ISSN 0286-3839

舞鶴工業高等専門学校紀要

第58号

令和５年３月

BULLETIN OF NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MAIZURU COLLEGE

No.58

MARCH 2023

舞鶴工業高等専門学校

NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MAIZURU COLLEGE

目　　次

＜工　　学＞

双腕ロボットの物体引き込み動作生成
…… 室巻　孝郎　1

ギガスクール端末を活用した「総合的な学習の時間」の実践
…… 井上　泰仁，加藤　彩香，小酒　未央，中川　靖彦，柴田　雅代，鈴木　俊治，福井　幸大，小林　夏樹，時岡　常和，小野伸一郎　7

蛇島ガソリン庫跡の調査
…… 毛利　聡，牧野　雅司，今村　友里子，眞鍋　広紀，堀井　樹，松﨑　健太，長嶺　睦，谷口　未来，長尾　隆希　13

＜報　　告＞

建築設備と人材育成について　その１　建築設備とICTのこれまでとこれから
…… 内海　康雄　25

建築設備と人材育成について　その２ 人材育成と将来の動向
…… 内海　康雄　39

2022年度 レゴSPIKEプライムを用いた体験授業
…… 室巻　孝郎，毛利　聡　55

芦生研究林の現状と魅力を伝えるVR動画制作の報告
…… 坪倉　咲希，弘山　結，福島　健太，松本　壮太，丹下　裕，蔭山　海一郎　59

蛇島ガソリン庫の遺物と遺構
…… 牧野　雅司，毛利　聡，朝倉　槙人　69

Contents

< Engineering >

Object Retracting Motion Planning for Dual Arm Robots
…… Takao MUROMAKI 1

Practice of the Comprehensive Studies in Elementary and Junior High Schools
…… Yasuhito INOUE, Ayaka KATO, Mio KOSAKE,Yasuhiko NAKAGAWA, Masayo SHIBATA, Shunji SUZUKI, Kodai FUKUI, Natsuki KOBAYASHI, Tsunekazu TOKIOKA and Shinichiro ONO 7

Investigation of The Remains of Jajima Gasoline Storage
…… Satoshi MOHRI, Masashi MAKINO,Yuriko IMAMURA, Hiroki MANABE, Tatsuki HORII, Kenta MATSUZAKI, Mutsumi NAGAMINE, Mirai TANIGUCHI and Ryuki NAGAO 13

< Report >

Building Equipment and Human Resource Cultivation
Part 1 Past and Future of Building Equipment and ICT
…… Yasuo UTSUMI 25

Building Equipment and Human Resource Cultivation
Part 2 Human Resource Cultivation and Future Trend
…… Yasuo UTSUMI 39

Hands-on Class with LEGO Education SPIKE Prime in 2022
…… Takao MUROMAKI and Satoshi MOHRI 55

Report on VR Video Production to Convey Current Status and Appeal of Ashiu Forest Research Station
…… Saki TSUBOKURA, Yui HIROYAMA, Kenta FUKUSHIMA, Sota MATSUMOTO,Yutaka TANGE and Kaichiro KAGEYAMA 59

Investigation of remains and relics in Jajima Gasoline Storage
…… Masashi MAKINO, Satoshi MOHRI and Makito ASAKURA 69

双腕ロボットの物体引き込み動作生成

Object Retracting Motion Planning for Dual Arm Robots

室巻孝郎 [1]
Takao MUROMAKI

1. はじめに

重量物を運搬する機械は,産業ロボットや重機などとして実用化されているが,その運搬方法は,重量物を持ち上げるものである．一方で，大型ロボットを設置するための十分な作業スペースが確保できない場合,別の運搬方法を検討しなければならない．これに対し，本研究では，図 1 に示すように,双腕ロボットを用いて物体を移動させる運搬動作の生成について考える．

双腕ロボットに関して,双腕マニピュレータの協調制御についての研究が行われており [1)], 物体を把持する位置や物体に加える力の制御について検討されている．ただし，これらの研究では，物体をどのような経路で運搬すればよいかについては言及されていない．また，双腕マニピュレータを用いて物体を持ち上げて移動させることを前提としている．

本研究で対象とするのは,双腕ロボットを用いて物体を引きずるようにして動かすときの運搬動作である.床面を引きずるようにして動かすため,物体と床面の摩擦を考慮した運動方程式を求める．次に，事前に与えられた初期姿勢の下で,物体をロボット本体の位置まで移動させる際に必要となるトルクを最小化することを考える.必要なトルクが小さくなることにより,小型の双腕ロボットで物体の運搬を達成することが可能となる．

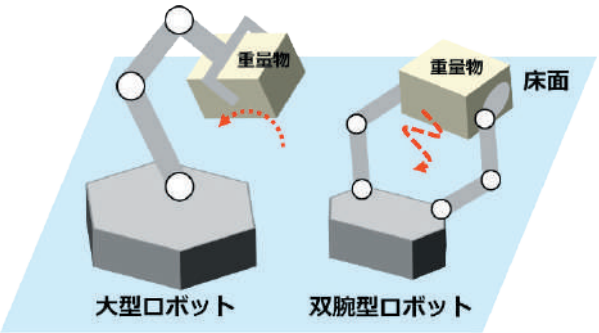


図 1　ロボットを用いた重量物の運搬

2. 双腕ロボットの動力学モデル

2.1 双腕ロボットの動作モデル

図 2 に示すように，水平面内を運動する双腕マニピュレータについて考える．片腕は 2 リンクで構成されており,関節①～④は回転ジョイントとし，アクチュエータによりトルクτ_j $(j = 1,2,3,4)$が与えられる．点⑤, ⑥は物体とマニピュレータ先端の接触部を表しており，物体とマニピュレータ先端は離れることなく自由に回転できる拘束がかけられているものとする．Σ_0は絶対座標系，$\Sigma_i (i = 1, \cdots, 7)$は各リンクや物体に設定されたボディ座標系である．以下では，リンクと物体をまとめてボディと表記する．Σ_0において,水平方向をx, 鉛直方向をyとする．l_iはボディiの長さ，s_iはボディi左端から重心までの距離を表している．物体を 3 つのブロックに分割して扱い,物体を移動させる際には床面との間に摩擦が発生する．また，次節の運動方程式の導出にあたり，以下の仮定を置くものとする．

(1) 各ボディは滑らかに動くものとし，床面との摩擦は考慮しない．

(2) ロボット本体は床面に固定されており，移動しない．

(3) ボディ同士の干渉は考慮しない．

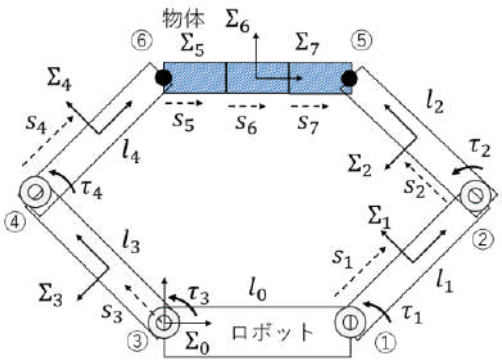


図 2　双腕ロボットの構成と座標系設定

2.2 運動方程式

ボディiの運動を$\boldsymbol{q}_i = [x_i \quad y_i \quad \phi_i]^T$で表し，全一般化座標を

$$\boldsymbol{q} = [x_1, y_1, \phi_1, \cdots, x_7, y_7, \phi_7]^T \tag{1}$$

と定義する．ここで，ボディiの姿勢ϕ_iは，絶対座標系Σ_0のx軸とボディ座標系Σ_iのx_i軸のなす角である．また，回転ジョイントに関する拘束や物体とマニピュレータ先端の接触に関する拘束をま

1 舞鶴工業高等専門学校　機械工学科　准教授

とめて，運動学的拘束$\boldsymbol{C}$として次式で表す．

$$\boldsymbol{C}=\begin{bmatrix} x_1-l_0-s_1C_1 \\ y_1-s_1S_1 \\ x_1+(l_1-s_1)C_1-x_2+s_2C_2 \\ y_1+(l_1-s_1)S_1-y_2+s_2S_2 \\ x_2+(l_2-s_2)C_2-x_7-(l_7-s_7)C_7 \\ y_2+(l_2-s_2)S_2-y_7-(l_7-s_7)S_7 \\ x_3-s_3C_3 \\ y_3-s_3S_3 \\ x_3+(l_3-s_3)C_3-x_4+s_4C_4 \\ y_3+(l_3-s_3)S_3-y_4+s_4S_4 \\ x_4+(l_4-s_4)C_4-x_5+s_5C_5 \\ y_4+(l_4-s_4)S_4-y_5+s_5S_5 \\ x_5+(l_5-s_5)\,C_5-x_6+s_6C_6 \\ y_5+(l_5-s_5)S_5-y_6+s_6S_6 \\ \phi_5-\phi_6 \\ x_6+(l_6-s_6)\,C_6-x_7+s_7C_7 \\ y_6+(l_6-s_6)S_6-y_7+s_7S_7 \\ \phi_6-\phi_7 \end{bmatrix} \tag{2}$$

ここで，C_iは$\cos\phi_i$，S_iは$\sin\phi_i$を表している．拘束による未知反力を表すラグランジュ乗数ベクトル$\boldsymbol{\lambda}$を導入すると，運動方程式は次式で表される[2)]．

$$\begin{cases} \boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{q}}+\boldsymbol{C}_q^T\boldsymbol{\lambda}=\boldsymbol{Q} \\ \boldsymbol{C}_q\ddot{\boldsymbol{q}}=-(\boldsymbol{C}_q\dot{\boldsymbol{q}})_q\dot{\boldsymbol{q}}-2\boldsymbol{C}_{qt}\dot{\boldsymbol{q}}-\boldsymbol{C}_{tt} \end{cases} \tag{3}$$

ここで，$\boldsymbol{M}_i$は質量行列であり，対角成分に質量m_iと慣性モーメントI_iが並ぶ行列である．

$$\boldsymbol{M}_i=\begin{bmatrix} m_i & 0 & -m_is_iC_i \\ 0 & m_i & -m_is_iS_i \\ -m_is_iC_i & -m_is_iS_i & I_i+m_is_i^2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

また，$\boldsymbol{Q}$は関節のトルクや摩擦による力に関する項であり，以下のように設定する．

$$\boldsymbol{Q}_1=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \tau_1-\tau_2 \end{bmatrix},\ \boldsymbol{Q}_2=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \tau_2 \end{bmatrix},\ \boldsymbol{Q}_3=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \tau_3-\tau_4 \end{bmatrix}$$
$$\boldsymbol{Q}_4=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \tau_4 \end{bmatrix},\quad \boldsymbol{Q}_i=\begin{bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ 0 \end{bmatrix},\ (i=5,6,7) \tag{5}$$

ここで，F_{ix}，F_{iy}はx方向，y方向の摩擦に関する力である．摩擦に関する力の詳細は次節で述べる．

2.3　摩擦モデル

物体と床面の摩擦を表現するモデルとして単純化摩擦モデル[3)]を適用する．横軸にすべり速度，縦軸に摩擦係数を取った単純化摩擦モデルのグラフを図 3 に示す．図中のμ_sは最大静止摩擦係数，μ_cは動摩擦係数であり，v_s，v_cはしきい速度を表している．x方向の摩擦力F_xは，法線接線力をF_N，すべり速度を$\dot{x}$とすると，以下の３つの場合に分けて与えられる．

(1) $|\dot{x}|\le v_s$の場合

$$F_x=-\frac{\dot{x}}{v_s}\mu_s|F_N| \tag{6}$$

(2) $v_s<|\dot{x}|\le v_c$の場合

$$F_x=-\mathrm{sign}(\dot{x})\left\{\frac{\mu_s-\mu_c}{v_s-v_c}(|\dot{x}|-v_c)+\mu_c\right\}|F_N| \tag{7}$$

(3) $|\dot{x}|>v_c$の場合

$$F_x=-\mathrm{sign}(\dot{x})\mu_c|F_N| \tag{8}$$

y方向の摩擦力F_yについても，y方向のすべり速度$\dot{y}$を用いて同様に与える．

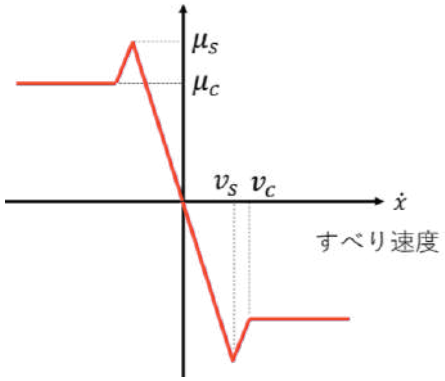


図 3　単純化摩擦モデル

3.　引き込み動作の数値最適化

3.1　最適化問題

双腕ロボットは，初期時刻$t=0$において静止しており，初期姿勢はあらかじめ与えられるものとする．物体を数値シミュレーション終了時刻$t=t_f$までに引き込む場合に，必要なトルクを最小化することを考える．最適化問題を以下で定める．

$$\begin{array}{lll} \text{Minimize} & \mathrm{Max}(\tau_j(t)), & j=1,2,3,4 \\ \text{w.r.t.} & \tau_j(t), & j=1,2,3,4 \\ \text{s.t.} & \mathrm{Min}(y_6(t))\le 0, & 0\le t\le t_f \end{array} \tag{9}$$

目的関数は，関節①～④のトルク$\tau_j(t)$の$[0,t_f]$における最大値であり，設計変数は各関節トルク$\tau_j(t)$とする．制約条件は，$[0,t_f]$において物体重心のy座標が 0 以下となることである．この条件を満たせば，物体がロボット本体の場所まで運ばれていることになる．

次に，設計変数$\tau_j(t)$の探索を行うにあたり，三角関数sinおよびチェビシェフ多項式$T(t)$を用いた級数表現を導入する．

$$\tau_j=\sum_{i=1}^{N_s}\alpha_{ji}\sin(it)\ ,j=1,2,3,4 \tag{10}$$

$$\tau_j = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_{ji} T_{i-1}(t) \ , j = 1,2,3,4 \tag{11}$$

$$T_0(t) = 1, \quad T_1(t) = t, \\ T_{i+1}(t) = 2tT_i(t) - T_{i-1}(t) \tag{12}$$

この級数表現により，設計変数はトルク$\tau_j(t)$の係数$\alpha_{ji}(i = 1, \cdots, N_*)$となる．なお，$N_*$は，sin を用いる場合は$N_s$であり，チェビシェフ多項式を用いる場合は$N_c$を表すものとする．設計変数$\alpha_{ji}$を$i = 1$から順に並べたものを変数$\boldsymbol{X}$で表現する．

$$\boldsymbol{X} = [\alpha_{11}, \cdots, \alpha_{1N_*}, \cdots, \alpha_{41}, \cdots, \alpha_{4N_*}] \tag{13}$$

3.2　最適化アルゴリズム

式(9)の最適化問題を解くため，進化型計算手法の 1 つである差分進化(Differential Evolution, DE)[4]を使用する．解探索における個体を$\boldsymbol{X}_k(k = 1, \cdots, N_D)$で表し，最良個体$\boldsymbol{X}_{\mathrm{best}}$を探索する．ただし，物体重心の$y$座標に関する制約を考慮しなければならないため，標準的な差分進化の手順に，以下の修正手順を追加する．

(a) 個体の評価値と最良個体$\boldsymbol{X}_{\mathrm{best}}$の選定

時刻t_fまでに$y_6 \leq 0$となり制約条件を満たす場合は，$\mathrm{Max}(\tau_j(t))$を個体$\boldsymbol{X}_k$の評価値とする．一方，制約条件を満たさない場合は，個体$\boldsymbol{X}_k$の評価値を∞とする．N_D個の個体の内，評価値が最小となる個体を最良個体$\boldsymbol{X}_{\mathrm{best}}$とする．ただし，$N_D$個の個体の中に，制約条件を満たす個体が存在しない場合は，$\mathrm{Min}(y_6(t))$が最も 0 に近い個体を$\boldsymbol{X}_{\mathrm{best}}$とする．

(b) 生存者選択

n世代目の変位ベクトルと個体$\boldsymbol{X}_k^{(n)}$から生成されるトライアルベクトルを$\boldsymbol{U}_k^{(n)}$とする．$\boldsymbol{X}_k^{(n)}$もしくは$\boldsymbol{U}_k^{(n)}$が制約条件を満たしている場合は，評価値の小さい方を次世代の個体$\boldsymbol{X}_k^{(n+1)}$として生存者を選択する．一方，$\boldsymbol{X}_k^{(n)}$と$\boldsymbol{U}_k^{(n)}$共に制約条件を満たしていない場合は，$\mathrm{Min}(y_6(t))$が 0 に近い方を，次世代の個体$\boldsymbol{X}_k^{(n+1)}$として選択する．これにより，世代が進むにつれて制約条件を満たす個体が見つかることが期待される．

4.　数値計算結果

4.1　パラメータ設定

数値計算で使用する物理パラメータおよび最適化のパラメータの設定値について表 1 に示す．長さに関する単位は[m]，質量に関する単位は[kg]で記載している．単純化摩擦モデルのパラメータv_s，v_c，μ_s，μ_cについては，x方向およびy方向で同じ値を使用する．なお，重心位置や慣性モーメントは，各ボディが一様な棒と仮定して計算する．

トルクの表現に関しては，sin の項数N_sおよびチェビシェフ多項式の項数N_cは 6 とした．解探索を行う初期個体を生成する一様乱数の範囲は，$[-10, 10]$とした．初期姿勢は，$\phi_1 = \pi/4$，$\phi_2 = 3\pi/4$，$\phi_3 = 3\pi/4$，$\phi_4 = \pi/4$，$\phi_5 = 0$，$\phi_6 = 0$，$\phi_7 = 0$とし，初期速度はすべて 0 とする．また，シミュレーション終了時刻$t_f = 5$とする．

表 1　各種パラメータの設定値

物理パラメータ			
パラメータ	値	パラメータ	値
$l_i\ (i = 0, \cdots, 4)$	1.0	$l_i\ (i = 5,6,7)$	0.3333
$s_i\ (i = 1, \cdots, 4)$	0.5	$s_i\ (i = 5,6,7)$	0.1667
$m_i\ (i = 1, \cdots, 4)$	2.0	$m_i\ (i = 5,6,7)$	0.6667
$I_i\ (i = 1, \cdots, 4)$	0.1667	$I_i\ (i = 5,6,7)$	0.0062
v_s	0.01	v_c	0.015
μ_s	0.2	μ_c	0.1
最適化のパラメータ			
パラメータ	値	パラメータ	値
N_s	6	N_c	6
N_D	300	世代数	400
交叉率	0.9	スケール係数	0.6

4.2　計算結果

各関節のトルクを sin で表現した場合に得られたトルクパターンを図 4 に示す．トルクの最大値は 0.9512 である．トルクパターンを見ると，τ_1，τ_2およびτ_3，τ_4がほぼ対称な形となっている．このため，双腕ロボットは左右対称の動作を行うと考えられる．$t = [0, t_f]$の区間で 1 秒毎に双腕ロボットと物体の姿勢を描いた図を図 5 に示す．物体の姿勢を水平に保ったまま，両腕を折りたたむようにして物体を移動させている．$t = 4$の時点で物体重心のy座標が 0 に達しており，その後は，物体は移動せず，折りたたまれた両腕が上方に移動している．

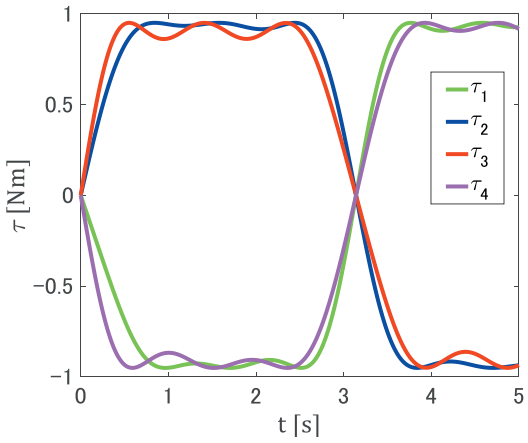


図 4　各関節のトルク(sin)

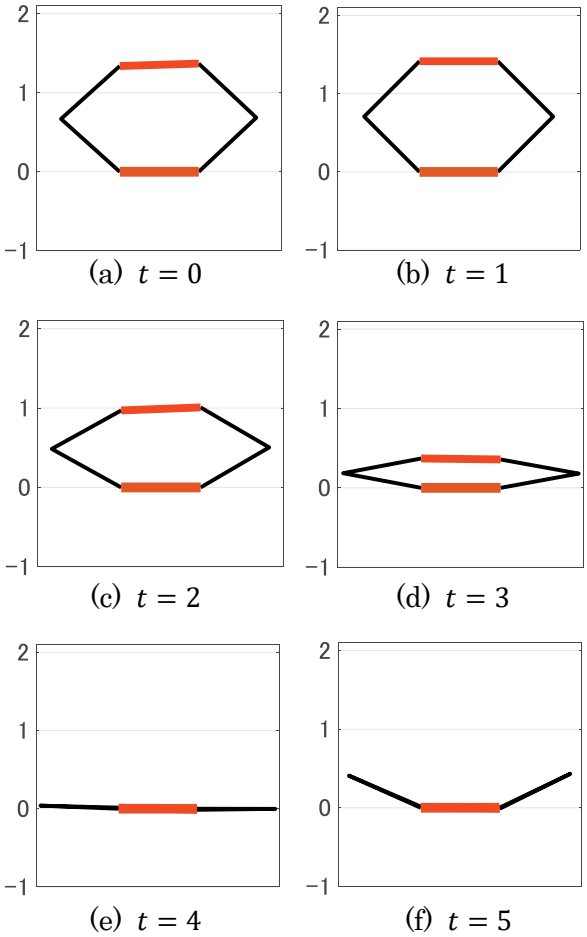


図 5　各時刻における姿勢(sin)

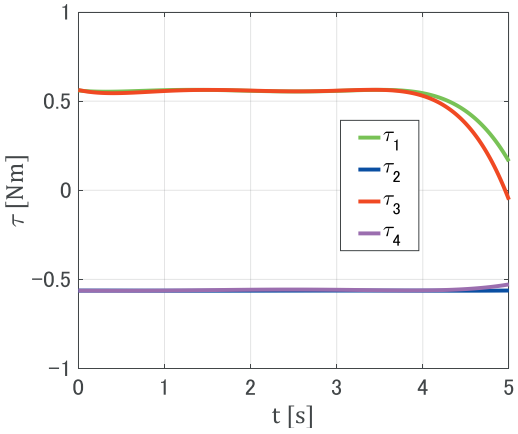


図 6　各関節のトルク(チェビシェフ多項式)

次に, 各関節のトルクをチェビシェフ多項式で表現した場合に得られたトルクパターンを図 6 に示す. トルクの最大値は 0.5637 である. sin の場合の様な対称性は見られないが, トルクの最大値は 60%程度となっている. $t = [0, t_f]$の区間で 1 秒毎に双腕ロボットと物体の姿勢を描いた図を図 7 に示す. 初めに物体を回転させて, 縦に近い状態にしてから, 腕をたたむようにして物体を移動させている. したがって, 物体を水平なまま移動させるよりも, 物体の姿勢を変えて移動させることで, トルクが小さくなることが分かる.

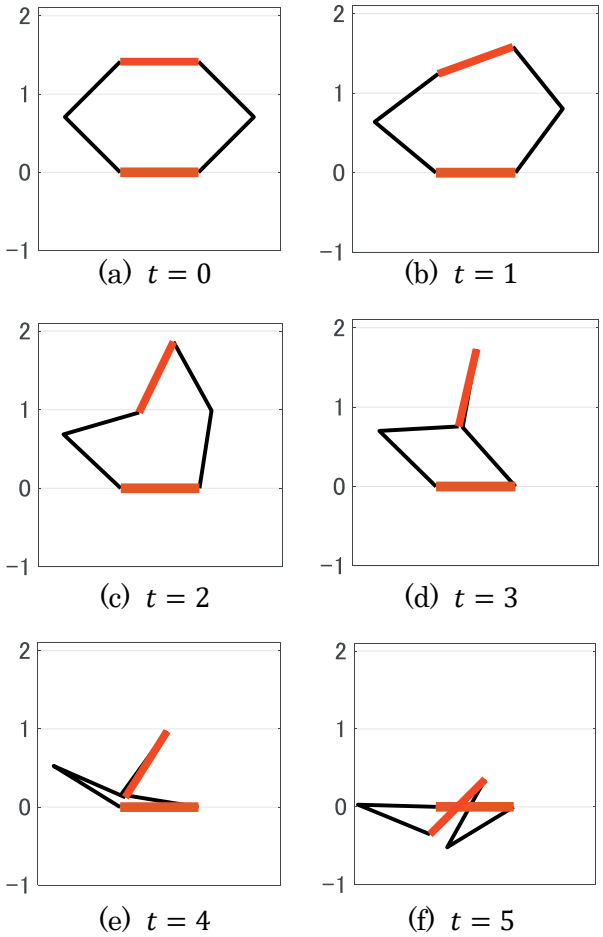


図 7　各時刻における姿勢(チェビシェフ多項式)

5.　おわりに

本研究では, 双腕ロボットが物体を引き込む動作を対象とし, 引き込み動作を数値最適化により生成した. 物体の姿勢を変えずに引き込むよりも, 物体を回してから引き込む方が, 最大トルクが小さくなることを確認した. 今後は, 初期姿勢の違いが動作に与える影響について検討する.

謝辞：本研究は, 公益財団法人津川モーター研究財団 2021 年度研究助成の助成を受けたものです. ここに謝意を示します.

参考文献

1) 山野, 金, 近野, 内山：3 次元双腕フレキシブルマニピュレータの協調制御実験, 日本機械学会論文集(C 編), Vol. 66, No. 649, 3063-3068 (2000)
2) 岩村：マルチボディダイナミクス入門, 森北出版, (2018)
3) 大山, 杉山:マルチボディダイナミクスのスティック・スリップ摩擦モデルに関する研究, 日本機械学会 D&D2012 USB 論文集, 748 (2012)
4) R. Storn and K. Price：Differential evolution - A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, Journal of Global Optimization, Vol. 11, 341-359 (1997)

(2022.12.9 受付)

Object Retracting Motion Planning for Dual Arm Robots

Takao MUROMAKI*
*Corresponding author: t.muromaki@maizuru-ct.ac.jp

Abstract: In this investigation, generation of object retracting motion for dual arm robot consisting of four links is discussed. In particular, a situation in which an object is moved over a frictional floor is considered. The objective is to find the retracting motion with the lowest required torque. First, the equation of motion for dual arm robot is derived. In the dynamic equation, the simplified linear friction model (classical model) is introduced. As a calculation of forward dynamics, the augmented formulation introducing Lagrange multipliers is applied. Then, an optimization problem is formulated to minimize the maximum torque at each joint. The design variables are the time history of joint torque. The time histories of torque are expressed in two ways: Fourier series and Chebyshev polynomial. The optimization problem is solved with an algorithm based on the Differential Evolution. As a result of the optimization, two torque patterns are obtained. One is the motion of pulling the object straight back in its initial position. The other is the motion of rotating the object to face vertically and then folding the arms while retracting the object. The latter motion reduces the maximum torque to about 60%.

