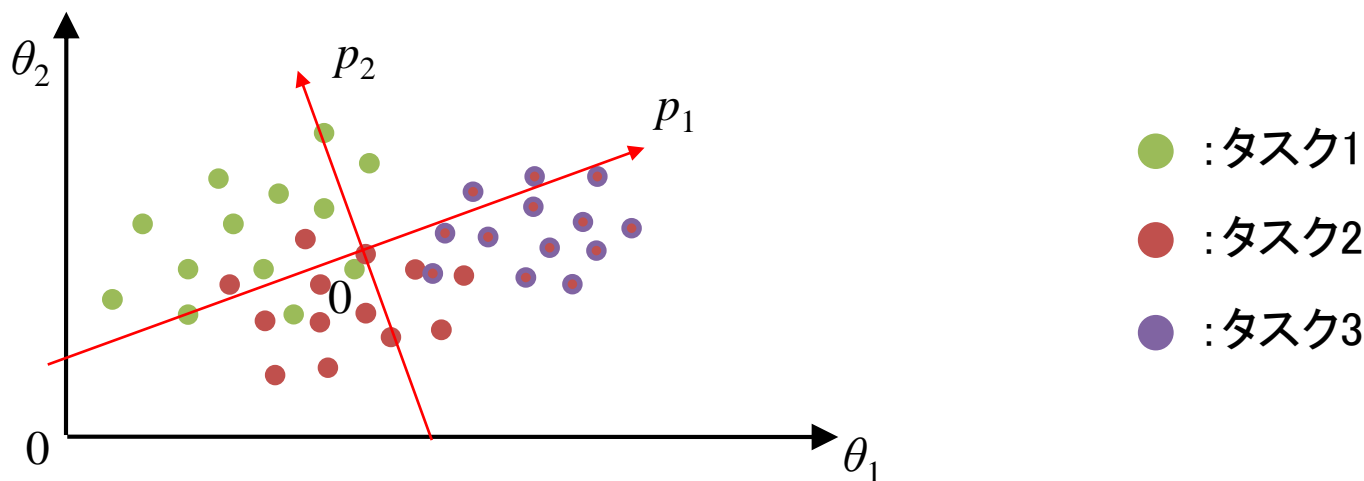
ロボットハンドのパラメータを変更しながら1から3を繰り返す、最適なパラメータを探索する

## 3. 運動の復元と動作の評価



# 運動の解析と低次元化

複数のタスクを同時に主成分分析を用いて解析する方法



## 共分散行列

$$V = \int_0^{t_f} \{\boldsymbol{\theta}(t) - \bar{\boldsymbol{\theta}}\} \{\boldsymbol{\theta}(t) - \bar{\boldsymbol{\theta}}\}^T dt$$

関節角度の時系列:  $\boldsymbol{\theta}(t) \in R^n$

$\boldsymbol{\theta}(t)$ の平均:  $\bar{\boldsymbol{\theta}} \in R^n$

関節角度の時系列データ

タスク  $i$   $\boldsymbol{\theta}_{[\text{Task}i]}(t), (0 \leq t \leq t_{f_i}) \quad i=1,2,\dots,m$



$$\boldsymbol{\theta}(t) = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\theta}_{[\text{Task}1]}(t) & \boldsymbol{\theta}_{[\text{Task}2]}(t) & \cdots & \boldsymbol{\theta}_{[\text{Task}m]}(t) \end{bmatrix}$$

$$t_f = \sum_{i=1}^m t_{f_i}$$

# 運動の解析と低次元化

## 主成分分析を用いた運動の低次元化

関節角度の時系列を主成分分析する

高寄与率な主成分

$$\begin{bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_h \\ W_l \end{bmatrix} \{ \theta(t) - \bar{\theta} \}$$

低寄与率な主成分

変換行列

$$W = \begin{bmatrix} W_h \\ W_l \end{bmatrix} \in R^{n \times n}$$

$$W_h \in R^{r \times n} \quad W_l \in R^{(n-r) \times n}$$

$$(n > r)$$

高寄与率な主成分のみによる運動の復元

$$\hat{\theta}(t) = W_h^T p_1(t) + \bar{\theta}$$

$$(\hat{\theta}(t) \approx \theta(t))$$

復元誤差

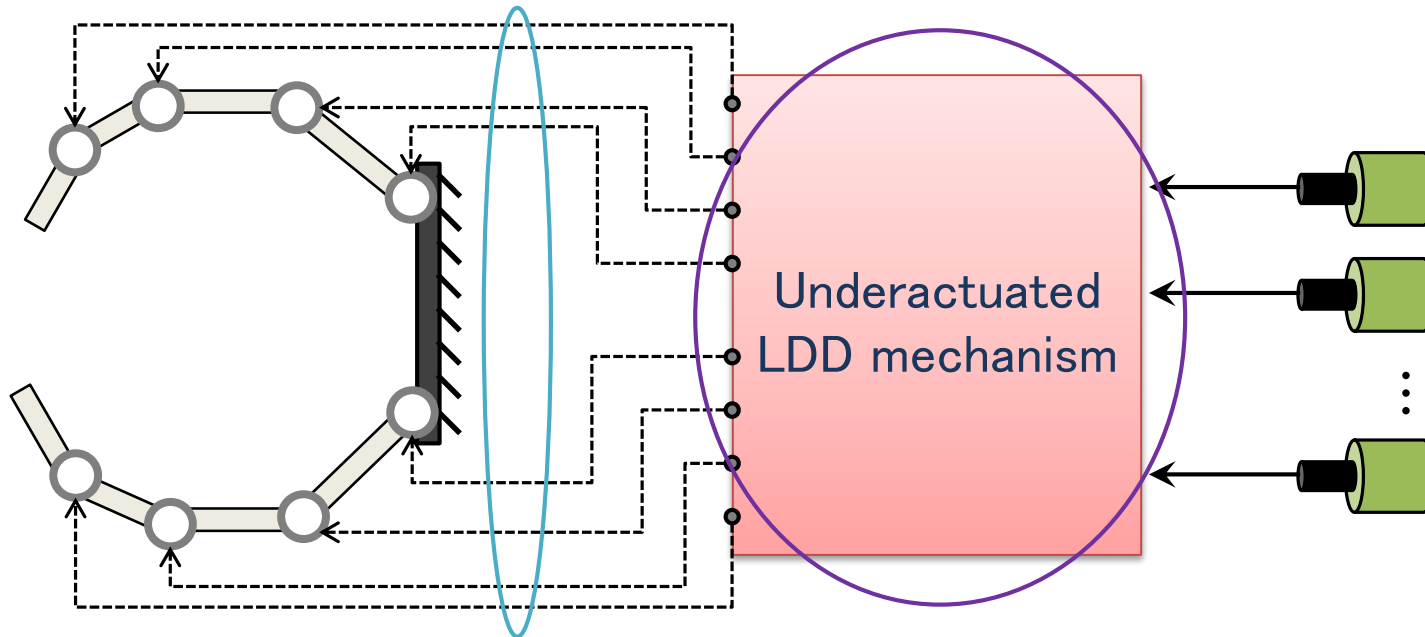
$$\Psi = \int_0^{t_f} \|\Delta(t)\|^2 dt$$

$$\Delta(t) = \hat{\theta}(t) - \theta(t) = \underbrace{(W_h^T W_h - I_n)}_{\text{単位行列}} \{ \theta(t) - \bar{\theta} \}$$

単位行列

# 設計方法

## 主成分分析を用いたUnderactuated LDD mechanismの設計



高寄与率な主成分のみによる運動の復元

$$\hat{\theta}_a(t) = W_h^T p_1(t) + \bar{\theta}_a \quad \text{バイアス}$$

$(\hat{\theta}_a(t) \approx \theta_a(t))$

Underactuated  
LDD mechanism

Underactuated LDD mechanism

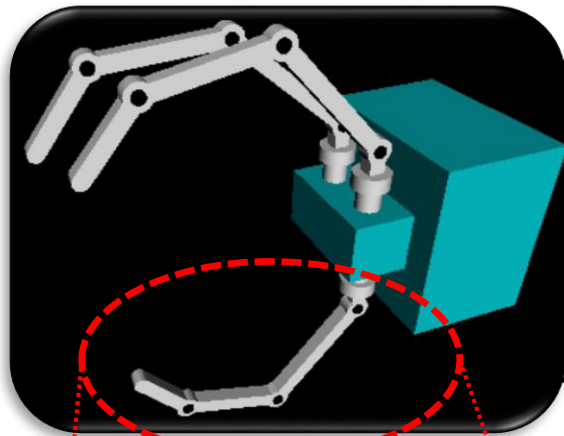
$$\theta_a(t) = Dq(t)$$

能動関節角度      アクチュエータの変位

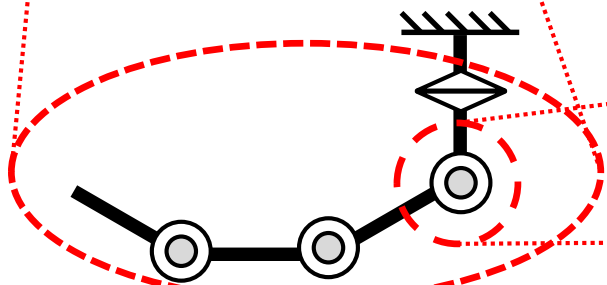
定数行列

# 3次元のロボットハンドの設計例

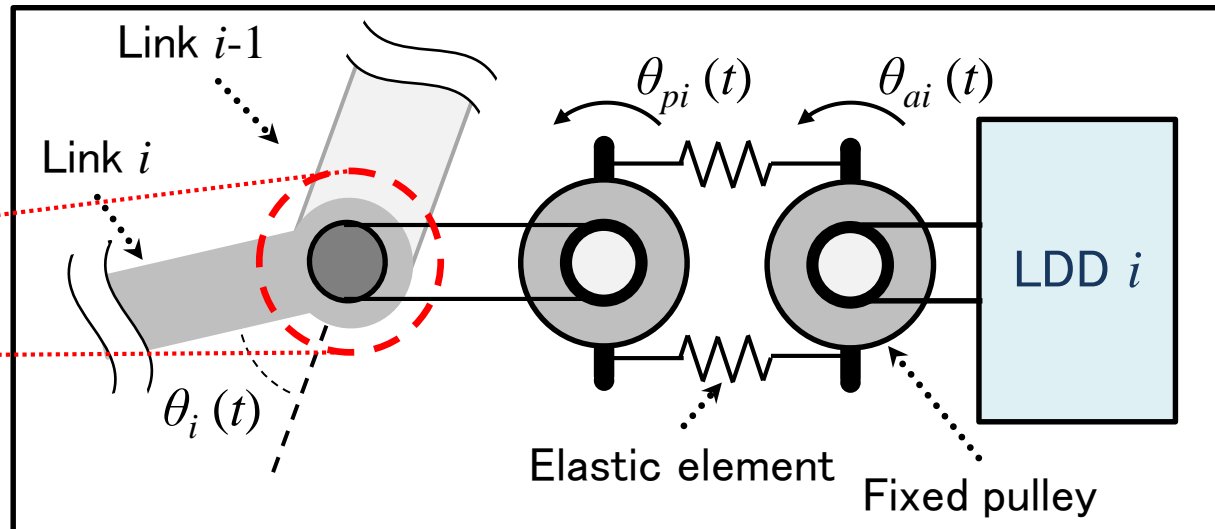
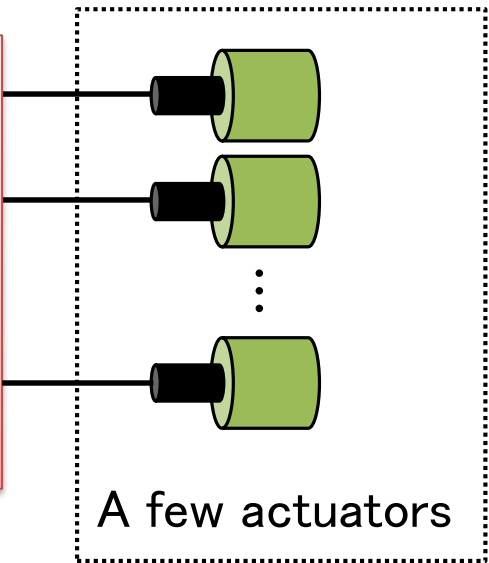
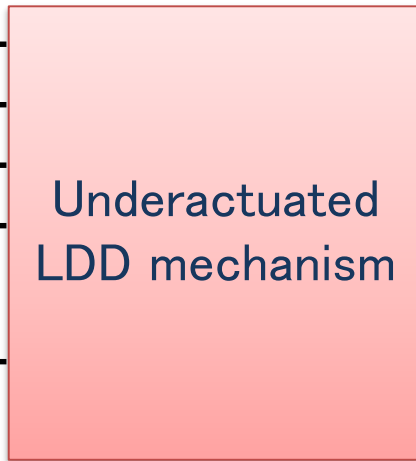
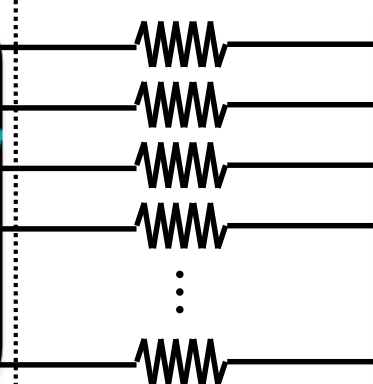
## 設計するロボットハンドの関節



