

# 船舶の自動避航システムと 自動着岸システムについて

大阪大学大学院工学研究科  
長谷川和彦

船舶の運航自動化に関するワークショップ、2017年3月8日、於：広島大学工学部

1



## 操船の自動化



## 日本の自動化船の開発

- 世界初の自動化船「金華山丸」 昭和36(1961)年
- 日本初のM0船 昭和43(1969)年
- 超自動化船プロジェクト 昭和42(1967)～49(1974)年 日本造船研究協会
- 高度自動運航システム 昭和57(1982)～63(1988)年 (社)日本造船協会、高信頼度  
船用推進プラント技術研究組合

海のITSの推進に関する研究 平成12(2000)～17(2005)年 国土交通省、海上技術安  
全研究所、電波航法研究所、大阪大学

# AUTOPILOT 1976-1982

5

## HISTORY AND RESEARCH ON AUTOPILOT

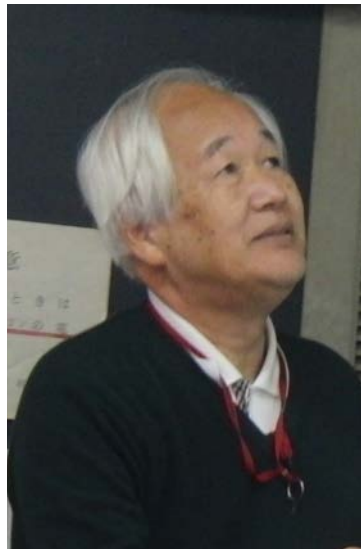
- Metal Mike by Elmer Sperry (1860-1930)
- Minorsky's paper (1922)
- Weather Adjustment against disturbances
- Adaptive Autopilot
- Energy consumption (due to Oil Shock or Nickson Shock)



6

### 故大津皓平先生

- 第3回操縦性シンポジウムで一緒にオートパイロットの章を担当



### 小瀬邦治先生と小山健夫先生



## IDENTIFICATION OF HELMSMAN'S TRANSFER FUNCTION

- To identify transfer function of helmsman in a closed-loop system
- Found the human capability of phase compensation and gain adjustment in the range of frequency

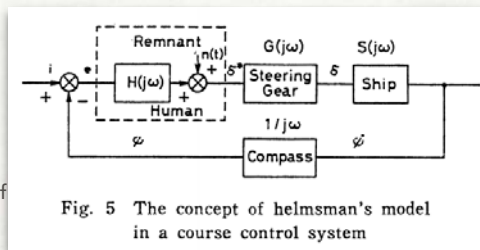


Fig. 5 The concept of helmsman's model in a course control system

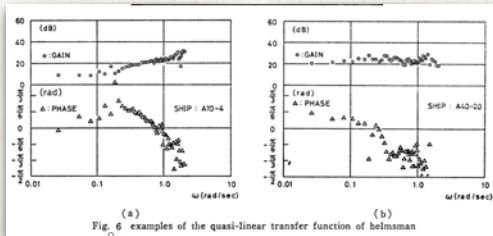


Fig. 6 examples of the quasi-linear transfer function of helmsman

## PHASE COMPENSATION VS DEVIATION ERRORS

- Utilising this capability to identify the limit of human capability to control large ships
- now it is reflecting to the manoeuvrability standard as IMO resolution MSC.137(76)

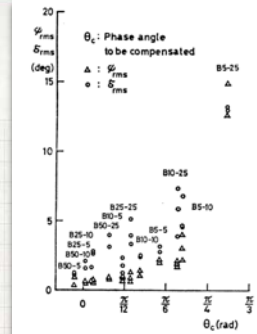


Fig. 10 Results of simulations at SR-151 (with noise)



\* International Maritime Organisation

## EVALUATION FUNCTION

- There were two evaluation functions before. They are named, Norrbin (SSPA, Sweden) and Toyama (Univ. of Tokyo). The weights are quite different between two.
- To try to figure out appropriate weighting factors for cost function of optimise autopilot coefficients

$$J = \lambda_1 \overline{\varphi^2} + \lambda_2 \overline{\delta^2} + \lambda_3 \overline{r^2}$$

Model A (Cargo Ship)

$$J = \left( \frac{50}{150} \right) \overline{\varphi^2} + 388 \overline{\delta^2} + 2853 \overline{r^2}$$

