

「ロボットシステムの智能化制御」

～ 40年間の **温故知新** (考・学・感) ～

企業の研究所編 (ダイジェスト版)

東北工業大学  
電気電子工学科  
丸山 次人  
t-maruyama@tohotech.ac.jp

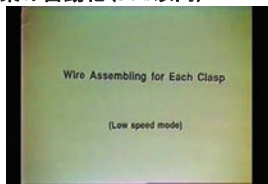
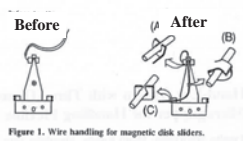


2021.2.15

1

精密組立ロボットの開発 ('83-'85)

(目的) 顕微鏡下のリード線固定作業の自動化(30s以内)



技術課題:

- 1) リード線の形が定まらない  
⇒ 3次元の形を計測する3次元の目
- 2) リード線は傷つきやすい  
⇒ やさしくつかむカハンド
- 3) 3軸直交ロボットに、目とつまみ感覚を持つ指をつけることで、微細作業が行える (CV'89発表)

2021.2.15

3

(株)富士通研究所システム研究部



企業の研究所編

東北工大編

- 1. 精密組立ロボット
- 2. 宇宙ロボット
- 3. ピン挿抜ロボット
- 4. 食事搬送ロボット
- 5. ハードディスクドライブ
- 6. 電動アシストカート
- 7. ガイドロボット
- 8. バイオリンロボット
- 伝えたこと

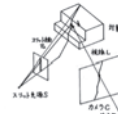
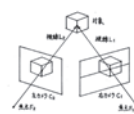
2021.2.15

2

精密組立ロボットの開発 (考・学・感-1)

◆ 考えたこと: オリジナリティを出すこと

- 1) 3次元の計測方法: 両眼立体視 / 構造照明法



(ビデオカメラ画像プロセッサCV'83発表)

- 2) ハンドの駆動機構: モータ駆動 / 圧電素子

◆ 学んだこと: 円高に負け、実用化に至らず (83年240円→85年120円, 海外生産の方が安い)

⇒ 我々の研究開発は、世界の経済と繋がっている  
研究開発スピードが勝負

◆ 学んだこと: ハンドの開閉方向が反対  
⇒ 構造解析シミュレーションは正しい

2021.2.15

4

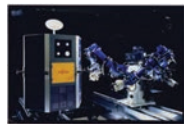
(株)富士通研究所システム研究部



微小カハンド (トーキン製を使用)

宇宙ロボットの研究 ('87-'94)

(目的) 2次元無重力模擬環境下(限定)で、衛星捕捉模擬実験 ('92.10富士通総合展に出展)



複腕7自由度ロボット“Benkei”

- 1) 回転する衛星の捕捉  
⇒ 手首カメラによるビジュアルトラッキング制御
- 2) 捕捉時の反力の吸収  
⇒ 6軸力センサによるインピーダンス制御

2021.2.15

5

(株)富士通研究所宇宙メカトロニクス研究部

宇宙ロボットの研究の後 (考・学・感-2)

'94年: 宇宙ロボット開発終了

◆ 学んだこと: プロジェクト管理や問題解決のシステム的手法  
⇒ 以後のプロジェクトの開発で大いに役立つ

◆ 考えたこと: このプロジェクトで開発した  
高速の動力学計算と高速干渉チェック技術  
をどう活かすか?



日経新聞

◆ 考えたこと: ロボット研究を組織として、どう続けていくか?



安いロボットを作ろう ⇒ ワイヤ駆動ロボットの研究に着手

2021.2.15

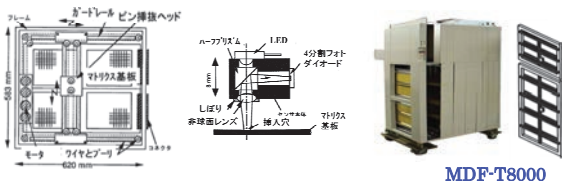
6

(株)富士通研究所宇宙メカトロニクス研究部

ワイヤ駆動ロボット ('95-'97) (考・学・感-3)

(目的) NTT向け「交換機用ピン挿抜ロボット」の開発

- 技術課題: ワイヤ駆動のため、安価であるが精度が悪い  
⇒ レーザ穴検出センサによるマトリクス基板のキャリブレーション



★98.4月; 自動MDF-T8000/T4000製品化

◆ 学んだこと: 携帯が急速に立上り、固定電話用本装置は  
数年間だけの製品出荷

⇒ やはり、我々の研究開発は世の中の経済と大いに繋がっている

2021.2.15

7

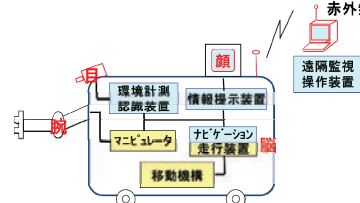
(株)富士通研究所自律システム研究部

通産プロ「食事搬送自動移動ロボット」 ('96-98年)