Multi-joint robot hand  
(12 joints)



1本指あたり4関節

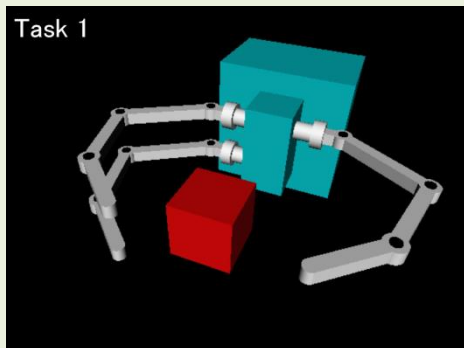




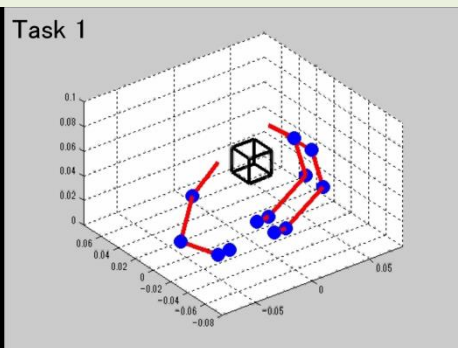
# 3次元のロボットハンドの設計例

## 達成させるタスク

Task 1

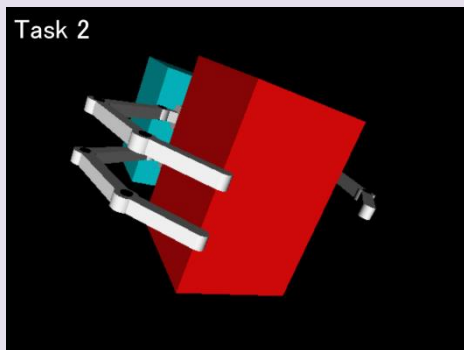


Task 1

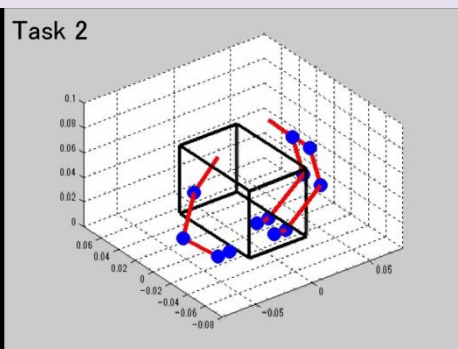


2本の指先での把握動作  
(小さい対象物を把握するための動作)

Task 2

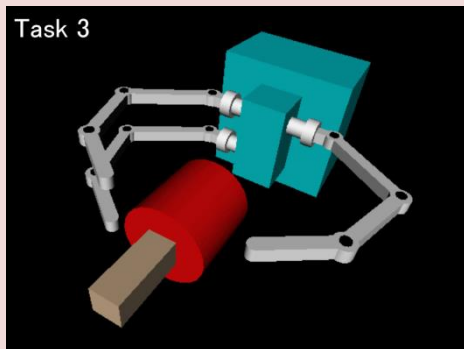


Task 2

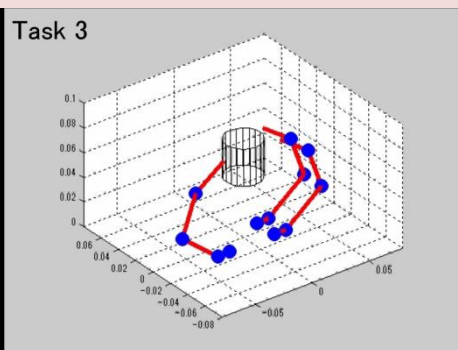


3本の指での把握動作  
(大きい対象物を把握するための動作)

Task 3



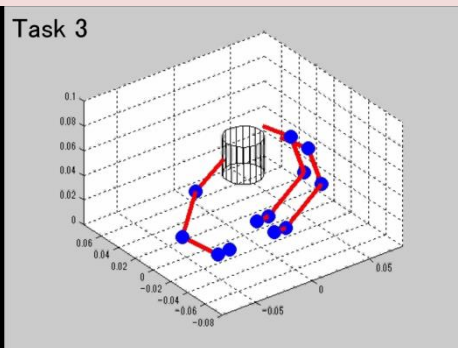
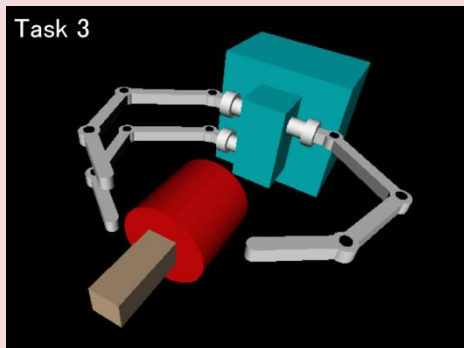
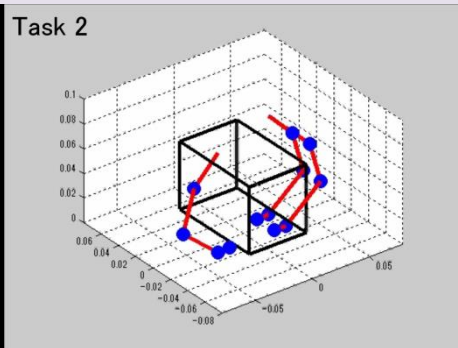
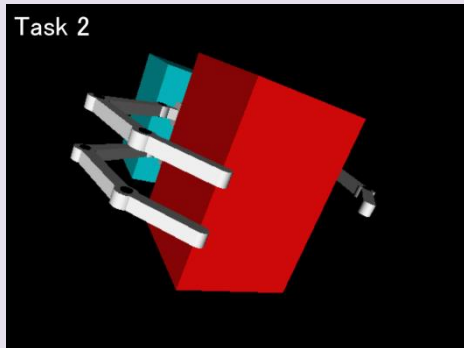
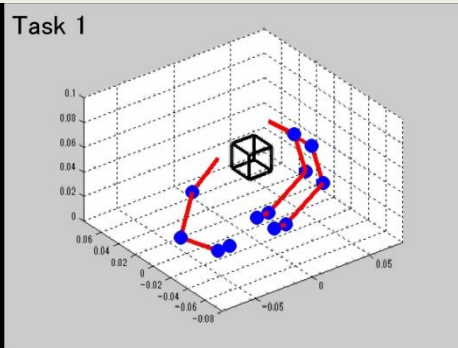
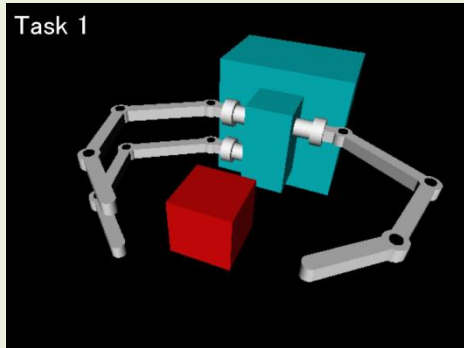
Task 3



3本の指で対象物をひねり,  $30^\circ$  回転させる動作

# 3次元のロボットハンドの設計例

## 達成させるタスク



$$\underline{p(t)} = W \begin{bmatrix} \underline{\theta_{a1}(t)} & \underline{\theta_{a2}(t)} & \underline{\theta_{a3}(t)} \end{bmatrix}$$

Principal Components

Active joint angles

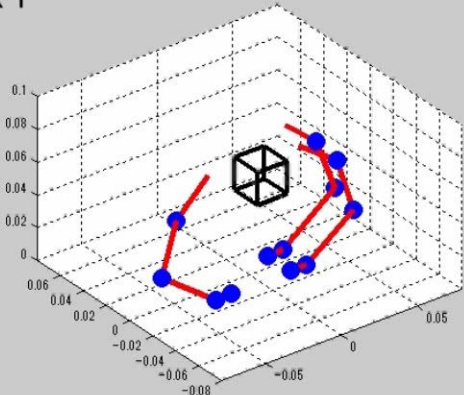
Principal component	Contribution rate [%]
1	45.3
2	28.9
3	22.2
4	2.28
5	$8.89 \times 10^{-1}$
6	$3.06 \times 10^{-1}$
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮

# 3次元のロボットハンドの設計例

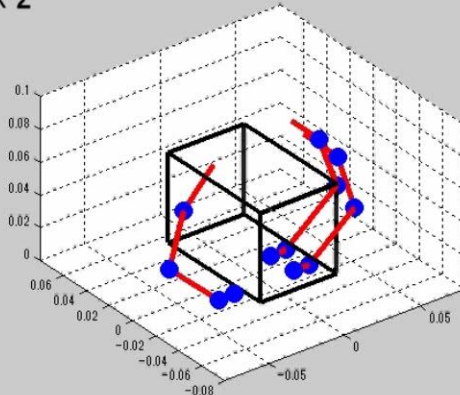
4つのアクチュエータで駆動させた場合(PCA-based method)