Key words: Motion planning, Multibody dynamics, Friction, Differential Evolution

ギガスクール端末を活用した「総合的な学習の時間」の実践

Practice of the Comprehensive Studies in Elementary and Junior High Schools

井上泰仁[1]・加藤彩香[2]・小酒未央[2]・中川靖彦[3]・柴田雅代[4]・鈴木俊治[5]・福井幸大[6]・小林夏樹[6]・時岡常和[7]・小野伸一郎[8]

Yasuhito INOUE, Ayaka KATO, Mio KOSAKE, Yasuhiko NAKAGAWA, Masayo SHIBATA, Shunji SUZUKI, Kodai FUKUI, Natsuki KOBAYASHI, Tsunekazu TOKIOKA and Shinichiro ONO

1. はじめに

舞鶴高専では，小・中学生を対象としたプログラミング学習の出前授業等を実践してきた[1),2),3),4)]（図1）．プログラミング学習の中では，自分たちの周りの地域に興味・関心を持ってもらうために，Viscuit[5)]，Scratch[6)]を利用して，地元の海や花火大会，イルミネーションの点灯パターンを制御できる授業を実践してきた[7),8)]．

また，2019年に内閣府SDGs未来都市に舞鶴市が選定され，市内の小・中学校では，「総合的な学習の時間」でSDGsについて学習する機会が増えてきている．その学習成果を発表する場として，舞鶴市役所，舞鶴市教育委員会，日立造船株式会社，インフォニック株式会社と舞鶴高専杯プログラミングコンテストと共同で実施してきた[9)]．そのため，地域貢献の一環として，SDGsの学習に関連して，小・中学校と舞鶴高専が連携した出前授業等の検討をしていた．本報告では，2022年度に，舞鶴市立大浦小学校，舞鶴市立若浦中学校，および，高浜町立高浜中学校と連携し，実践してきた事例について報告する．

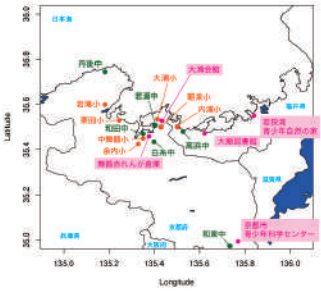


図1 これまでにプログラミング学習の出前授業等を実施してきた小・中学校

1 舞鶴工業高等専門学校　電気情報工学科　准教授
2 京都府舞鶴市立大浦小学校　教諭
3 京都府舞鶴市立大浦小学校　校長
4 京都府舞鶴市立若浦中学校　教諭
5 京都府舞鶴市立若浦中学校　校長
6 福井県高浜町立高浜中学校　教諭
7 福井県高浜町立高浜中学校　校長
8 舞鶴工業高等専門学校　自然科学部門　教授

2. 総合的な学習の時間

文部科学省が，2018年3月に公開した「小学校プログラミング教育の手引き（第1版）」によると，新小学校学習指導要領における小学校段階のプログラミング教育についての基本的な考え方や教育課程内における指導例，企業・団体や地域等との連携の例を5つのカテゴリに分類している．コンピュータは様々な場所で利用されており，情報機器やサービス，それらによってもたらされる情報を適切に利活用して問題を解決する時代が不可欠になっているため，これらの活動を通して，児童のプログラミング思考を育むことが求められている．

2020年に改訂された新学習指導要領では，実際の社会や生活で生きて働く「知識・技能」，道の状況にも対応できる「思考力・判断力・表現力」，学んだことを人生や社会に活かそうとする「学びに向かう力・人間性」を3つの柱とし，バランスよく学習できるように整理された．2000年の学習指導要領から「総合的な学習の時間」は導入されているが，児童・生徒が主体的・対話的に横断的・総合的な課題学習に取り組む「総合的な学習の時間」の名称については，各校に委ねられており，本報告で紹介する舞鶴市立大浦小学校では「大浦未来学」，舞鶴市立若浦中学校（2年生）では「探Q夢未来学」，高浜町立高浜中学校では「高浜未来創造プラン」としている．

2020年度以降は，コロナ禍による遠隔授業実施もあり，小・中学校での1人1台ずつ所有するギガスクール端末の導入，学校のネットワーク整備も急速に進んだ．

3. 事例

3.1 舞鶴市立大浦小学校での取り組み

舞鶴市立大浦小学校では，「大浦未来学」と題した「総合的な学習の時間」に，3〜6年生の児童が取り組んでいる．

2022年9月10日（土曜日）には，「大浦未来学」の未来学サマープレゼンテーションが開催さ

図 2 「大浦未来学」中間発表会の様子

図 3 プログラミングコンテストでの発表

図 4 原案検討

図 5 ポスター発表

れたが，5･6 年生は，SDGs の学習成果をポスター形式での発表会を実施した（図 2）．5･6 年生が，ポスターを作成し，児童の保護者の方や大浦地域の関係者に説明した．この他にも，3・4 年生については，教室で，ギガスクール端末で制作した自分たちの住んでいる大浦地区の PR ポスターについての発表会を行った．この成果については，舞鶴市役所のホールにポスターを掲示したり，SNS の一つである Instagram に公開したりしている．

また，5 年生 5 名の児童については，2022 年 11 月 6 日（土曜日）に開催した舞鶴高専杯プログラミングコンテストのアイディア部門に参加している（図 3）．ギガスクール端末を利用し，「地球温暖化」についてのプレゼンテーションを行った児童が優秀賞と企業賞（日立造船株式会社）を受賞した．

2023 年 1 月 21 日（土曜日）に，「大浦未来学」の成果発表会を「みんなの参観日」と題して，開催される予定である．

3.2　舞鶴市立若浦中学校での取り組み

舞鶴市立若浦中学校では，「探Q夢未来学」と題して，全校生徒が探究学習に取り組んでいる．その中でも，2 年生は，出前授業を通して，ロボットやプログラミングを学習したのち，大浦地区の課題と活性化，ロボットや AI などの最新の技術などの活用について，グループ内で検討を行った．最終的には，交通，環境，娯楽，食品などの 9 つの大浦地区の活性化と未来について，それぞれのグループで検討していくことになった．

ポスターの作成方法について学び（図 4），最終的に，2022 年 11 月 24 日（木曜日）に，「未来町 若浦」と題したポスター発表会を行った．生徒は，ポスターの作成だけではなく，模型なども製作し，ポスター発表に臨んだ（図 5）．舞鶴高専から 4 名の教員が参加し，発表の評価を行った．

3.3　高浜町立高浜中学校での取り組み

高浜町立高浜中学校では，社会に開かれた教育課程の実現に向けて，地域の多様な人や教育資源と積極的に関わりながら，地域社会との繋がりの中で課題を見出し，主体的・協働的に解決する学びの場として，生徒の企画提案型の「高浜未来創造プラン」の探究学習を実施した．

3 年生では，4 つのグループの探究学習の課題として，地球温暖化・環境，海洋ごみ・酸性化について興味があり，舞鶴高専に協力依頼があった．2022 年 8 月 1 日（月曜日）に訪問し，まず，探究学習の課題の確認を行った（図 6）．3 つのグループの生徒は，マイクロスコープで，海の小さなゴミを観察したり，水に息を吹き込み，二酸化炭素の pH 濃度を調べたりした．また，1 つのグループは，海洋ゴミを回収するゲーム開発を行うために，ゲーム作成の基本について学習した．実際に，ゲーム開発を体験し，探究学習に必要な知識を得ることができた（図 7）．

図 6 課題の確認

図 7 ゲーム開発の説明

図 8 生徒によるプレゼンテーション

図 9 生徒によるゲーム体験

図 10 ポスター

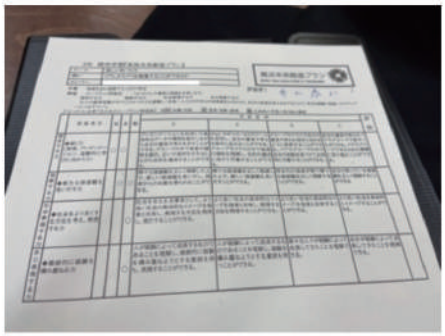


図 11 ルーブリック評価シート

図 12 シャッターアート

2022 年 12 月 15 日（木曜日）には，夏頃から半年ほどかけて取り組んできた「高浜未来創造プラン」の成果発表会が開催された（図 8，図 9，図 10）．「海洋ゴミを回収するゲーム開発」のグループは，ゴミ拾いや海洋ゴミに関心を持ってもらうために，「ゴミクエ」に取り組んできた．ゲームの中身を工夫するだけではなく，ギガスクール端末を活用し，オープニング画面を作ったり，GarageBand で BGM を作ったりなどを行ってきた．発表だけではなく，開発したゲームについては，聴講した生徒に操作してもらうための時間を確保した．学校としての学習目標があり，このグループの目標は，「地域社会と協創する人材の育成」であった．また，発表内容や取り組みについて，「描く力（表現，プレゼンテーション，共同的に学びに向かう力）」，「新たな価値観を見いだす力」，「社会をよりよくする方法を考え，発信する力」，「継続的に経験を積み重ねる力」の４つの観点から，聴講した生徒がルーブリック形式の評価を行った（図 11）．

1・2 年生も「高浜未来創造プラン」に取り組んでいて，3 年生の発表を聴講したので，来年度以降，さらに取り組みが活発になると推測する．

ゲーム開発の他にも，地域の町づくりについての取り組みを行っていて，3 年生が取り組んだシャッターアートについては，地元紙などでも取り上げられ，話題となった（図 12）．

4. おわりに

本報告では，舞鶴高専と連携して実施した舞鶴市立大浦小学校，舞鶴市立若浦中学校，高浜町立高浜中学校での「総合的な学習の時間」の事例について記した．学習指導要領の改訂に伴い，求められる力を高めるために，1 人 1 台のギガスクール端末を活用し，問題解決的な活動が発展的に繰り返される探究的な学習，および，他者と協同して課題を解決する協同的な学習にするために，各校で工夫した取り組みが行われている．さらに，体験活動を交えながら，思考力，判断力，表現力等を育むために，教員側も日々努力している．

文部科学省が各教育委員会に通知した「1人1台端末の利活用促進に向けた取組について」の文書では，「1人1台を活用している学校の割合」，「自分の考えをまとめ，発表・表現する場面でICT機器を使用している学校の割合」，「児童生徒同士がやりとりする場面でICT機器を使用している学校の割合」などについての統計データが示されている[10]．2022年4月に小学校6年生，中学校3年生を対象としたものであるが，導入された環境で，地域格差もなく，利活用をすることが求められている．共に実践した3校では，日頃から，ギガスクール端末をロイロノート・スクール[11]やKeynoteなどのアプリケーションを活用していると同時に，「総合的な学習の時間」でも効果的に活用している様子が随所で見受けられた．ギガスクール端末としてiPadが導入されている学校では，ディスプレイにAppleTVが接続されているため，児童・生徒の端末からリモートでディスプレイに表示することも可能になっており，ケーブルを接続し直すという煩わしい作業をすることなく，プレゼンテーションを実施することも可能になった．

田邉らは，中学生の技術・家庭科の技術分野の「目標に対する意識」と「長い時間目標に向けて努力を続ける力や情熱（GRIT, Guts, Resilience, Initiative, Tenacity）」との関連性についての予備研究の結果を報告している[12]．根気や一貫性などから評価し，「やる気を失う要因」や「つまずきや失敗による意欲減退」などとの関連を示唆していることを示した．数学の成績とGRITについて分析し，「根気強さ」が教科の学習と関連していると報告事例もある[13]．総合的な学習の時間でも，「失敗を恐れない気持ち」や「粘り強く取り組む姿勢」が必要になる場合があるため，授業自体の評価方法を検討しても良いのかもしれない．

舞鶴高専では，地域貢献の一環として，近隣の小学校，中学校，および，教育委員会と情報交換を行いながら，プログラミング学習だけに限らず，「総合的な学習の時間」に関連した出前授業や模擬授業を継続していきたいと考えている．今後も，舞鶴市立大浦小学校，舞鶴市立若浦中学校，高浜町立高浜中学校，および，ご支援・ご助言をいただいている自治体・企業とSDGsの達成に向けて共創していければと考えている．

謝辞：本活動を推進するにあたって，公益財団法人ちゅうでん教育振興財団 ちゅうでん教育振興助成をいただきました．また，ご助言・ご支援をいただいた舞鶴市役所 SDGs 未来都市推進本部の皆様，舞鶴市教育委員会の皆様，舞鶴市大浦地域活性化センターの皆様，日立造船株式会社の皆様，インフォニック株式会社舞鶴支店の皆様に，この場をお借りし，御礼申し上げます．

参考文献

1) 井上，古林，新池，太田：公開講座「こどもプログラミング教室」の開催，舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報，Vol. 41, 53/55 (2014)
2) 井上，古林，新池：公開講座「わくわくプログラミング教室」の開催，舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報，Vol. 42, 51/52 (2014)
3) 井上：「プログラミング教室」の開催，舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報，Vol. 47, 86/87 (2019)
4) 井上，香山：京都府北部の小学校におけるプログラミング教育の支援，情報教育，Vol. 3, 32/35 (2021)
5) Viscuit: https://www.viscuit.com (2022.12.9 確認)
6) Scratch: https://scratch.mit.edu (2022.12.9 確認)
7) 奥田，中川，井上：Scratchで学ぶプログラミング～ゲーム作りから地域貢献のためのイルミネーション・シミュレータ作成まで～，舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報，Vol. 47, 1/3 (2019)
8) 奥田，山本，中川，七森，芦澤，内海，井上，片山，小野：舞鶴市イルミネーション等設置事業における中学生との共同プロジェクトについて，舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報，Vol. 47, 4/15 (2019)
9) 井上，草木，小島：小・中学生の学習成果を発表するためのプログラミングコンテストの開催，日本情報教育学会第4回研究会発表論文集，Vol. 3, 32/34 (2022)
10) 文部科学省：https://www.mext.go.jp/content/20221125-mxt_jogai02-000011649_001.pdf (2022.12.9 確認)
11) ロイロノート・スクール：https://n.loilo.tv/ja/ (2022.12.9 確認)
12) 田邉，森山：技術科の授業に対する生徒の意識とGRITとの関連性に関する予備的検討，日本産業技術教育学会近畿支部第39回研究発表会公演論文集，37/38 (2022)
13) 清水：Gritと達成目標 数学の成績の関係，日本教育工学会論文誌，Vol. 42, 137/140 (2018)

（2022.12.9 受付）

Practice of the Comprehensive Studies in Elementary and Junior High Schools

Yasuhito INOUE*, Ayaka KATO, Mio KOSAKE, Yasuhiko NAKAGAWA,
Masayo SHIBATA, Shunji SUZUKI, Kodai FUKUI, Natsuki KOBAYASHI,
Tsunekazu TOKIOKA and Shinichiro ONO
*Corresponding author: yinoue@maizuru-ct.ac.jp

Abstract: We have practiced classes on programming to elementary and junior high school students. Maizuru City was selected as an “SDGs Future City” by the Cabinet Office in 2019, and Elementary and junior high school students in Maizuru City are learning about the SDGs in the Comprehensive Studies more and more. The Maizuru Programming Contest was held jointly with the local government and companies as a place to present the student’s learning achievements. In this report, we describe a case study of the Comprehensive Studies that we practiced in cooperation with Oura Elementary School, Wakaura Junior High School, and Takahama Junior High School in the fiscal year 2022.

Key words: Comprehensive Studies, SDGs, Programming Contest

蛇島ガソリン庫跡の調査

Investigation of The Remains of Jajima Gasoline Storage

毛利聡[1]・牧野雅司[2]・今村友里子[3]・眞鍋広紀[4]・堀井樹[5]・
松﨑健太[6]・長嶺睦[6]・谷口未来[7]・長尾隆希[7]
Satoshi MOHRI, Masashi MAKINO, Yuriko IMAMURA,
Hiroki MANABE, Tatsuki HORII, Kenta MATSUZAKI, Mutsumi NAGAMINE,
Mirai TANIGUCHI and Ryuki NAGAO

1. はじめに

本報は，蛇島（京都府舞鶴市佐波賀小字蛇島）にある「蛇島ガソリン庫跡」関連遺構の調査についての報告である. 調査対象は舞鶴湾に浮かぶ小島につくられた 4 本のトンネルが特徴的な戦争遺跡である. 旧日本海軍ゆかりの遺構として日本遺産（「鎮守府 横須賀・呉・佐世保・舞鶴 ～日本近代化の躍動を体感できるまち～」）の構成文化財への追加認定（2020 年 6 月 19 日付追加認定）を契機に舞鶴市と舞鶴高専とが協力して調査をしてきた. 本報では, 蛇島ガソリン庫の歴史的経緯と現状を明らかにすることを目的とした調査並びに, 惑星・極地探検を志向した無人探査技術開発のための調査実験について, これまでの結果を報告する.

2. 蛇島ガソリン庫の概要

蛇島は舞鶴湾の小島（現在無人島）であり，ガソリン庫が建設される前には海城「蛇島城」が築かれている．蛇島の位置を図 1，2 に示す．大正 11 年に「舞鶴工廠需品庫ガソリン庫」として島を東西に貫通するトンネル形の倉庫 4 本と付帯設備が建設された[1]．しかし，設計や予算に関する史料[2]によると，トンネルは当初（大正 5 年時点）は 3 本で計画されていたようである．

以降，終戦までの期間「舞鶴ガソリン庫」または，「蛇島ガソリン庫」の名称でガソリン保管庫として機能していたと考えられる．しかし，現存する史料が少なく，調査も不十分なこともあり，期間中の使用実態や改修履歴などは明らかになっていない事柄がほとんどである. その中ではあるが, これまでの史料調査で明らかになっている事柄を以下に示す.

文献 2)には図 3 に示すガソリン庫の位置を島の測量図に描き込んだものが含まれている（図は文献 2)の複写史料をトレースしたもの）．その図からは蛇島の測量（大正 4 年）と図面作成（大正 5 年）の時期が確認できる．前述のように，この頃は，トンネル本数が 3 本で計画されており，トンネル長は，第一庫 30 間（約 54.6m），第二庫 35 間（63.7m），第三庫 35 間である．トンネルの使用材料はれんがおよびコンクリートである. トンネルの他には護岸石垣，上陸場，出納場，鋪道の建設が計画されている.

終戦期のガソリン庫の状況を図 4 に示す．図は，GHQ が接収したガソリン庫の設備をリストアップしたものである文献 3)の複写史料をトレースしたものである．第 1 から第 3 ガソリン庫に描き込まれている四角形は円筒を倒した形で設置されている貯蔵タンク（『STORAGE TANK』）[3),4)]である．また，リストにはガソリン配管（『GAS PIPE』）も記載されていることから，これらの貯蔵タンクは配管で接続されていたと考えられる．また，引渡目録[5)]に記載されているガソリン庫の貯蔵燃料を表 1 に示す．これらの燃料は航空機の発動機用が大半を占めている.

このように, 蛇島ガソリン庫は, 当初よりガソリンの貯蔵を目的に建設され, 終戦までその用途で使用されていたようである. そして, 建設当初から貯蔵タンク, 配管が設置されていたとは考えにくく, 時期は不明ではあるが改修をしながら使用されていたことが考えられる. 一方で, ガソリン庫と他の施設間での燃料の移動や航空機等への給油などの詳細な使用実態は明らかすることはできなかった.

3. 調査概要

本報で報告する調査の概要を表 2 に示す．調査は, 蛇島との関わりが深い地域の住民聞き取り調査, 蛇島に上陸しての遺構, 遺物の調査に加えて，トンネル内をフィールドとした UAV（Unmanned Aerial Vehicle），UGV（Unmanned

1 舞鶴工業高等専門学校　建設システム工学科　准教授
2 舞鶴工業高等専門学校　人文科学部門　准教授
3 舞鶴工業高等専門学校　建設システム工学科　講師
4 佐世保工業高等専門学校　基幹教育科　准教授
5 合同会社 Aero Flex
6 舞鶴市役所
7 舞鶴工業高等専門学校　専攻科総合システム工学専攻　建設工学コース　1 年

Ground Vehicle）による調査実験も実施した．また，2 章で示したような蛇島ガソリン庫の歴史的経緯について史料を中心に調査した．ただし，トンネル外の島内地物調査に関しては別稿に記す．

図 1　蛇島位置（国土地理院地図に加筆）

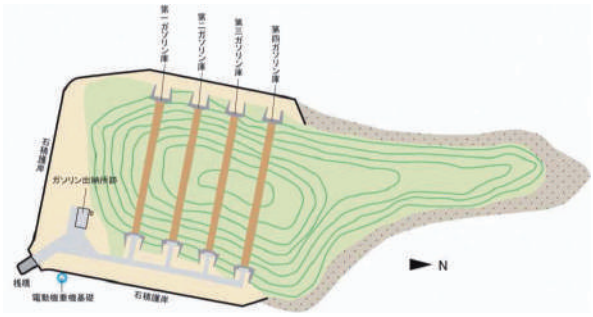


図 2　蛇島ガソリン庫跡（舞鶴市広報資料より）

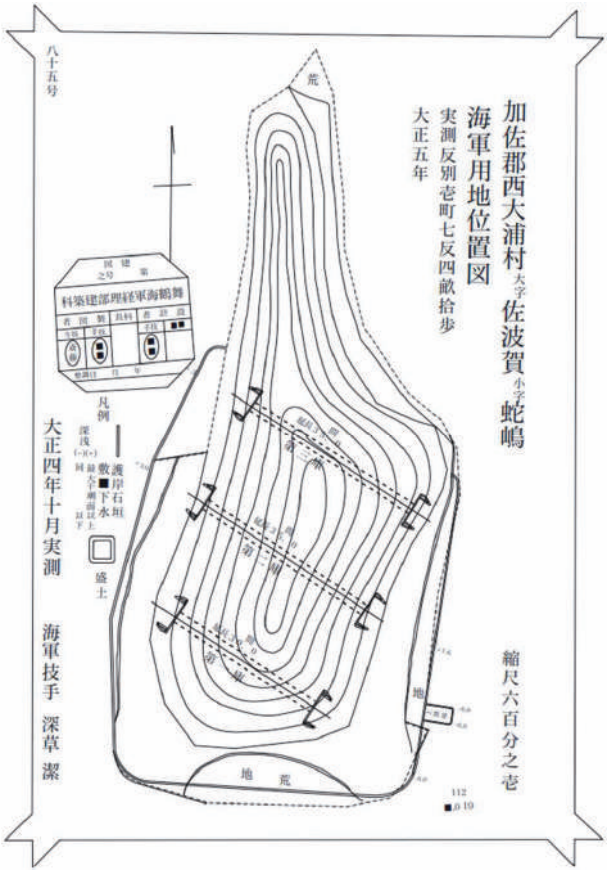


図 3　蛇島ガソリン庫（計画時）[3)]

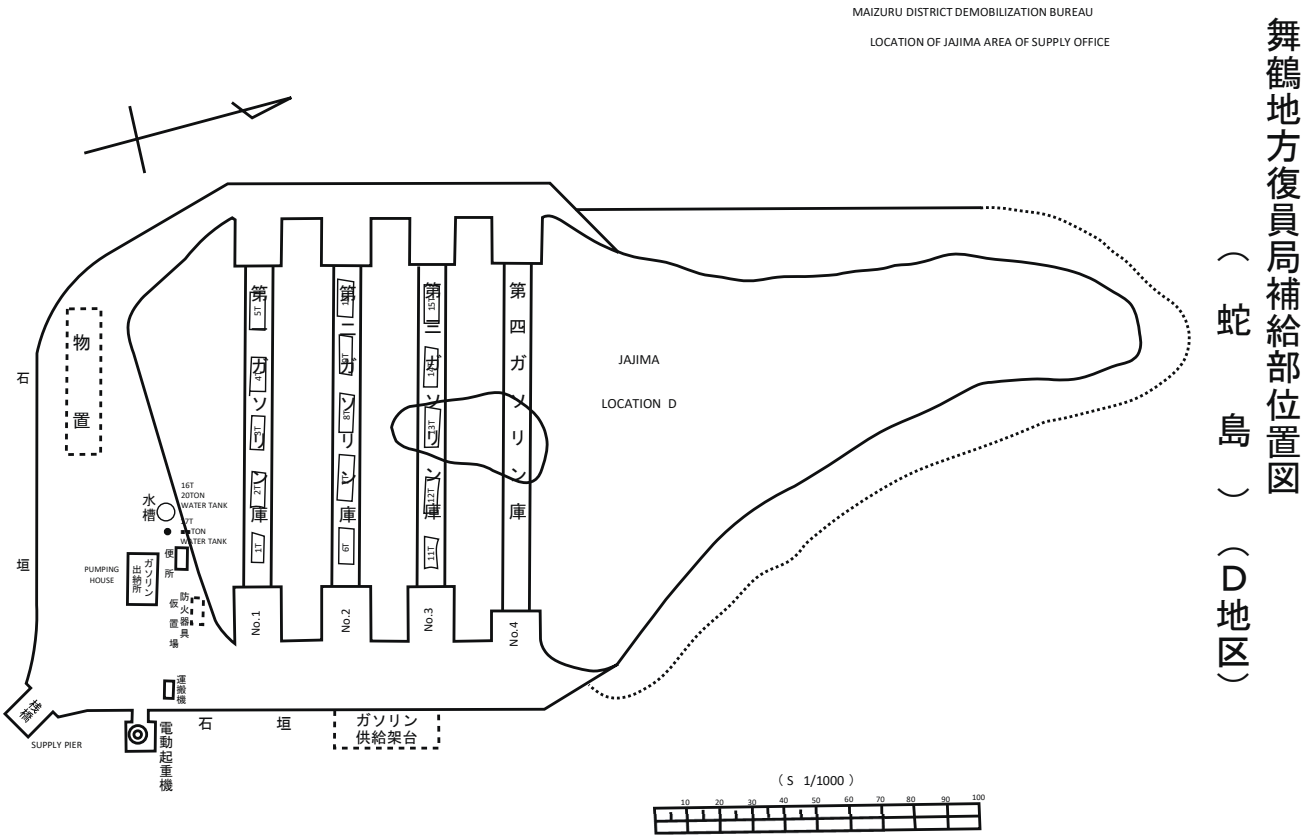


図 4　蛇島ガソリン庫（終戦期）[3)]

表1　終戦時のガソリン庫貯蔵内容[5)]

燃料名	保管量(kL)	用途
航空70揮発油	11.2	航空発動機用
航空85揮発油	2.8	
航空87揮発油	1.0	
航空91原料揮発油	295.0	
航空91揮発油	7.2	
イソオクタン	89.3	
1号普通揮発油	116.6	航空発動機戦場運転用，ガソリン機用
2号普通揮発油	7.2	ガソリン機用，石油機械用，工業用
3号普通揮発油	4.0	
1号石油	5.5	魚雷用
3号石油	1.7	燈用
1号メタノール	1.4	航空魚雷用
2号メタノール	1.6	艦艇魚雷用，工業用

※他に，空ドラム缶1830個計上

表2　調査概要

調査項目	概要	調査日
住民聞き取り	佐波賀地区住民へ戦中，戦後の状況を聞き取り	2020/7/26
上陸調査	踏査	2019/12/19, 2020/3/11, 2020/7/26, 2020/11/21, 2021/11/21, 2022/11/29
	トンネル実測（坑門，内部）	2020/11/21, 2021/11/21, 2022/11/19
	コンクリート内部鉄筋探査	2021/11/21, 2022/11/19
	コンクリート強度推定	2022/11/19
	地物調査（トンネル内外）	2020/11/21, 2021/11/21, 2022/11/19
UAV・UGVによる調査実験	トンネル内を飛行・走行させてLiDAR測定が可能か検討	2022/11/19

なお現在，蛇島は国有地であり無断での上陸が禁止されている．著者らは舞鶴市を通じて管理者である財務省近畿財務局に上陸および調査の許可を得た上で調査を実施した．

4.　住民聞き取り調査

4.1　調査概要

蛇島の北側に位置する舞鶴市佐波賀地区（上佐波賀・下佐波賀）の住民に対して戦中，戦後の蛇島との関わりについて聞き取り調査を行った．事前の舞鶴市からのチラシによる呼びかけに応じた方を対象に調査を行った．調査の概要を表3に示す．

4.2　調査結果

4.2.1　戦前，戦中の状況

聞き取り調査結果の概要を戦前，戦中期と戦後期とに分けて示す．また，証言のあった地物を蛇島の図面に描き込んだものを図5に示す．

太平洋戦争前には海軍関係者と思われる女性や子供が海水浴をしているところを見た者がおり，図5のように蛇島の北側が海軍の海水浴場や水泳の場として使われていたことを聞き取ることができた．しかし，本調査とは別の証言から，当地は海軍機関学校の水泳場として利用され，海軍関係者やその家族に海水浴場として開放されていたことを確認しており，実態は海軍機関学校の水泳場であったようである．

一方，港務部の取り締まりが厳しいことから，船で蛇島の近くを通ることは難しかったとのことであった．その中ではあるが，主に上佐波賀地区住民からは船からトンネルやトンネルに入っているトロッコの存在を目撃したという証言を得た．また，いずれの地区においても蛇島に関する作業のために徴用された者は居なかったとのことであった．

他，水上機が舞鶴湾内や蛇島に接近している様子を見たという証言を得ることはできなかった．

このように，戦前には海軍の海水浴場というガソリン庫以外の用途が蛇島にはあったことが分かったが，ガソリン庫の使用状況の解明に資する証言を得ることはできなかった．

4.2.2　戦後の状況

戦後，佐波賀地区が発祥とされる佐波賀大根の栽培に関連して住民が蛇島に上陸することとなる．1951年頃から1958年頃まで佐波賀大根の自然交配を防ぐ目的で種子の採種を蛇島で行っていたとのことであった．採種用の大根は島の南側で栽培し，その際にトロッコの軌道や木製桟橋，クレーンの存在を見たという証言を得た．一方，トンネルには扉があり施錠されていたとのことで，トンネル内部に関する証言を得ることはできなかった．そして，当時の佐波賀大根は現在の「京の伝統野菜」[6)]のような価値付けはされておらず，むしろ市場価値の低い野菜とみなされたため，栽培は次第に減りそれに伴い蛇島へ上陸することも無くなったとのことであった．

表3　聞き取り調査概要

場所	参加者（調査当時年齢）	主な質問項目
上佐波賀集会所	・Y.I.氏（87歳） ・H.T.氏（85歳） ・T.M.氏（83歳） ・N.S.氏（70歳）	1. 戦前，戦中の蛇島における海軍の活動について（島内の様子，水上機を見たことがあるか）
下佐波賀集会所	・M.M.氏（93歳） ・T.U.氏（84歳） ・Y.A.氏（84歳） ・S.A.氏（81歳） ・S氏（年齢不明）	2. 戦後の蛇島での活動について（佐波賀大根の栽培を行っていた事前情報を基に） 3. 引揚船について（「帰国歓迎」という看板が設置されていた事前情報を基に）

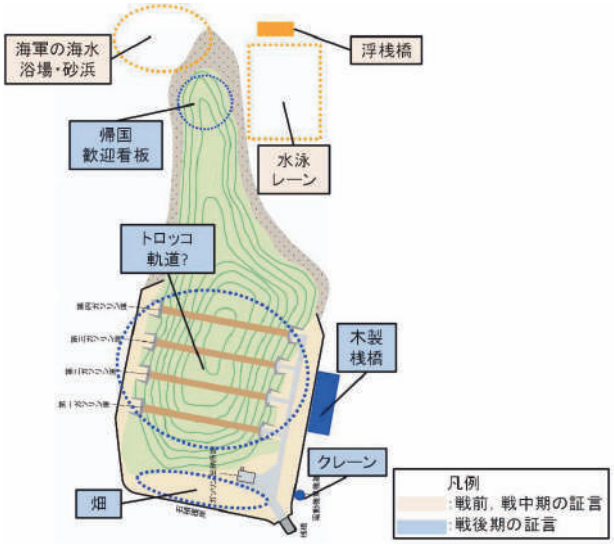


図5　聞き取り調査で証言のあった主な地物

また，舞鶴引揚援護局平桟橋が蛇島から北西の位置にあったことから，引揚に関連する調査も行い，引揚船は蛇島と佐波賀との間を通ったこと（島の南側は浅く航行が難しい），帰国を歓迎する看板が島の北端に設置されていたことを聞き取ることができた．

5.　上陸調査

5.1　調査概要

トンネルを対象とした調査として，踏査に加え，トンネルの坑門（第 1，第 4 トンネル東西）とトンネル内の床（第 1，第 4 トンネル）の床構造の実測を行った．

コンクリート部分に対しては，電磁波レーダー方式の鉄筋探査機でコンクリート部の内部鉄筋探査を行った．また，土木学会「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法（JSCE-G504）」に準拠してテストハンマーにより反発度を測定した．そして反発度から，日本材料学会式（式(1)）により推定強度を求めた．

$$\sigma_c = -18.0 + 1.27R_0 \qquad (1)$$

ここに，

σ_c：推定圧縮強度（N/mm^2）

R_0：試験面表面の湿潤状態およびテストハンマーの打撃角度より補正した平均反発度

5.2　調査結果

5.2.1　トンネルの状況

ガソリン庫トンネルの状況を写真 1 から写真 10 に示す．写真 1 から写真 3 に示すようなトンネルの坑門の前には目隠しを目的に人為的と考えられる盛土（土塁）が作られていた．加えて蛇島は，島全域に草木が繁茂しているため海から坑門を見ることはできなかった．坑門の実測図を図 6 に示す．翼壁および胸壁の一部は石積みで，それより内側はコンクリート製であった．アーチ部も石積みの迫石や要石状に見えるようにコンクリートが仕上げられていた．

トンネルの全長は各トンネルで多少異なるが 70m 程度であった．また，各トンネルの内部寸法はほぼ同じであり，幅 3630mm，コンクリート製の床面からアーチ頂部までの高さは 3600mm であった．

覆工は，床面から約 1800mm の高さの無筋コンクリート側壁の上にれんがアーチが構築されていた．第 1 から第 3 トンネルのアーチにはモルタルの仕上げが施されていた（写真 5）．これは，図 7 に示すアーチと側壁の取り合い部の観察とアーチに対する鉄筋探査で内部鉄筋を確認できなかったことから推察したものである．一方で，写真 6 に示すように第 4 トンネルは，れんがが露出していた．これは，図 8 に示すアーチと側壁の取り合い部の状況から元々モルタルの仕上げは無かったと推察できる．ところが，モルタルを塗る際の厚さの目安として使用する定木の様な部材がれんがに貼り付けられていることから，モルタルを塗る予定だったとも考えることができる．しかし，コンクリート側壁とれんがアーチの面が揃っており，れんがアーチのみにモルタルを塗るとモルタルの厚さ分だけ段差ができて不自然な仕上がりとなるため，れんがアーチにモルタルが塗られていたとは考えにくい．他，第 4 トンネルのれんがアーチの実測より，長さ 220mm，厚さ 55mm の寸法のれんがが，目地寸法 10～15 mm で，トンネル内部から見てれんがの長手が縦断方向と平行になる形で長手積みされていた．す