(目的) 少子高齢化社会に備え、人と同じ生活環境で介護支援  
作業を行うロボットシステムの開発 = 安川電機と共同

(目標) 老人保健施設・病院での食事の配膳下膳作業の自動化  
(安全性, 親和性, 自律性)

- 1998.11月; 医療福祉施設3ヶ所で実地試験
- 1999.3月; 国際福祉展に動員展示



食事搬送ロボット“福ちゃん”

2021.2.15

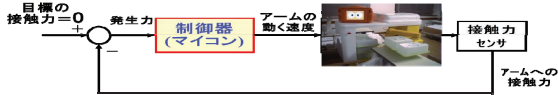
8

(株)富士通研究所自律システム研究部

## 食事搬送自動ロボットのセンサ制御技術は、

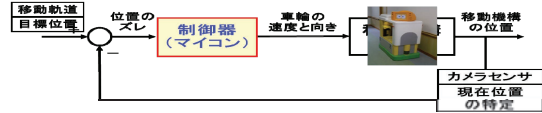
### 1) 安全性の確保 (保つ制御)

- ・アーム: 接触即時停止や過大力防止機構
- ・移動機構: 接触即時停止



### 2) 自律性の実現 (合せる制御)

- ・カメラによる廊下の線の計測による移動機構の安定走行制御
- ・超音波センサやレーザ距離センサによる障害物計測回避



2021.2.15

9

(株)富士通研究所 自律システム研究部

## 「食事搬送自動移動ロボット」(考・学・感-4)

- ◆ 学んだこと: 本番でドアに接触,  
⇒ 油断か/VIP効果か?  
リスクマネジメントが必要であった

- ◆ 感じたこと: 福祉施設では、できるだけ体を動かすように指導,  
ベッドサイドまで食事を配膳することはない!?  
⇒ 現場を知ることが大切

- ◆ 考えたこと: 当時カメラ1台15~20万円で高価であったが,  
信頼性確保のため、移動用2台、ハンドリング用2台の計4台使用  
→ 多すぎるとの声があった,  
今日、スマホに3台搭載される時代

- ◆ 感じたこと: 研究開発では、未来を見据えた判断が必要

2021.2.15

10

(株)富士通研究所 自律システム研究部

## 食事搬送自動移動ロボットのその後 (考・学・感-5)

- ◆ その後製品化 → しかし売れず

- パナソニック: 病院内自律搬送ロボットシステム  
「HOSPi」2013年ロボット大賞受賞



NHKニュース2020.9.28 NHK おはよう宮城2021.1.28

2013年国際ロボット展で

- コロナ禍で、レストラン、コンビニ、ホテルで、活躍する  
ロボットが注目

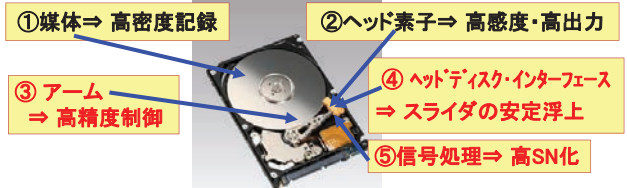
- ◆ 感じたこと: 時期が早すぎたのか?  
諦めずに続けることが大切、時代が後からついてくる

2021.2.15

11

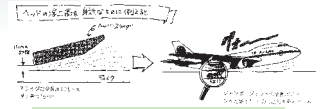
(株)富士通研究所 自律システム研究部

## 一品料理から月産200万台の世界へ



### ■ HDDはナノテクの世界

- ② 記録・再生ヘッドの幅: 60 nm
- ③ 浮上スライダの浮上量: 10 nm  
- 髪の毛直径 50μm  
- ウィルス直径 200 nm
- ⑤ ヘッドの位置精度: 10 nm



70mのジャンボ機が地上1mmを飛んでいることに相当  
CQ出版社 岡村博司編著  
「ハードディスク装置の構造と応用」より  
磁気ディスク装置研究部

2021.2.15

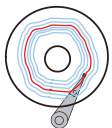
12

(株)富士通研究所 磁気ディスク装置研究部

## ハードディスクドライブの制御モード

### □ 保つ制御 (フォローイング)

- ・ヘッド位置を目標トラック上に保つ

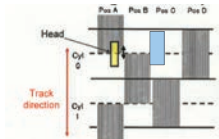
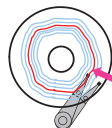