Synthesized optimal robot hand

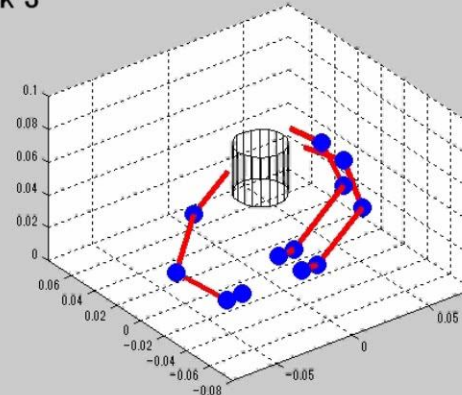
Task 1



Task 2



Task 3



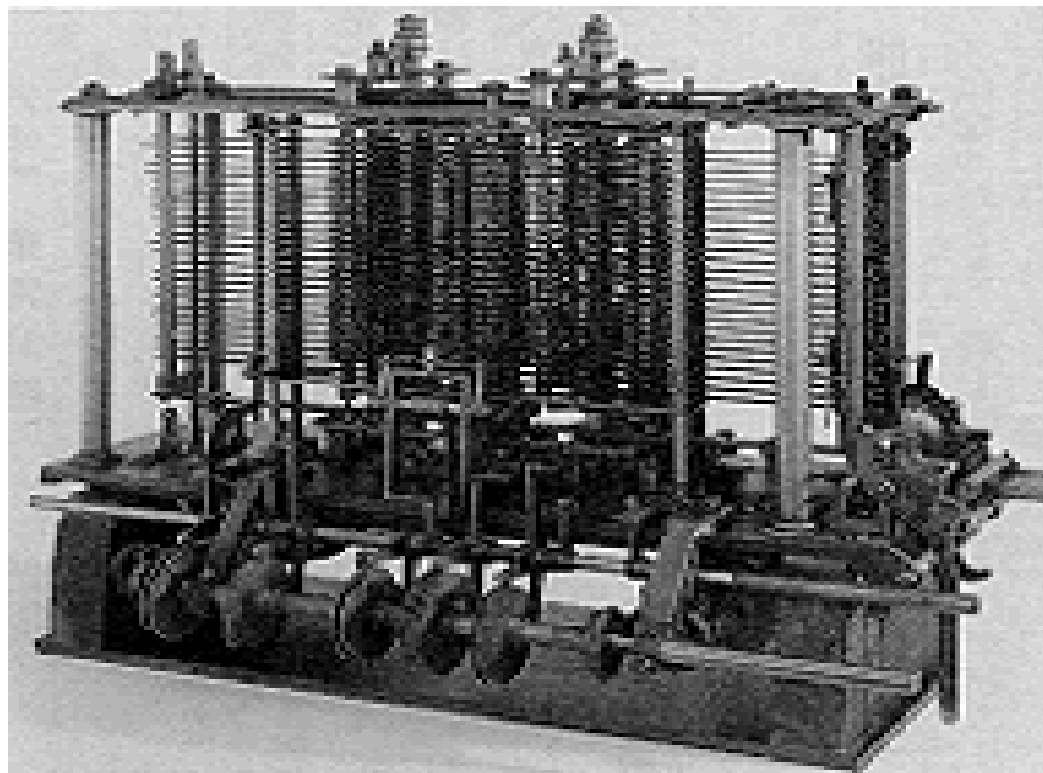
— Given force

— Actual force

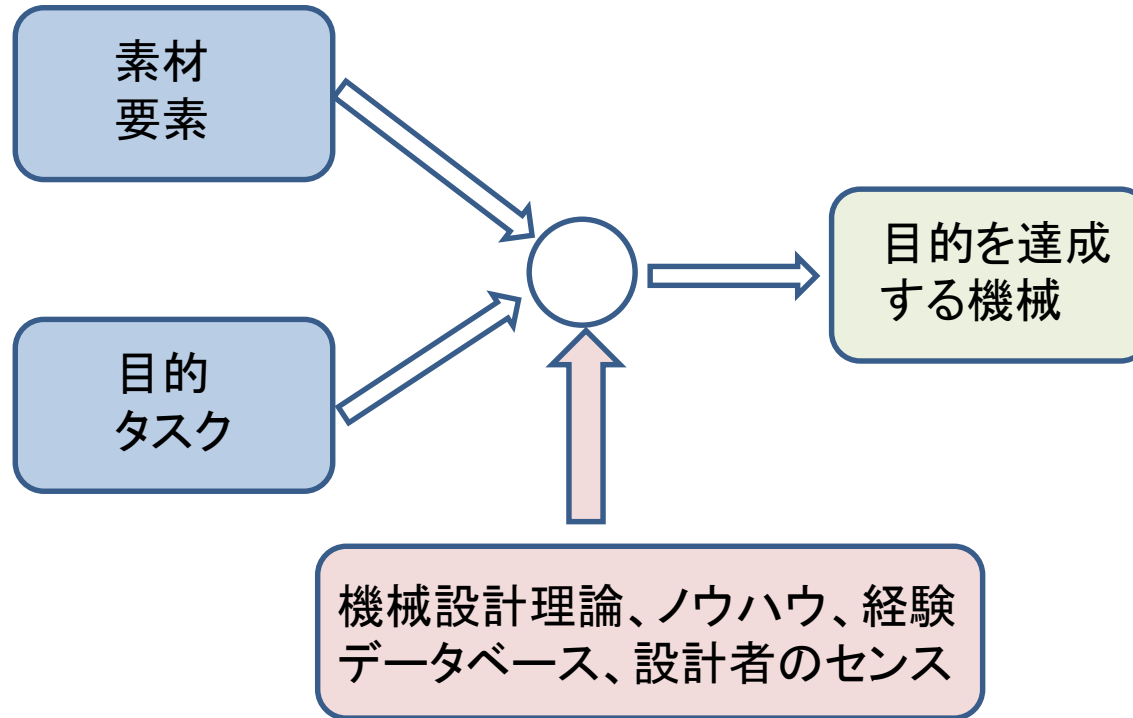
# 統合化設計 まとめ

機械設計はアナログ： デジタルから再びアナログへ  
機械設計は情報の圧縮技術(統合技術)でもある。

バベッジ Charles Babbage 1791～1871



# 統合化設計 まとめ



“形”、“機構”の設計における自由度は高いので、有効な設計法があれば、重要な基盤技術になる。機械工学は、デジタル技術より可能性の高い未完の学問。

# 人間を含んだシステムの設計 — 統合化設計 — — アシストロボット、運転支援、自動運転 —

## 適応のジレンマ

人間の8則 (高橋秀俊「数理と現象」、岩波書店、1975: 計算機の哲学、時分割方式設計の哲学)

何のための機械か？ 社会、心理

# 適応制御

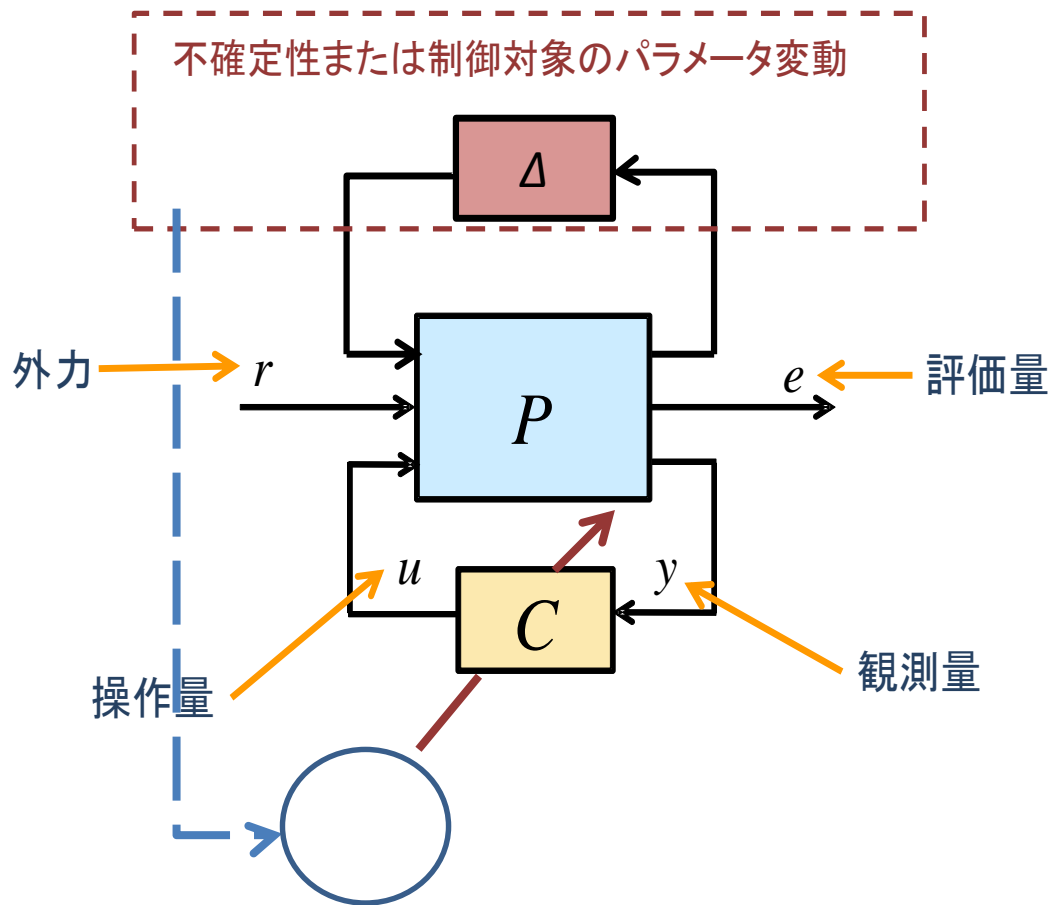
“適応”は重要なコンセプト、

“生物らしい”、“自律的”、  
“機械が人に近づく”

“自己増殖”につながる？

“学習”との関係？

本質的に非線形系

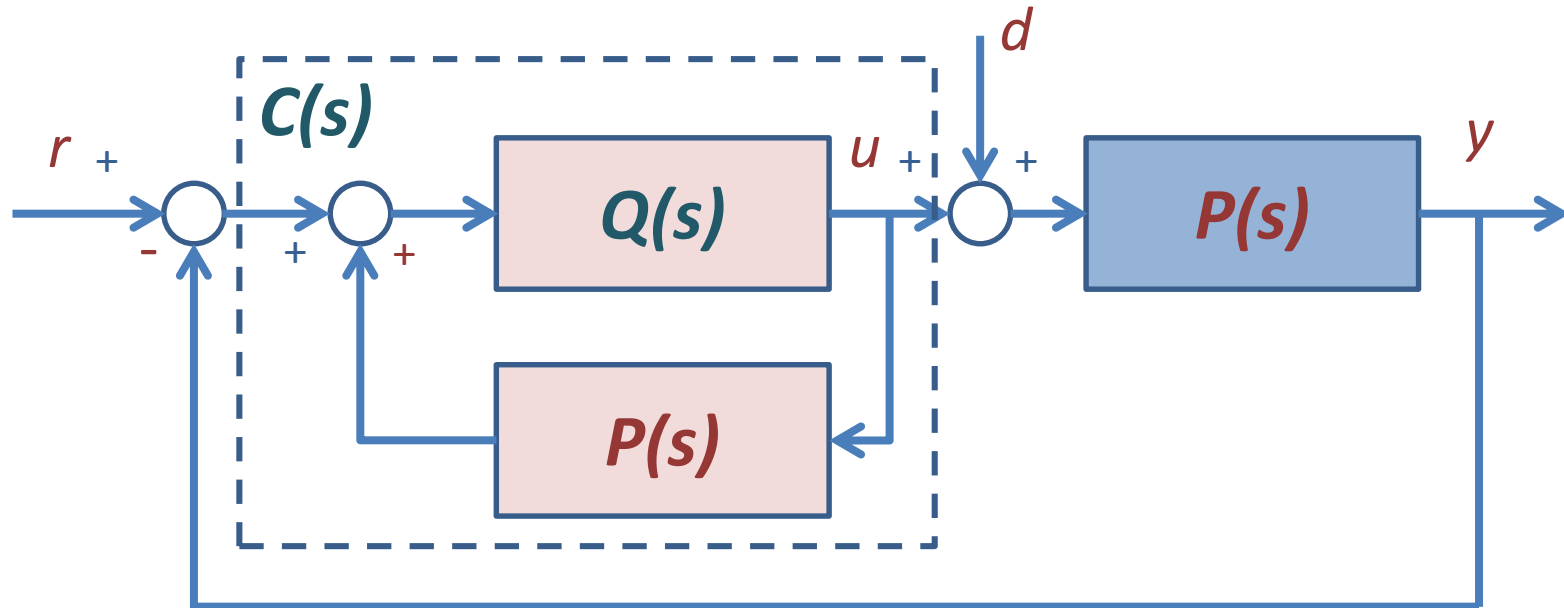


“学習機械の概念は、予測器、濾波器やそれと同種の装置のほかにもはるかに  
広く用いられる。それは、相手のあるゲームを行う機械の研究ではとくに重要である”  
ノバート・ウィナー