写真 1　第 1 トンネル
東側坑門

写真 2　第 1 トンネル
西側坑門

写真 3　第 4 トンネル
東側坑門

写真 4　トンネル開口
付壁（坑門から約 2m）

写真 5　第 1 トンネル
覆工アーチ

写真 6　第 4 トンネル
覆工アーチ

写真 7　トンネル内部
（第 3 トンネル）

写真 8　タンク架台と
思われるコンクリート

写真 9　側壁にある穴

写真 10　ピット状の穴

なわち，正面（坑門）から見ると，れんがは小口を縦に積まれているはずである．しかし，トンネルにはれんがの小口が見える箇所は無く，れんがの段数（巻き立て数）を確認することはできなかった．ちなみに，坑門部の観察から，いずれのトンネルにおいても坑門面から600mm程度の範囲はアーチもコンクリート製であると考えられる．

このように，各トンネルでは構造や残っている付帯物の状況が異なっている．それらをまとめたものを表4に示す．表中の「有り」は調査時に存在を確認できたことを表し，「無し」は存在を確認できなかったことを表しており，無しの場合でも過去には存在していた可能性がある．

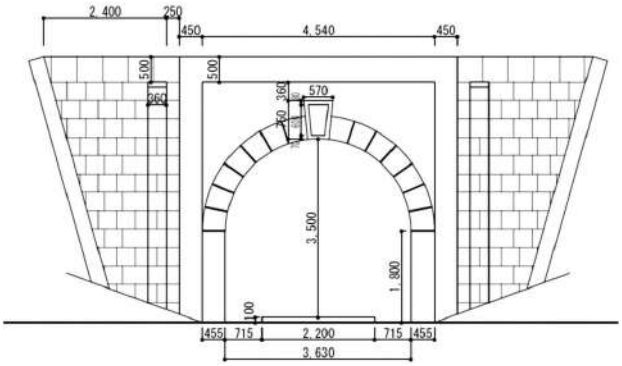


図6　第1トンネル東側坑門実測図（単位：mm）

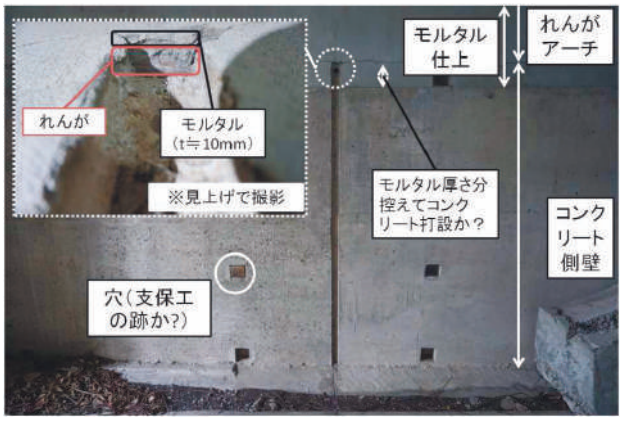


図7　側壁，アーチ取り合い部（第1トンネル）

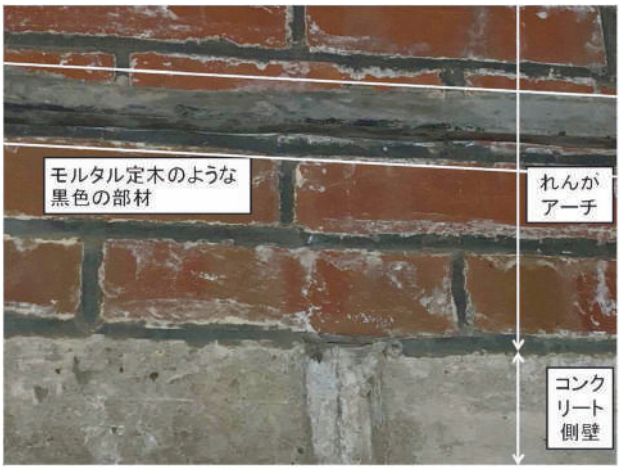


図8　側壁，アーチ取り合い部（第4トンネル）

アーチの違いの他に，第4トンネルの東西両側の坑門には，写真3に示すように鉄製の骨組に帆布状の布を張り，外から鉄板を張った形状の扉が残っていた．一方，第1～第3トンネルにはそのような扉は残っていなかったが，扉を吊るための金具やその跡があり，同様の扉が設置されていたと推察できる．また，写真4に示すような坑門から約2m入ったところにある開口付きのコンクリート壁の有無の違いがある．この壁に対する鉄筋探査の結果，内部鉄筋の存在が確認できた．加えて，レールやスイッチボックスの跡があったことから，電動シャッターが取り付けられていたと推察される．そして，この壁はトンネル完成後に追加で設置されたと考えられる．トンネルの坑門付近には他にも写真5に示すように扉を取り付けるための切り欠き部があり，開口部の改修を行いながらガソリン庫を使用していたと推察できる．

トンネル内部には写真7，8に示すようなコンクリート塊があり，文献3)と併せて考察すると，円筒形のガソリン貯蔵タンクを倒して設置するための架台であると考えられる．このコンクリート製架台の実測結果に貯蔵タンク（直径2739mm，長さ9140mm）を描き加えたものを図9に示す．

表4　トンネル間での構造，付帯物の違い

構造・付帯物	第1トンネル	第2トンネル	第3トンネル	第4トンネル
坑門扉（東側）	無し	無し	無し	有り
坑門扉（西側）	無し	無し	無し	有り
開口付き壁（東側）	無し	無し	無し	有り
開口付き壁（西側）	有り	有り	有り	有り
アーチ	モルタル仕上げ	モルタル仕上げ	モルタル仕上げ	れんが現し
タンク架台コンクリート	有り	有り	有り	無し
側壁の穴	有り	有り	有り（コンクリートで穴埋め）	有り（コンクリートで穴埋め）
床ピット状の穴	有り	有り	有り	無し

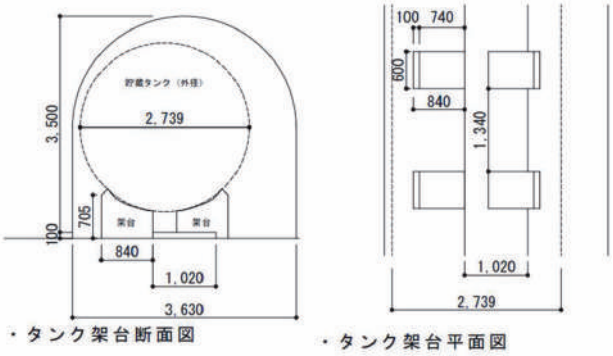


図9　第3タンク架台実測図（単位：mm）

架台コンクリートには取り外されてトンネル内に放置されているものもあり，並んで現存しているのは図中のように 2 行 2 列のものであった．しかし，タンクの長さが 9m 程あることから，4 台以上の架台でタンクを支持していたと考えられる．

側壁には写真 9，図 7 に示すような 90mm 四方の四角形で深さ 90mm の穴が設けられていた．その穴は，高さ方向に約 580mm 間隔で 3 つ並んでおり，縦断方向には約 1200mm 間隔でトンネル全長に渡り設けられていた．中には角材と考えられる木片が穴に残っている部分もあり，これらのことから，この穴はトンネル掘削時の支保工の設置跡と推察できる．

各トンネルの床は，中央の 1000mm 幅の範囲で 100mm ほど上がっていた（両坑門から約 3500 から 3900mm の範囲は 2200mm 幅で）．また，第 1 から第 3 トンネルの床には写真 10 に示すピット状の穴があった．ピットの内寸法は 420mm 四方で，2 つ 1 組でトンネル内に 2 か所あった．

ここまでの内容を踏まえて，各トンネルを比較する．第 1 から第 3 トンネルと第 4 トンネルとでは内部の仕上げが異なる．4 本のトンネルは同時期に起工，竣工したとされているが，工事期間中の施工順は不明である．その中ではあるが，このトンネル間での仕上げが異なることから，工事期間中の何らかの判断により設計変更が生じたことが推察できる．加えて，第 1，第 2 トンネルと第 3，第 4 トンネルとで異なる側壁の穴埋めに関しても工事期間中の変更である可能性が高い．

ガソリンタンクの架台，床のピット状の穴に関しては，第 2 章で示したガソリン貯蔵タンクとその配管と関係あるものと考えられ，ガソリン庫使用期間の途中での改修により設置されたと推察できる．

5.2.2　コンクリートの状況

ガソリン庫トンネルのコンクリートのうち，第 4 トンネルの側壁と東側の開口付き壁に対してテストハンマーにより強度推定を行った．その結果，推定強度はトンネル側壁で 18.5N/mm^2，開口付き壁で 25.4N/mm^2 であった．なお，いずれも打撃角度 0°（水平），コンクリート表面の湿潤状態は乾燥であった．ガソリン庫トンネルの覆工コンクリートの設計基準強度は不明であるが，現代の山岳トンネルの覆工コンクリートの一般的な設計基準強度は 18～24N/mm^2 程度であることから，覆工コンクリートとして十分な強度を有していると考えられる．また，トンネル側壁と開口付き壁の推定強度が大きく異なることから，ふたつの部材は別の時期に施工されたものであると推察できる．

目視の結果，写真 11 や写真 12 に示すように第 1 から第 3 トンネルの仕上げモルタルには多くのひび割れが観察された．また，一部分であるが打診棒による調査の結果，モルタルの浮きも確認できた．一方で，モルタルの剥落は観察されなかった．モルタルのひび割れの中にはコンクリートまで到達しているものや漏水の浸出跡を一部で確認したが，覆工の崩壊などを招く構造物の機能低下を表すような変状（外力による覆工の変形や大きなひび割れなど）は本調査の範囲では確認できなかった．

5.2.3　トンネルの安全性

トンネルの安全性を評価するには本調査の内容では不十分ではあるものの，調査結果を基にした安全性に関する考察を以下に示す．

調査結果からは構造物の機能低下を表すような変状は見られなかった．また，覆工上の地山の深さ（土被り）も大きくないことからトンネルの構造安定性に対して緊急に対策を講じる必要がある状態とは考えにくい．しかし，仕上げモルタルのため，目視できない第 1 から第 3 トンネルのコンクリート側壁部およびれんがアーチ部の変状は確認できていない．加えて，アーチ部れんがと地山との間に空洞（覆工背面空洞）の存在やその状態を確認することによって構造安定性をより詳細に評価できると考えられる．

写真 11　仕上げモルタルのひび割れ

写真 12　側壁・アーチ接続部の仕上げモルタルのひび割れ

一方で，仕上げモルタルの浮きが見付かったことから，モルタルの剥落の危険性を指摘することができる．今後本格的にトンネルの健全性の調査を行う際に，一般的な点検方法は近接目視と点検用ハンマーによる打音検査である．しかし，本遺構において打音検査を適用すると，仕上げモルタルの多くを叩き落してしまう可能性が考えられるため，遺構保護の観点からも調査方法は慎重に検討すべきである．

6.　UAV，UGV による調査実験

6.1　実験概要

月，火星の地表には縦孔およびそれに接続されている地底の長大な横孔（地下空洞）の存在が推定されている．そのような地球外の縦孔-地下空洞の調査技術の開発のために地球上の天然洞窟をフィールドに計測・探査の実験が行われている．近年では，人工洞窟である地下空間を有する砲台跡や地下壕などの遺跡も対象として加えられており，著者らも無人機の進入とカメラ，LiDAR 等による計測実験を行っている [7)-9)]．これらを踏まえて，蛇島ガソリン庫トンネルにおいても UAV および UGV による調査実験を行った．

使用した無人機は，UAV「Colibri」および UGV「Serval」（ともに Aero Flex 製）であり，機体をそれぞれ写真 13，写真 14 に示す．第 1 および第 4 トンネルを対象とし，第 1 トンネルは無照明，第 4 トンネルは内部に携帯型照明を等間隔で配置して照らした．そして，無人機を坑門前で起動，トンネル内に進入させ，計測を行いながら移動させた．計測機器として UAV には LiDAR センサ内蔵の「iPhone 13 Pro」（Apple 製，以下「iPhone」）をトンネル天井にセンサが向く形で搭載し簡易写真レーザ測量を行った．そして，取得したデータは iPhone のアプリケーションである「Scaniverse」（Toolbox AI 製，フリー）にて 3 次元モデル化した．一方，UGV には 360°カメラである「Insta 360」（Shenzhen Arashi Vision 製）を搭載し 360°映像の撮影を行った．

6.2　実験結果

トンネル内での無人機の飛行・走行状況を写真 15，写真 16 に示す．幅 3630mm，最大高さ 3600mm の内部であっても UAV を安定して飛行させることができた．また，UGV も第 4 トンネルにおいて，床にモルタル片が散乱していたものの問題なく走行させることができた．トンネル 1 本の計測時間は，UAV 約 4 から 6 分，UGV 約 10 分であった．

UAV に搭載した LiDAR で取得した 3 次元モデルを図 10，図 11 に示す．各モデルは点群データの編集ソフトウェアである「Cloud Compare」（フリー）で表示したものである．第 1 トンネルはト

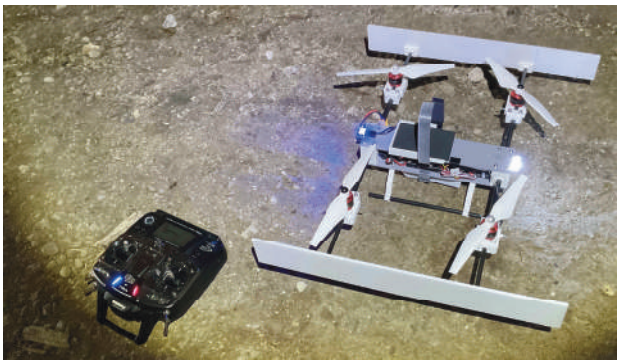


写真 13　UAV「Colibri」

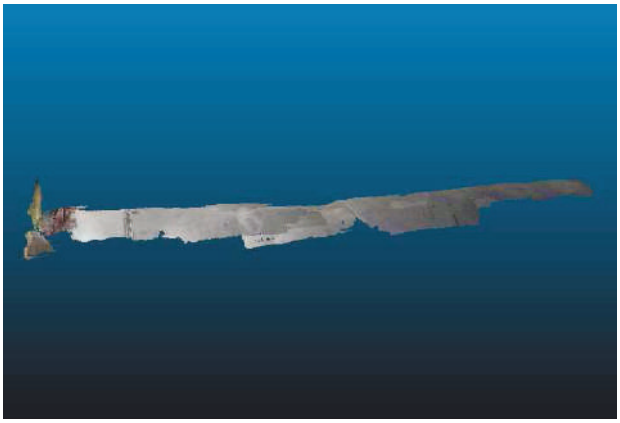
写真 14　UGV「Serval」

写真 15　UAV 飛行状況（第 1 トンネル）

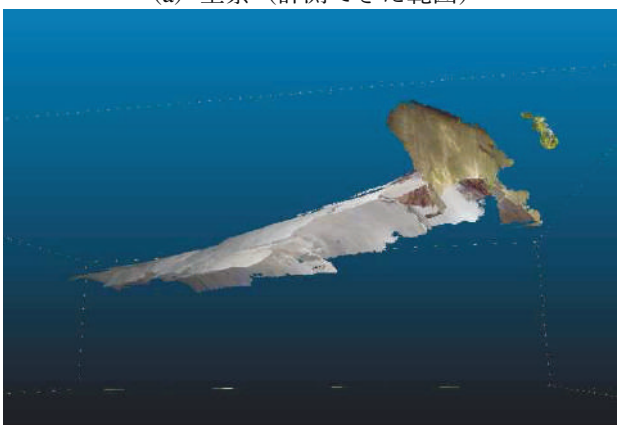
写真 16　UGV 走行状況（第 4 トンネル）

ンネル全長分を収録することができなかった．その理由は，初回の実験であり慎重に UAV を進行させ計測した結果，計測機器である iPhone の記録容量の空きが無くなり，計測が自動終了してしまったためである．その中ではあるが，図 10（c）に示すように覆工天井のモルタルに生じているひび割れを確認することができた．しかし，それは一部分であり，本来近接目視では視認できる微細なものを含めた全体の変状までは収録することはできなかった．一方で，第 4 トンネルでは前進速度を上げ，全体を網羅するように一直線で飛行させたため，短時間で計測が終了し，全長分の覆工天井を収めることができた．また，れんがの目地やひび割れは一部確認することができたが，光量不足により不鮮明な箇所も多く，光源が課題であることが明らかとなった．

UGV に搭載した 360°カメラで取得した 360°画像を写真 17，写真 18 に示す．360°画像でトンネル内を記録したことにより，実験後の映像資料としてより直感的にトンネル内を観察することができる．また，UGV は低い視点から見上げるように撮影できるため，床や足元の低い部分や天井一帯を見渡すのに適していることが確認できた．一方で，UAV と同様にカメラによる測量を行うため，光量不足な場所の不鮮明さが課題となった．



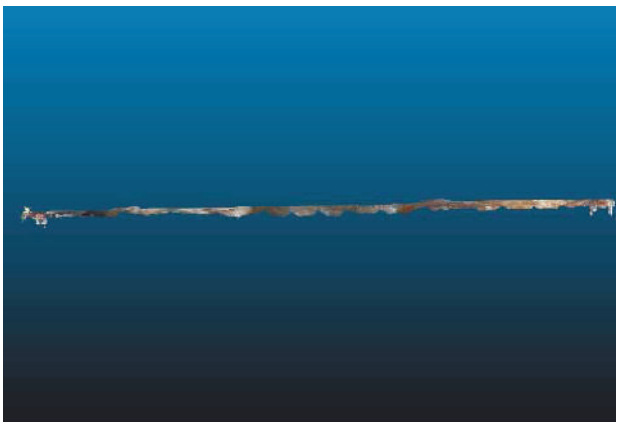
（a）全景（計測できた範囲）



（b）別角度から

（c）アーチ天井のモルタルひび割れ

図 10　第 1 トンネルの覆工天井の 3D モデル



（a）全景（トンネル全長）

（b）別角度から

（c）アーチ天井のれんが

図 11　第 4 トンネルの覆工天井の 3D モデル

このように，UAV，UGV によるガソリン庫トンネルの調査実験の結果，人力による調査とは違う視点で観測が行えることが明らかとなった．これは，新たな調査方法の提案に他ならず，調査資料の一つとして非常に有用である．

しかし，トンネル環境下においてはカメラのような光学機器は人間以上に光量に対してシビアである．今後の対策として，高輝度 LED ライトを機体に取り付けるなど，ハードウェア改善の余地がある．

写真 17　第 1 トンネルの 360°画像

写真 18　第 4 トンネルの 360°画像

7. まとめ

本報では，蛇島ガソリン庫跡の調査並びに，そこをフィールドとした惑星･極地探検のための無人探査技術開発のための調査実験について示した．調査結果から得られた知見を以下に示す．なお，トンネル外の島内の地物に関しては別稿に記すことにする．

1. 蛇島ガソリン庫は当初よりガソリン貯蔵の目的で遅くても大正 4 年から建設が計画され，大正 11 年に竣工した．
2. 竣工から終戦までの間，改修をしながらガソリン貯蔵の用途で使用されていた．
3. 蛇島は戦前，戦中期には水泳場，戦後期には佐波賀大根の種子採種のための畑といったガソリン貯蔵以外にも使用されていた．
4. 4 本のガソリン庫トンネルは同時期に竣工したとされているが，それぞれで構造，仕上げ，付帯物に違いがあり，その違いは建設時もしくは供用時の改修により生じたものと考えられる．
5. ガソリン庫トンネルの坑門および内部の目視，非破壊試験の結果より，トンネルは竣工年代に対して比較的劣化は進行しておらず良好な状態で残っている．加えて，構造安定性に対して緊急に対策を講じる必要がある状態とは考えにくい．
6. ガソリン庫トンネル内部のアーチ部の仕上げモルタルには剥落の危険性がある箇所が複数あり，詳細調査や公開においては留意する必要がある．
7. 無人機と小型の計測機器の使用により短時間で遺構の 3 次元モデルや 360°画像を取得することができた．

以上より，蛇島ガソリン庫の歴史的経緯と現状の一端を明らかにすることができた．これらの知見は舞鶴鎮守府の全体像や旧日本海軍の土木･建築技術，戦後の鎮守府施設と地域社会との関係，史跡保護の展開などにおいて有用なものであると考えられる．

加えて，UAV，UGV のような無人機と小型 LiDAR スキャナーのような先端測量技術の組み合わせによる調査は，安全かつ効率的に遺構の表面や形状を記録することができることから本遺構を含めた調査が不十分で保存や公開，活用に必要な情報が得られていない戦争遺跡の調査に有効であることが確認できた．

一方で，竣工後から終戦までの蛇島ガソリン庫の使用実態や改修の経緯に関しては，史料を入手できておらず，明らかにすることができていない．また，本調査の内容ではトンネルの安全性を評価するには不十分であり，一般公開に向けては，島内の安全確保と共にトンネルの詳細な調査が必要となる．また，先端測量技術による遺構調査についても精度や真正性の点において課題があり，これらを今後の課題として蛇島ガソリン庫の調査並びに調査技術の検討を進めていく．

謝辞：本調査の一部は JSPS 科研費 22K18490 の助成を受けて実施した．調査のうち，蛇島ガソリン庫跡の上陸調査は財務省近畿財務局舞鶴出張所の許可を得て実施した．また，上陸調査には舞鶴工業高等専門学校毛利研究室所属の学生（当時）の協力を得た．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 大正 12 年公文備考土木巻 138 の 2 土木，「大正十一年度海軍省所管一般会計所属国有財産増減報告書」，防衛省防衛研究所所蔵，アジア歴史資料センター Ref. C08050943200-C08050943300

2) 大正 9 年公文備考巻 96 土木 22,「水陸設備費工事訓令十一舞鶴二止」，防衛省防衛研究所所蔵，アジア歴史資料センター Ref. C08021673200
3) 連合国最高司令官総司令部民間財産管理局(GHQ/SCAP, CPC)文書，アメリカ国立公文書館所蔵，国立国会図書館マイクロ資料，Ref. CPC12855, CPC16211, CPC33748
4) 連合国最高司令官総司令部民事局(GHQ/SCAP, CAS)文書，アメリカ国立公文書館所蔵，国立国会図書館マイクロ資料，Ref. CAS(B)04421
5) 舞鶴・大阪海軍軍需部引渡目録，防衛省防衛研究所所蔵，アジア歴史資料センター Ref. C08010935900-C08010937400
6) 舞鶴市 HP「佐波賀だいこん」，https://www.city.maizuru.kyoto.jp/kankou/0000001140.html　(2022.12.9 最終アクセス)
7) 眞部広紀，久間英樹，稲川直裕，吉森聖貴，岡本渉，毛利聡，上寺哲哉，前田貴信，堀江潔，大浦龍二，阿依ダニシ，堀井樹：縦孔-地下空洞類似地形の探査実験サイトと形状計測，第 66 回宇宙科学技術連合講演会，4A07 (2022)
8) 眞部広紀，久間英樹，稲川直裕，吉森聖貴，岡本渉，毛利聡，上寺哲哉，前田貴信，堀江潔，大浦龍二，阿依ダニシ，堀井樹：UZUME 計画のための縦孔-地下空洞類似地形・環境における多段階模擬探査実験プログラム，佐世保工業高等専門学校研究報告第 59 号，pp.114-121 (2023)
9) 眞部広紀，毛利聡，堀井樹，濱侃，大山聖，岡本渉，由良富士雄，久間英樹，岡崎泰幸：野島掩体壕の現況把握を目的とした視察、計測探査実験及び継続的な観察プログラムの検討, 佐世保工業高等専門学校研究報告第 59 号，pp.86-95 (2023)

(2022.12.9 受付)

Investigation of The Remains of Jajima Gasoline Storage

Satoshi MOHRI*, Masashi MAKINO, Yuriko IMAMURA,
Hiroki MANABE, Tatsuki HORII, Kenta MATSUZAKI, Mutsumi NAGAMINE,
Mirai TANIGUCHI and Ryuki NAGAO
*Corresponding author: s.mouri@maizuru-ct.ac.jp

Abstract: We investigated the remains of Jajima Gasoline Storage. The Jajima Gasoline Storage is remains of four tunnels. The investigation consisted of a hearing investigation with local resident, and an investigation involving landing on an Jajima island. In addition, we carried a drone survey in the tunnel.

From the result of the investigation, we were able to grasp part of the history, structure, structural performance and durability of the tunneled gasoline storage.　In addition, it was confirmed that the combination of drones and advanced surveying technology (e.g., LiDAR) was effective in investigating war remains.

Key words: Maizuru, Navy, War remains, Historical research, Survey of remains, Drone, LiDAR

建築設備と人材育成について
その１　建築設備と ICT のこれまでとこれから

Building Equipment and Human Resource Cultivation
Part 1 Past and Future of Building Equipment and ICT

内海康雄 [1]
Yasuo UTSUMI

1. はじめに

LAN やインターネットが普及し始めた 1990 年代から、建築設備の制御は自律に加えてリモートとなり、今はインターネット上でつながっています。スマートグリッドから始まり、スマートコミュニティ、スマート社会、デジタル田園都市、SOCIETY5.0 などの考え方が出てきて、将来の都市では IT が組み込まれた建築設備が大多数となるでしょう。

ここでは建築設備と IT のこれまでと将来、そしてそれらを支える人材育成について述べます。その１は、都市・建築環境の課題解決に関わる専門知とこれからの建築設備についてです。その２では、これまでとこれからの人材育成と 20～30 年くらい先の将来動向について述べます。

なお、これらの内容は文献１に掲載された内容を一部改訂、加筆しています。また、建築と設備はヒトと社会と一体化していることと、東日本大震災を踏まえた内容であることから、本報では扱う範囲が広くなっています。

2. ICT（情報通信技術）に思う

2.1　1970 年代の計算機との出会い

1970 年代はプログラムを紙テープ、パンチカードで書いて、実行処理の順番待ちをしました。TSS（Time Sharing System）端末になって、紙ベースですが一人一台の CUI（Character User Interface）が使えるようになりました。そして GUI (Graphical User Interface)となり、今に至っています。計算機は、ノイマン型が並列化されて行き、非ノイマン型（ニュ―ロン、量子など）が実用化されつつあります。

OS は UNIX、MS-DOS のほかに日本独自の TRON も生まれていた時代です。マッキントッシュ PC の UI（User Interface）は優れたものでしたが、DOS-V と Windows が出てきてからは、大分近くなった印象があります。現在のコンピュータが計算速度と消費電力などを競う中、トップ 20 の OS が UNIX というのも面白い。

計算機が人間の一部の能力、記憶・計算などを飛躍的に拡大し、それを肯定的に受け入れていた時代です。移動するのに馬から車・飛行機へ変わったのと同じです。一方、2045 年にシンギュラリティ（特異点）を迎えるそうですが、ファクシミリと電子メールの普及がヒトのいそがしさに与えた影響を考えると、ヒトがコンピュータに使われる道へ進んでいるようにも見えます。

2.2　アプリケーション

当初はアプリケーションの開発ツールが限られていたので、ワープロ、表計算ソフトが出るまでは自作でした。苦労はしますが計算機の原理･動作からソフトウェアの実装までをおおむね学べました。1970 年代後半に計測・データ処理に使った CANON AX-1 は、処理命令一つがボタン一つと対応して、個別にソフトを組むより早いし役立ちました。

日本人のアイデアでワードプロセッサが登場してから、計算機は科学技術分野のみならず身近で普通に使われ出しました。ワープロの直前に和文タイプライターが出てきて、学会の発表論文が手書きからタイプ文字になり、運転免許証の代筆を頼める代書業もありました。それがワープロに置き換わって行きます。破壊的イノベーションが職業の盛衰に強く影響を及ぼしたのです。

2.3　建築設備と IT の協働

建築設備の多くは、機器・システムに、制御用の機器とコードが付加された組込みシステムとなっています。インターネット上でつながったのは、共通のプロトコル（通信手順）を持つという標準化の成果です。例えばビル用マルチエアコンは 10 年以上前から、プロトコルである BACnet などにより世界共通で動くようになっています。

[1] 舞鶴工業高等専門学校　校長

それを拡大するとスマートコミュニティが可能になるという主張が出てきて、一般に次のように進むと考えられます。

機器単独の組込みシステムとして自律
→ネットワーク上の情報共有
→インテリジェントな協働動作（自らの判断に基づいた動作）
→スケールが大きくなるとスマートコミュニティになる

一方、産業・業界としては、次の要求があります。高温・塵埃・24 時間稼働などの厳しい環境で、産業用機器を長期に安定して稼働させたい。できれば OS などの関連ソフトのアップデートせずにそのまま使いたいなどです。後者は、今後の周辺機器の OS ヴァージョンアップについて行けるかどうかが大きな課題です。

またサプライチェーンの安定、必要資源の備蓄、情報セキュリティの確保、災害時の電源確保など、まだ続くコロナ感染症のまん延、ウクライナでの戦争の影響など、国内外の活動を見据えた対応が必要です。

3.　都市・建築の環境の課題解決

3.1　課題の変遷

3.1.1　時間と大きさからみた建築設備が関わる分野

設備機器・システムと建物を含めて、評価項目として安全性、機能性、快適性、美しさ、コストが挙げられ、これらを踏まえた研究・開発・生産の後に市場へ提供されます。

また製品のライフサイクルとして；

企画 → 基本設計 → 実施設計 → 生産 → 実装・施工 → 稼働・維持管理　→ 廃棄

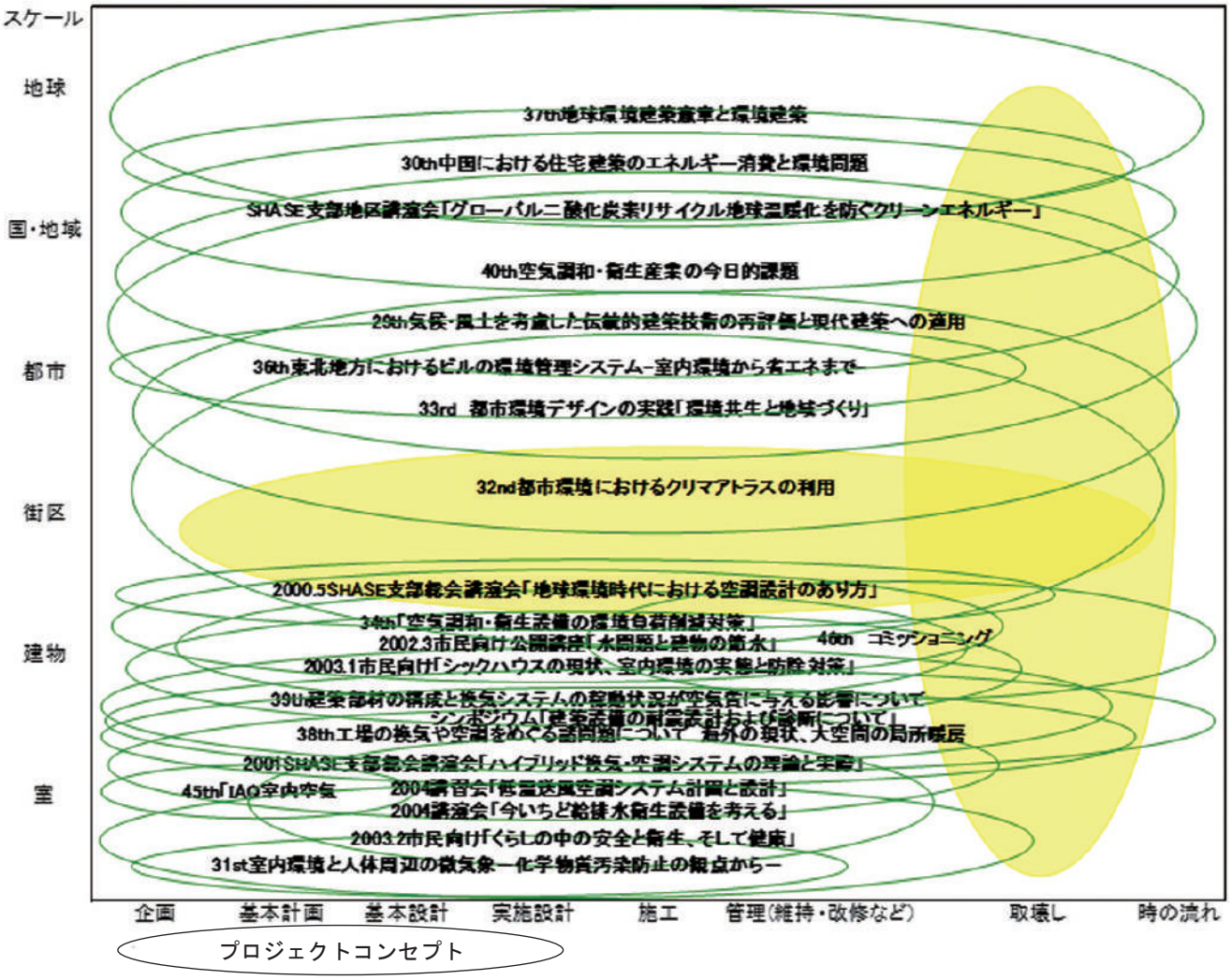


図１　東北環境設備研究会のテーマ（2015 年まで）

があります。上流側は自然資源を加工してモノを製造・提供する動脈産業に相当します。廃棄物による環境汚染が社会問題になってから注目されている、生産物の回収・再利用・無害化などを行う静脈産業は下流側になります。