Model B (Tanker)

$$J = \left( \frac{50}{150} \right) \overline{\varphi^2} + 485 \overline{\delta^2} + 2342 \overline{r^2}$$

Model C (Tanker)

$$J = \left( \frac{50}{150} \right) \overline{\varphi^2} + 607 \overline{\delta^2} + 2460 \overline{r^2}$$

# AUTOMATIC COLLISION AVOIDANCE SYSTEM 1985-

## 自動避航システム(1985年～)

- 1987年 自動避航システム(ACAS) (2船間)
- 1989年 自動避航ファジィエキスパートシステム(SAFES) (複数船)
- 1990年～ 海上交通シミュレーションシステム(SMARTS->MTSS)

## ACAS(1987)

- 海上衝突予防法(COLREG)に則り、基本的な2船間の避航問題をファジィ推論とファジィ制御により解いた。
- その際、相手船が非協力的であることを前提にシステムを構成したり、自船が変針などの行動中でも常に避航動作を優先して行うように設計した。

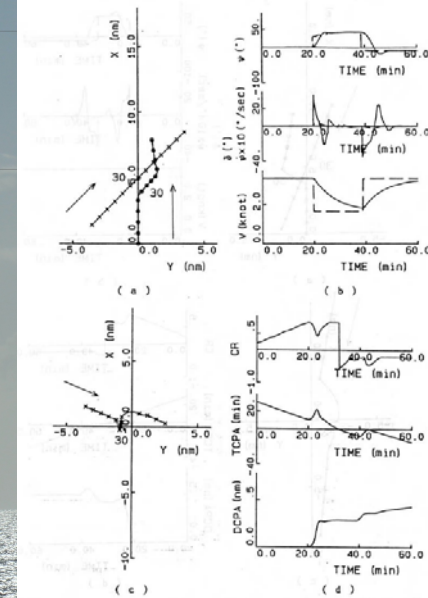


Figure 19. Simulation of collision avoidance manoeuvres by fuzzy control (type III)

## SAFES(1989)

- ACASをエキスパート化して複数船に対応できるように拡張した。

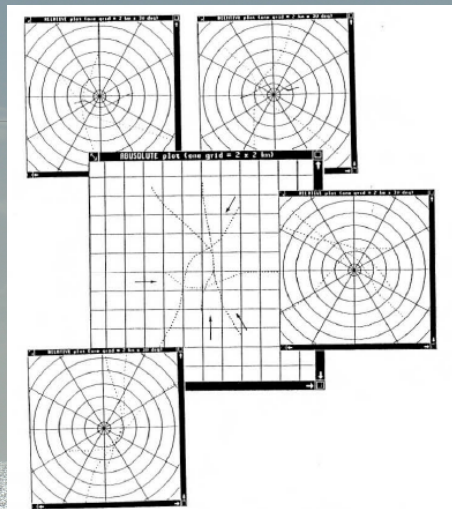


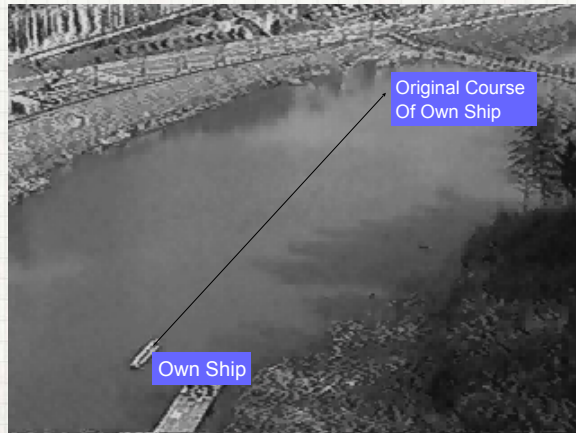
Figure 3. An example of four-ship encounter at the origin by SAFES.