# 既約分解法

線形システム Vidyasagar 1980

Control System Synthesis: A Factorization Approach, Morgan & Claypool Publishers



$Q(s) \in \text{All Stable and Proper Systems}$

(注) 制御対象  $P(s)$  が  
安定な時に限る

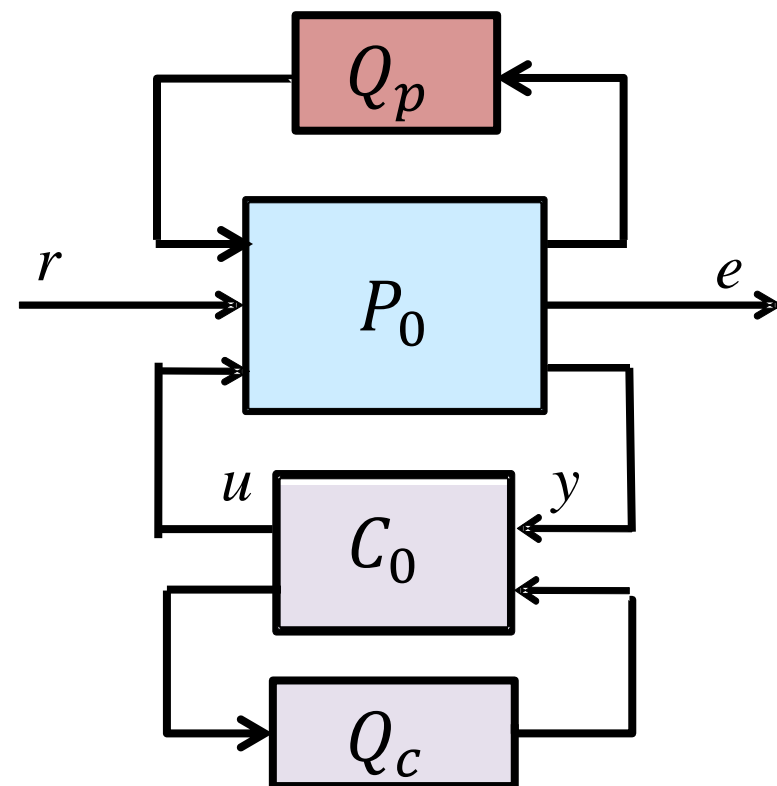
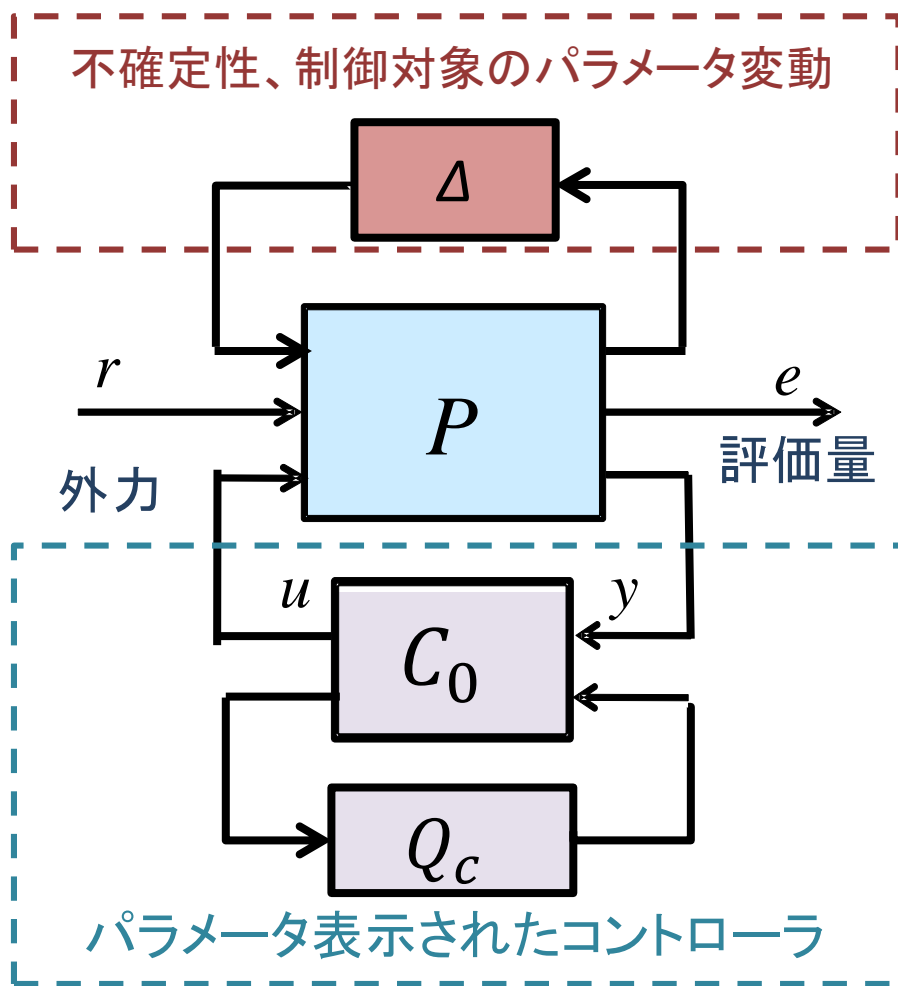
$$Y(s) = P(s)Q(s)R(s) + P(s)\{I - Q(s)P(s)\}D(s)$$

*All Stable and Proper Systems* は線形性を侵さない結合を演算としてもつ  
集合と見たときに“整域”となる。



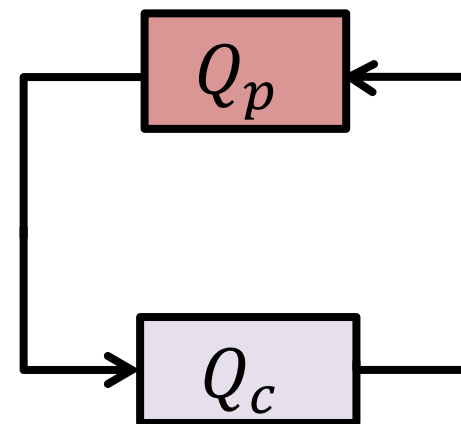
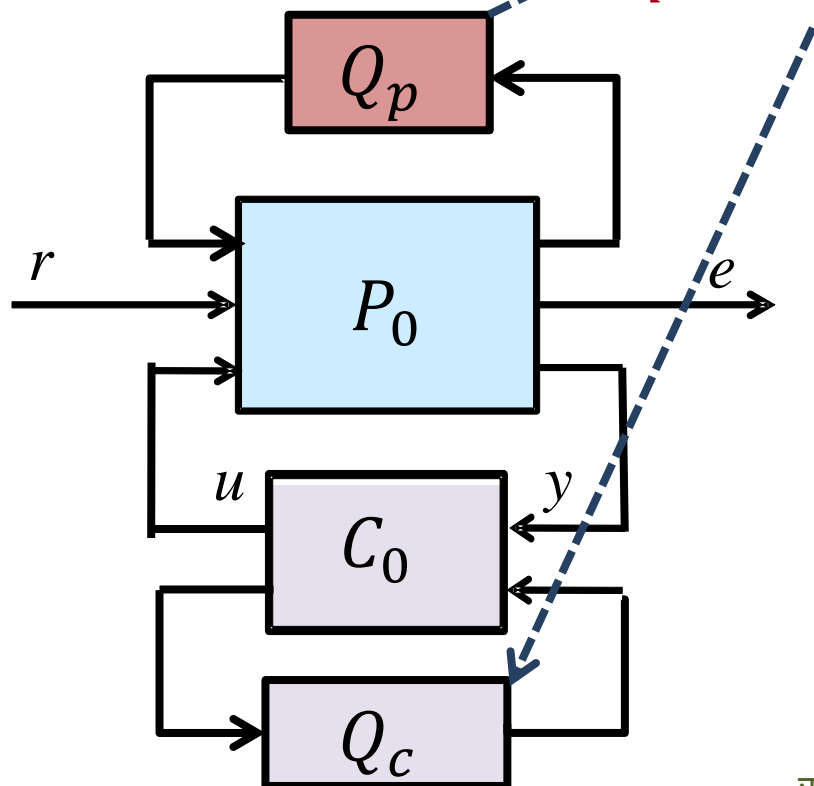
# コントローラのパラメトリゼーション 同時安定化コントローラの設計

Obinata, Moore: Characterization of Controllers in Simultaneous Stabilization, Systems & Control Letters, 1987



# ランデブー・ドッキングの安定性

$Q_p$  に対し  $Q_c$  を設計

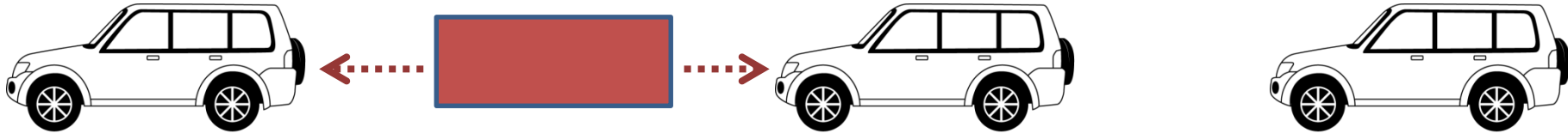


$Q_p \in \text{Stable Systems}$

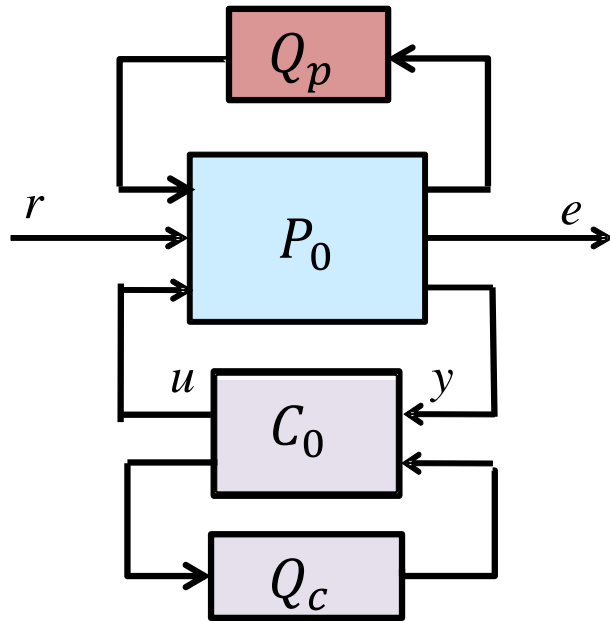
$Q_c \in \text{Stable Systems}$

平元、土岐、大日方：閉ループ特性を最適化する同時安定化コントローラ的设计法、計測自動制御学会論文集, 1997.