### □ 制御パターン



### □ 合わせる制御 (シーク)

- ・ヘッド位置を目標トラックに移動して合わせる



2021.2.15

13

(株)富士通研究所 磁気ディスク装置研究部

## HDDの研究開発 (考・学・感-6)

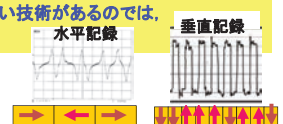
### '05-08: サーボパターンの一括垂直磁気転写技術

- ・ 現行技術は、サーボトラックライタで書き込む
- ・ 磁気転写は、電子ビーム露光装置で描画した原版を外部磁界で転写

- ◆ 学んだこと: 技術には、筋の良い技術と悪い技術があるのでは、  
⇒ その見極めの眼力が必要

- ◆ 製品試験、製品計画との競争の厳しさ  
⇒ 期間内に開発しないと採用されない

- ◆ 感じたこと: 垂直記録はS/Nがよい



- ◆ 学んだこと: 技術の完成度を高めること  
・ 目標仕様を明確にすること (ロボットと違い)  
・ 期限を明確にすること、スピードが勝負  
・ 理論・シミュレーションと、実験評価の両輪、データが全て  
・ 評価と改善のターンアラウンドタイムの短縮

2021.2.15

14

(株)富士通研究所 磁気ディスク装置研究部

## 制御理論の発展と実用化時期 (考・学・感-7)

60年 70年 80年 90年 00年 10年

### 60年現代制御 実用化研究 (赤字は実際に適用した制御技術)

- ・ 78年: 配属部で電子ビーム露光装置の位置制御で実用化
- ・ 80年: 大学で学んだ最適制御理論を円筒座標型ロボットの振動抑制制御に適用
- ・ 95年: 事業部でHDD位置制御実用化

### 80年ロバスト制御 実用化研究

- ・ 99年: ロバスト制御をHDD位置制御に適用

### 90年モデル予測制御 実用化研究 CCA2001

- ・ 09年: モデル予測制御をエンジン吸気系の制御に適用

MSC2012, 計測自動制御学会論文誌

- ◆ 感じたこと: 理論発表から実用化まで最低20年を体験

2021.2.15

15

(株)富士通研究所 磁気ディスク装置研究部

## 温故知新-1

(考・学・感-8)

### ➢ ロボットから

1. 我々の研究開発は、世の中の経済と繋がっている  
⇒ 研究開発のスピードが勝負
2. リスクマネジメントは必須、現場を知ることが大切
3. 諦めずに続けることが大切  
⇒ 未来を見据えた研究は、時代が後からついてくる

### ➢ ハードディスクから

4. 技術の筋の良い/悪いを見極める眼力が重要
5. 技術の完成度を高めること(チャンピオンデータは通用しない)
6. 理論の実用化には20年以上掛る、地道な努力が必要

2021.2.15

16

(株)富士通研究所

# 「ロボットシステムの智能化制御」

～ 40年間の **温故知新** (考・学・感) ～

東北工業大学編 (ダイジェスト版)

- ◆ 考えたこと: 大学で何をやるのか?  
(実用化が未だ・動くもの・開発経験が生きるもの)  
⇒ **ヒトにやさしい社会の実現を目指そう**

東北工業大学  
電気電子工学科  
丸山 次人  
t-maryama@tohtech.ac.jp

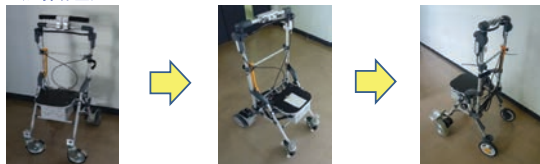


- ◆ 考えたこと: 盲導犬ロボットをやりたいが、ハードルが高い。  
⇒ **まず電動アシストカートから始めよう**

## 1. 足の不自由な方に役立つ福祉機器

(参考文献 [1])

2015.2月: 1号機 (力操作型)      2016.2月: 1.5号機 (急発進抑制, 安定走行)      2017.2月: 2号機 (段差乗り越え, 下り坂速度抑制)



- ◆ 考えたこと: 電動カートを横展開して、盲導犬ロボットの研究ができないか? ⇒ 2016.4月から研究スタート

## 2. 目の不自由な方を誘導するガイドロボット

(参考文献 [2]-[4])