## WORLD FIRST EXPERIMENT OF AUTOMATIC COLLISION AVOIDANCE WITH (VIRTUAL) MULTIPLE SHIPS

2002



WORLD FIRST EXPERIMENT OF AUTOMATIC COLLISION AVOIDANCE WITH (VIRTUAL) MULTIPLE SHIPS, 2002



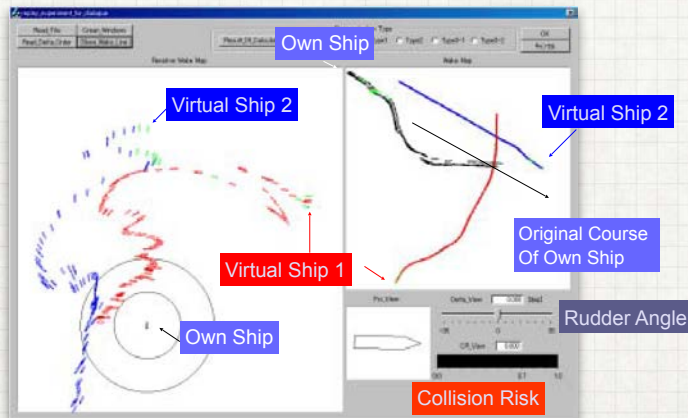
17

WORLD FIRST EXPERIMENT OF AUTOMATIC COLLISION AVOIDANCE WITH (VIRTUAL) MULTIPLE SHIPS, 2002



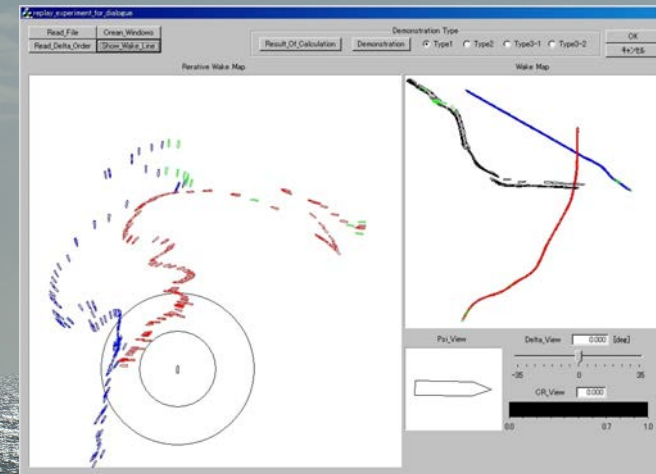
18

WORLD FIRST EXPERIMENT OF AUTOMATIC COLLISION AVOIDANCE WITH (VIRTUAL) MULTIPLE SHIPS, 2002



19

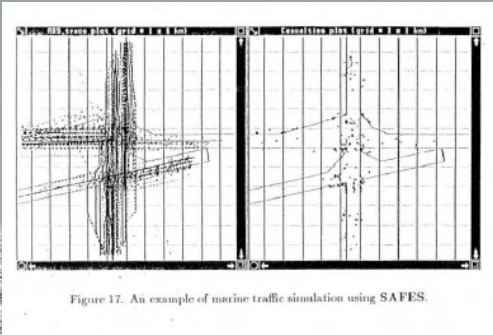
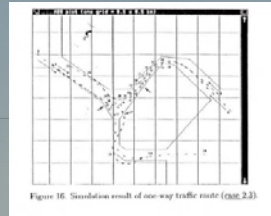
複数船の避航実験(2002)



# SMARTS(1990)

- SAFESを拡張し、統計データに基づく、交通流発生システムを追加して自然な避航動作を伴う海上交通のシミュレーションシステムを開発し、事故多発地点の推定に応用し、海上交通のアセスメントツールとした。

さらに、狭水路へも適用できる航路認識アルゴリズムを開発した。



# SMARTS(2000~2004)

- 大阪湾、東京湾、伊勢湾などの輻輳海域のシミュレーションを次々と実施
- 羽田空港拡張工事の航行安全アセスメントへ適用



## MARINE TRAFFIC SIMULATION IN 1980S AND BEFORE

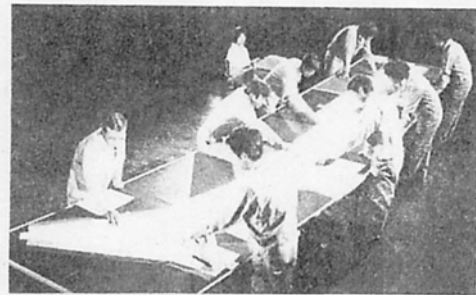
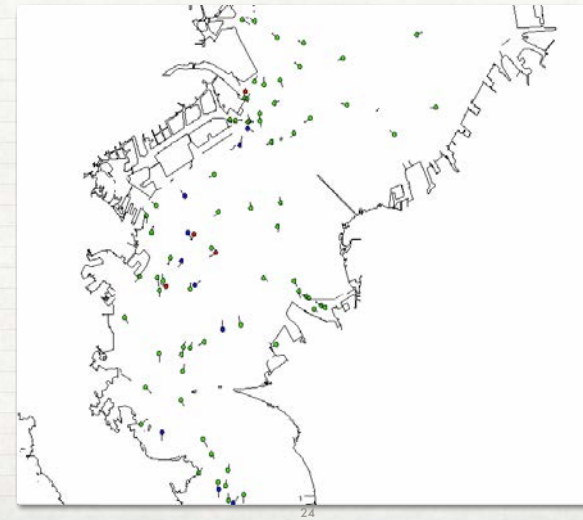