図１は空気調和衛生工学会東北支部の過去の講演会等のテーマです。ライフサイクル（時の流れ）を横軸に、ヒトから都市、地球などのスケールを縦軸にして分類しています。個別の空調機器や課題などについては、建物や室のスケールの設計・計画が多くあります。また熱・空気に携わる研究者・実務者の数が多いので、それに関するテーマが多い。

またテーマの分布は均等ではなく、２つの楕円で示す手薄な領域があります。横軸では下流側、縦軸では街区です。もちろんそこには貴重な経験知を持つ方々がいて活動していますが、テーマ数としては少ない。学校で学生の皆さんが習うのは、主にライフサイクルの上流側が多く、社会に出てから全体像を理解することになります。

3.1.2　中央管理方式の給気の例

建築設備は広汎な分野で活躍しています。技術・科学の変遷により、時代と共にそれぞれの分野で使われる方法が変わっていきます。一例として、室の必要換気量を提供する中央管理のダクトを取り上げます。中央管理方式そのものは、ビル用マルチエアコンが普及する中、建物種別によっては少数派になりつつあります。調べますとかなり前の空気調和衛生工学会誌に設計法が載っていました。

十数年前に宮城県内の某病院でダクトの供給空気量をトレーサーガス法で実測する機会がありました。換気系統一つを計測した所、実測給気量は設計値の＋0～10%内に収まっていました。ヒトを守る役割を持つ病院施設での現場の方々の働きとノウハウには頭が下がる思いでした。

3.1.3　今後対応すべき課題

建築設備は自然環境の中でエネルギーを使って人工環境を作っています。地球温暖化に対応するための省エネルギーと脱炭素化を、個別の建築設備、建物、それより大きいスケールで行わねばなりません。次に、大災害に対応できる建築設備の研究、開発、生産と実装です。2011 年の東日本大震災では、1978 年宮城県沖地震の際よりも情報関連の設備・機器の設備被害が多くなりました[2)]。今後、IT・通信機器の重要性は高まりますので、BCP（Business Continuity Plan, 事業継続計画）を含めて対応が必要です。

国連は 2030 年を目指して SDGs（Sustainable Development Goals, 持続可能な開発目標）を掲げています。WHO の well-being（健康）[3)]、UNDP（国連開発計画）の HDI（人間開発指数）[4)]、JICA 緒方研究所の「今日の人間の安全保障」[5)] が注目されています。これらを含めて、自ら活動しながら、大勢の人と話合いながらより良い方向を目指し続けねばなりませんが、建築設備のできることは多いと思います。

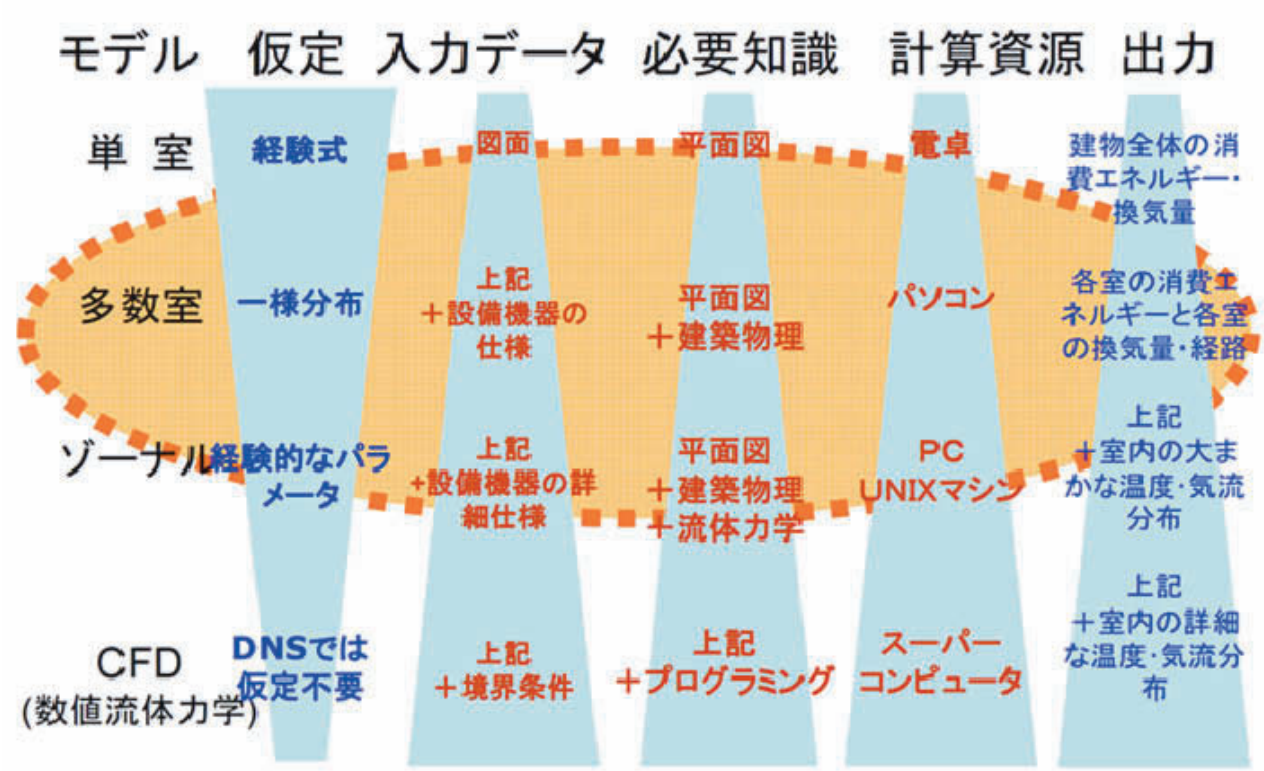


図２　熱・空気関連の計算ツールの分類

3.2　熱・空気についての科学・技術の知識

3.2.1　環境と設備に関して我々が持つ知識

空気・水・熱・音・光の建築環境で考えますと、我々の道具・知識は、理論・実験・シミュレーションとそれらの組合せです。シミュレーションは 1980 年代に「模擬」と呼ばれていて比較的新しい。換気についての詳細は文献 6 をご覧下さい。

近年、AI・ビッグデータがよく使われますが、「多分こうなる」、「この現象を説明するにはこんな項目が関係している」が分かります。統計的には正しい結論ですが、なぜそうなるのかという説明ができない場合が多くなります。これまでの現象を明確に因果関係で説明することから、確率的な説明へと頭を切り替えねばなりません。

なお、すべてに共通して、現象を数式化・モデル化する際には、本質はつかめますが、何か欠落することがあります。建築設備について言えば、少ない経験ですが、現場で起きた課題は、まず現場を見てそこで意見を聞くのが一番と思います。

3.2.2　シミュレーションの伸展

IT・通信とそれらの利用技術の飛躍的な向上から、シミュレーションはとても役立っています。CAD データモデルのファイル形式 IFC（Industry Foundation Classes）が普及して、建物のモデル化手法 BIM（Building Information Modeling）と相まって、室内環境の早い効率的な予測計算ができるようになりました。計算ツールによってはマルチフィジックスに対応していて、現象の記述方程式があれば、複数の物理現象を連立して解けます。

一方で、建物全体を扱うような大規模な熱・空気の連成計算には CFD（Computational Fluid Dynamics, 計算流体力学）以外のソフト、例えば HASP[7)]、The BEST Program[8)]ほか、国内外のアプリケーションが使われています。図 2 は熱・空気の計算ツールの分類です。課題に対して必要な出力と現有資源などに応じて、アプリケーションを選択する時に参考になるかもしれません。

モデル中のゾーナルとは、室内の熱源などの主な駆動力、例えば吹き出し口を考慮して、特定の室について対象範囲を幾つかのゾーンに分けて考えるモデルです。また DNS（Direct Numerical Simulation, 直接数値シミュレーション）は、流れの基礎方程式をそのまま解く方法です。仮定は無いのですが、高速・大規模な計算資源が必要となります。

3.2.3　環境デバイスとしての建築設備

センサーの小型化・多様化が進み、例えばスマホの中には GPS を始めとして多くのセンサーが入っています。最近、屋外の風向・風速をリアルタイムで 3 次元計測する製品が発売されました[9)]。65cm 立方の筐体で測定範囲最大 15km、風速分解能 0.1m/s、最少距離分解能 10m です。スタジアムには使えそうです。ここ数年で AI により、画像データから人の健康・感情を判断できるようになりました。例えばソチオリンピックでの犯罪者の検知が報道されました。

センサーが環境デバイスとしてクラウドにつながり、モニタリングデータの記録に加えて；

モニタリング→データ収録 → 制御情報を作成 → 制御を実行 → モニタリング → ・・・

というサイクルを、リアルタイムで容易に行うようになりました。共同開発した環境デバイスの IoT としての機能を図 3 に示します。30 年前は部分①だけでしたが、制御機器が付加されて部分②が自律し、インターネットが普及して部分③が主流となりつつあります。将来は制御機器が発達して、部分②が制御情報を自律的に作り出すエッジコンピューティングが普及すると思います。

またデジタルツインと呼ばれる、現実と仮想現実（Virtual Reality, VR）の組合せが、建築設備の操作と点検に使われるようになると思います。EU では 20 年位前から実用段階に入っていました。例えば、設備点検の際に、邪魔にならない程度の大きさのゴーグルをつけた作業員が現場に行きます。現実と正常な状態を再現した VR を重ねて見て、異状の有無を判断します。異状があれば、画面に症状と原因のリスト、対策を優先順で示して、必要な部品の在庫状況を知らせます。

一方で、現実と仮想の区別をどうつけるのか、またヒトが感じる「何となく変だ」という五感だけでは判断できない場合への対応などが、これからの課題と思います。

4.　建築設備に関する専門知について

4.1　建築設備に関係する人々の知識の分類

4.1.1　専門知の分類

建築設備の実務・研究に携わる方々は専門家でして、今まさに実務や論文執筆で新たな専門知を作り上げています。一般の方々と接する際には、専門用語を使わずに説明するなどの工夫をされていると思います。

図４は専門知の分類例です[10]。社会に暮らす皆が持つ様々な技術・科学の専門知について、理解・対応の仕分けを示しています。上にある遍在専門知とは、ある社会に属するどの人も、その社会で生きるために持たねばならないものです。例えば、日本なら日本語、専門家の意見を聞きながらの COVID-19 への対応などです。メディアの取材側は対話型専門知を持ち、最先端の実務や論文執筆をしている方々は貢献型専門知を持ちます。

全体を見ると、左から右に知識のレベル・機能がおおむね上がっていきます。下に行くにつれて、汎用的な知識になっていき、ある水準になれば資格として認証されます。上位のレベルは下位のレベルの知識を含むことが多くあります。各知は明確に線引きできるのではなく、幾つかが混ざり合っています。詳しくは文献 10 をご覧下さい。

学生の方々はこの図でご自身の立ち位置と成長の度合いが分かるかもしれません。また一般の方々を含めて、皆を巻き込んで社会課題を解決していくときに使えると思います。

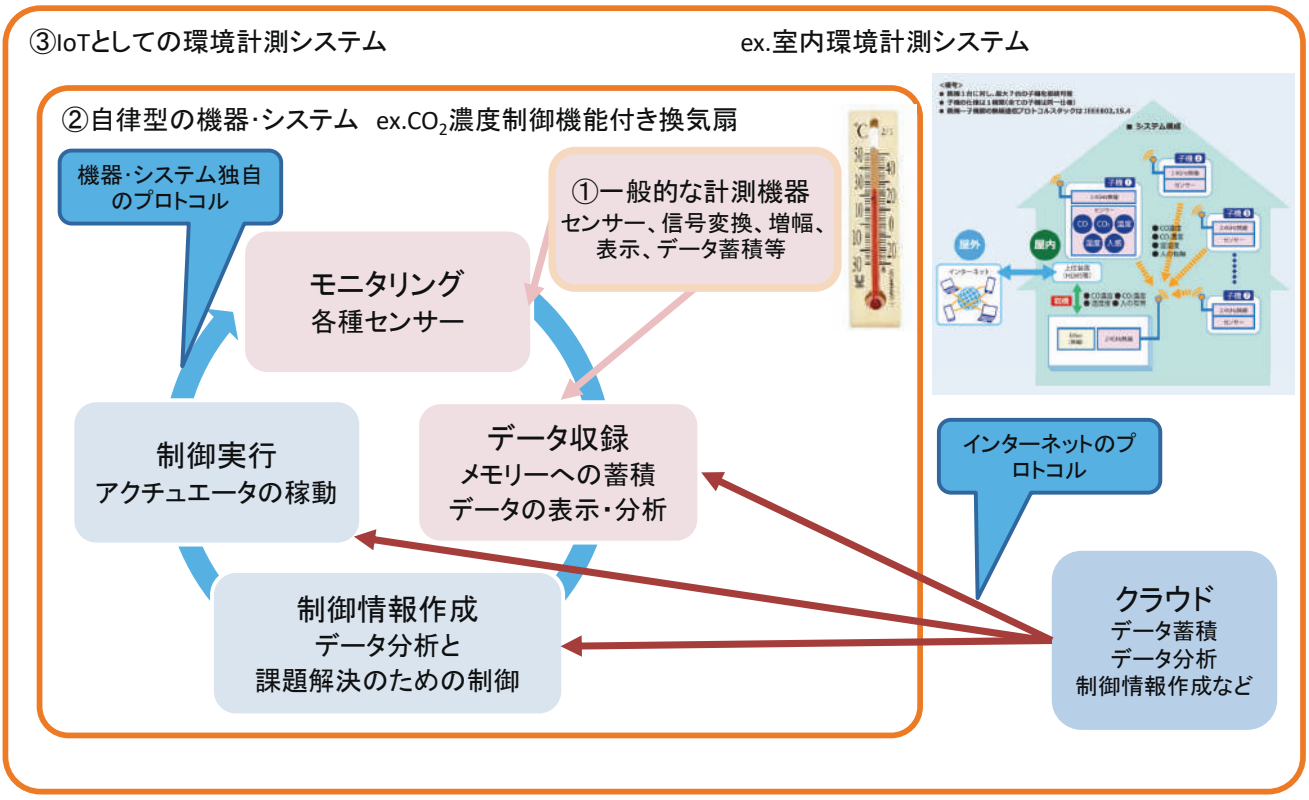


図３　環境デバイスの IoT 機能の例

遍在専門知			
素　質	対話能力 熟慮能力		
特定分野の専門知	遍在暗黙知	特定分野の暗黙知	
	ビアマット知識→通俗的理解→一次資料知識→対話型専門知→貢献型専門知		
	社会多形性 物真似単形性		
メタ専門知	外在的（変性型専門知）	内在的（非変性型専門知）	
	遍在的識別力　局所的識別力	専門的目利き　下向きの識別力　投射型専門知	
メタ基準	資格	経験	実績

図４　専門知の機能による分類（文献 10 から作成）

4.1.2　総合化による課題解決

ここでいう総合化は、課題解決のために理論・実験・シミュレーションの何か新しい組合せを考えることです。例えば扱うスケールが大きいスマートコミュニティなどは、建築設備のみで実現するものではなく、幅広い分野の協働が必要です（例えば文献 11）。

工学的に課題を解決する際の方法は一般に次の手順になります。

課題の発見 → 現象のモデル化 → 解決手段の探索と選択 → 解決の実施 → 効果の検証 → 課題の発見 → ・・・

と繰り返します。

前 3 者については、文献 12 が役立ちます。問題の枠組みから解決後の検証に至るまで問題を構造化して客観的に記述することができます（図 5 参照）。どこまでの範囲で何が必要かを考えることができます。それより後ろの部分は、実務や現場を知らないと考えられないと思います。

4.1.3　非常時の現場での知識の使い方

現場は問題の宝庫です。問題は同じようでもどこか違います。それが毎日起こるので、工夫が必要になります。将来必ず起きる深刻なものの一つは大災害です。発災時にはトリアージに近い対応が必要となります。建築設備であれば、限られた資源の中で、病院の手術室がいつ幾つ動くのか、どの部屋から暖冷房を入れるのかなどです。

平常時のように PDCA は回らないので、1，2 時間ごとに変化する状況と資源量に対応することになります。例えば、東日本大震災の直後、原発から飛来する放射性物質の室内への侵入防止と、停電中に使っている開放型燃焼機器への新鮮空気を取り入れる窓開放のどちらを優先させるかは悩ましいものでした。

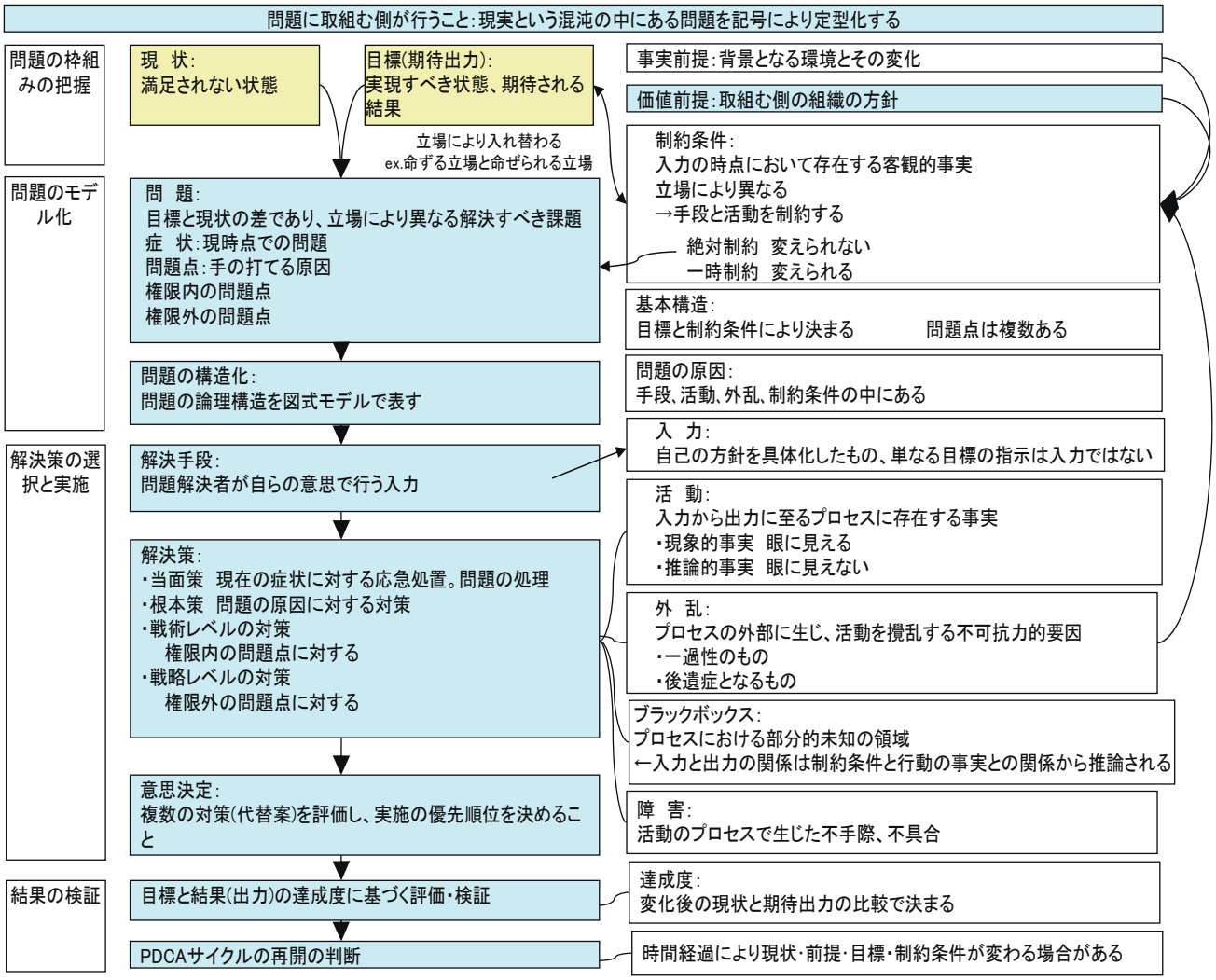


図 5　課題のモデル化・解決のプロセス（文献 12 から作成）

実務者・専門家は、ここに至って、手法だけではなく正義・倫理・哲学に関わる判断をせねばならなくなります。建築設備で目の前にいる避難所の人々を災害から守るには、普段から建築設備を正しく扱えるヒトを育てる必要があります。

4.2　創造性について

4.2.1　生きるために必要

ヒトは初めての問題に出会い、新たな解決法を生み出して生き延びてきました。アフリカの大地溝帯からアメリカ大陸までの１万年の旅が口伝で残されていますが[13]、最初から人類は創造性を持っていたのかも知れません。というのも創造性が無ければ旅の途中の困難を解決できないと思うからです。

ヒトと社会が持つ課題を、新たな手法で解決する創造性を生むために、大学・高専・企業などの研究・開発そして教育と人材育成が行われ、学協会などがそれを協働・推進しています。

4.2.2　創造性へのアプローチ

創造性は 18 世紀頃から扱われて、今は「創造性は、製品、サービス、プロセス及び手段において、新奇で有用なアイデアを生み出すことである」という考え方があります[14]。

アプローチを表１に示します。米国では２週間程度のセミナーに数万ドルの費用をかければ修得できるそうです。測定法は 10 以上提案されていますが、調べた範囲では、創造性を発揮して課題を解決する過程は次のように考えられます。

個人について：　まず個人の能力が、情報コンテンツ（内容）、情報の所産（構造）により分類されます。そして図６のように能力に応じて関係する情報を収集して、解決策を記憶と探索により多数考え出す拡散過程の後、幾つかの選択肢にまとめる収束過程を経て、どれか一つを選んで実施します[15]。

表１　創造性へのアプローチ（文献 12 から作成）

神秘的アプローチ	科学的分析を受け付けない
実用的アプローチ	創造性の活用とその促進
心理測定アプローチ	創造性の測定
認知アプローチ	情報処理のプロセスや心理的描写
社会パーソナリティアプローチ	創造性に与えるモチベーションや他者の役割
進化的アプローチ	創造性は、個人が環境の中で生き残るための適応と考える
複合的アプローチ	上記の様々なアプローチを統合

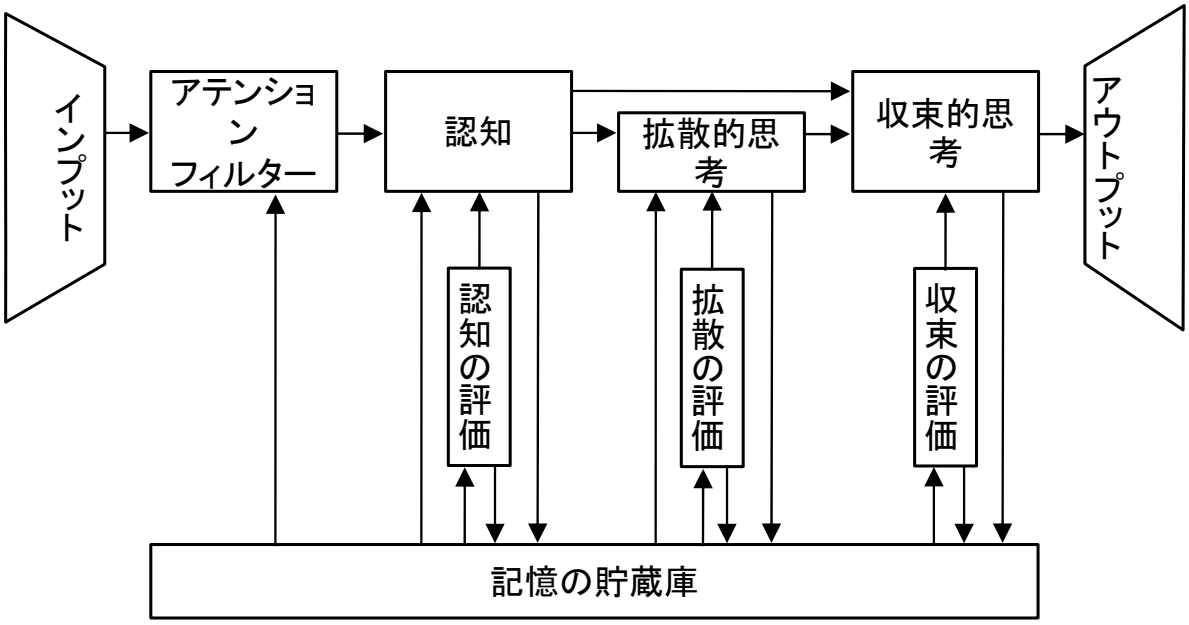


図６　Guilford の SIPS モデル(文献 14,15 を基に作成)

少人数グループについて：　図 7 の SECI モデルが提唱されています[16]。形式知である文献等を読み合わせて、関連する情報をグループ内で連結して組合せます。グループ内で情報は内面化されて行き、暗黙知を共有しながら一丸となって共同して課題は解決されます。それを報告書にして形式知で表出すると、外部からグループの活動を理解して模倣できます。

組織の学習については文献 17 が参考になるかもしれません。このほか、創造性の発揮のために PDCA、OODA、アジャイル PM（プロジェクト・マネージメント）など多数が提案・実施されています（例えば文献 18）。

ここではイノベーションの 2 つのタイプ[17]を図 8 に紹介します。創造性の発揮は周囲の環境にも影響されるようですので、扱う建築設備・システムの周りを見渡す必要があります。

4.2.3　能力向上への研鑽

何か課題があってそれを解決するための能力開発は、おおよそ次の段階を経ているように思います。

個 人 → 小規模グループ（ex.家族、友達） → 組織（ex.企業、官僚組織）

それぞれに啓発やノウハウについての情報が世に沢山あって講習会もあります。

生徒・学生の時代は小規模グループまで、社会人は個人から組織までを知って活動しています。小中学校の夏休みの宿題は〆切が迫る中、家族・親戚の助けを借りました。勤めてからは同僚に相談しました。振り返れば、前節の創造する過程があったように思います。

4.2.4　産学連携の歩み

産学連携は社会における知識の総合化による課題解決の典型例となっています。40 年前の学生運動を思いますと当時は考えられないことで、隔世の感があります。表 2 に主な出来事の一覧を示します。米国のバイ・ドール法から始まり日本へ影響した様子がうかがえます。

産学連携に限られる話ではありませんが、活動が多様で大きくなるにつれて、取り決めなどで、あるまとまりにして整理・標準化する。それらが現実問題に即して展開して、また個別化・多様化する。発散してまとめきれずに不具合が出そうになると、また取り決めができて収束するという過程を繰り返しているように見えます。