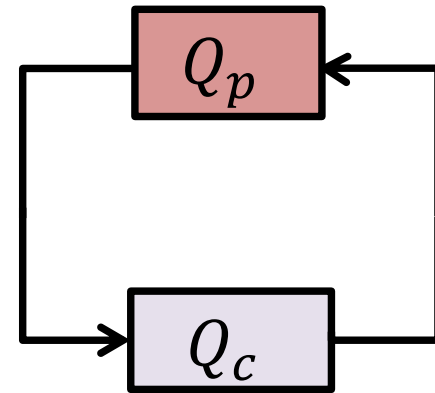
# 隊列走行 - string stability -



Connection by Communication



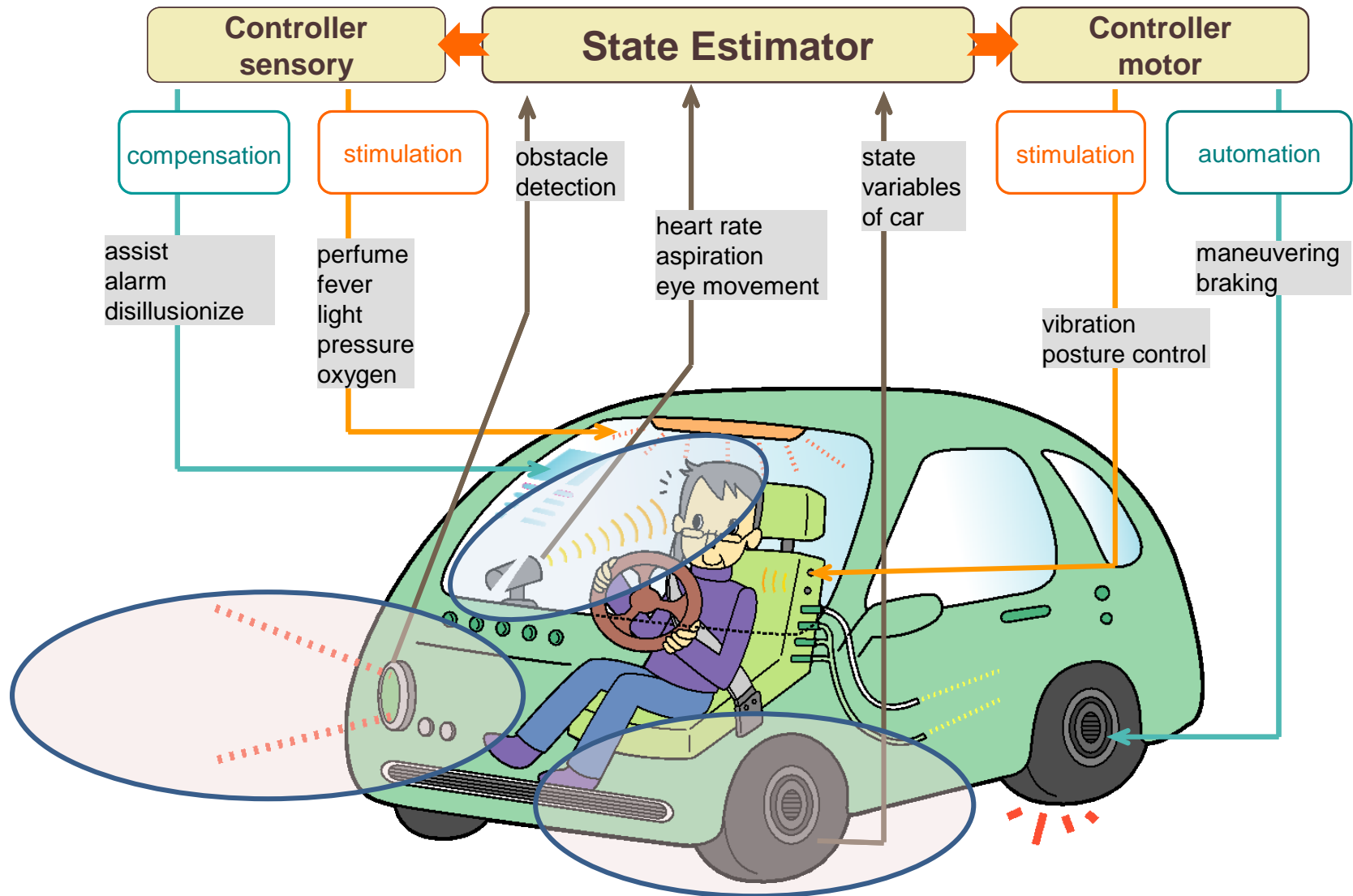
$Q_c \in \text{Stable Systems}$



$Q_c \in \text{Stable Systems}$

適応制御は研究課題や応用がまだまだある!

# 人を含むシステム 運転支援システム



# 運転支援、自動運転の問題点 人間

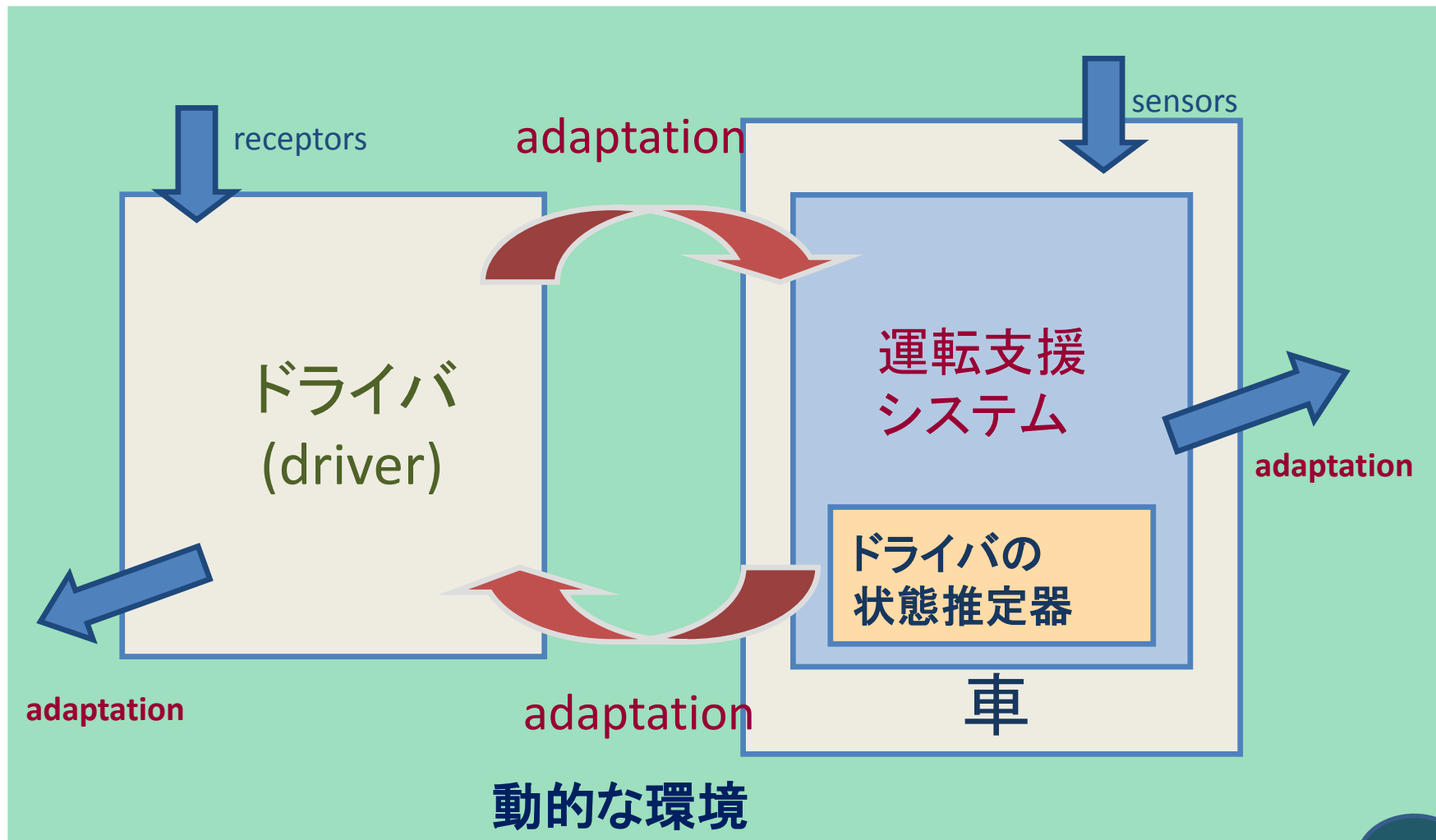
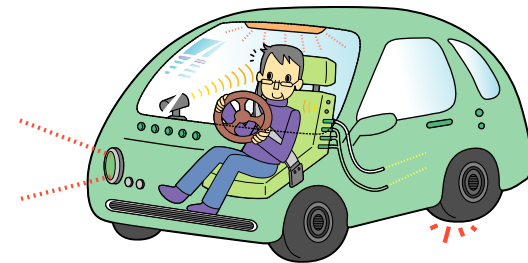
- **人間の特性8則**: 高橋秀俊「数理と現象」

(岩波書店、1975) 計算機の哲学: 時分割方式設計の哲学

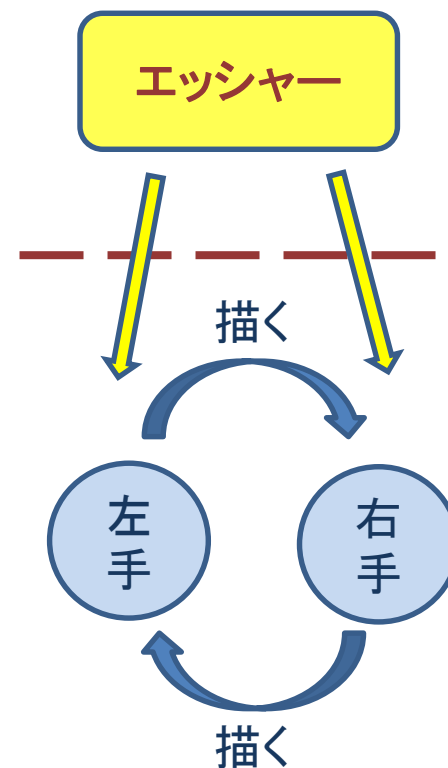
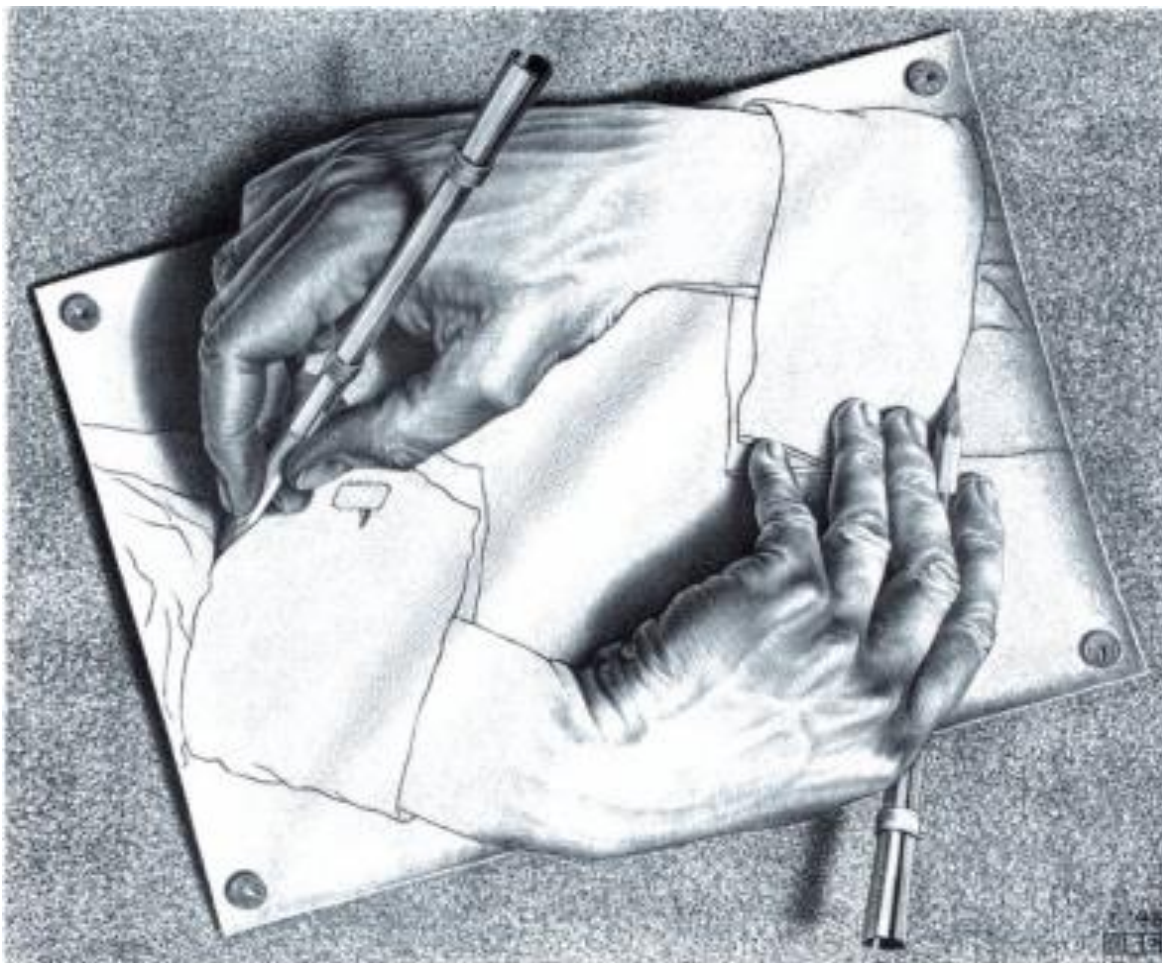
1. 人間は気まぐれである。
2. 人間はなまけものである。(廃用症候群、スラッキング)
3. 人間は不注意である。
4. 人間は根気がない。
5. 人間は単調をきらう。
6. 人間はのろみである。
7. 人間は論理的思考力が弱い。
8. 人間は何をするかわからない。