Fig.1 Marine Traffic Simulator with Human Operators [33, 34]

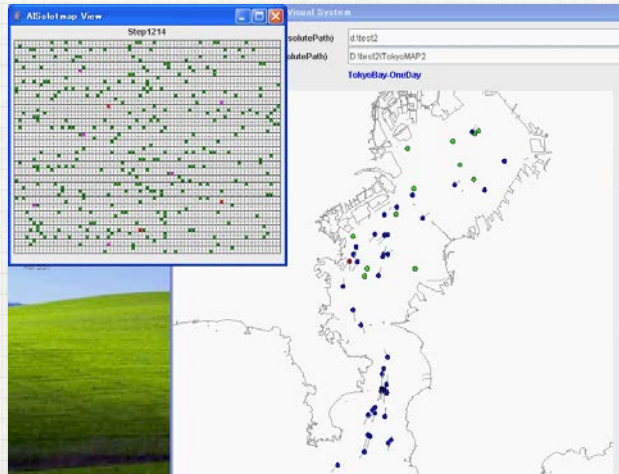
[34] Y. Fujii, T. Makijima and K. Hara: Marine Traffic Engineering (in Japanese), p.135, Kaibundo Shuppan, Kobe, 1981.  
 [35] A. Nagasawa: Marine Traffic Simulation Including Collision Avoidance, Navigation, Bulletin of JIN, 80, pp.28-34, June, 1984.

## MARINE TRAFFIC SIMULATION TOKYO BAY, 1990



# WITH AIS COMMUNICATION SIMULATION

TOKYO BAY, 2006



# IDENTIFICATION OF SHIP DYNAMICS (K AND T) FROM AIS DATA

2012

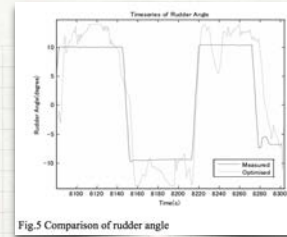


Fig.5 Comparison of rudder angle

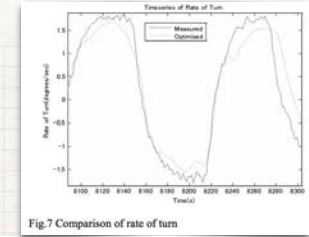


Fig.7 Comparison of rate of turn

Table 7. Calculated manoeuvring indices from AIS data

MMSI	$K^*$	$T^*$	$K$	$T$
Fukaemaru	1.07	1.26	0.14	10
431000331	0.99	2.27	0.056	40
431000139	1.04	1.67	0.05	35
306336000	0.85	1.78	0.044	35
431000457	1.83	2.3	0.14	30
431300324	1.11	2.13	0.059	40
441129000	3.8	7.01	0.33	80
636014868	3.11	6.18	0.084	230
431500186	1.55	2.35	0.091	40
440554000	3.12	6.56	0.26	80
447001000	4.06	7.11	0.1445	200

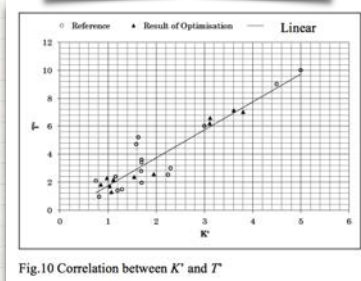


Fig.10 Correlation between  $K^*$  and  $T^*$

# MARINE TRAFFIC SIMULATION

ALLOWANCE OF TRAFFIC VOLUME, 2013

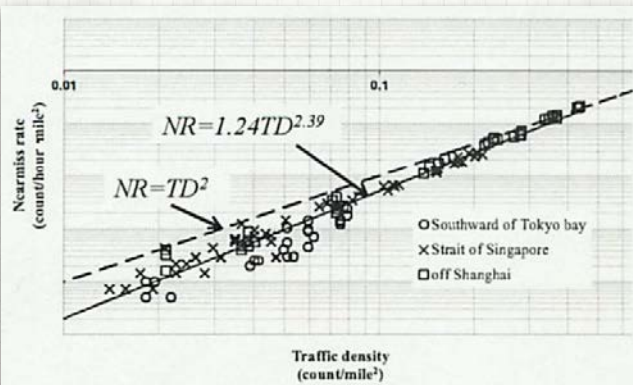


Fig. 5 The traffic volume allowance degree [12]