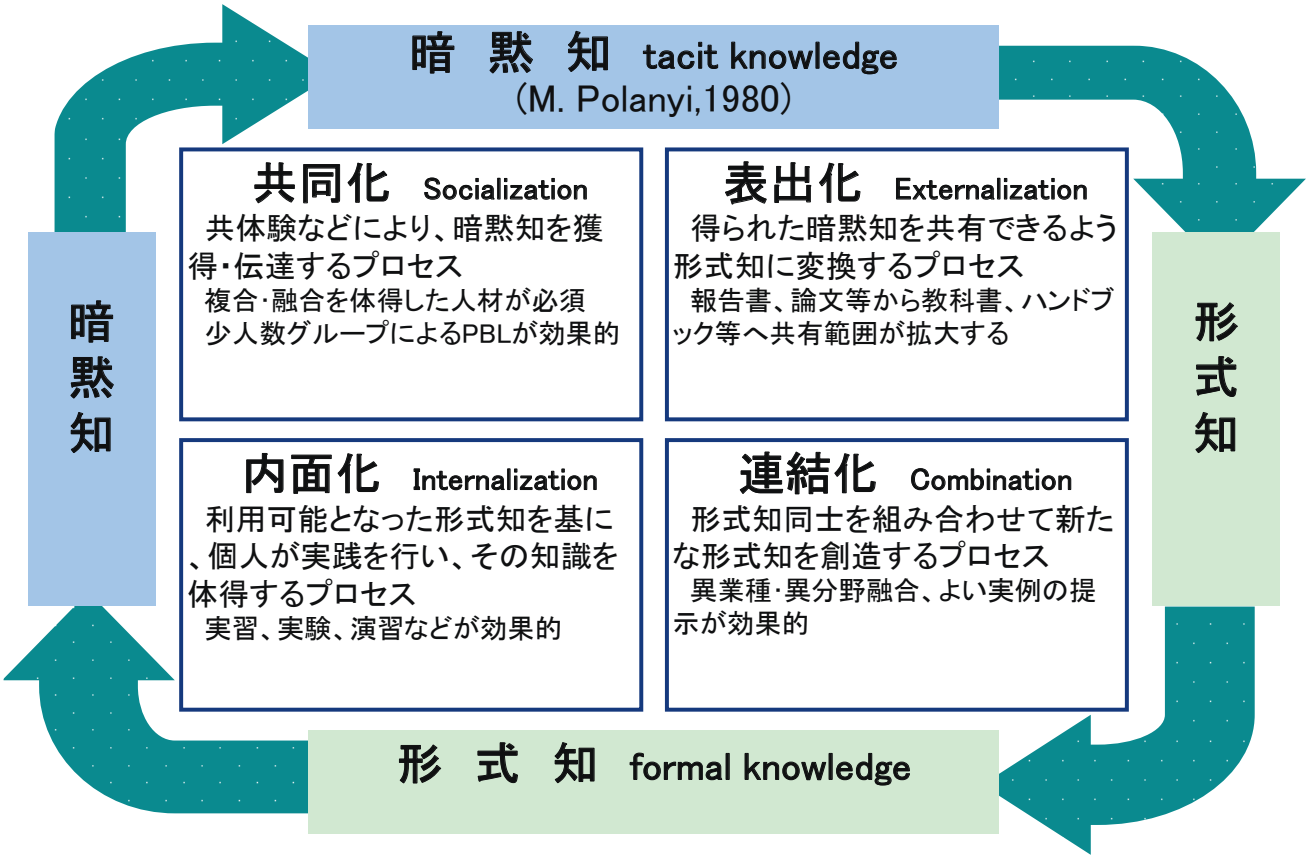


図 7　少人数グループの学習における SECI モデル（文献 16 などから作成）

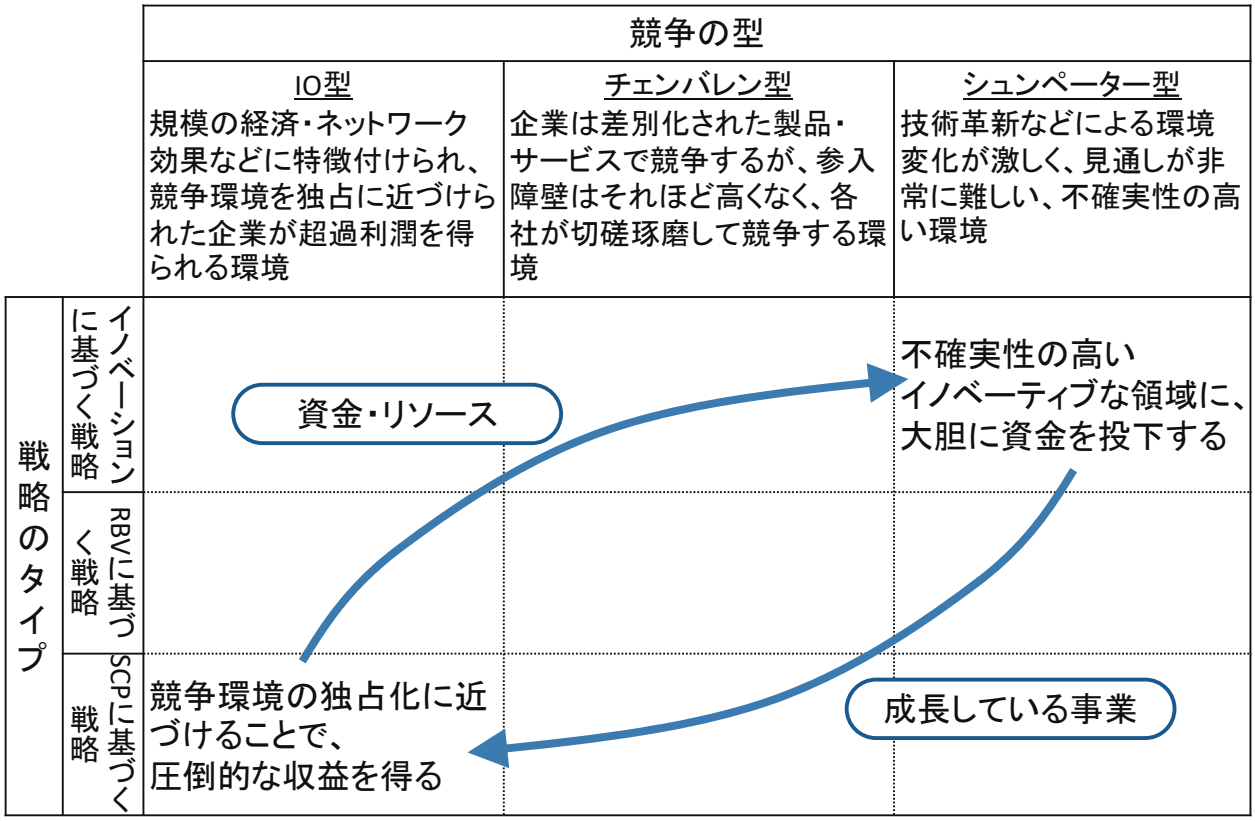


図８　競争と戦略の関係（文献 17 から作成）

表２　産学連携に関わる主な出来事

1980	米国バイ・ドール法(特許法の一部改正法) 政府資金による研究開発から生じた発明についてその事業化の促進を図るため、政府資金による研究開発から生じた特許権等を民間企業等に帰属させる
1984	臨時教育審議会（臨教審）　中曽根内閣 「二十一世紀を展望した教育の在り方」(第一部会)、「社会の教育諸機能の活性化」(第二部会)、「初等中等教育の改革」(第三部会)、「高等教育の改革」(第四部会)
1995	科学技術基本法 科学技術（人文科学のみに係るものを除く）の水準の向上を図り、もって我が国の経済社会の発展と国民の福祉の向上に寄与するとともに世界の科学技術の進歩と人類社会の持続的な発展に貢献することを目的とする。(第一条抜粋)
1996～2000	科学技術基本計画第１期　　環境整備
1999	日本版バイ・ドール法 政府資金による委託研究開発から派生した特許権等を民間企業等に帰属
2001～2005	科学技術基本計画第２期 重点４分野(ﾗｲﾌｻｲｴﾝｽ、情報通信、環境、ﾅﾉﾃｸﾉﾛｼﾞｰ・材料)
2001	総合科学技術会議 科学技術政策に関する司令塔機能の一層の強化
2006～2010	科学技術基本計画第３期イノベーション
2009～2014	MEXT, JST　地域創生人材育成プログラム
2011～2015	科学技術基本計画第４期 震災復興、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、システム構築
2011	ISCED: International Standard Classification of Education（UNESCO, OECD, EU）
2014	総合科学技術・イノベーション会議(総合科学技術会議を改称)
2014～2016	OECD:KT（Knowledge Triangle)プロジェクト　　教育とイノベーション
2016～2020	科学技術基本計画第５期ｱﾝﾄﾚﾌﾟﾚﾅｰｼｯﾌﾟ
2021～2025	科学技術・イノベーション基本計画第６期　　我が国が目指す社会(Society 5.0)

4.3　技学について
4.3.1　技学の特徴

社会の課題を解決する枠組みの一つとして産学連携があり、そこではステークホルダの連携があります。科学技術と社会の大きな枠組みとして図９が示されています[19]。図中の大きな矢印は純粋科学と科学技術からの社会へのアプローチになります。

長岡技術科学大学により国際技学カンファレンス in 長岡が開催されています[20]。技学とは「現実の多様な技術対象を科学の局面からとらえ直し、それによって、技術体系をいっそう発展させるための技術に関する科学」とされており、技術の科学という包括的な枠組みを提示しています。

技学は、科学技術の袋小路を打ち破る高等教育や職業教育の概念とされることが多く、社会の直面する課題を解決するための方法論を進化させることも期待されています。高等教育と職業教育が世界的に拡大している中で、PISA、学生の起業家精神の促進、そしてイノベーションの実現につながります。

4.3.2　３つの手法の組合せ

具体的には、理論・実験・シミュレーションというヒトが現有する解決手法を組み合わせて、それらを高めていくと考えられます[21]。一般に研究活動には深い知識が必要ですが、製造業やサービス業の発展には幅広い知識とマネジメント能力が求められます。後者は、解決すべき課題の周辺領域をカバーする関連分野とリベラルアーツの専門知識に基づいています。特に社会の実践的なニーズから始まった課題は技学の概念に近いため、アクティブラーニングや PBL などの教育が必要となります。

技学は、科学、理論、シミュレーションの組み合わせを業界の伝統的な手法とと共に活用し、個人の独創性、創造性、ビジョンに支えられ、プロジェクトに関係する人々を巻き込んで、これら 3 つの項目が機能するときのフレームワークとパフォーマンスを明らかにします。また技学は学際的・総合的に構成されるべきでして、技術の科学として、それがどこから来るのかを扱うことができるため、関係する項目を統合して扱うことができます。

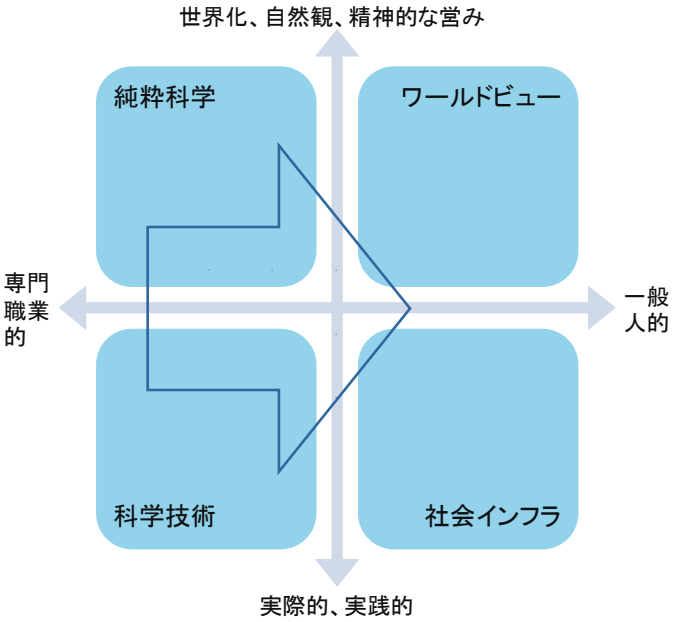


図９　科学技術と社会（文献 19 から作成）

5.　これからの建築設備
5.1　東日本大震災で感じたこと
5.1.1　大きな災害後の時間経過と建築設備の役割

2011 年の東日本大震災で実感したのは、建築設備はヒトの存続に直結しているということです。空気が無くなれば数分、室内の温度が極端になれば数時間で生命が危険になります。衛生設備が無ければ、数日で感染症が広がる恐れがあります。普段考えているつもりでも、大きな災害が起きると、思い至らなかったことに気づかされます。災害大国日本には干ばつ以外は毎年何かあるので、大災害の現場で答えを迫られる前に備えねばなりません。

表３に発災後の時間経過に沿って、居住環境の課題、室内環境の目標、建築設備の機能を示します。発災後は社会インフラ機能が広範囲に一時途絶するので、無事に残った建築設備を稼働するエネルギーが必要です。復旧までは、自律した分散型エネルギー源が必要で、地産地消が基本になります。

5.1.2　震災後に建築設備でできたこと

震災直後に地域コミュニティの再建も必要でしたので、住民を大切にした（一社）HOPE が設立され、スマート防災エコタウン[23]が環境省、積水ハウスの多大な支援により建設されました。持続可能な一例と思います。

また（一社）持続可能で安全・安心な社会をめざす新エネルギー活用推進協議会（JASFA）を設立し、太陽光・風力を活用したシステムと復興活動について新エネ大賞[24]を受賞しました。活動はまだ続いています。

表３　平常時と災害時の室内環境の課題・目標・建築設備の機能（文献 22 を基に作成）

経過時間	直後～４週間			４週間～２年			２年～	備考
居住する場所	震災時の居場所	→	避難所	→ → →			借上げ住宅・復興住宅などの住居	仮設住宅の供与期間は２年、最長で５年の場合がある。
				→	仮設住宅	→		
		→ → → → →						
実現すべき環境	レベル１（生命維持）	⇔	レベル２（保健･衛生）	⇔	レベル３（通常生活）延べ面積制限有り	⇔	レベル３（通常生活）	借上げアパートから以前の居住地に近い仮設住宅に移る場合がある
（１）居住環境上の課題								
温熱	シェルター機能が不十分		体育館等の公共施設の熱的性能の不足		一般的な熱的性能が確保されない		一般的な住宅についてこれまで扱ってきた事柄	各建物の性能差が大きい。
空気	安全とは限らない外気		ゴミ･トイレの臭気		不十分な換気			換気設備が完備していることは少ない
音	余震の音 TV、ラジオの音声		他人の会話が聞こえる		隣室からの音			就寝時の騒音が課題
光	照明が無い 避難路が不明		避難路が不明		夜間照明の不備			避難、防犯の対策
水	飲料水が無い		トイレ洗浄水の不足		中間季･冬季の結露			配水には多人数が必要
心理	被災直後の混乱 安全に関する情報提供		避難所のプライバシーの不足		孤独化防止のためのコミュニティが確保されない			機器・資材と共に担当者を用意する必要。
（２）実現すべき室内環境の目標								
温熱	寒さ･暑さから生命を安全に保つ		熱中症･風邪などの健康管理を行う		一般住宅と同じ環境の実現		一般的な住宅についてこれまで扱ってきた事柄	高齢者の健康・快適
空気	安全な室内空気の提供		ゴミ･腐敗物の臭気の除去		必要換気量の確保			多様な汚染源の混在に対応すべき
音	災害情報等が明瞭に聞こえること		安全情報が明瞭に聞こえる		隣室からの音の遮蔽			心理に関係
光	生活・防犯用の照度の確保		避難誘導を可能にする照度の確保		十分な夜間照明の確保			防災と安全のための照明
水	飲料水の確保		衛生器具用水		生活用水の確保、結露の防止			生命維持と衛生・防疫
（３）目標を実現するための建築設備の機能								
空気調和	生命の安全を確保する暖冷房		健康を確保する暖冷房		できるだけ一般住宅に近づける		一般的な住宅についてこれまで扱ってきた事柄	電源不要の開放型燃焼機器の廃ガスに注意
換気	新鮮空気の提供 外気の汚染物質除去の機能		健康を確保する換気		できるだけ一般住宅に近づける			放射性物質を除去するフィルタ
衛生	浄水器、 無水トイレ		洗浄用の水の確保		できるだけ一般住宅に近づける			屋上水槽、夜間電力利用の給湯器
電気	非常用発電 蓄電池		非常用発電、 携帯電話の充電		できるだけ一般住宅に近づける			自然エネルギー利用、2週間程度の確保必要
通信･制御	電源自足型の非常用通信機器、災害情報の提供		災害･安否情報･交通手段等の情報提供		できるだけ一般住宅に近づける			クラウド、インターネット、GIS などの利用、広域での対応。

5.2　建築設備について

5.2.1　組込みシステムからエッジコンピューティングへ

個別の建築設備の機能は次のように変化すると思います。この後に大きなスケールとなるスマートコミュニティへ組み込まれていくのでしょう。

現状の組込みシステム → IoT → エッジコンピューティング

制御できるシステムはエネルギーがあれば自律して稼働します。現場の計算機が十分な能力を持てば、クラウドと繋がらなくても制御情報を作成できます。現場（端，edge）で図 3 の計測・制御のサイクルを回すエッジコンピューティングが普及すると思います。

展開するテーマは、まったく新しい技術というよりは、今見えている技術の組合せによる新しい技術・製品・システムが現れるのではないでしょうか [25]。

5.2.2　UI（User Interface）と UX（User Experience）

建築設備とヒトの関係を考えてみます。今は、部屋のすべての壁面を高精細画面で構成して、任意の場所の風景を映せます。このまま行くとアニメの攻殻機動隊、映画のマトリクスに迫る勢いです。

一方で、ヒトは生物としての限界があります。身体の大きさ・五感の限界、使う言葉や気力の限界などです。ヒトがサイボーグ化して変わらない限り、建築設備も大きな制限を受け続けます。

自動車のサイドミラーに液晶画面が採用されました。没入型仮想現実体験装置は 10 年前に光沢面も再現して、その中にいる 3 名はリアルタイムで互いに仮想空間内の動きが見えます。建築設備の UX は、個別のヒトの生活に合わせて変わっていくでしょうが、お腹が空いたときの食事という現実との折り合いはどうつけるのでしょうか。

5.3　半導体産業の進展

5.3.1　市場規模

エッジコンピューティングとこれからの UX を実現する半導体は、IC、LSI、VLSI へとムーアの法則に沿って集積度が上がってきました。頭打ちになるかと思ったら、配線幅の低減から 3 次元集積へと向かうモアムーアと呼ばれる技術に進み、MEMS やアナログ回路などを合わせるモアザン・ムーアという技術も現れました。

半導体関連産業の市場の概要は現時点で図 10 に示す通りです。半導体デバイス産業は大きく垂直統合型（IDM, Integrated Device Manufacture）と水平分業型（ファブレス）に分けられます。前者は設計・製造を自社内で行い、後者は設計を自社で行い製造を他者に委ねます。

川下側の電子機器産業に建築設備も入りますが、2021 年の世界のスマホの出荷数 12 億台、白物家電 5 品目販売台数 5 億台などの製造に使う半導体が生産されます。これに 2025 年に 5000 万台を超えるという予想の EV 用部品などが加わります。

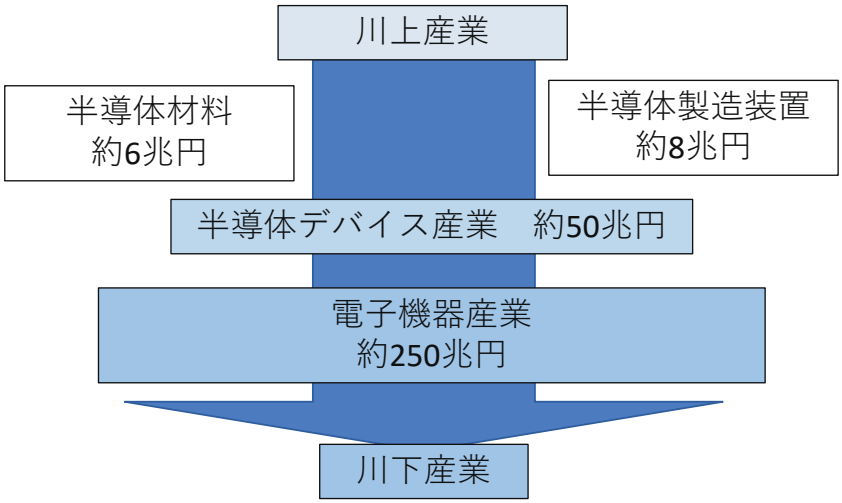


図 10　半導体産業の市場規模(文献 26 を基に作成)

5.3.2　近い未来の半導体

コロナ禍が続く中、ロシアがウクライナへ侵攻し、世界秩序が揺らぎかねない状況で、半導体の安定供給が脅かされる事態となりました。半導体の製造そのものについて日本は後れを取っており、2021 年 6 月に経済産業省から半導体戦略が提示されています [27]。

建築設備は社会インフラを支えてヒトの生活を守る役割を持ちます。おそらく数 nm の配線幅というよりは数世代前の数十 nm の半導体を多く使うと考えられ、災害対応であれば表 3 に示す性能が必要となります。半導体不足は解消されつつありますが、建築設備の納期や部品交換による修理が遅くなっています。変動の激しい半導体業界の中での安定的な部品供給を図る必要があると考えます。そこで有志により高性能 PC による IT プラットフォームの構築を目指して、NPO AMATERAS が設立されています [28]。

６．おわりに

建築・土木という分野はヒトが定住生活を始めた際に、本格的に取り組まれるようになったと思います。建築設備は、最初は自然を利用して雨宿り用の部材を考え出し、穴居生活を始める人々も出てきた頃から考えられたのでしょう。余剰の収穫物を貯蔵する建物とヒトを守ると考えられた自然を祀る建物も必要となったと思います。農作物や飲料のための水を近くまで持ってくる施設などの社会インフラも整備されて行きます。

キャンプを終えて帰宅すると、ヒトの歴史の中での建築設備の変化が実感できます。蛇口をひねれば安全な水が出て、スイッチを入れれば電気・ガスがつきますが、電灯は 1882 年に初めて点灯し、水道事業は 1887 年に始まりました。機器を使った冷房は 1906 年にアメリカで始まりました。多くの人が当たり前と思う生活は 150 年位しか経っていません。東日本大震災の際もこの事実を思い知らされました。

これまでの先人の働きと苦労の恩恵をわれわれは受けています。ヒトが住まう環境を、どのように維持・管理していくのかを考えねばなりません。これから何が起こるのかははっきりとは分かりませんが、それに備えねばなりません。

続く「その２」では、ここまでの議論を受けて、将来を担っていく人材の育成と将来の社会の方向について述べます。

参考文献

1）内海康雄：伝承「建築設備と IT のこれまでとこれから」、空気調和衛生工学、第 97 巻第 1 号、空気調和衛生工学会、2023.1
2）東日本大震災合同調査報告：建築編 8　建築設備・建築環境、日本建築学会、2015
3）WHO の健康の定義：https://www.who.int/data/gho/data/major-themes/health-and-well-being（2022.7.5 時点）
4）国連開発計画の HDI：https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI（2022.7.5 時点）
5）JICA 緒方研究所レポート「今日の人間の安全保障」：　国際協力機構　緒方貞子平和開発研究所、https://www.jica.go.jp/jica-ri/ja/index.html（2022.7.5 時点）
6）講座“換気通風・気密性”第 1 回～第 5 回：空気調和衛生工学会、2005.1～6
7）HASP：建築設備技術者協会、https://www.jabmee.or.jp/hasp/（2022.7.5 時点）
8）The BEST Program：住宅・建築 SDGs 推進センター、https//www.ibec.or.jp/best/（2022.7.5 時点）
9）METRO WEATHER：https://www.metroweather.jp/（2022.7.5 時点）
10）H・コリンズ、R・エヴァンズ／著　奥田太郎／監訳　和田慈、清水右郷／訳：専門知を再考する、名古屋大学出版会、2020
11）木嶋恭一、中條尚子、マイケル・C・ジャクソンほか、ホリスティック・クリエイティブ・マネジメント：21 世紀 COE プログラム:エージェントベース社会システム科学の創出、丸善、2007.3
12）佐藤允一：問題構造学入門　知恵の方法を考える、ダイヤモンド社、1984
13）ポーラ・アンダーウッド著、星川淳訳、一万年の旅路 ネイティヴ・アメリカンの口承史、翔泳社、1998
14）開本浩矢、和多田理恵：クリエイティビティ・マネジメント 創造性研究とその系譜、白桃書房、2012、このほか多数あり
15）R.J. Sternberg, Handbook of Creativity, Cambridge University Press, 1990
16）野中郁次郎著、竹内弘高著、梅本勝博訳：知識創造企業、東洋経済新報社 1996
17）入山章栄、世界標準の経営理論、ダイヤモンド社、2019
18）ヴィジェイ・クーマー著、渡部典子訳：101 デザインメソッド 革新的な製品・サービスを生む「アイデアの道具箱」、英治出版、2015
19）佐藤文隆、「民主主義」、そして科学、現代思想 2015,vol.43-17、青土社、2015
20）国際技学カンファレンス、https://www.nagaokaut.ac.jp/project/sgweb/IGCN.html、長岡技術科学大学（2022.11.20 時点）
21）Yasuo Utsumi、THE GENERAL IDEA OF GIGAKU、The International GIGAKU Conference in Nagaoka (IGCN) 、2015.6
22）住まいと環境 東北フォーラム編、サステナブルな住まいを目指して プロフェッショナルからの提言 Part 2、技報堂出版、2022
23）宮城県東松島市のスマート防災エコタウン、http://hm-hope.org/?page_id=286（2022.7.3 時点）
24）（一社）新エネルギー財団、地域に根差した持続可能な自立分散型エネルギー活用の実践、https://www.nef.or.jp/award/kako/r03/s_01.html（2022.7.3 時点）
25）NATO Science & Technology Organization: Science & Technology Trends 2020-2040　Exploring the S&T Edge, 2020, https://www.sto.nato.int/publications/Management%20Reports/2020_TTR_Public_release_final.pdf（2022.7.3 時点）
26）牧本次生：日本半導体復権への道、ちくま新書 1616、p.47、2021
27）経済産業省：半導体戦略（概要） 2021 年 6 月、https://www.meti.go.jp/press/2021/06/ 20210604008/20210603008-4.pdf、2021
28）特定非営利活動法人 AMATERAS（アマテラス, Advanced Massive Architecture of Technology, Education and Research Accelerating System）, https://amateras.tech/（2022.12.25 時点）

（2022.12.9 受付）

建築設備と人材育成について
その２　人材育成と将来の動向

Building Equipment and Human Resource Cultivation
Part 2 Human Resource Cultivation and Future Trend

内海康雄
Yasuo UTSUMI

1.　はじめに

その 1 とその 2 を合わせた全体としては、建築設備と IT のこれまでと将来、そしてそれらを支える人材育について扱っています。

その 1 では、都市・建築環境の課題解決に関わる専門知とこれからの建築設備について論じました[1)]。ここでは、これまでとこれからの人材育成と 20～30 年くらい先までの将来動向を述べます。人材育成については、建築設備というテーマだけではなく、それを取巻く周辺に話が及びます。

2.　これまでとこれからの人材育成

2.1　社会生活に必要なものを作るのも使うのもヒト

2.1.1　なぜ学習するのか

ヒトは一人では生きていけないので協働して生きています。水・空気は地球が作ってくれました。朝起きてから仕事・学業を終えて眠るまで、衣食住に関わる身の回りのものは、ほぼすべて誰かが作ってくれたものです。自身を取巻く人々とうまくやっていくためには、言葉、信頼、貨幣など、仲間や社会にある共通のルールを学ばねばなりません。SDGs 的には、空間的にも時間的にも一人では持続可能にならないので、協働しながら誰一人として取り残さないことになります。

学習の際には、読んで聞いて書いて話せば何でも分かるとは行かないので、自身で考えることが必要です。ヒトは考える際には 2 通りの順番があるそうです[2)]。

直観・感情　→　理性

どちらも長所と短所があり限界があります。直観・感情だけで判断する方は少ないと思いますが、感性と同じように知性と理性にも限界があります[3,4,5)]。どれかに頼るというよりは、使う場面を選んだり、バランスをどのように取っていくかが工夫のしどころです。

怒りがこみあげてきたら 6 秒待つアンガー・マネジメントとか、過去の経験を思い起こすとか、様々な知恵・経験をこれまでにヒトは蓄えてきました。ほかのヒトに相談したり、過去の事例を学ぶと、一人で考えるより効率的なことは経験的に知っていますので、学習することになります。

2.1.2　建築設備について考慮すべき前提

建築設備を考える上で、予め与えられる条件として以下があります。

１）一個人が繋がる社会のシステムの数は有限です

ヒトを取り巻く環境全体については、SDGs のウェディング・ケーキによれば、下から生物圏、社会圏、経済圏の 3 層に積み上げることができます。どの圏も十分に複雑ですが、ヒトの暮らしを成り立たせる社会は多種多様なサブシステムからなります。一人一人が暮らすにあたっては、限られた数のシステムにつながるので、全体の仕組みが見えにくく、どこまで知って、どこまで考慮に入れれば良いのか決めるのは難しい。

２）自然・都市・建築の環境が無いとヒトの生活は成り立ちません

自然環境については環境基本法ほかの法律で社会が対応していますが、自然を資本として利用する際には、社会的共通資本として尊重する方法があります[6)]。

３）建築設備はヒトなしには成り立ちません

作るのはヒトで、使うのもヒトです。作る側からですと、大災害や国家間の争いが起きると、世界中が繋がるサプライチェーンへの悪影響が広がります。新たにどこかで起きない保証はありません。日本だけで自律するのはできないので、例えば半導体の調達については、原材料の確保と共に、国内での安

[1] 舞鶴工業高等専門学校　校長

定供給と多品種少量生産への対応が必要と思います。

使う側については、社会生活の加速化がどんどん進んでいます。例えば、ビデオを倍速で見る若者が増えています。情報入力の速度を上げて行っている。一方で、スローライフという選択があります。例えば、スローフードでは、食事をゆっくりと作り、味わいながら時を過ごそうとする。どれも選択肢としてあり得るので、建築設備はそれを支えます。

4）デジタル弱者に対応しなければならない

デジタル機器の操作に慣れない、あるいは新製品ごとに変わり続ける操作画面に対応できない人々がいます。このようなデジタル弱者への対応は、より優れたユーザ・インターフェースが解決すると期待されています。人口が少なくなる日本では深刻な問題となります。

これまでの科学・技術の発展はヒトの脳の可塑性に頼っていた面があります。学校に行けば、ピタゴラスの定理などの 2500 年前の数学から最先端の AI のアルゴリズムまでを、ある程度理解できます。しかし、すべての人がすべてを理解できるわけではありません。産業革命前後からの知識量の増加を見ると、ヒト同士の知識量の差は大きくなるばかりのように思います。知るヒトが知らないヒトを支援する仕組みが無いと、社会が成り立たなくなるかもしれません。

使う側と作る側の顔が互い見えなくなってから久しいですが、東日本大震災のような大災害の現場では、上記の課題が突然に当事者の目前に現れます。誰に話を持って行けばよいのか分からなくなります。

2.2　人材育成の考え方

2.2.1　これまでの問題解決の能力修得の枠組み

ここでは課題解決能力を修得するための教育の枠組みについて、これまでとこれからを考えます。

高度成長期と言われる時代がありました。朝鮮戦争の特需により経済が堅調になった後の 1955 年から、1973 年の第 1 次オイルショック発生までの約 19 年間と言われます。この時代は、ある事業が拡大し続けることが多かった。問題解決の能力修得の枠組みは、あらかじめ想定できる課題に対して必要な知識を修得して、現場に行ったらそれらをカスタマイズして使う。修得した知識を応用して対応するので、年功序列と終身雇用にふさわしいものでした。図 1 にその概要を示します。なお、これで大学・高専の違いを説明できます。

これは、フォアキャスティング。積上げ型、ボトムアップ型などと呼ばれていて、今でも多くの人は教育と言えばこんな感じを持つと思います。小中学校、高校、高専 1〜3 年の知識を前提として、その上に積み上げて行く形と整合しています。

ルーチン的な業務が多くを占める際、そして業務の制約条件が明確であり、細かな改善を積み重ねて行ける場合に有効でした。習ったことの応用で課題を解決することができるので、どんな課題も OK のはずです。

また、教育を通じて、言語、社会習慣などが深く浸み込むので、多くの人々のその後の生き方に一様に影響を与えます。集合知として働く際の基盤となります。集団の中の誰かの能力が発揮されて課題に対応するので、集団としては能力が強化・加速されることになります。