「時分割システムは計算機を人間の延長として最も機動的に使おう・・・」

# 適応のジレンマ

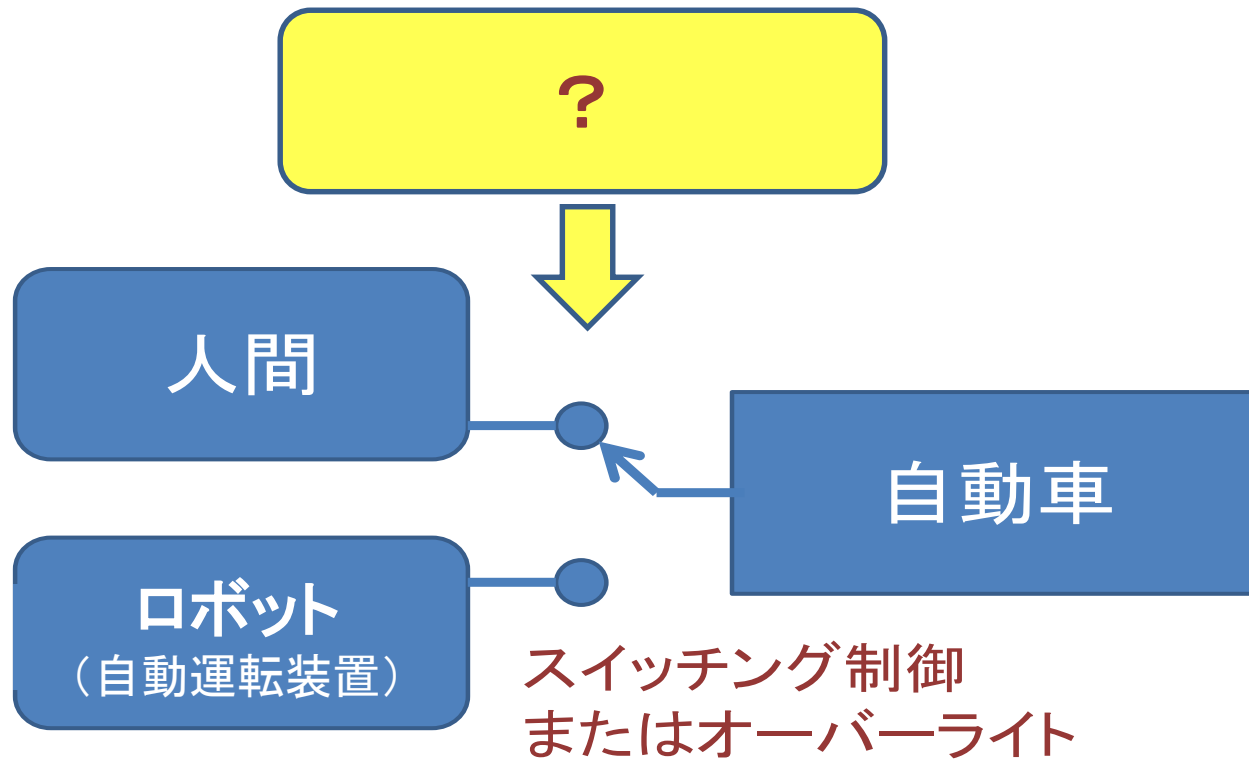


# 描いている手と手 M. C. エッシャー (1948)



# 自動運転の課題 適応のジレンマの解決

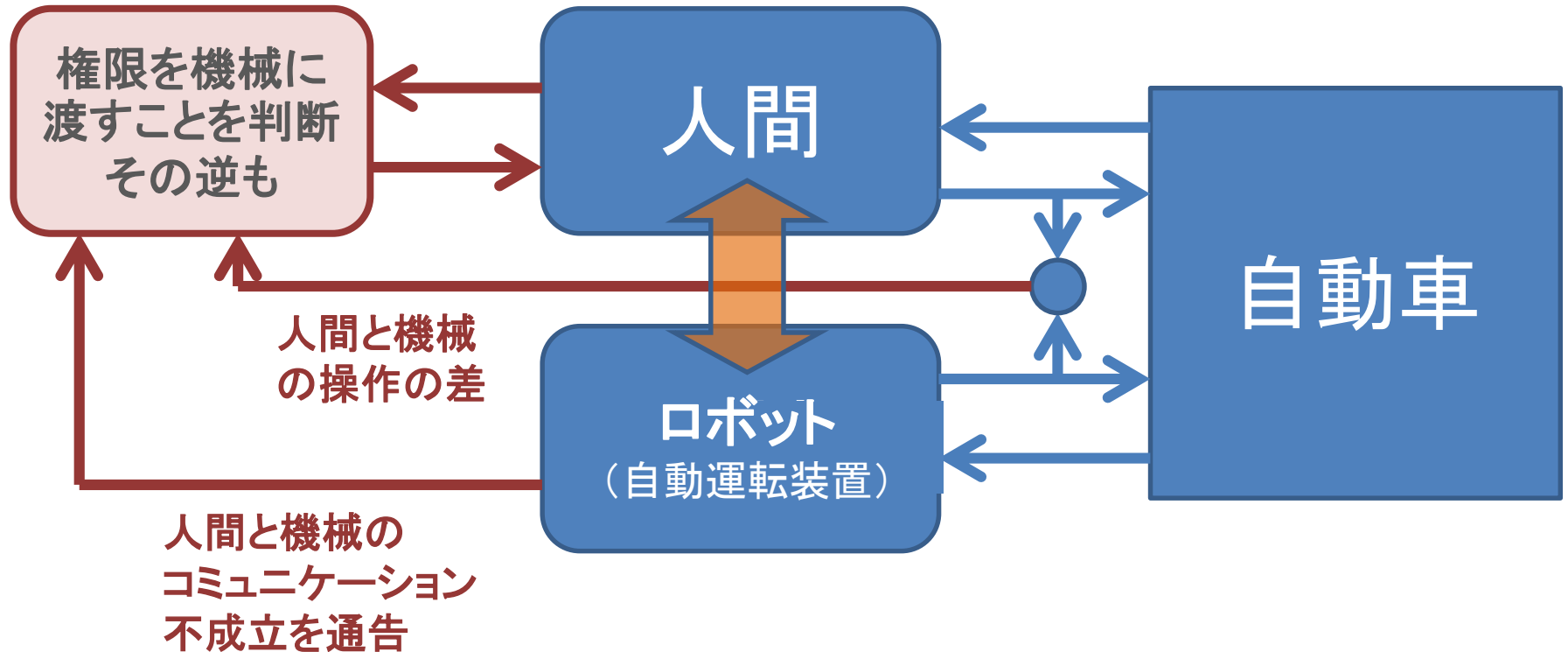
- 二つの権限移譲をどのようにするのか？



何を信頼すればよいのか？

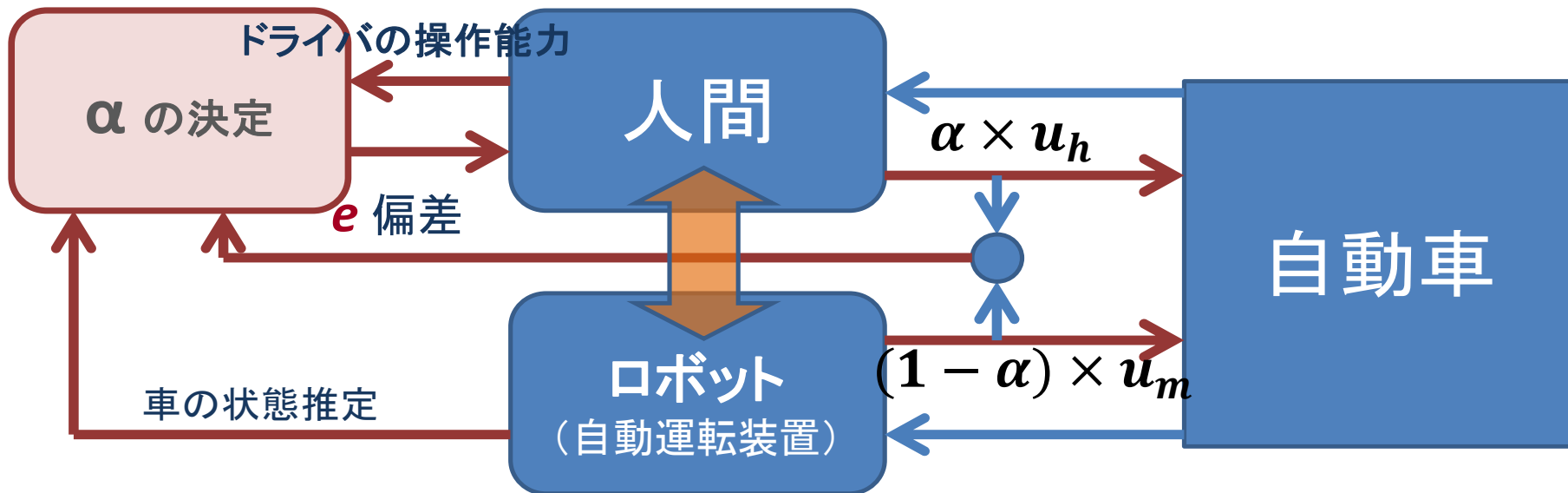


# 並列冗長システムと安全性の向上

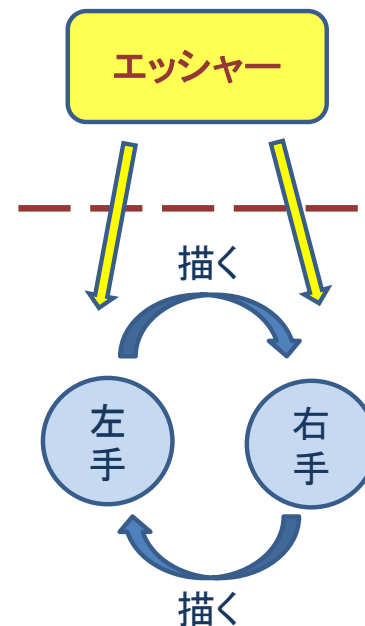


ヒューマン・ロボットインタラクション  
ドライバとロボットとの信頼関係が必要

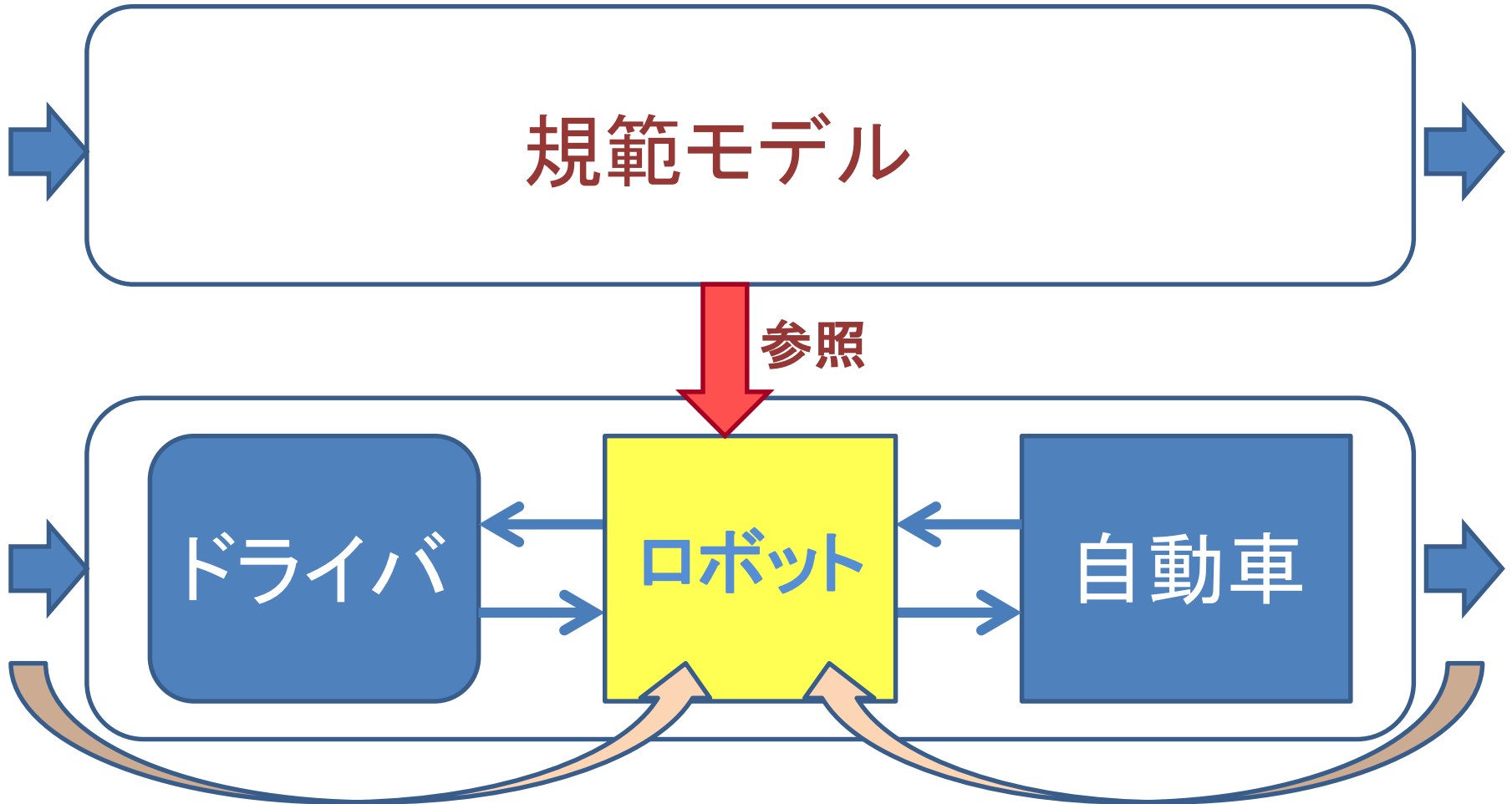
ロボットがドライバの操作に対し信頼度を定めそれに応じて二つの制御器の重みを決める



$$u = \alpha \times u_h + (1 - \alpha) \times u_m$$
  
もし  $u_h = u_m$  なら  
$$u = u_h = u_m$$
  
 $\alpha = 1$  なら、操作はドライバ  
 $\alpha = 0$  なら、操作は機械(自動運転)



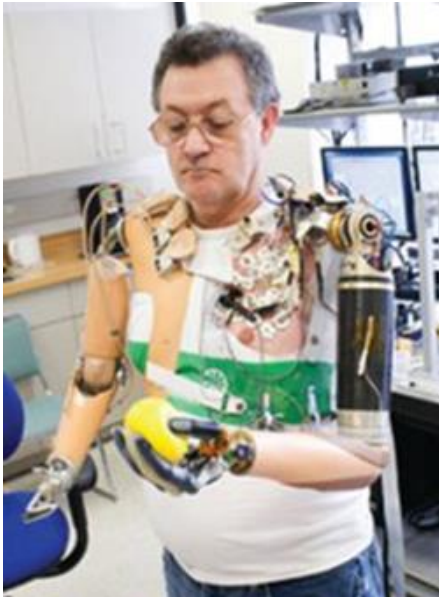
# 適応のジレンマの解決へ



# 人と機械の直接結合 —サイボーグ—

## サイボーグとヒューマノイド

“二つのシナリオ：科学の進歩によってエンジニアは多くの状況で人間の代わりとなりうる完全な召使いという神話上のロボットを作り出すのに成功する。もう一つは、人間とロボットが不可避免的に融合する未来が示される。人間と機械が融合したサイボーグが登場する。”**フレデリック・カプラン**



[http://www.oandp.com/articles/2013-10\\_04.asp](http://www.oandp.com/articles/2013-10_04.asp)



<http://av.watch.impress.co.jp/img/avw/docs/323/667/html/dc42.jpg.html>

## 人間と機械の境界？ ヒトは機械を使う動物？ 文化による違い

“エンタテインメント・ロボットは日本という西洋と異なった文化で誕生した。パリと東京では同じ機械が夢見られるだろうか？エンタテインメント・ロボットは日本以外では生まれなかったのではないか？”**フレデリック・カプラン**