# インテリジェントシミュレータ(2010)

- 2010明石海峡の衝突事故の再現鳥瞰図 (海技研作成)
- 同上をインテリジェントシミュレータで2つのシナリオを再現



# AUTOMATIC BERTHING/ DEBERTHING

29

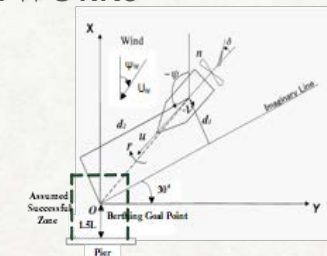
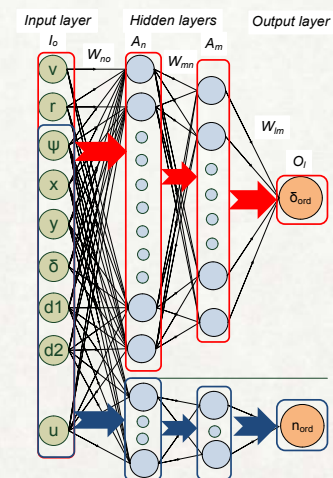
小瀬邦治先生と大和裕幸先生



## 自動着棧システム(1993年～)

- AIブームの頃、ニューラルネットワークを使った自動着棧問題を、大和らが扱った。
- それに刺激を受けて始めた研究であり、シミュレーション、模型実験を経て、一時途絶えたものの、現在は、最適制御を用いた教師データの自動生成機能により、さらに汎用化したシステムとなっている。

## NEURAL NETWORKS



> Mean squared error (MSE) is used as evaluation function and Lavenberg-Marquardt algorithm in training.