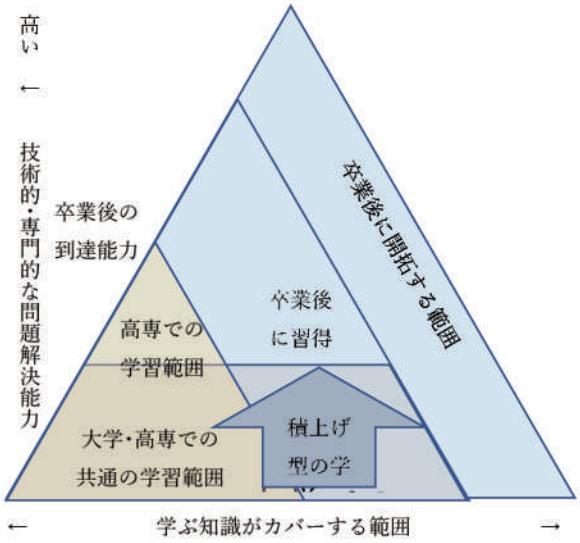


図 1　これまでの問題解決の能力修得の枠組み

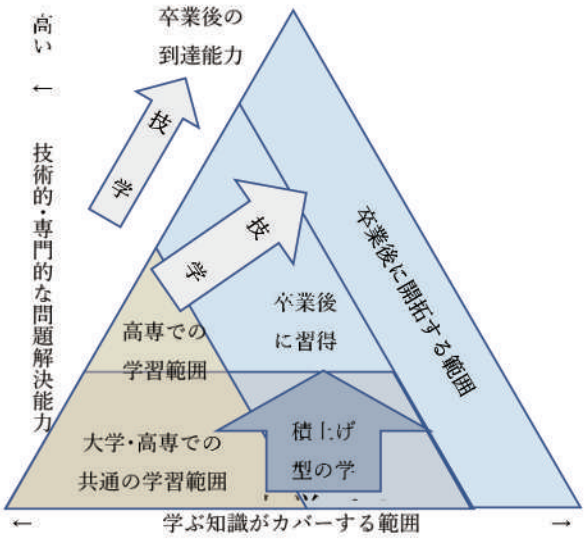


図 2　現在の問題解決の能力修得の枠組み

古くは、奈良・平安・鎌倉時代の仏教の展開と学習が典型例と思います。当初は異国の教えであり、大化の改新を経て日本として仏教を取り入れることになりました。開始時点では、推進する人々は国家鎮護と衆生済度を目指した。自らの苦しみをなくして、人々の苦しみをなくすために、日本人はもとより、遠く中国から来た鑑真など多くの人々が力を尽くした。

世界全体を説明できるような当時の知識は、玄奘三蔵ほかによりインドからもたらされた大蔵経の世界と僧侶が学んだ知識の中にありました。鑑真は薬の専門家でしたし、空海は満濃池を造成したエンジニアでもありました。経典によっては、普段の生活の仕方が延々と説明されています。膨大ですが閉じられた知識・経験を基にして、新たな解決法を導く営みが行われました。最澄が整えた比叡山の教育システムにより、親鸞、日蓮ほかの多くの仏教の考え方が生み出され、日本を変えて行った。ニュートンが述べたとされている過去の知識の蓄積という「巨人の肩」に乗って、自身の仕事が生み出されたのと同様です。

なお、これらは本質的な人の考え方を扱っているので、現在でも耳を傾けるべき大切な知恵を持っています。例えば、日蓮のお遺文の実社会における知恵、唯識論[7]における深層心理の説明です。

2.2.2　現在の枠組み

ここ 10 年位で、将来の目標をまず掲げて、その課題解決に必要な要素を新たに作り出したり、既存の要素を組み合わせるという考え方がより普通になりました。バックキャスティング、目標達成型などと呼ばれています。図２には、現状で有効と考えられる課題解決の方法である技学[1]を加えてあり、技学により卒業生の能力が上がることを示します。

既存の知識ではうまく行く目途が立たなければ、この方法にたどり着きます。誰でも終に「これは自分でやるしかない」となればバックキャスティングをしていたと思いますが、明示されることはなかったかも知れません。

まったく知識が無ければ、例えば言葉を知らなければできませんが、いくらかの基礎知識があれば課題に取り組んで解決した方々が多くいたでしょう。

例えば、国際的に評価の高い大学はこの方法を採用しています[8]。ある課題解決のための目標を掲げて、それに必要と思われる知識を持つスタッフを分野・経験にこだわらず集めます。参加するメンバーも多様ですので、チームとしてマネジメントが行われます[9]。

とても強力な課題解決方法ですが悲惨な例があります。国同士の戦争のような深刻な状況の中で、原子力兵器に 2.4 兆円が費やされ、1945 年に日本で使用されました[10]。

なお、活動の方針や内容ではなく、それを支える教育制度の上からは、2011 年時点の世界のすべての教育機関を分類整理した UNESCO の ISCED2011[11]に、それぞれの特徴が記されています。教育機関で習得する知識、修得のための教育システムなどが、教育機関の外側から、どのように評価されるのか分かります。

2.2.3　これからの枠組み

近い将来の現実的な枠組みは、前出の２つの枠組みの組合せと考えられます。バックキャスティングの矢印を加えた図３を示します。既知の知識に、課題側から要求されたり、必要となる未知の知識を組合せて、現実的にバランスを取っていくことになります。そうなると、課題の発見力が必要となります。何が問題となっていて、解決には何が必要かを見つけて、それをほかの人に説明できることが必須です。

問題とは現状とあるべき姿の差ですので、その気になれば課題は周りに沢山あります。「答えは問いの中にある」と言われますが、問題は知っているけれど、それを要素分けして構造化して説明できないと、何となく困っているだけで記述と説明ができません。

問題発見の手順は次のように考えられます。

問題状況の把握　　困っていることがあるようだ
→問題状況の表現　　こんな状況になっている
→問題状況の分析　　誰が、どこで、なぜなどの状況を要素に分けて明示する
→モデル化　　本質的な部分で全体をモデル化する
→問題の構成　　どこが問題なのか、状況はどうなのかを説明する

これを１人あるいはグループで成し遂げるのに必要な能力としては次が挙げられます。

１）想像力、観察力、ニーズ理解力
２）理解力、論理展開力　（構造化スキル）
３）プレゼンテーションスキル
４）ヒアリングスキル　（コミュニケーションスキル）
５）柔軟な発想力　（解決案の発想）

上記を実行するにあたっては、思考・企画・連想・疑問・洞察・実行する能力、豊富な知識に基づい

て「多くの答え」を出せること、自分の直感･感情を大切にすること、うまく行っているものから学ぶこと（例．守・破・離）、失敗を恐れずやって見る（例．やってみなはれ）などありますが、とにかく沢山のことを試行錯誤せねばなりません。

課題解決に話を戻しますと、これをすればよいという汎用的な方法は現れていませんし、課題は多様化しているので、教育メニューも増えて行きます。米国の大学で長期休暇中に extension などと呼ばれる時代の先端的なテーマを含めた講習会がありますが、それらを個別に単位化して、まとめて行く動きがあります。講習会の修了証的なものとしてオープンバッジ、まとめて単位化したものはマイクロ・クレディンシャルと呼ばれます[12]。

世界の変化がより早くなる中で大学が対応していて、アメリカとオーストラリアでは制度として数年前から機能しています。マイクロ・クレディンシャルを重ねて、学位を与える所まで整っています。

日本でも一部の大学で動きが始まりました。高専も企業等との共同研究の中での対応が可能かもしれません。卒業研究、地域課題のテーマを選んで、解決と結びつける汎用的な手法の開発に結び付けるなどです。一例として、長岡高専の JSCOOP（Job Search for local companies based Cooperative education）は、課題抽出力、課題解決力を備えたイノベーション人材を地域産業界と連携して育成する授業があります[13]。これを課題解決法の開発と結びつけることが考えられます。

2.3　グループと組織での課題解決

2.3.1　SECI モデル

個人で解決できない場合は、グループでの解決を行う必要があります。SECI モデルが参考になります[14]。図 4 に再掲します。説明は本報告その 1 と次節をご覧下さい。

このサイクルを実際に回すには、これまでの経験ですが、人数は 2～10 名程度、定期的な対面の会合による情報共有などが必要でした。高専・大学の卒業研究・専攻研究はこのモデルに相当するものと思います。高専によっては、第 4，5 学年、専攻科 1，2 年で 4 回のサイクルを経験します。それにより、このサイクルの管理ができるようになる学生も現れます。

2.3.2　技学という考え方

ヒトが記号や言語を使い始めてから、記録とコピーができるようになり、ほかのヒトと一緒に考え学習することができるようになりました。課題解決の能力が高まって行くにつれて、今は問題解決のために科学･技術･技能が使われていて、一般に次のように考えている人が多いと思います。

1）科学は天才から始まり人知へ貢献します

世界規模の共同研究が行われていて、ブラックホールの写真などは記憶に新しい。

例．A. Einstein（1879-1955）は宇宙の構造を説明

2）技術は科学の応用から始まり社会へ貢献します

技術者集団による様々な製品･サービスの提供が行われています。

例．T. Edison（1847-1931）試行錯誤と努力が大切

3）技能は個人から始まり個人に終わることが多くあります

師資相承とか口伝によるため同じものが作れないことがあります。

例．A. Stradivari（1644?-1737）によりバイオリンの名器が作られました

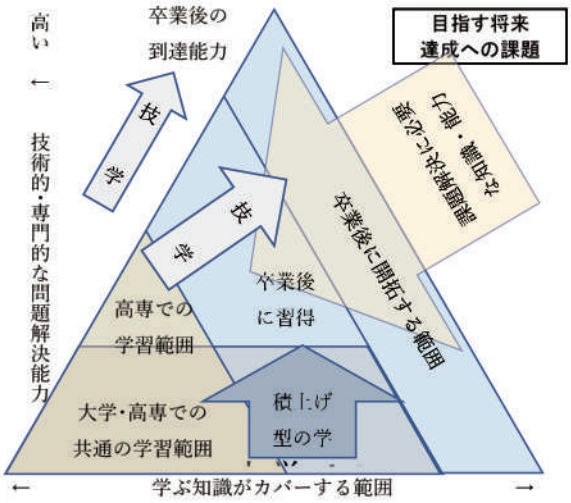


図 3　これからの問題解決の能力修得の枠組み

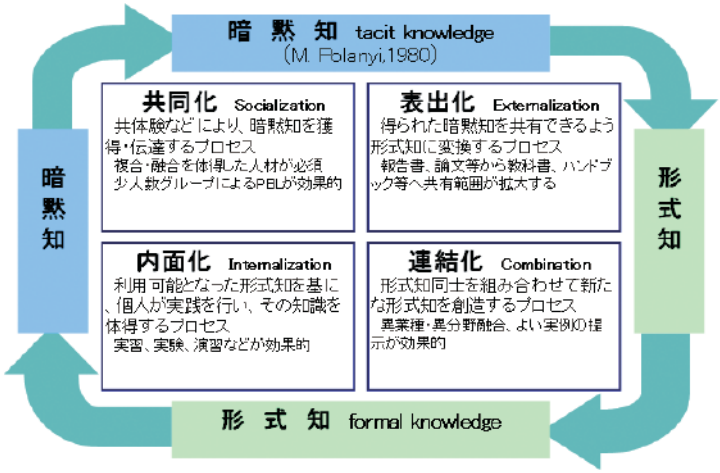


図 4　少人数グループの学習における SECI モデル（文献 14 などから作成）

一方で、これらの発達は多大な便益をもたらしましたが、科学技術で解決できないことの存在も分かってきました。主なものとして；

不確定性原理　(W. K. Heisenberg, 1927)
不完全性定理　(K. Gödel, 1931)
不可能性定理　(K. J. Arrow, 1963)

が挙げられます。また、核兵器は科学技術を人類そのものの存続を危うくする存在にしました。

それでも伸展は止まらず新しい考え方が必要になってきて、「技学」の再発見がありました。現実の多様な技術対象を科学の局面からとらえ直し、それによって、技術体系をいっそう発展させるための「技術に関する科学」です[15]。

2.3.3　組織の学習

個の力を合わせて伸ばすために組織を構築するとして、組織は学習するのでしょうか。組織学習とは、「経験の関数」として生じる「組織の知の変化」というとらえ方があります。組織学習の循環プロセスを図５に示します。最上部の組織・人・ツールが活動をしながら経験を積んで、それがその知識となるプロセスです。

サブプロセス③記憶の所が、組織としての知の引き出し（トランザクション（あるいはトランザクティブ）・メモリ）となります。「私は何を知っている」から、私は「誰が何を知っているか」を知っているとなります。

ヒトのつながりが重要になりますが、ストラクチャル・ホール理論[16]が、不得手あるいは手薄な分野を埋めるのに役立ちます。図６のように A,B,C の３者あるいは３部署があるとします。ストラクチャル・ホール（SH : Structural Hole）とはつながりのない位置を言い、A と B の間に SH があります。各人・各部署から見ると C からは全体が見えて得をしていて、情報をより多く持ち、コントロールも優位性が期待されます。しかしネットワーク全体としてみると抜けている部分があり、弱みになりかねません。

SH を豊富に持つ人や企業の方が、知る知らないに拘わらず情報を多く持つのでイノベーションを起こしやすい。そこで、どのようなプレーヤーとつながるか、SH を維持するかあるいか埋めるかを考えねばなりません。組織の中には、企業、組織、部門、地域の境を超える人達がいますが、バウンダリー・スパナーと呼ばれます。H 型人材、Π 型人材と言われる人が近くなります。

多くの引き出しを持つような人達は、他の分野と弱いつながりで結ばれていて、情報共有が効率的になり世界が狭く感じるそうです。これはスモールワールド現象と呼ばれます。これらのアイデアは、組織対組織の学習にも使えると感じます。

2.4　建築設備を例とした具体的な項目

2.4.1　建築設備の分野

建築設備には、給排水、空気調和、電気、情報などがあり、さらに細かくすると換気、衛生、給湯、照明などに分けられ、近年は情報・通信機器が増加しています。東日本大震災の宮城県仙台市の被害状況を見ると、1978 年の宮城県沖地震では少なかった情報電気設備の被害が多くなっています[17]。ヒトの社会生活で ICT の役割が大きくなっていることを反映しています。

この分野には、主に機械・電気・建築などの理系から人材が集まります。理工系離れが言われて久しいのですが、IT 化が進む建築設備の関係者にとっても、SOCIETY5.0 を掲げる日本にとっても深刻な問題です。高専・高校入学の 15 歳時点ではなく、小中学生から理工系の楽しさに触れる機会を持たねばならないと思います。

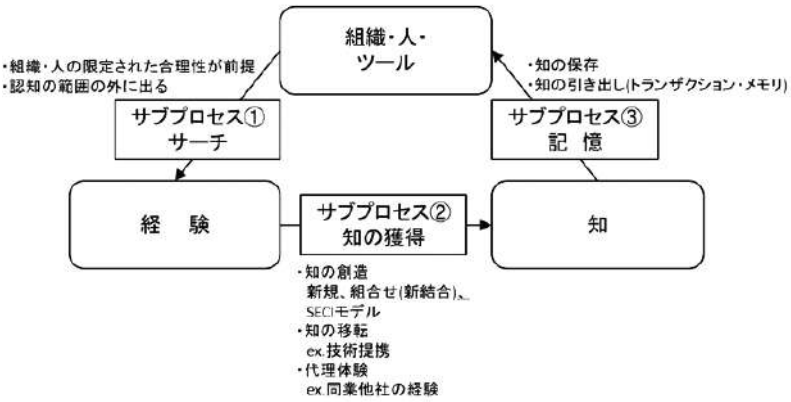


図５　組織学習の循環プロセス
（文献 16 から作成）

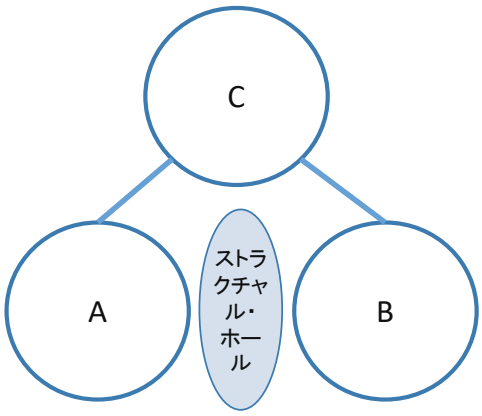


図６　ストラクチャル・ホール理論
（文献 16 から作成）

2.4.2　IT 化とエッジコンピューティング

人口減少が進む日本では建築設備の IT 化をより進めることが大切です。仕事の現場の先端（エッジ）で IT 化を行う、エッジコンピューティング化が不可欠となると思います。少量多品種の IC チップの試作・生産ができるミニマルファブ [18]と組み合わせることが、対応する方法の一つと思います。製作の時間が２～３日間となるので、少量で多様なニーズに対応できます。

熊本に TSMC の工場が建設されるのに伴い、高専が大学と連携して人材育成をになうことになりました [19,20]。ミニマルファブを使えば、企画から製造、社会実装まで見通せる人材を輩出できます。

IT 人材の育成については、将来を背負う子供たちに向けて、小中高で GIGA スクールが始まりました。情報リテラシーの底上げは SOCIETY5.0 の実現に大きく貢献します。また支援・推進のために、産学の有志で NPO AMATERAS を設立しました [21]。

３　人材育成における現時点の留意点

3.1　情報化による社会のとらえ方の変化

3.1.1　ヒトが作る社会

共通の社会という考え方が人類共通に意識されたのはそう古くないと思います。例えば、東洋と西洋の分類は広く受け入れられていますが、18 世紀に考えられたもので、明確な区別はないようにも見えます [22]。国家と民族が明確に意識されたのもそう昔のことではありません。確かに国民という意識はありますが、地域の共同体には町内会や職場の会合などがあるので、より身近に実体のあるものとして感じられます。

一般的なとらえ方としては；

個人 → 家庭 → 地域 → 国家 → 世界

という枠組みが理解しやすいと思います。儒教にある伝統的な考え方にある「修身斉家治国平天下」と言い換えると 60 代以上の方々には馴染みがあります。すぐれた人格と能力を世界中に明らかにするには、まず国を治めて、自身の家庭を治めて、自身のみを修める。そして逆順にたどっていくと、良い影響が伝わって世界が穏やかになるというものです。

パーソンズの描いた社会像も同様の枠組みでして、社会が持つ構造には予め機能が備わると考えて、構造機能分析をしています。そこで、AGIL 理論が次のように提唱されています。

A は適応（adaptation）　→経済
G は目標達成（goal attainment）　→政治
I は統合（integration）　→社会共同体
L は潜在的パターンの維持・緊張処理（latent pattern maintenance and tension management）
→家族

社会というシステムは、これらの機能により維持されるというものです [23]。

3.1.2　情報のやり取りで成り立つ社会

情報化が進んでいる中、社会の活動を情報のやり取りで表す枠組みがルーマンにより提案されました [24]。社会の構成要素はコミュニケーション（情報・伝達･理解から成る）です。これらを持続させながら様々なシステムを自己創出（autopoiesis）して行きます。

表 1 に幾つかのシステムとやり取りされる情報の例を示します [25]。社会システムは各システムに必要な情報のやり取りで表せるので、ヒトは主役では無いかのように見えます。

3.1.3　長期的な視点から見た社会の変遷

ビッグバンから始まる歴史と、ヒトが得てきた知識の関係を表す図 7 を紹介します [26]。左側中段からビッグバンが始まって、中央に現在の人類の社会があります。上向きのラッパのような 4 つの重なりがあります。下から、物質圏、生命圏、精神圏、文化圏となっていて、下が上を生み出すように見えます。それぞれが関わる科学・知識が右側に表になっています。最上位に科学（論理的アルゴリズム）が置かれています。

3.2　ヴァーチャルとリアルのずれ

3.2.1　対面とリアルの授業

新型コロナ感染症の世界的なまん延により、対面とリアルの授業を組み合わせたハイブリッド授業が普通になりました。実習などのほかはすべてビデオ教材で良いという意見や、どちらか選べるのが良いという意見もあります。ビデオ教材についていえば、TED が有名です。確かにその内容に感銘を受けたり、出演者に意気投合したりしますが、かなりの知識と経験が無いと十分には理解できないような印象を受けます。

実習や実験は、実際にモノに触って機器を操作して身体知や暗黙知が修得されるという意味で不可欠

です。学習者に浮かぶあらゆる質問には、教職員一人では答えられないので、どこかで人の支援が必要となります。教育の醍醐味でもある対機説法的なやり取りを通じたヒトの成長は、ビデオ教材あるいはAI には期待できるのでしょうか。

今後、コロナ感染症と同様なことがあること考えると、どちらもできて、また双方のバランスを状況に応じて取るべきと思います。

表１　各機能システムの機能、成果メディア、コード、プログラム（文献 25 から作成）

	機　能	成果メディア：一般化されたコミュニケーションのためのメディア	コード：価値の有無を決める	プログラム：価値を振り分ける
経済システム	希少性の減少	貨幣	所有/非所有 支払い/非支払い	予算、投資プログラム
法システム	規範的な規定の安定化		合法/不法	法規範、判例
科学システム	新しい知識の生産	真理	真/偽	理論、方法
政治システム	集団拘束的な決定の実現	権力	権力をもつ/権力をもたない 与党(政府)/野党	政府･党の綱領
宗教システム	世界の未規定性の翻訳	(信仰)	内在/超越	聖書、教義
教育システム	人の能力の育成		より良い/より劣る	教育、教育･学習プラン
芸術システム	世界の新しい捕らえ方の提供		美/醜 適合/不適合	スタイル 芸術作品
マスメディアシステム	リアリティの形成	(世論)	情報/非情報	ニュース/ルポルタージュ、娯楽、広告

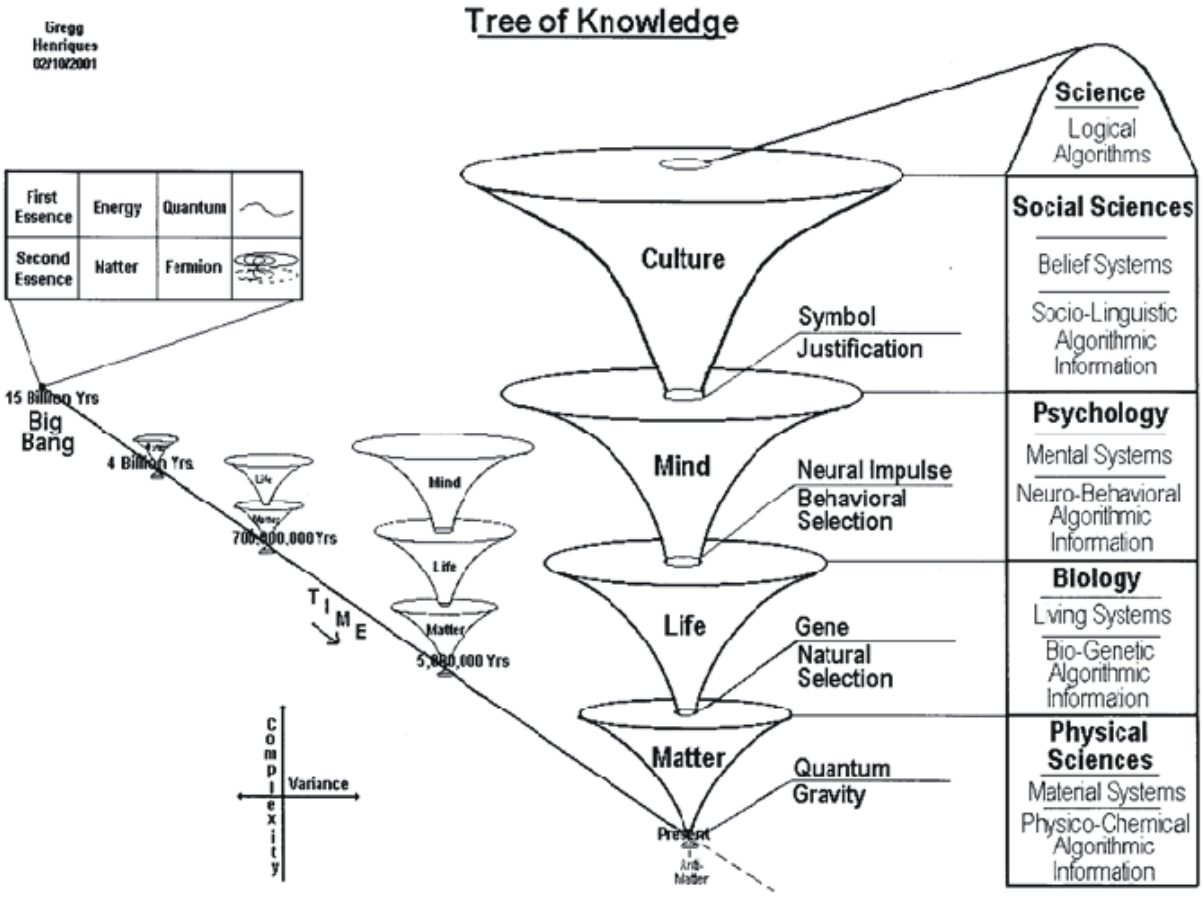


図７　社会と知識全体の関係としての Tree of Knowledge (ToK) System

3.2.2　デジタルツインは成り立つのか

デジタルツインが普及しつつあり、いろいろなところで利用され始めています。VR を使ったゲーム、本人ではなくアバターやアンドロイドが出席する会議があります。ヒトは五感によって、生きて行く上で必要な世界モデルを作り上げていますので、VR のモデルはどこまで現実に使えるかはまだ不明です。ヒトが持つ情報のやり取りをするシステムは、個人の生活や社会活動をモデル化しますが、モデル化の際に取りこぼしがあります。時刻の勘違いなどの記憶、人違いなどの認識の間違いは誰しも経験しますが、まったく誤りの無い世界は窮屈かもしれません。

ヴァーチャルは今の所、似せて作ったものと分かることが多いのですが、映画マトリックスのような時代が来るのでしょうか。映画中のように本当に区別がつかなくなるとしたら、ツインとは呼ばなくなると思います。中国にある胡蝶の夢、邯鄲の夢という話を思いだすと、自身の周りを今一度見渡す気分になります。

4　われわれの将来はどうなるのか

4.1　考える手がかり

4.1.1　現状の把握

国内外に様々な報告書や現状分析があふれています。例えば文献 27 は定量的に把握できるのでこれからの目標を考えるのに役立ちます。将来どうなるかは皆知りたいと思いますが、未来は分からないといつの時代も言われる。10 年位前から VUCA（Volatility 変動性、Uncertainty 不確実性、Complexity 複雑性、Ambiguity 曖昧性）の時代に入ったと言われる。これではますます分からなくなります。

そこから先の考え方は大きく 2 つに分かれます。世界は過去数世紀の先人の努力により改善されている。よくやってきたので一休みあるいは満足すべきというものと、まだこれだけ課題が残っているのでもっと頑張ろうというものです。どちらを選ぶかは我々にかかっていますが、将来の子供たちのためには後者です。

4.1.2　世界の現状と科学技術の将来予測

将来予測について幾つかの文献を紹介します。

１）2052 今後 40 年のグローバル予測 [28)]：

地球温暖化などに焦点を合わせた広範な内容です。異なる意見も併記されていて、世界中で真剣に考えている人たちがいると実感できます。

２）Global Trends 2030 Alternative Worlds [29)]：

米国の情報当局がまとめた将来予測と関心事があります。米国の関心事が分かります。

３）2050 年の世界—英『エコノミスト』誌は予測する [30)]：

広範な分野についての予測です。

４）2050 年の技術 英『エコノミスト』誌は予測する [31)]：

技術分野に絞り具体的な記述が多く、皆さんの関連分野の将来を描くのに参考になります。

５）日経 BP「メガトレンド 2019-2028 全産業編」[32)]：

幅広い産業についての近未来の予測です。

６）NATO、Science & Technology Organization: Science & Technology Trends 2020-2040[33)]：

特定の新技術に着目するというよりは、現在の AI などの技術の組合せが将来の競争に重要となると述べています。

何を課題にして何を学ぶか考えるヒントになります。皆さんの将来と重ねて読んでもいいですし、お国柄・お人柄で色合いが違うのも興味深い。これまで提唱された予測がその後どうなったかを検証されることも多くないように感じます。上記の予測は、将来に検証可能な点で評価できます。

4.1.3　なぜ予測が難しくなるのか

過去を振り返り、経験や知見をモデル化して将来を予測するのが一般的な手法ですが、考えるべき要素や条件が多くなっている実感はあります。身の回りでも予測についての情報があふれていて、どれを選ぶか迷う場面もあります。

グローバル化が進み、共通の情報プラットフォームが現れると皆が予想していた中で、価値観の多様化が急速に進んで、皆が各々のプラットフォームを作ってしまいました。自身のお気に入りの SNS しか見ない人もいます。東西冷戦がベルリンの壁崩壊で終わった時に、心意気（気概）が大切にされる明るい未来が描かれた [33)] 一方で、異なる文明社会が争う気がかりな未来が示されました [34)]。

どちらか一つの方向には行かず、事態は複雑さを増しています。社会の中で何が正しいかという正義も多様化して、今は表 2 に示すものがあるそうです [35)]。どの立場を取るかによって個人、組織、国の行動が違ってきますので、世界規模で各地の考え方が違えば、将来の動向は複雑にならざるを得ません。

4.2　原因への対応方法を考える上での留意点

4.2.1　考え方の枠組み

現代では、不確定な未来へ立ち向かう際には科学・技術を使うことを考えるので、当然その影響が大きくなります。医療で難病の人の命を救うなどの明るい未来をもたらす一方で、核兵器を作ってしまった過去があります。科学・技術を考える哲学・倫理が必要でして、ヒトが共有していつも参考にできるようにしておくべきです。

ヒトは種の存続のために利己的な遺伝子によりプログラミングされていて、人類のあらゆる行動はそれに従っているという考え方があります[37]。確かに利己的な人はいますが、少なからず利他的な人もいます。家族のように小規模な集団は互いに頼りますが、大規模な集団はつながりが希薄になって好き勝手にふるまうということがあります。AI の発展に伴い、社会生活の判断を AI に任せた方が良いという人々がいますが、トロッコ問題などの解決法をほかに任せてよいのでしょうか。

ダイバーシティと言われるように、今は異なる価値観が共存しないと世界が回りません。「あれかこれか」ではなく、「あれもこれも」で考える必要があります。あれかこれかで考えると必ず争いは大きくなります。ヒトは本性として好悪と好き嫌いを持っているので、憎しみと嫌悪は連鎖していき、なくなることはないでしょう。

そこで、倫理が必要となります。幸い応用倫理学という分野があり、考え方の枠組みを提供してくれています[38]。どこまでが分かっていて、どこからが分からないかなどを整理するのに役立ちます。

4.2.2　生命はどのようにして危険を回避しているのか

ダーウィンの進化論とドーキンスの利己的な遺伝子の言うように適者生存と種の存続を原則として、今の人類種は存続していると考えられます。細胞数が一つで、比較的情報量が少ないと考えられている単細胞動物を始めとする生物が、その種の存続をするためにどのような手段を取るのかはとても興味深い。例えば、粘菌の能力の特集などが TV で流れています。

ここでは、文献 39 にある考えを紹介します。様々な事態に耐えられるように、細胞などの身体の材料を過剰に作って、使わないものは壊す・捨てるという考え方です。再利用できなければ、体内に原料を取り入れて作る。これを「坂道を上る円弧」と表現しています（図８）。生物の進化の過程でエントロピーが減少する仕組みとも理解できます。推測ですが、生命の持つシステムがあまりに複雑になり、統一的に管理できなくなると、ある所から先は管理せずにスクラップ・アンド・ビルドにしているのかも知れません。

近頃のビジネスモデルの考え方として Micro-servises[40] がありますが、これに似ています。オムニ・チャネルという、機能を限定した数千行のコードで実務に対応して、それを使い方の変化に合わせてどんどん書き換えたり、取り換えて行く。後は振り返らない感じがあります。

表２　正義とは何か（文献 36 を基に作成）

考え方の類型	備考
正義の二原理 　自由、格差是正と機会均等	ジョン・ロールズ、1971
リバイアサン「万人は万人に対して戦い」からの脱却	ホッブズ 1651
リベラリズム(自由主義) 　社会のあらゆる領域における個人の自由な活動	ロック、ルソー、アダム-スミス
コミュニタリアニズム(共同体主義) 　共同体（コミュニティ）の価値を重んじる	≠全体主義
フェミニズム 　女性の社会・政治・法律上の権利拡張	
コスモポリタニズム(世界市民主義・世界主義) 　全世界の人々を自分の同胞ととらえる	
ナショナリズム 　国家または民族の統一・独立・発展を推し進める	