街で活躍する盲導犬 約1,000頭  
盲導犬を希望する視覚に障がいのある方 約3,000人

■ 盲導犬に代わるガイドロボットの開発が必要

□ 必要な要素技術 (青字実現)



1. 誘導技術 (ナビゲーション)
2. 点字ブロックの認識・計測
3. 横断歩道と歩行者信号の認識
4. 障害物の計測と回避
5. 歩行者の認識・計測
6. 段差の検出

## 研究の歩み (考・学・感-12)

- ◆ 学んだこと: 屋外実験では、**道路使用許可**(半年毎に更新)が必要  
初回は学生と一緒に県警本部まで行って説明, 良い経験に

2016.9月 屋内の点字ブロック上の走行      2017.2月 路上の点字ブロック上の走行



2018.2月 狭い交差点道の横断      2019.2月 横断歩道の横断



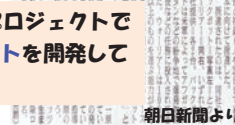
- ◆ 感じたこと: **一歩ずつ, 一歩ずつ目標をクリアして, 歩道の横断まで来た**

## ◆ 2011.3.11 東日本大震災で (考・学・感-9)

- ▶ 東日本大震災, 福島原発事故  
⇒ 日本のロボットはどうか?  
日本はロボット先進国では?



- ▶ 1983-92 極限作業ロボットの国のプロジェクトで  
原子力発電施設作業ロボットを開発していたのでは?



- ◆ 考えたこと: **技術は世の中に役立たないと意味がない**

## 電動カートからリハビリ用歩行車へ (考・学・感-10)

- ◆ 考えたこと: 2014年にR社が, 2015年K社が製品化, 価格は15~20万円台  
**開発段階は終了と判断.** ⇒ この技術を歩行訓練に展開できないか?  
2018.4月からスタート

・足の不自由な方のリハビリ用歩行車の開発に着手

背景 足の不自由な方の歩行訓練において, 歩行機能の回復度合いに関して, 理学療法士の経験や訓練者の感想に頼っているのが現状

- 目的
- ・歩行機能の回復度合いの**“見える化”**
  - ・歩行訓練において, 理学療法士や訓練者にとって安全で使い易い, 訓練評価用歩行車の実現

- ◆ 歩行訓練のフェーズ  
平行棒 ⇒ 歩行車 ⇒ シルバーカー ⇒ 杖 ⇒ 自立  
(on elbows ⇒ on hands ⇒ on a hand)

## 方向制御アルゴリズム (考・学・感-11)

目標点の算出      カマ画面5分割方式 (保つ制御)



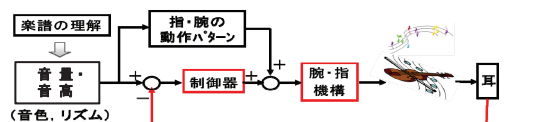
- ▶ 感じたこと: 単純なアルゴリズムでも, それなりにできることに驚く
- ▶ 学んだこと: **まずはやってみることが大事**

▶ 感じたこと: 35年前, ハードでやっていた処理がソフトでできる, CPUの進歩に驚く

- ◆ 考えたこと: バイオリン1式の値段はいくら? 安く購入できることが分かり, 研究することに. ⇒ 2013.4月から研究スタート

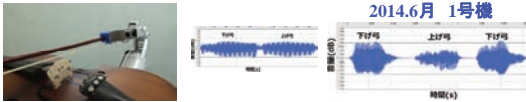
## 3. ヒトの音によるフィードバック制御 (バイオリン演奏ロボット)

- 仮説
- ◆ 考えたこと: ヒトは, 演奏中も音を聞きながら, 指位置, 弓圧, 弓速を微調整, **フィードバック制御**を行っているのでは? ⇒ **これを実現してみよう**



## 独自ロボット開発の歩み (考・学・感-13)

■ 2013.11月: 1号機(運弓機構として, デンソーVE026A使用)



◆ 考えたこと: デンソーアームは非力のため運弓機構の製作  
⇒ 多関節ロボットを購入か?, 独自開発か?