# 人と機械の直接結合 —サイボーグ—

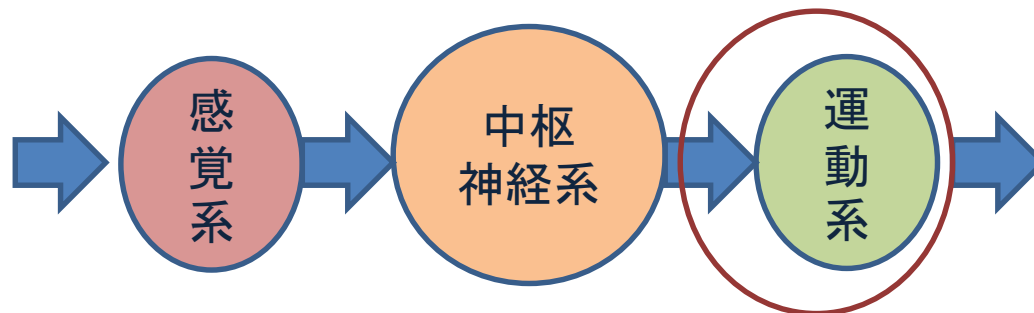
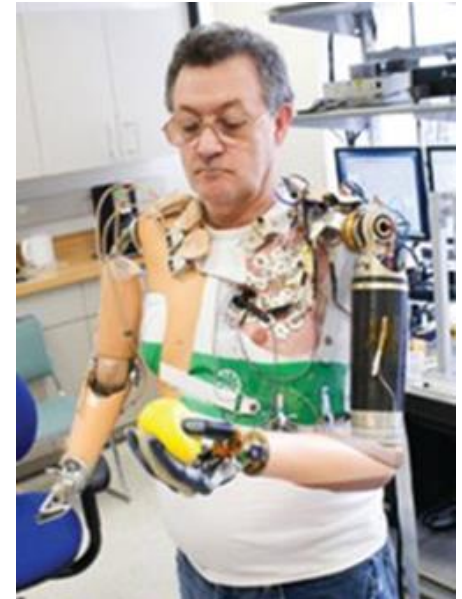
[http://www.oandp.com/articles/2013-10\\_04.asp](http://www.oandp.com/articles/2013-10_04.asp)

## サイボーグ（機能的電気刺激、神経接合）

神経とコンピュータ義肢をつなぐ（平田仁教授、手の外科）

“簡単な棒状義足の場合には、それ自身自由度を持たないから、手足の基部の筋肉運動知覚の機能だけで十分にその位置や速度がわかる。膝や足などの関節を伴う義肢のばあい、患者は義肢の関節の位置や運動がわからないから、でこぼこ道での確実な歩きは困難となる。人工関節に計測器を備えつけ、電氣的、機械的方法で残存した皮膚にそれを伝えるということができないはずはない“

ノバート・ウィナー



# ロボットの意味

有用な機械(実利的効用)

科学の道具としての機械(知的探求性)

娯楽用機械(情動的魅力)

**自閉症児のセラピーにロボットを使う**

Lee, Obinata et.al, International Journal of Behavioral Robotics,(2013)

“「人間とは何か」を技術の側からも問うべき” → 知的探求性

“ヒューマノイドは困惑させる。それらとのコミュニケーションは人間同士のコミュニケーションに近く、これらのロボットの振る舞いを人間の振る舞いのように解釈してしまう” → 情動的魅力

**フレデリック・カプラン**

ロボットを通して、機械と人間・社会とのより直接的な関係に光が当てられている。

# 構成

- **動機（夢）**

歴史、コンピュータ、ロボット

- **研究テーマに共通するもの**

機械系と制御系の統合化設計、人間機械系

- **学術の視点、これからの機械工学・制御工学**

ニーズではなくシーズから駆動されるもの

- **これからの機械工学と教育**

人間と機械の関係から見える機械工学・ロボット工学の将来

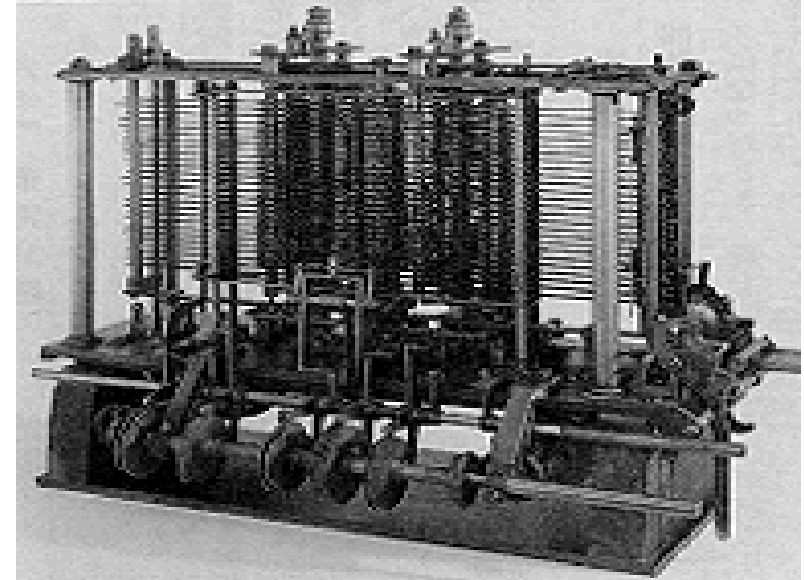
# 研究テーマ

- 統合化設計：特に構造、自由度、形まで含めた設計 システム設計は機械工学、制御工学の進む道 自己増殖する機械をつくれるまでに
- 適応のジレンマ：2つ以上の適応制御器を含むシステムの設計論
- 人間と機械の関係（機能移転のジレンマ）：“助ける”と“怠ける”人間、最後には機能を失う永遠のテーマか？