4.2.3　ヒトのものの考え方の順序

ヒトが考えるときは前出のように、直観・感情（古い皮質）→理性（新しい皮質）の順に働きますが、比較を表３に示します。目前に危害がある時には直観・感情が働く方が有利に思えます。とにかくすぐに答えを出さねばならないときに時間をかけていては手遅れになることがあります。

一方で、後のことまで考えるには理性が有利です。将来の状況を仮定して、どんな方法を選ぶか考えることにより、失敗が少なくなります。ただし、理性を働かすには、事前の学習・訓練や仲間の支援などの環境整備が必要です。

まず直観・感情で判断します。次の理性の発動は遅くなりますが結論は吟味されたものになるので、余裕があるならばゆっくりと考えた方がいいでしょう。

例えば、ビデオを２倍速で見ても、映画が訴えている細部を見逃すおそれがある。本のダイジェスト版や書評だけ読むと、著者の語り方には到達しません。繰り返して論点を広げたり絞ったりする、過去の他の作品の警句を取り入れる、参考文献と注の多寡、結論を直截に語るかあるいは傍証を重ねて読者に考えさせるなど、筆者の思考パターンを基に執筆の動機を考えることができます。これは読書の楽しみの一つです。

4.2.4　課題への動的な対応

ここまでに、課題の発見・解決に必要な要素、ヒトの能力、結果としての項目について主なものをリストアップしてきましたが、総じてその状態を把握するために、課題の構成要素のリストを作るという羅列的、静的な情報でした。その後に、構成要素の関係を記述する段階、解決手順を示す段階へと進みます。そこに時間変化を加えて考えれば動的な段階になります。

流れゆく時の中で生活するヒトには手順、時間順の作業などの順序的、動的な情報が必要となります。ある時点からいつまでに、次に何をするのか、何を備えるのかなどを考えることになります。

前出の建築設備に限らず、ヒトが生きるには何が必要かは、レベル別、危険度別、経過時間順に整理することができます。生命の危険が最も重要でして、NASA による宇宙人の探索が本格的に始まりましたが、まず危害をもたらすのか、敵か味方か知ることが必要です。

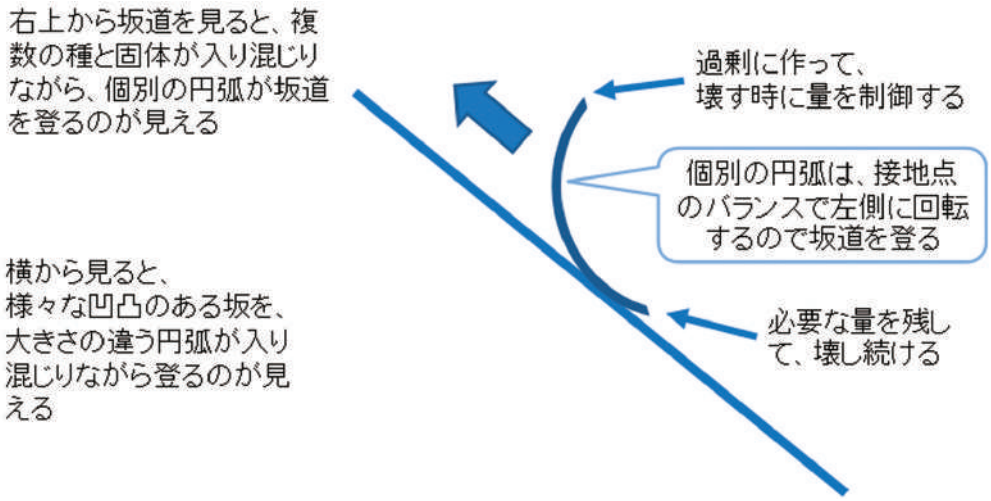


図８　坂道を上る円弧（文献 39 から作成）

表３　脳の古い皮質と新しい皮質の比較（文献２を基に作成）

直観・感情	理　性 （直観・感情ではできないこと）
パターン認識 運動追跡 思考察知（読心術） 記憶 連想構築 全体的展望	三つより大きな数の数え上げ 三つ以上の段階がある論法について行くこと 仮定の状況を考えること 戦略的思考 不確実性の管理 長期計画の実行 大規模な集合行為問題の解決

一方で、危険と思われる具体的な課題は様々に変わります。ヒトの成長の段階（年齢など）、教育を含めた社会環境の変化、時代による課題の重要度・優先度の変化など沢山あります。

社会課題の解決をしていく中で、個別にうまく行くと、周囲が学習して共通の知識として普及・拡大します。すると標準化の動きが出てきて、規制・規格・基準などができます。数年して状況が変化して、標準的な既存の方法で対処できないと、個別化が始まります。つまり；

個別化（特化）→ 標準化 → 個別化 → 標準化 → ・・・・

という動きを繰り返します。例えば JIS（日本工業規格）と ISO（国際標準規格）の定期見直し期間は 5 年です。

4.2.5　自分と人の課題を解決しようとする営み

SDGs の目標、特に 17（パートナーシップで目標を達成しよう）にあるように、課題を解決する際にはその過程を通じて自身と他人が協働して、共に生かし生かされる能力が必要です。ここで初めて出てくる話ではなく、これまでに例が沢山あります。

約 2000 年前に、この世に生きているすべてのものの苦しみ･悩みを無くしたいという思いから、当時の知識の集大成であった経文を、インド→中国→日本へと大変な努力でもたらした多くの先達がいます。インドから中国へは、安世高（～170?）、龍樹（150～250?）、菩提達磨（～528?）、天台智顗（538～598?）、玄奘三蔵（602～664）ほかがいて、中国から日本へは鑑真（688～723）、空海（774～835）、最澄（766～822）ほかです。

当時の先進的な知識で課題に立ち向かっていく姿は、現代の人々と同じに見えます。むしろ、より多くの努力があったのかも知れません。今我々が昔と同じことをしようと思っても、砂漠を横断するあるいはヒマラヤの厳冬期を当時の装備で超えるのには、たいていの人は躊躇すると思います。

4.3　対応する方法

4.3.1　現実的な方法

前に紹介した技学は、おそらく最も効率的・総合的な課題解決方法と考えられます[41)]。ヒトは課題解決ツールとして実験･理論･シミュレーションの 3 つを持っています。

１）実験：　解決策の実証に不可欠
　ただし、流星などは実験できない
２）理論：　ヒトが現象を記号でモデル化する
　ただし、解析解が得られるかはモデルによる
３）シミュレーション：　理論または実験が不可欠
　計算機はヒトの計算能力を拡大した

そして学問・ツール・ヒト・社会が揃わないと現実課題は解決できません。例えば、1 枚の扇が手から落ちる位置とその姿は予測できるかという課題については；

－科学だけでは多分できない　　関連する科学（分野）が多すぎる
－技術でできるだろうか　　許容精度はどこまでにするか
－技能でできるかも知れない　　投扇興という伝統ゲームがある[41)]

となります。なお、投扇興にはヒトと社会に持続的に実装している道場と段位制度があります。

図２，３に技学の位置が記されています。積上げ型に加えて、それらを組み合わせて使うイメージです。将来をになう技術者の素養として、科学・技術・技能を現場で扱い、技学を考えるための基礎・材料・環境を整えることが期待されます。

近年、経済が猛威を振るう中で、グローバル企業が様々な形で提供する AI アルゴリズム、例えば「この商品を買った人はこれを見ています」に判断をゆだねるのは、試行錯誤するよりは良いかも知れませんが、どうでしょうか。今やコンピュータの中のアルゴリズムが人を超える位置を占めるかのようです。

自動運転車が普及し始めて、AI を搭載したロボットが仕事・家事をこなすのもそう遠くではないようです。優れた人の代表としてですが、例えばドライバーであるシューマッハーの運転能力と哲学者カントの判断力を持った車が事故を起こしたら、その責任はどこに行くのでしょうか。基本的な議論はまだ十分とは言えませんが[42)]、法と社会が変わっていきます。

4.3.2　より広い視野での方法

ヒトがこれまでに考えてきたことの全体像はおおよそ図９のようになります[44)]。右下の仏教の部分の最初については前に述べました（2.2.1 と 4.2.5）。大きな流れとしては、地域に密着・定住して生活すると、人口がさらに増えて時間に余裕のあるヒトが生まれて、宗教、哲学、科学、経済が順に現れてきました。ヒトを超えたものが考えられて、宗教が生まれます。一部が哲学となり世界は何か、我々は何かを考え始めます。そのまた一部が科学となり、一貫性・再現性・反証性という特徴を持ちます。次に社会生活に欠かせない経済がより大きな役割を持つようになりました。

ヒトは分からなくなると、昔からヒトを超えるもの、例えば神に判断をゆだねてきました。ヒトに共通する思いです。いずれにせよ将来を考える手立ては、当面は図中にあります。

ヒトの歴史の全体を捉えようとする考え方は、アルビン・トフラーの第 1，2，3 の波などが知られていて、ビッグストーリーなどと呼ばれます。図 10 は、ビッグバンから地球消滅までのスパンの中に人を位置付けたもので、無と意識を軸として考えたものです [45]。心のビッグバンと呼ばれるヒトの意識の活性化と拡大は、有と無を分けて考えて、2 つのタイプの神話を生み出します。表 4 に比較を示します [46]。神話や精霊などの超自然的なアイデアは、アニメ、TV、映画で様々なストーリーとして、あるいは多くのキャラクターとして登場します。こうして分類すると分かりやすいと思います。過去の歴史を振り返ると、そうだったのかと納得できる面があります。

現時点では理解できても、当時の人々にとっては耳新しいものだったに違いありません。ICT が多大な影響を持ち始めた現在、これまでになかった未知の将来を考える上で参考にすべきと思います。

4.3.3　原因を掘り下げていくと

生きる上では何らか対処して乗り越えねばならない課題が出てきます。空腹になれば食べ物が必要ですし、寒ければ暖かくなる必要がある。一人だけではなく周りも同様であれば、まとめてなんとかせねばならない。時間が過ぎて行けば、「現在の状態」と「こうあってほしい状態」に差が出てきます。様々な内容で解決したい問題が出てきます。

ヒトは誕生してから、動物としての進化の影響を受けて、それを引きずっています。限られた資源と多くの制約のもとで、こうあってほしい、こうなりたいという欲望を持つことになります。この欲望に対してヒトを超えた力に頼った人々、立ち向かった人々、制御しようとした人々、そして消そうとした人々がいました。図 9 は多かれ少なかれ欲望についての取組みを反映した姿として理解できると思います [47,48,49]。欲望から出てくる課題についての取組みと、現状の課題を解決するのと似ていると思います。

生きるためには欲望が必要で、必ず課題は出てきてしまう。課題を解決するために、個人の意識（自覚）が無いと、一貫した個人としての行動ができず、他のヒトや状況を助けるためにもほかの個人の意識（自覚）が必要となる。意識は必要に迫られて、脳が生み出したのかもしれません。

また意識は周りで起きていることをストーリーにして一応の一貫性を持たせます。夢の中の荒唐無稽なストーリーは、皆さんにも経験があると思います。ストーリーにするとなぜか人は納得しますが、負の側面も見逃せません [50]。

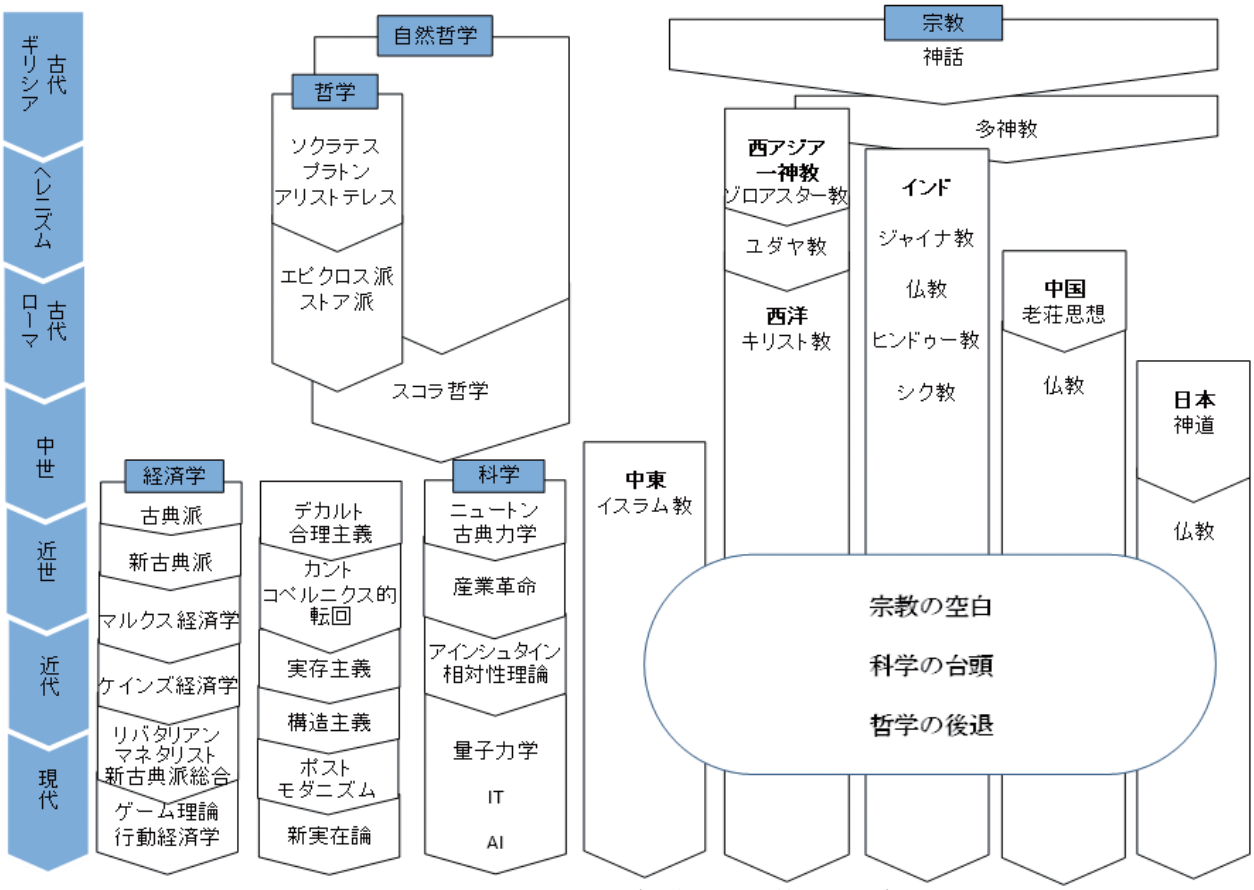
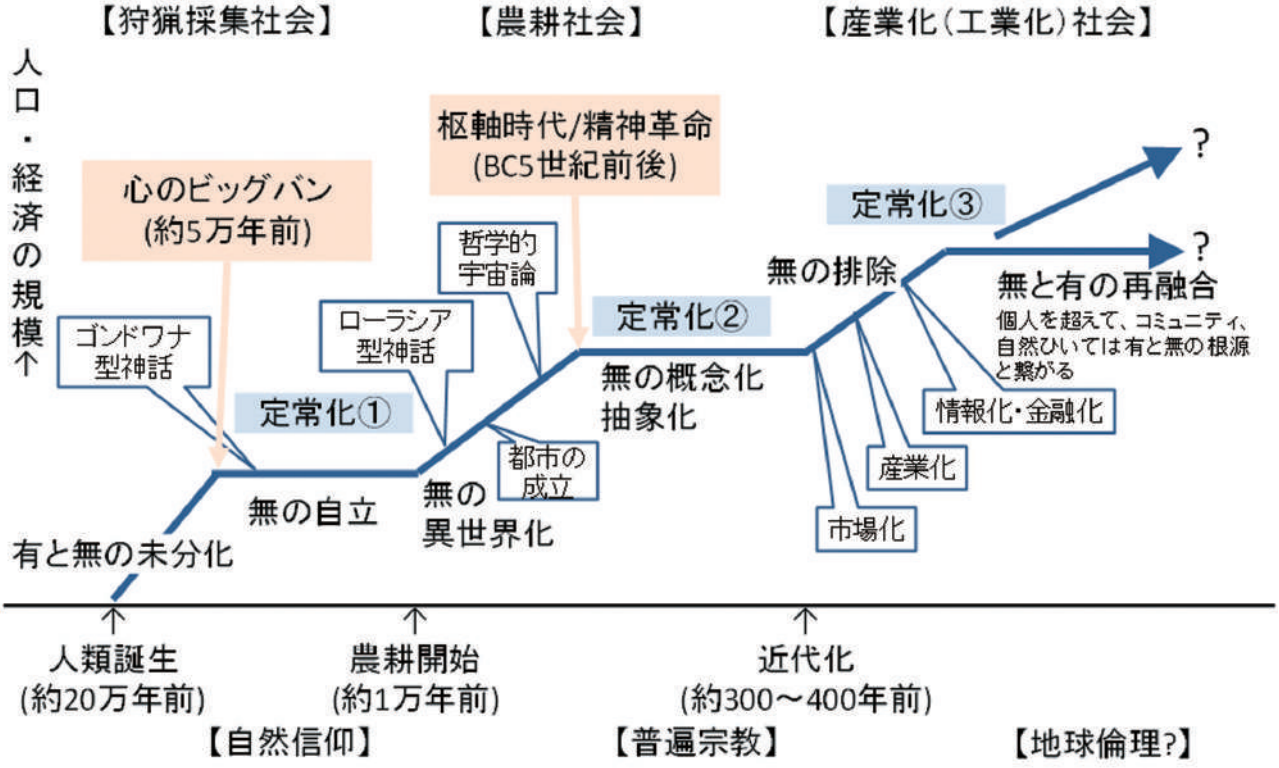


図 9　ヒトの知の進化（文献 44 を基に作成）



無と意識の人類史（文献 45 を基に作成）

表４　ヴィツェルによる２つの神話グループ（文献 46 を基に作成）

	ゴンドワナ型神話群 ～人間・自然一体型神話	ローラシア型神話群 ～物語型神話群
主たる地域	アフリカ中南部、インドの非アーリア地域、メラネシア、オーストラリア・アボリジニ	ヨーロッパ、北アフリカから中近東（エジプトやメソポタミア文明圏）、ペルシャや古代インド文明圏、中国文明圏、ポリネシア
伝播の様式	アフリカからの人類の初期移動	アーリア人・スキタイ系遊牧民族の移動
ストーリー性	弱い 非時間的	強い 時間的秩序
自然や宇宙	当初から存在	無ないし混沌からの創造
内容の例	・トリックスターや文化英雄としての下位の神々 ・木、粘土、岩などから創り出される（あるいは地下から出現する）人類	・原父母と神々の系譜 ・世界の秩序化（天地分離や光の創造） ・現世の終わりと再生
社会構造	狩猟採集社会後期	農耕社会～都市、遊牧社会

5　おわりに

諸説ありますが、地球上の水量や大気圧に基づくと、あと 23 億年後に生命が無くなると予測されています。53 億年後に太陽が膨張すると地球は飲み込まれます。そこで、太陽系外に移住しようとする動きがあります。まず地球上で閉じた生命圏を作ろうとする動きがあります[51)]。この試みでは、ヒトに加えて持続的に共生できる動植物が一緒に持ち込まれます。

ヒトは一人ではなく誰かとつながらないと生きていけません。「ヒトはポリス的動物である（アリストテレス）」と言われます。つながるために必要な共感は、キリストの愛、仏陀の慈悲、孔子の仁、墨子の兼愛などがありますが、広まったのは紀元前 300 年位前からで、人類の誕生から考えるとほんの最近です。

ほかのヒトやモノへの共感を持ち、互いを尊重した上で主張し合って、解決への出口を見つけるものと思います。一方、すべてに共感できるわけではないので、多様性とプライバシーを大切にしながらお互いが見える関係を築かねばなりません。またサイバー空間とリアル空間との折り合いを早急につけねばなりません。

ここまでの内容の基になった資料は文献 52 に掲載されています。皆様のご叱正・ご意見など頂ければ幸いです。

参考文献

1) 内海康雄、建築設備と人材育成について その 1　建築設備と ICT のこれまでとこれから、舞鶴工業高等専門学校紀要、2023.3
2）ジョセフ・ヒース著、栗原百代訳、啓蒙思想 2.0〔新版〕政治・経済・生活を正気に戻すために、ハヤカワ ノンフィクション文庫早川書房、2022.3
3）高橋昌一郎、感性の限界　不合理性・不自由性・不条理性、講談社現代新書 2153、講談社、2012.4
4）高橋昌一郎、知性の限界　不可測性・不確実性・不可知性、講談社現代新書 2048、講談社、2010.4
5）高橋昌一郎、理性の限界　不可能性・不確定性・不完全性、講談社現代新書 1948、講談社、2008.6
6）例えば、佐々木実：資本主義と闘った男　宇沢弘文と経済学の世界、講談社、2019
7）横山紘一、唯識の思想、講談社学術文庫 2358、講談社、2016.3
8）苅谷剛彦、オックスフォードからの警鐘　グローバル化時代の大学論、中公新書ラクレ 587、中央公論新社、2017.7
9）木嶋恭一、中條尚子、マイケル・C・ジャクソンほか、ホリスティック・クリエイティブ・マネジメント：21 世紀 COE プログラム:エージェントベース社会システム科学の創出、丸善、2007.3
10）M.シーザン・リンディ著、川村豊、小川浩一訳、軍事の科学、ニュートン新書、ニュートンプレス、2022.9
11）ISCED(International Standard Classification of Education)2011、UNESCO、http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/isced-2011-en.pdf（2022.11.30 時点）
12）井上雅裕編著、大学のデジタル変革　ＤＸによる教育の未来、東京電機大学出版局、2022.9
13）JSCOOP（ジェイスクープ）長岡工業高等専門学校、https://www.nagaoka-ct.ac.jp/college-info/facility-info/sdic/jscoop/、(2022.11.27 時点)
14）野中郁次郎著、竹内弘高著, 梅本勝博訳：知識創造企業、東洋経済新報社 1996
15）長岡技術科学大学主催、国際技学カンファレンス、https://www.nagaokaut.ac.jp/project/sgweb/IGCN.html、(2022.11.28 日時点)
16）入山章栄、世界標準の経営理論、ダイヤモンド社、2019
17）東日本大震災合同調査報告　東日本大震災合同調査報告　建築編 8　建築設備・建築環境、日本建築学会、2015.5
18）(一社）ミニマルファブ推進機構、https://www.minimalfab.com/¬（2022.7.8 時点）
19）産学官の人材育成拠点、東北に半導体・関西にバッテリー…九州に続き全国展開へ、https://www.yomiuri.co.jp/economy/20220605-OYT1T50197/、読売新聞、2022
20）日経クロステック、https://active.nikkeibp.co.jp/atcl/act/19/00008/051703652/¬（2022.7.8 時点）
21）NPO AMATERAS、NPO https://amateras.tech¬（2022.7.8 時点）
22）E.W.サイード著、今沢紀子訳、オリエンタリズム上・下、平凡社ライブラリー 11、12、平凡社、1993.6
23）例えば、https://kotobank.jp/word/-AGIL%E5%9B%B3%E5%BC%8F-36384（2022.12.4 時点）
24）ニクラス・ルーマン著、佐藤勉訳、社会システム理論　上・下、恒星社厚生閣、1995.10
25）井庭崇、宮台真司、熊坂賢次、公文俊平、社会システム理論　不透明な社会を捉える知の技法、慶應義塾大学出版会、2011.11
26）Gregg Henriques、The Tree of Knowledge System and the Theoretical Unification of Psychology、Review of General Psychology, Vol. 7, No. 2, 2003
27）ハンス・ロスリング著、オーラ・ロスリング著、アンナ・ロスリング・ロンランド著、上杉周作訳：FACTFULNESS 10 の思い込みを乗り越え、データを基に世界を正しく見る習慣、日経 BP 社、2019
28）ヨルゲン・ランダース著、野中香方子訳：2052 今後 40 年のグローバル予測、日経 BP 社、2013
29）National Intelligence Council, USA：Global Trends 2030 Alternative Worlds、https://www.dni.gov/files/ documents/GlobalTrends_2030.pdf¬（2022.7.8 時点）
30）英国エコノミスト社：2050 年の世界 英『エコノミスト』誌は予測する、2015

31）英国エコノミスト社：2050 年の技術 英『エコノミスト』誌は予測する、2017
32）日経 BP 「メガトレンド 2019-2028 全産業編」、https://project.Nikkeibp.co.jp/mirai/mega2019/ index.html（2022.7.8 時点）
33）NATO Science & Technology Organization: Science & Technology Trends 2020-2040, Exploring the S&T Edge, 2020, https://www.sto.nato.int/publications/Management%20Reports/2020_TTR_Public_release_final.pdf（2022.7.3 時点）
34）フランシス・フクヤマ著、渡部昇一訳、歴史の終わり　上・下、三笠書房、2005.6
35）サミュエル・ハンチントン著、鈴木主税訳、文明の衝突、集英社、1998.6
36）神島裕子、正義とは何か　現代政治哲学の６つの視点、中公新書 2505、中央公論新社、2018.9
37）リチャード・ドーキンス著、日高敏隆、岸由二、羽田節子、垂水雄訳、利己的な遺伝子、紀伊國屋書店、2018.2
38）例えば、児玉聡、実践・倫理学 現代の問題を考えるために、けいそうブックス、勁草書房、2020.2
39）福岡伸一、動的平衡２生命は自由になれるのか、小学館新書 333、小学館、2018.10
40）Kelly Goetsch, Microservices Architecture for Modern Commerce, Dynamically Increase Development Velocity by Applying Microservices to Commerce,— https://commercetools.com/resources/booklet/microservices, 2016.10（2022.11.30 時点）
41）Yasuo Utsumi、THE GENERAL IDEA OF GIGAKU、The International GIGAKU Conference in Nagaoka（IGCN）、2015.6
42）日本投扇興連盟、https://www.facebook.com /tosenkyo（2022.12.1 時点）
43）宇佐美誠編：AI で変わる法と社会、岩波書店、2020
44）堀内勉：読書大全 世界のビジネスリーダーが読んでいる経済・哲学・歴史・科学、日経 BP、2021
45）広井良典：無と意識の人類史　私たちはどこへ向かうのか、東洋経済新報社、2021
46）世界神話学入門、後藤明、講談社現代新書 2457、講談社、2017
47）竹田青嗣、欲望論　第１巻「意味」の原理論、講談社、2017.10
48）竹田青嗣、欲望論　第２巻「価値」の原理論、講談社、2017.10
49）竹田青嗣、新・哲学入門、講談社現代新書 2676、講談社、2022.9
50）ジョナサン・ゴットシャル著、月谷真紀訳、ストーリーが世界を滅ぼす　物語があなたの脳を操作する、東洋経済新聞社、2022.8
51）例えば、https://kotobank.jp/word/%E3%83%90%E—3%82%A4%E3%82%AA%E3%82%B9%E3%83%95%E3%82%A3%E3%82%A22-1749629（2022.12.4 時点）
52）内海康雄、これからの高専、https://drive.google.com/drive/folders/1Glfo5jx1GUZQDA2YcbXzYQGtvO4VNYP6（2022.12.3 時点）

（2022.12.9 受付）

2022 年度 レゴ SPIKE プライムを用いた体験授業

Hands-on Class with LEGO Education SPIKE Prime in 2022

室巻孝郎[1]・毛利聡[2]
Takao MUROMAKI and Satoshi MOHRI

1. はじめに

舞鶴工業高等専門学校専攻科では，2 年次の特別演習において，レゴ SPIKE プライムを題材として，小中学生向けのレクリエーションロボットの製作に取り組んでいる．これまでに，シーソーゲームやクレーンゲーム [1)]，シューティングゲーム [2)]の製作を行い，小中学生に体験してもらっている．今年度もロボットの製作を行い，2022 年 12 月 3 日に開催した公開講座「考えて動かそう！きみにもできるロボットづくり」に参加した小中学生に体験してもらった．本稿では，製作したロボットシステムの概要および公開講座の様子を紹介する．

2. 製作したロボットシステム

特別演習の履修者 19 名を 3 つの班に分けて，各班でレゴ SPIKE プライムを使用してロボットシステムを 1 つずつ提案することとした．企画書の作成および修正を経て,「風船割りゲーム」,「チャンバラゲーム」,「レースゲーム」の製作を行った．以下では，各ロボットシステムの概要や遊び方について説明する．

2.1 風船割りゲーム

対戦形式のゲームとなっており，図 1 に示すフィールド内に設置された風船を割ることでポイントが加算される．制限時間内により多くのポイントを獲得した方が勝者となる．図 2 に示すように，車体には竹串と風船が取り付けられている．竹串を上手く風船に当てると風船を割ることができる．また，対戦相手の車体に取り付けられた風船を割ると，3 倍のポイントを得ることができる．車体の操作は，無線コントローラで行い，前進，後退，左右の旋回が可能である．

図 1　競技フィールド

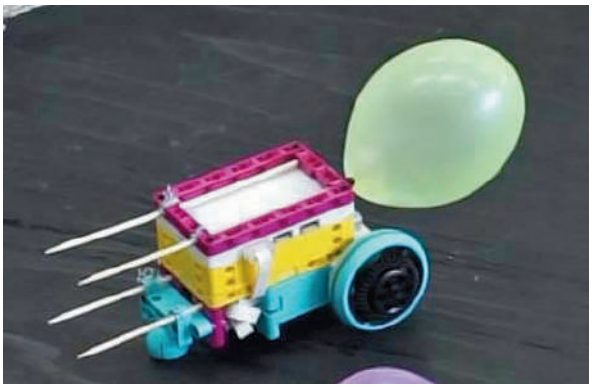


図 2　風船を付けた筐体

2.2 チャンバラゲーム

ロボット 2 機が，フィールド内で刀を模したブロックを用いて対戦するゲームである．図 3 にロボットと得点掲示板を示す. 図 4 に示すように, 頭部をたたくことでポイントが加算される. 頭部のセンサーがたたかれて反応すると，得点掲示板に情報が送信され，ポイント表示が切り替わる．制限時間内により多くのポイントを獲得した方が勝者となる．ロボットの操作は，無線コントローラで行い，移動（前進・後退・左右に旋回）と刀の振り下ろしができる．ただし，移動と刀の振り下ろしを同時にすることはできないという制約が設けられており，姿勢を整えてから頭部をたたく必要があるため，落ち着いて操作することが求められる．