## AUTOMATIC BERTHING EXPERIMENT (1993-)



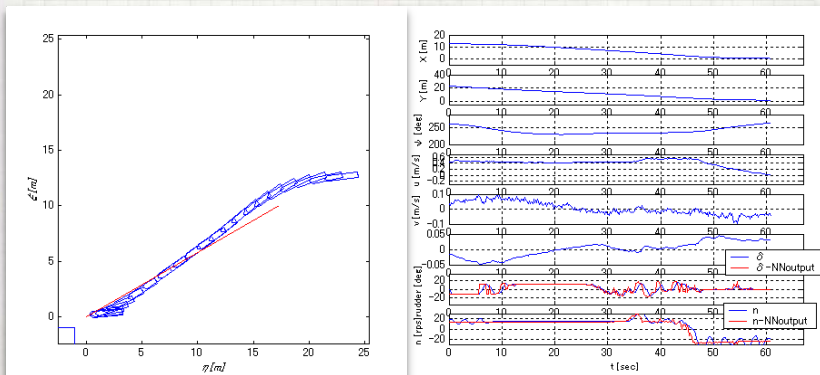
33

## AUTOMATIC BERTHING EXPERIMENT (2004)



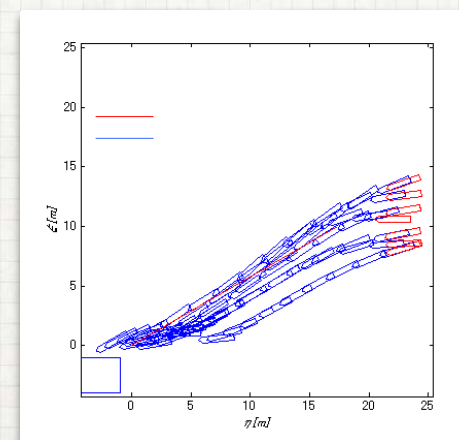
34

## AUTOMATIC BERTHING EXPERIMENT (2004)



35

## AUTOMATIC BERTHING EXPERIMENT (2004)



36

# 教師データの自動作成

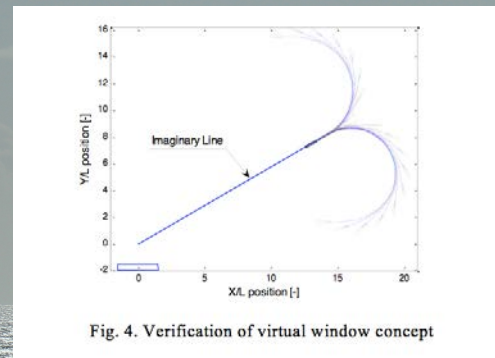


Fig. 4. Verification of virtual window concept

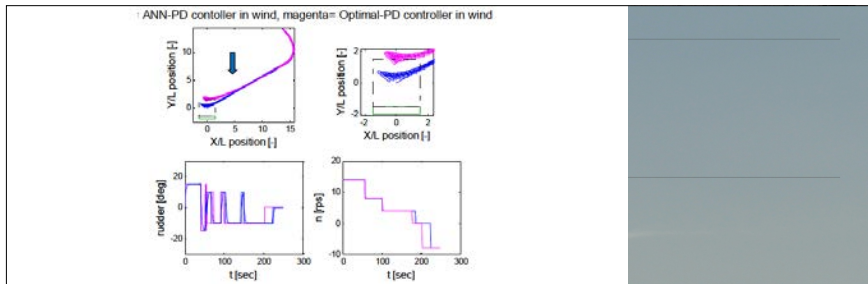


Fig. 26. Average wind velocity 1.5 m/s, wind direction 0°, initial ship heading 140° with rudder restriction  $\pm 15^\circ$

■ 1/108模型船  
ベースで1.5m/s  
の風速に対応  
できる。

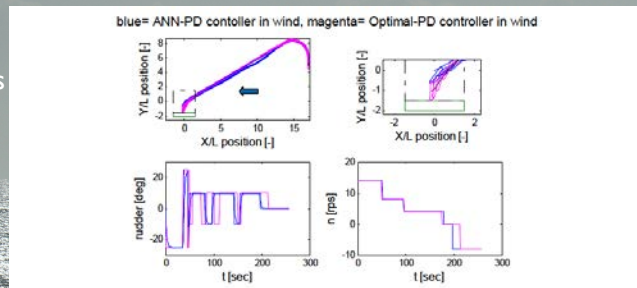


Fig. 27. Average wind velocity 1.3 m/s, wind direction 270°, initial ship heading 360° with rudder restriction  $\pm 25^\circ$