■ 2016.7月: 2号機(弓速と弓圧を独立制御可能な運弓機構開発)

■ 2017.2月: 2号機(+移弦機構開発)

念願のキラキラ星が弾けるようになった

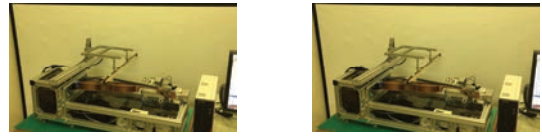


2021.2.15 25 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室

## 音の大きさと音の高さの制御の歩み(考・学・感-15)

'16.8音量オンラインフィードバック

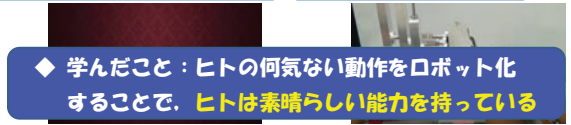
'16.8音量オンラインフィードフォワード  
+フィードバック



◆ 学んだこと: フィードバックだけでは難しい,  
フィードフォワードにフィードバックを加えることで, 音量一定に

'16.11音高オンラインフィードバック

'18.2オンラインビブラト



◆ 学んだこと: ヒトの何気ない動作をロボット化  
することで, ヒトは素晴らしい能力を持っている

2021.2.15 26 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室

## 温故知新-2 (学・考・感-17)

- 大きな目標も, 小さな目標の積み上げ  
⇒ **一歩ずつ, 一歩ずつ**
- 論文や教科書だけでは, 本当のところは分からない。  
自分で確かめ, さらに限界を追及して初めて,  
**本当の課題(本質)が見えてくる**
- ヒトの何気ない動作のロボット化により,  
⇒ **ヒトの素晴らしい能力が見えてくる。**
- 英語によるコミュニケーション能力を身に付けよう

2021.2.15 27 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室

## 100年に一度の技術変革の時代 (学・考・感-17)

SDGs

3. すべての人に健康と福祉を
7. エネルギーをみんなに, そしてクリーンに
13. 気候変動に具体的な対策を



電気電子工学科の研究分野

➤ 20~30年後の未来

- ・超高齢化社会  
福祉機器・介護ロボット
- ・感染症対策  
対面→ 新生活様式(ロボット化)  
**検査・創薬, バイオセンサ**
- ・2050年脱炭素社会:  
石炭火力→ **再生エネルギー・発電デバイス**  
ガソリン車→ **電気自動車, バッテリー, 半導体デバイス**



2021.2.15 28 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室

## 富士山の山頂・登山道

<https://www.camp-outdoor.com/index.shtml>

富士山の頂上? <https://www.wild1.co.jp/academy/qanda/trekking/050318.php>

⇒外輪山の尾根がすべて  
① 正解が一つとは限らない

吉田ルート  
標高差1450m  
往復距離14km  
登り6時間10分

須走ルート  
標高差1900m  
往復距離13km  
登り6時間50分

御殿場ルート  
標高差2300m  
往復距離17.5km  
登り8時間10分

富士宮ルート  
標高差1350m  
往復距離9.5km  
登り5時間30分

登山道は?  
⇒ルートも一つだけでない  
② 解き方も一つでない

2021.2.15 29 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室

## 登山道の○合目とは,

○合目とは, 登山は修行の一貫で人間形成の手段として実施, 到達の難しさや疲労の具合をもとに到達目的として決められた(登山者の励みの目標や休息地になる地点)

<https://www.wild1.co.jp/academy/qanda/trekking/050318.php>

吉田ルート  
標高差1450m  
往復距離14km  
登り6時間10分

吉田口頂上(3710)

九合目(3600m)

本八合目(3370)

八合目(3040)

七合目(2700)

六合目(2390)

五合目(2300)

⇒ 登山道には○合目がある,  
頂上付近は細かく刻んでいる  
③ 難しさに応じて, マイルストーンを設定

2021.2.15 30 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室

## ソウの時間, ネズミの時間 まとめ

動物において,  
・時間は, **体重の1/4乗に比例**  
・餌の量は, **体重の3/4乗に比例**  
ように, デザインされている(動物の根本デザイン)

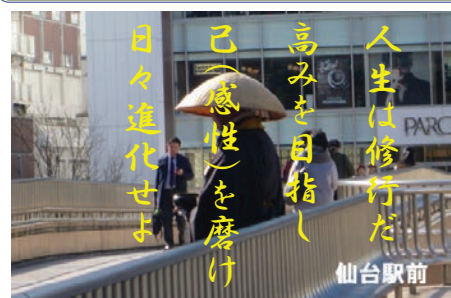
み方(見方, 観方, 視方, 診方)を変えると,  
共通性, 普遍性が切り出され,

モノの**本質・真理**が見えてくる

2021.2.15 31 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室

## 未来を担う皆さんに伝えたいこと

失敗を恐れず, 面白いことを  
ともかくやってみましょう



ロボットクリエイターズマガジンもご覧ください

2021.2.15 <http://robocre.com> 2020/03/30 東北工業大学電気電子工学科丸山研究室