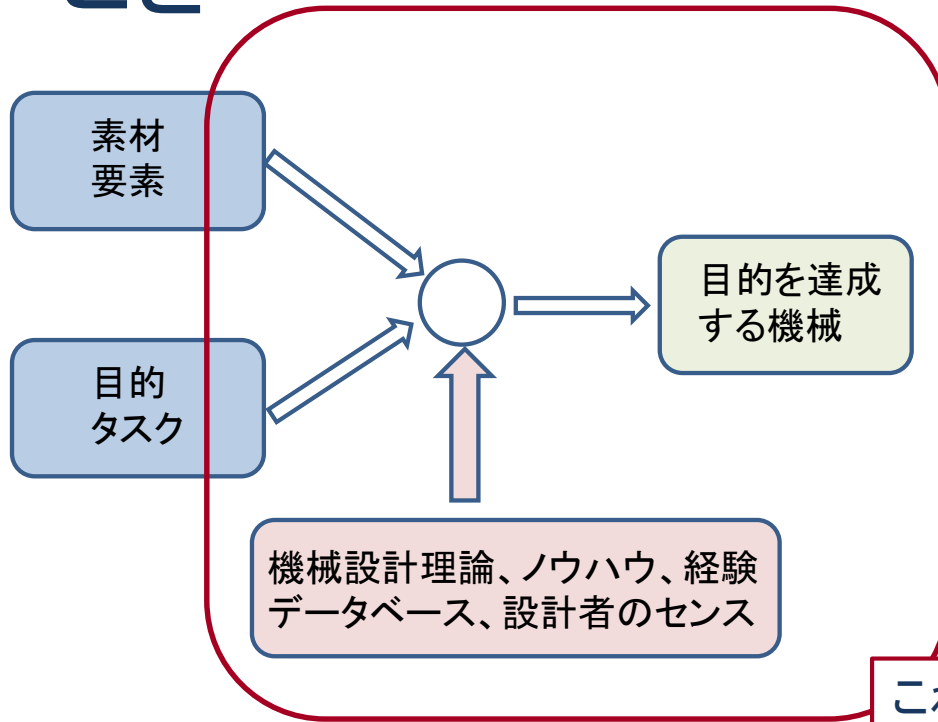


# 機械工学のしていること

バベッジ Charles Babbage 1791～1871

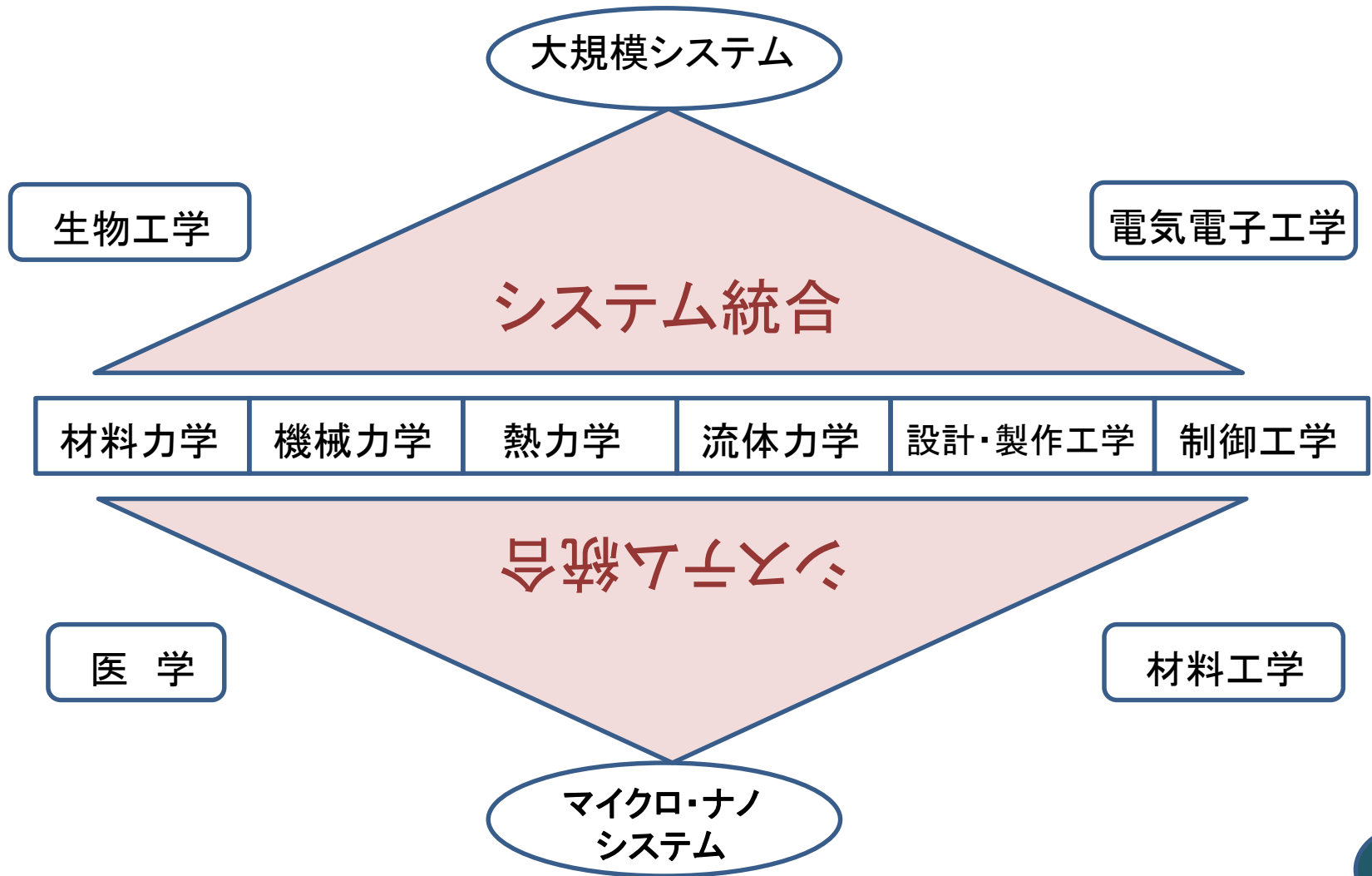


<http://www.wizforest.com/OldGood/engine/index.html;p1>



“工学的に構成されたものが、ある手段によって自分と同等の機能を持つ他の構造物を作り出すことができ、その手段が我々に知られるということは、たいへん興味のあることである” **ノバート・ウィナー**

# システム設計は機械工学、制御工学の進む道



# 構成

- **動機（夢）**

歴史、コンピュータ、ロボット

- **研究テーマに共通するもの**

機械系と制御系の統合化設計、人間機械系

- **学術の視点、これからの機械工学・制御工学**

ニーズではなくシーズから駆動されるもの

- **これからの機械工学と教育（メッセージ）**

人間と機械の関係から見える機械工学・ロボット工学の将来

# メッセージ 大学での教育

イノベーションにつながる有力なコンセプトを出せる人材の育成が必要

- ・直接的に良い方法はないように思われる。
- ・社会的な経験をさせる必要があるのではないか？
- ・ウィーナーの例からみると“多様な事柄の学習”が必要。  
11歳でカレッジ入学、14歳でハーバード大学院(動物学科)、18歳で博士号(数理哲学)、ラッセル、ハーディに師事、高射砲の制御(自動照準器)、神経生理学、動態社会学
- ・潜在的な資質を掘り起こせていないのではないか？疑問と反省

# メッセージ 機械工学、制御工学の体系化

機械工学の体系化を進めるべきであろう。体系化のポイントは“システム”

世に出ている機械のほとんどはシステム

システムを設計開発するには、個別分野を超えたオーガナイズが必要であるが、オーガナイズ能力を身につけるとしたら機械工学系、制御工学系の学生に周辺の例を経験させたうえで、システムのコンセプトとオーガナイズ法を教えていく必要がある。

# メッセージ 人間と機械の関係

ヒトは道具を使う動物 → 機械を使いこなすことは人の本質

ロボットは、人の機能を直接的に代行可能 → 何をどこまでロボットにさせるのか、期待するのか?

ロボットは、人を理解するための重要なツール

ロボットは、人のパートナーになれるのか? パートナーにするのが良いか?

# 学位論文オーガナイズ

岡潔(日本原子力開発機構)、安藤大樹(埼玉工業大学・講師)、三浦弘樹(一関高専・講師)、森英季(秋田県産業技術総合研究センター)、倉橋哲郎(豊田中央研究所)、小川淳夫(松本義肢)、朴根永(LG、Korea)、裴艶玲(名古屋大学・PD)、倉迫涼一(トヨタ自動車)、木全圭(NTN)、鎌田翔一郎(日立ハイテクノロジー)、水野雅彦(豊田中央研究所)、中山淳(一関高専・准教授)、李載女令(修了予定、Korea)、伊藤優司(豊田中央研究所、修了予定)

鄒立勇(日産、China)、齊藤耕治(秋田県庁)、宮脇和人(秋田高専・教授)、木澤悟(秋田高専・准教授)、巖見武裕(秋田大学・准教授)、孫會秀(Korea)、小林義和(秋田高専・准教授)、吳方芳(精華大学・講師、China)、平元和彦(新潟大学・准教授)、佐々木芳宏(秋田大学・准教授)、Ashish Dutta(IIT Kanpur, Professor, India)

【26名】

## 上司、共同研究者

猪岡光(東北大学・教授)、高橋義雄(秋田大学・教授)

渋谷嗣(秋田大学・教授)、永作清(秋田大学)、中村富雄(宮城高専・教授)、井前讓(大阪府立大学・教授)、島田洋一(秋田大学・教授)、土岐仁(秋田大学・教授)、菅勝重(秋田大学)、麻生和夫(秋田大学・教授)、栗田裕(滋賀県立大学・教授)、長縄明大(秋田大学・教授)、加賀谷斉(藤田保健衛生大学)、湯川俊浩(岩手大学・准教授)、藤田豊久(東京大学・教授)、大内一弘(秋田県高度技術研究所)、松永俊樹(秋田大学・講師)、愛田一雄(新潟大学・教授)、柳原好孝(東急建設)、飯村彥郎(秋田大学・助教)、黒沢忠雄(八戸高専・准教授)、佐々木誠(岩手大学・助教)、内藤尚(大阪大学・助教)、村岸恭次(シンフォニアテクノロジー)、濱田洋人(トヨタ自動車)、元田英一(南生協病院)

John B. Moore (ANU, Professor), Brian D. O. Anderson (ANU, Professor), Dimitar Stefanov (Coventry, University)

【29名】

# スタッフ

## 名古屋大学

川合忠雄(現大阪市立大学・教授)、中山淳(現一関高専・准教授)、長谷和徳(現首都大学東京・教授)、Ashish Dutta(IIT Kanpur, Professor, India)、金泳侑(Korean Institute)、徳田暁(現 Seattle, USA)、長井力(現 理化学研究所)、竹原昭一郎(現上智大学・准教授)、青木宏文(名古屋大学COI・教授)、山本江(東京大学・助教)、山田和正(名古屋大学・研究機関研究員)、裴艶玲(名古屋大学・研究機関研究員)

## 秋田大学

渋谷嗣(秋田大学教授)、永作清(技術職員)、菅勝重(助教授)、佐藤智子(教務職員)

皆様に大変お世話になりました。

ありがとうございます。