# 教師データの自動作成

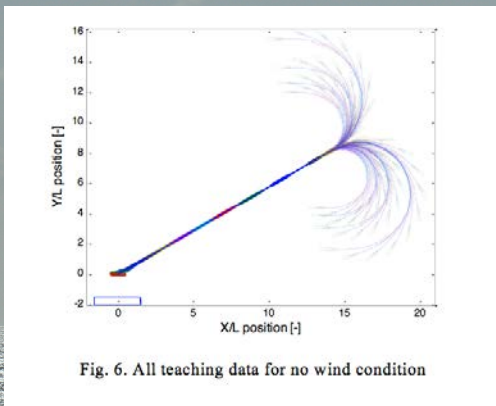


Fig. 6. All teaching data for no wind condition

# ANNの構成

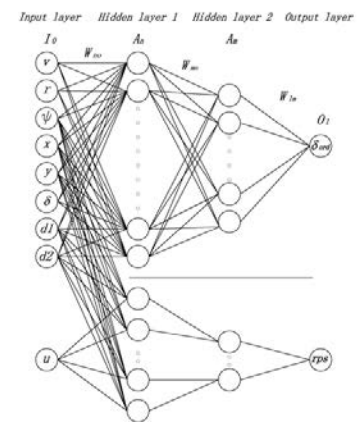
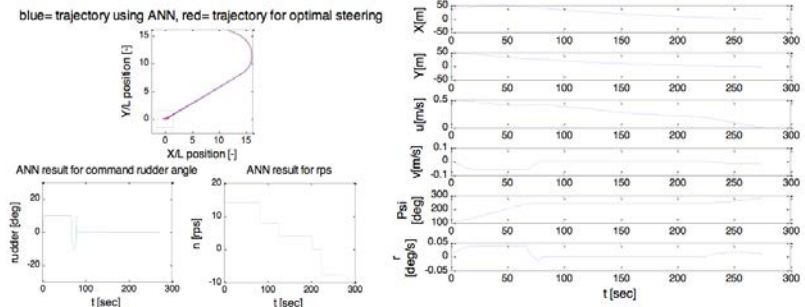
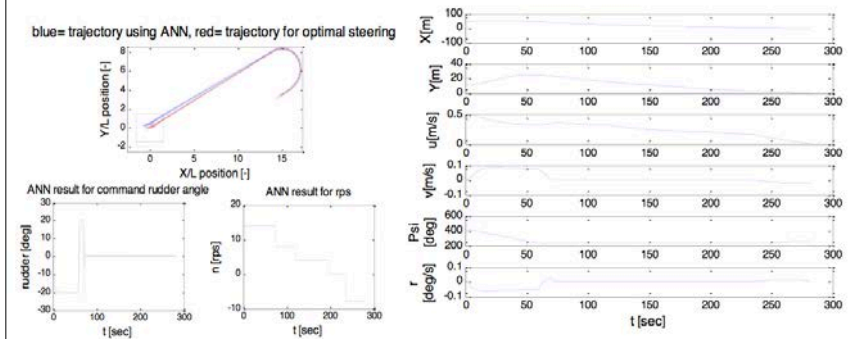


Fig. 8. Artificial Neural Network construction

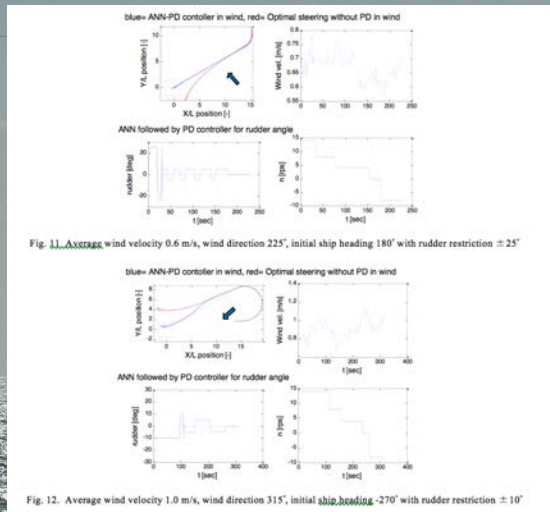
# ANNの結果 1



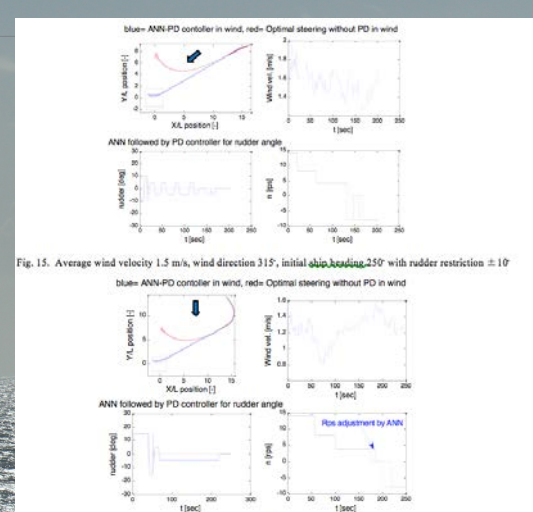
# ANNの結果 2



# ANNの結果 (風外乱下 1)



# ANNの結果 (風外乱下 2)



# OTHER AUTONOMOUS SYSTEMS/PROJECTS/ COMPETITIONS

45

## World Robotic Sailing Championship & International Robotic Sailing Conference

Previous events were held in

Austria (2008)

Portugal (2009)

Canada (2010)

Germany (2011)

Wales (2012)

Brest, France (2013)

Galway, Ireland (2014)

<http://wrsc2014.com/>

## ASV Roboat at WRSC 2009



<http://www.robocat.aegean.gr/>

## The Microtransat Challenge



<https://www.youtube.com/watch?v=e6-XUwXj44>

# AUTONOMOUS CATAMARAN COMPETITION

49

## ROBOTX COMPETITIONS, 2014



50

## ROBOTX COMPETITIONS, 2014



51

## ROBOTX COMPETITIONS, 2014



52

## ROBOTX COMPETITIONS, 2014



53

## ROBOTX COMPETITIONS, 2014



<http://www.robotx.org/>

54



55

江田治三先生



芳村康男先生



福戸淳司氏と三宅里奈さん



浜本剛実先生