[1] 舞鶴工業高等専門学校　機械工学科　准教授
[2] 舞鶴工業高等専門学校　建設システム工学科　准教授

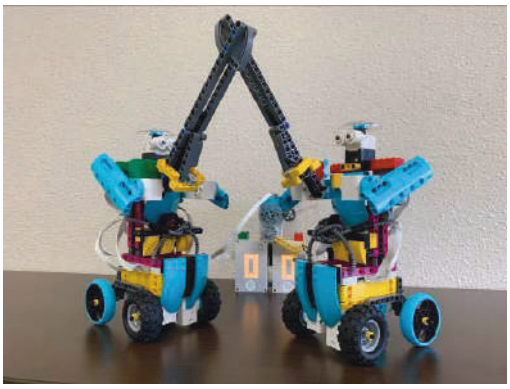


図３　筐体と得点掲示板

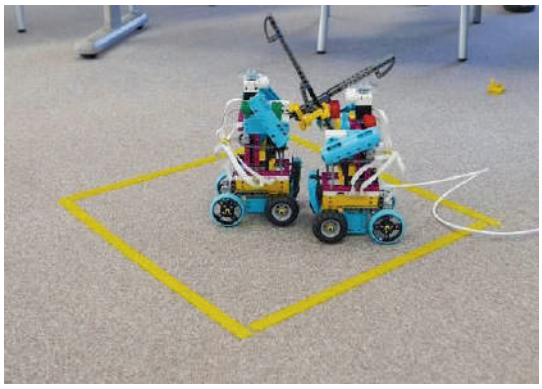


図４　得点が入ったときの様子

2.3　レースゲーム

図５に示す筐体を無線コントローラで操作して，図６の競技フィールドを３周するときのタイムを競う１人用ゲームとなっている．競技フィールド内には，障害物として三角コーンを複数設置し，登り坂と下り坂が１か所配置されている．筐体の操作は，前進，後退，左右の旋回が可能となっているので，障害物にぶつかったり，壁に乗り上げたりした場合は，後退して態勢を立て直すことができる．筐体を操作するためのプログラムの冒頭部分を図７に示す．コントローラのボタンを押すと対応するモータが，設定されたスピードで回転するプログラムとなっている．

図５　筐体

図６　競技フィールド

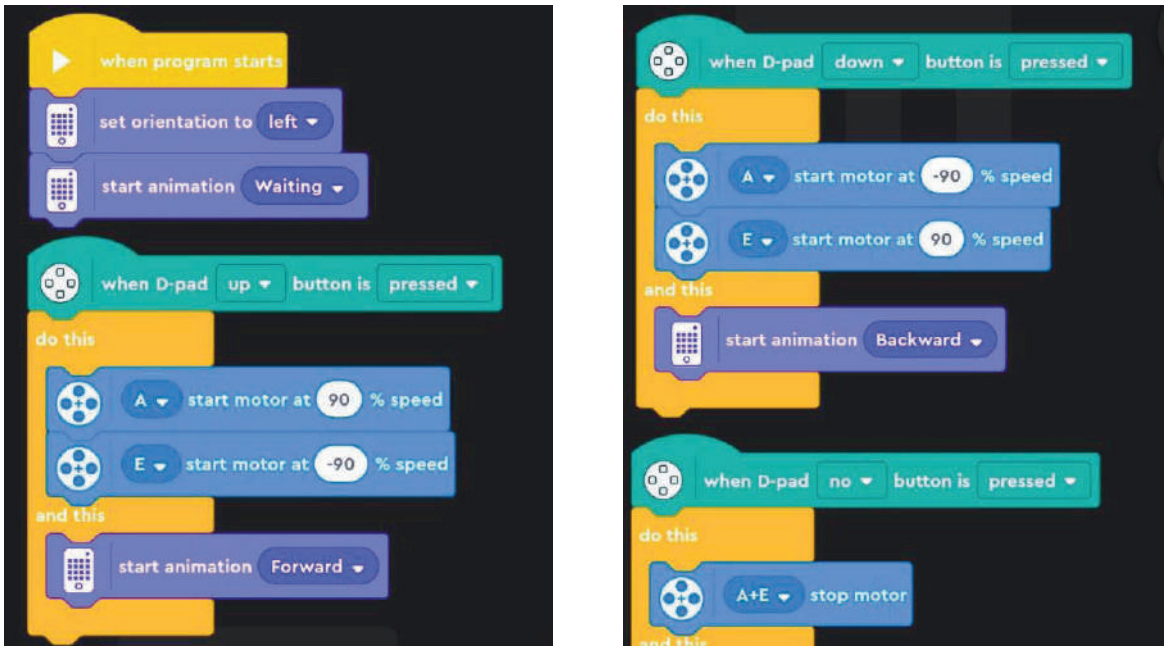


図７　プログラムの冒頭部分

3.　ゲーム体験の様子

12 月 3 日に開催した公開講座「考えて動かそう！きみにもできるロボットづくり」に参加した小中学生 11 名に，各ロボットシステムを体験してもらったときの様子を，図 8～図 10 に示す．風船割りゲームは風船の割れる音が大きいため別室で実施し，チャンバラゲームとレースゲームは公開講座の開催教室で実施した．3 つのロボットシステムを順番に体験してもらったが，初対面の人同士でも楽しく対戦し，競技することができた．また，希望者には複数回のゲーム体験の機会を提供するとともに，一部の保護者の方にも体験していただいた．なお，風船割りゲームについては風船の割れる音を嫌がって参加を遠慮する人がいたので，大きな音のするゲームについては，音量について事前調整が求められる．その他，体験中に寄せられた意見として，ボタンを押したときのロボットの反応が遅いもしくは反応が悪いというものがあった．次年度以降のロボットシステム開発の際に改善すべき点である．

図 8　風船割りゲーム体験

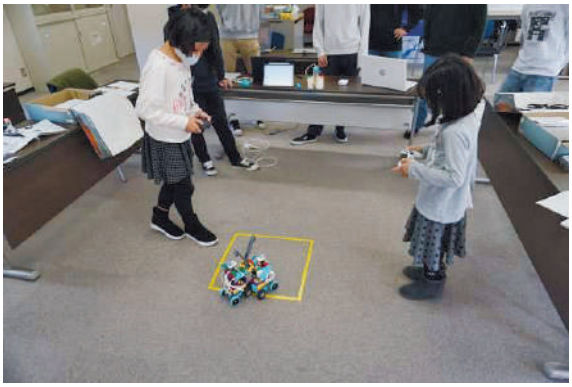


図 9　チャンバラゲーム体験

図 10　レーシングゲーム体験

4.　参加者のアンケート結果

3 つのロボットシステムを体験してもらった小中学生 11 名に対し，体験内容に関するアンケートを実施した．以下の①～④の項目について，3 段階で評価してもらった．

①　楽しかったですか？
　　1．すごく楽しかった　　2．楽しかった　　3．ふつう

②　見た目
　　1．すごくよかった　　2．よかった　　3，ふつう

③　分かりやすかったですか？
　　1．すごくわかりやすかった　　2．わかりやすかった　　3．ふつう

④　もう一回あそびたいと思いますか？
　　1．すごく思う　　2．少し思う　　3．どちらとも言えない

アンケート結果を表 1 に示す．風船割りゲームの回答者は 10 名，チャンバラゲームとレースゲームの回答者は 11 名であった．いずれのロボットシステムについても，4 つの項目で 70%～80%の割合で最高評価を得ており，高い満足度を得ている．3 つのロボットシステムについて，大きな評価の差は見られなかった．なお，風船割りゲームについては，自由記述で「こわかったけど，もう 1 回遊びたいと思った」という意見があった．

表１　アンケート結果

項目	評価	風船割りゲーム	チャンバラゲーム	レースゲーム
楽しかったですか？	すごく楽しかった	7	8	9
	楽しかった	3	2	1
	ふつう	0	1	1
見た目	すごくよかった	7	7	7
	よかった	3	4	3
	ふつう	0	0	1
分かりやすかったですか？	すごくわかりやすかった	8	9	7
	わかりやすかった	2	2	2
	ふつう	0	0	2
もう１回遊びたいと思いますか？	すごく思う	7	8	7
	少し思う	3	2	3
	どちらともいえない	0	1	1

5.　おわりに

本稿では，専攻科特別演習で製作したロボットシステムを用いた体験授業について紹介した．レゴ SPIKE プライムを用いて製作したロボットシステムの体験は今回が初めてになるが，これまでの LEGO MINDSTRMS EV3 を用いたロボットシステムと遜色ないシステムを実現することができた．専攻科の学生が，アイデア出しから設計・製作まですべて行っており，これからも様々なロボットシステムが実現されると期待している．また，今回の公開講座を通して，小中学生の参加者がプログラミングやものづくりに興味をもってもらえれば幸いである．

謝辞：本取組の一部は，公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団　メカトロニクス技術高度化「教育助成」（2021 年度 B 助成）から経費の助成を受けています．ここに謝意を示します．

参考文献

1) 青谷，大谷，鈴江，高井，橋本，藤田，室巻，須田：平成 28 年度専攻科特別演習レゴマインドストームを用いた体験授業，舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報，第 45 号, 100-103 (2017)
2) 鰻田，菊本，室巻，須田：平成 30 年度専攻科特別演習 LEGO MINDSTORMS EV3 を用いた体験授業，舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報，第 47 号, 90-93 (2019)

(2022.12.9 受付)

芦生研究林の現状と魅力を伝える VR 動画制作の報告

Report on VR Video Production to Convey Current Status and Appeal of Ashiu Forest Research Station

坪倉咲希[1]・弘山結[2]・福島健太[3]・松本壮太[4]・丹下裕[5]・蔭山海一郎[6]
Saki TSUBOKURA, Yui HIROYAMA, Kenta FUKUSHIMA, Sota MATSUMOTO, Yutaka TANGE and Kaichiro KAGEYAMA

1. はじめに

舞鶴工業高等専門学校 HANDMADE 部では，令和 3 年から京都大学フィールド科学教育研究センター芦生研究林（以下，芦生研究林と略す）の PR のための VR 動画作成の依頼を KDDI 株式会社(以下， KDDI と略す)よりいただいた．芦生研究林が資料の提供，KDDI が機材の提供，HANDMADE 部が動画の作成を行うという 3 者連携で，約 1 年間かけて 360 度動画を 3 本制作してきた．本稿ではプロジェクトの概要と制作した VR 動画について報告する．

2. 芦生研究林について

芦生研究林は京都市の北約 35 km，福井県と滋賀県に接する京都府北東部，由良川源流域に位置し，約 4200 ha の面積を誇る．気候区分では日本海型と太平洋型の移行帯に位置し，植生区分の上からも温暖帯林と冷温帯林の移行帯に位置するため，植物の種類が多い．冷温帯下部に属する天然林は，大規模に残された森林として西日本有数であり，貴重なものとなっている[1)]．斜面上部ではアシウスギの分布密度が高く，中腹ではブナを主にミズナラなどが優占し，斜面下部から沢沿いの湿潤なところにはトチノキとサワグルミが優占する．

図 1　芦生研究林地図[2)]

[1] 舞鶴工業高等専門学校　電気情報工学科　3 年
[2] 舞鶴工業高等専門学校　建設システム工学科　3 年
[3] 舞鶴工業高等専門学校　機械工学科　5 年
[4] 舞鶴工業高等専門学校　専攻科　総合システム工学専攻　1 年
[5] 舞鶴工業高等専門学校　電気情報工学科　准教授
[6] 舞鶴工業高等専門学校　教育支援研究センター　技術職員

演習林設定以降は，天然スギの伐採，椎茸生産，製炭事業などが行われ，跡地にスギ林を造成してきた[3]．昭和 20 年代後半から奥地林までの林道が作られ，昭和 30 年代には伐採量はピークをむかえた．しかし平成以降は，管理･研究･教育目的を除き天然林の伐採は行わず，スギ人工林の保育，天然更新補助作業や広葉樹人工林造成を試験的に行なっている．現在の研究林の面積の約半分は地上権の設定以降，人手が加えられていない天然林であり，原生的な森林もある．

芦生研究林では 1990 年代後半よりニホンジカによる下層植生の過採食と生態系の改変が進行した．そこで 2006 年と 2016 年に 1 基ずつ，合計 2 基の大規模シカ排除柵と多数の小型柵が設置された．柵が設置された場所では柵外に比べ比較にならないほど植生が回復している．現在では，研究林の教職員，研究者，ボランティアなどによる植生の保護が行われているが，引き続き生態系の劣化は進行している．

3.　プロジェクトの始動

2021 年 5 月 26 日に VR 動画の作成の依頼をいただき，6 月中旬から HANDMADE 部として活動を始めた．2021 年 6 月 16 日には芦生研究林，KDDI，HANDMADE 部による初の 3 者合同会議が行われ，事前に連絡されていたプロジェクト内容が再確認された．2021 年 7 月 1 日以降，コロナ禍での連絡手段の確保として KDDI から iPad が配布され，オンライン会議やチャットなどの連絡手段が確立された．また，同時期に KDDI から動画編集用のパソコンと編集ソフトが提供され，それらが到着した．VR 動画のテーマは何にするのか，誰を対象とするのか，何を伝えたいのか，動画の構成はどうするのかなど会議を何度も繰り返して制作するものを具体化した．進捗データは Slack などのインターネット情報共有ツールを使って共有し，参加者は自由に閲覧できる状態とした．

4.　技術調査と動画編集のための技術取得

7 月中旬には機材が届き，環境が整ってきたため，ノウハウ蓄積チームとソフトウェア調査チームの 2 つに分かれて調査を始めた．前者については，KDDI より提供していただいた Power Director で何ができるのか，できないのかを調べながら動画作成の練習を行った．制作した練習動画は，3 者会議において共有し，参加者から様々なご意見をいただいた．後者については，360 度動画が編集でき，充実した編集機能を持つ他のソフトウェアを調査した．結果的に，3D モデルが導入でき，無料で使用できるなどの理由から Unity が提案された．夏合宿中に調査をし，8 月中旬の 3 者会議で結果を共有した．2 チームの調査より，Power Director は 2D の編集能力は十分にあるが 3D 編集にはやや不向きであること，Unity の利用には高スペックのパソコンが必要であり技術取得には時間を要すことが分かった．したがって，Unity の導入を見送り，Power Director で編集作業を行うことが決定した．

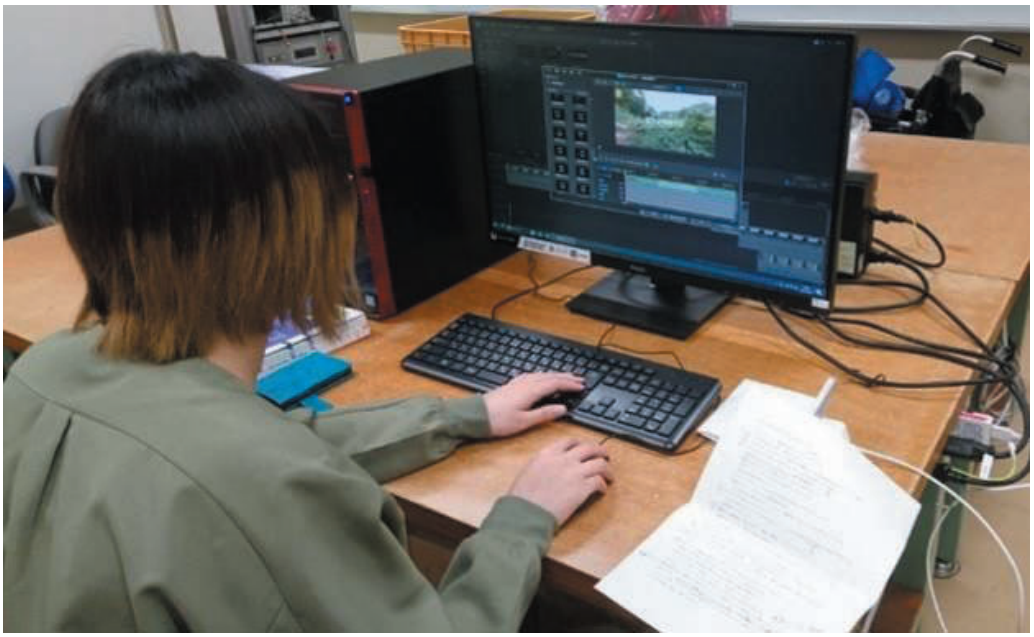


図 2　VR 動画編集の様子

5.　360 度動画の制作

2021 年 8 月 13 日より動画制作が始まった．当初の予定では，本編動画を 1 本制作する予定であったが，時間もあることからダイジェスト版であるツアー編を練習動画として作成することが決まった．その後，本編動画である鹿害編と魅力編の制作に移った．図 3 に示すように，部内会議では部員から出た意見を板書にまとめていた．また，これらを HANDMADE 部のグループ LINE を通じて共有を行っていた．

動画制作中は，活動日数の問題に悩まされていた．図 4 に，活動スケジュールの一例を示す．2021 年 10 月 21 日～2022 年 2 月 20 日を例に説明する．カレンダー上の動画制作期間としては 130 日間あったとしても，実際に活動場所を借り活動した期間はそのうち 23 日しかなかった．これは，テスト 2 週間前の部活動停止期間，冬休みなどの長期休暇があったためである．

また，別時期には新型コロナウイルスによる臨時休校・遠隔授業によって急な予定変更や遠隔での部内会議を余儀なくされ，進捗管理に苦労した．

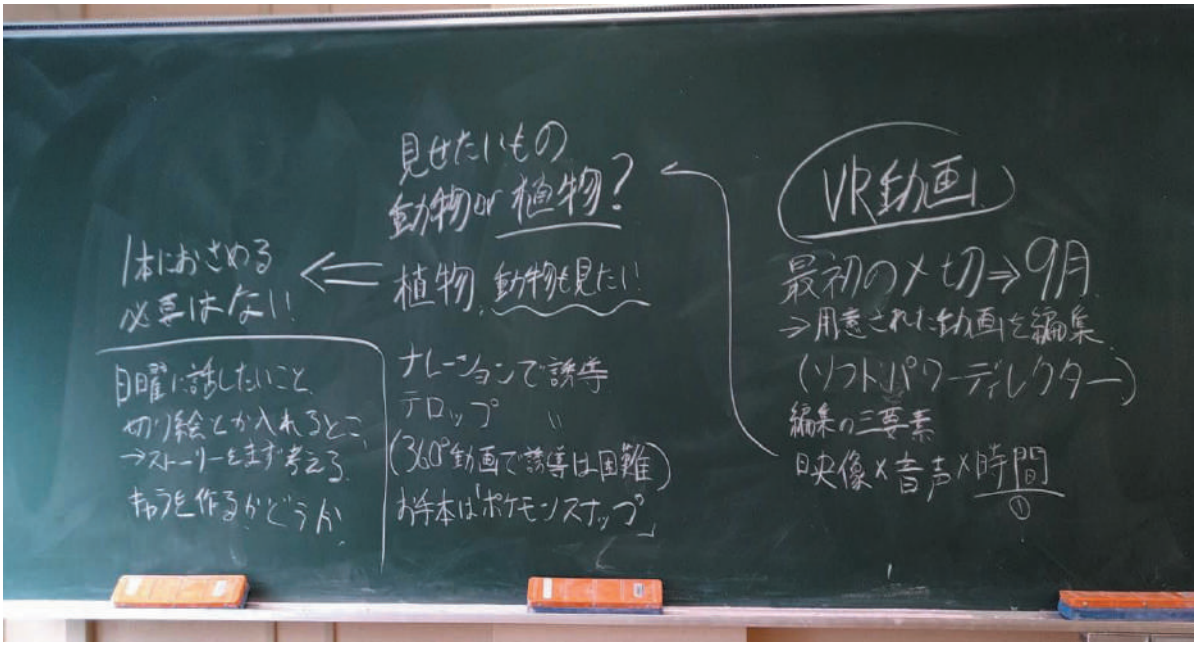


図 3　部内会議で出た意見

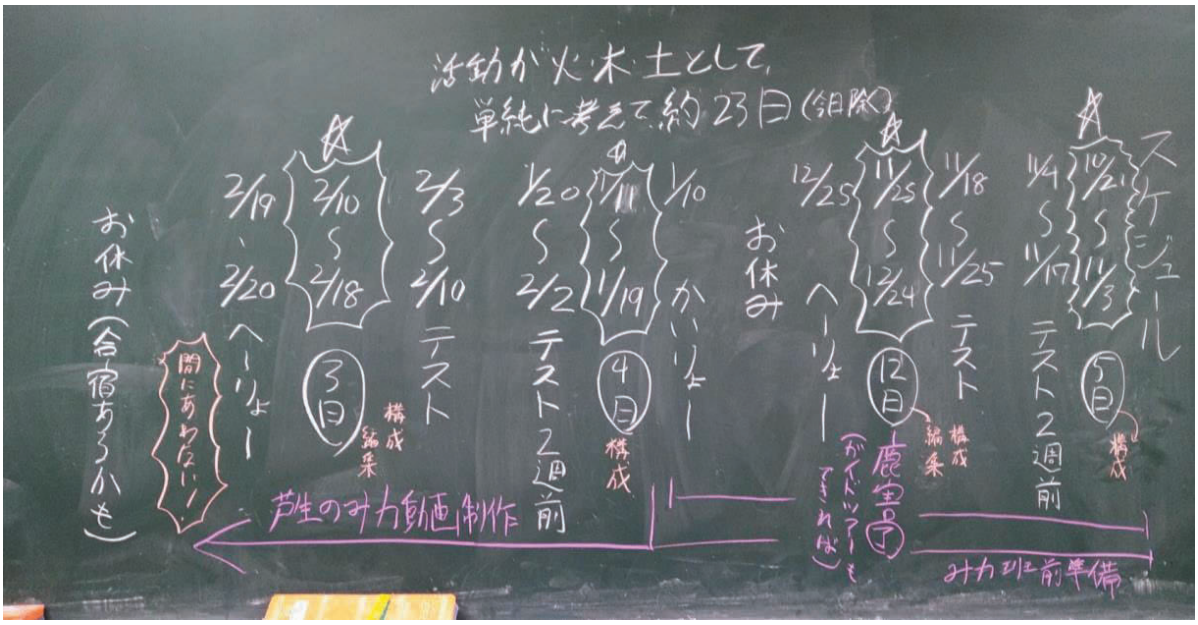


図 4　活動スケジュールの一例

5.1　ツアー編

8 月中には，使用する動画や各部分の時間配分などを決めた原案をまず作り，3 者会議で共有した．原案作成にあたり，芦生研究林よりいただいた動画を部内で見ながら話し合い，使用する動画の選定を行った．

動画編集の際には，VR ゴーグルで視聴するときと編集画面で視聴するときの差に悩まされることが多くあった．例えば，彩度や明るさの調整，編集画面と VR ゴーグルで見る文字や画像のサイズ感などである．図 5 に編集画面と VR ゴーグルの画面（スマートフォンの VR ゴーグル機能を使用したもの）の見え方を示す．編集をしては VR ゴーグルで確認し，再度調整するという作業を何度も繰り返した．部員が VR ゴーグルで確認している様子を図 6 に示す．

また，360 度動画ならではの問題として，撮影者が動画内に入ってしまうことが挙げられる．視聴の妨げになると判断し，図 7 のように黒い四角で覆い隠す編集を行った．

他にも，夏合宿が新型コロナウイルスの影響で 2 週間の予定が 1 週間ほどに短縮されてしまい，リモート作業になるなどの困難があった．しかし部内で役割分担を行うなど臨機応変に対応することで作業を進めていった．そして，2021 年 10 月 7 日にツアー編が完成した．

(a) 編集画面

(b) VR ゴーグル装着時

図 5　編集画面と VR ゴーグルの画面

図６　VR ゴーグルでの確認

図７　撮影者の黒塗り

5.2　芦生研究林へ現地訪問

2021 年 10 月 16 日に，今回のプロジェクトに関わる部員と教職員で，芦生研究林を現地訪問した．図８に訪問した際の様子を示す．長靴とヘルメットを着用して林内へ入り，実際に自分たちの足で歩くことで芦生の美しさや鹿による食害の現状を身を持って知り，感じることができた．芦生研究林の名所である大カツラなどを見て回り，鹿柵が設置されているところまで歩いた．研究林の方による説明も併せてあり，芦生研究林の事をより深く知ることができた．また，部員数名のヘルメットには，360 度カメラを装着して，動画撮影を行い，素材収集なども併せて行った．

(a) 大カツラの見学

(b) 斜面におけるキノコの撮影
図 8　芦生研究林訪問の様子

5.3　芦生研究林の本編

2021 年 10 月 19 日から，本編動画の制作を開始した．同日，舞鶴高専に京都大学フィールド科学教育研究センター特定講師 赤石大輔氏や KDDI が来校し，本編動画に関する意見交換を対面で行った．本編では，「魅力」と「鹿害」というテーマの 2 本を制作した．当初は，「魅力」をテーマにした動画の中に鹿害を組み込む予定であったが，動画の尺の都合で鹿害を独立させることになった．

また，本編ではツアー編と異なり原案作成の後に，絵コンテの作成を行った．絵コンテにより，構成と編集担当が密に連携を取ることができたため，動画の完成度が上がった．

9 月には KDDI より VR ゴーグルが提供され，いつでも確認作業を行えるようになった．

本編動画のオープニングには芦生研究林 100 周年記念ロゴが使われている．当初はロゴをいくつかの階層に分けて切り絵にし，これを用いたアニメーションにしたいと考えていた．しかし，スキャンした切り絵の解像度が低いため，動画には採用しなかった。実際の本編動画のオープニングでは，通常のイラストデータを用いたアニメーションが採用された．

5.3.1　芦生研究林の鹿害編

鹿害編は,「芦生の抱える問題を実感してもらい現状を知ってもらう」という目標で取り組んだ．それを達成するために動画内において重要なポイントへの視線誘導や，ナレーションの挿入などの工夫を行った．

鹿害編の原案を図９に示す．どの部分に何を表示させるのかを図示し，分かりやすくした．そして 12 月中旬に会議で共有した．

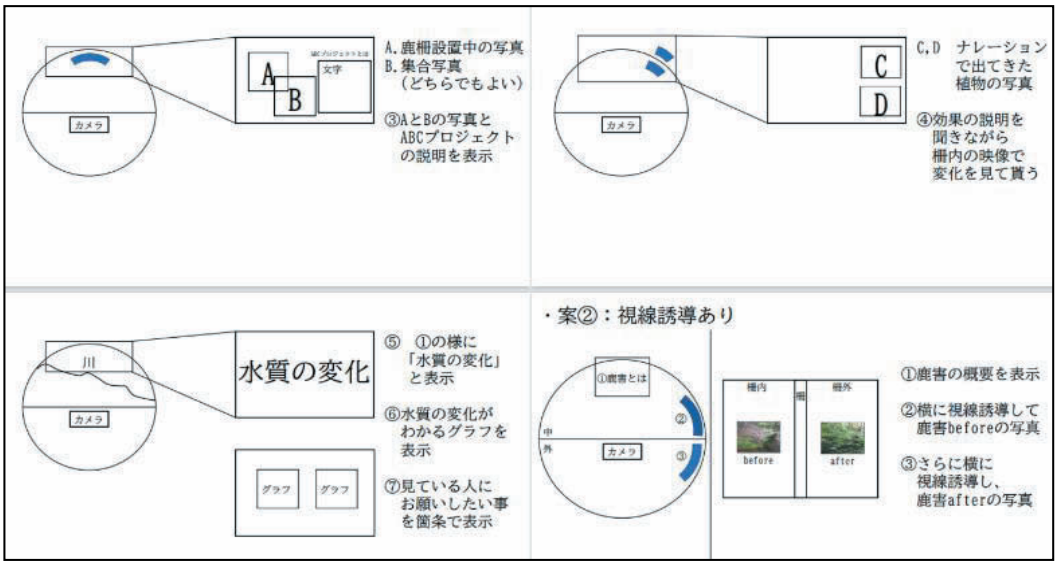


図９　鹿害編の動画原案

次に，図 10 に示すように原案をさらに深めた絵コンテの作成を行った．絵コンテでは，動画のスクリーンショットを入れるなどしてまとめた．はじめは芦生研究林の説明から始まり，鹿害，鹿柵，水質の説明と進んでいくよう構成した．

編集の際には動画内に部員によるナレーションを挿入する，分かりにくい語句の説明を画面の端で行うなどの工夫を施した．

３者会議やチャットでのやり取りを重ねていく中で，動画の色調や字幕のフォントサイズなど気になる点を調整していき，完成度を高めた．そして，2022 年 5 月 10 日に動画が完成した．

図 10　鹿害編の動画絵コンテ

5.3.2　芦生研究林の魅力編

魅力編では，「芦生の美しい四季をテーマとし，それぞれの季節でみられる景色や生き物を味わってもらう」ことを目標とした．その実現のために動画に対して過度な編集を行わず，見ている人に景色や環境音を意識してもらえるようにした．

魅力編の原案を図 11 に示す．案をいくつも作成し，3 者会議においてどの案を深めていくかなどを話し合った．そして，鹿害班と同様に絵コンテの作成を行った．これを図 12 に示す．絵コンテの段階では「1.季節 2.動物 3.植物 4.歴史」と説明のジャンルごとに分けていたが，最終的には「1.夏 2.秋 3.冬 4.春」と季節ごとに分ける動画構成となった．春を最後にした理由は，見ている人が温かみ感じながら動画の視聴を終えられるようにしたかったためである．

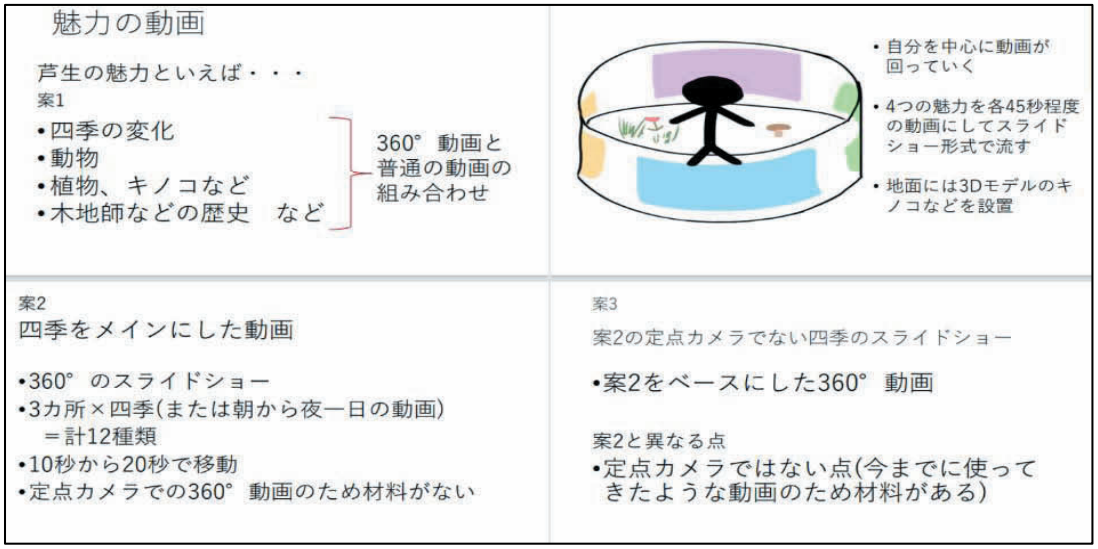


図 11　魅力編の動画原案

また，ツアー編で隠していた撮影者を今回は隠さないことにした．これは鹿害班も同様の編集を行っている．撮影者を隠すと「景色が大幅に消える」，「撮影者の圧迫感よりも違和感のほうが勝る」などの意見がツアー編で出されたため，このような編集を行った．

魅力編も 3 者会議やチャットでのやり取りを重ねていく中で，動画の色調や字幕のフォントサイズなど気になる点を調整していき，完成度を高めた．そして，2022 年 5 月 10 日に動画が完成した．

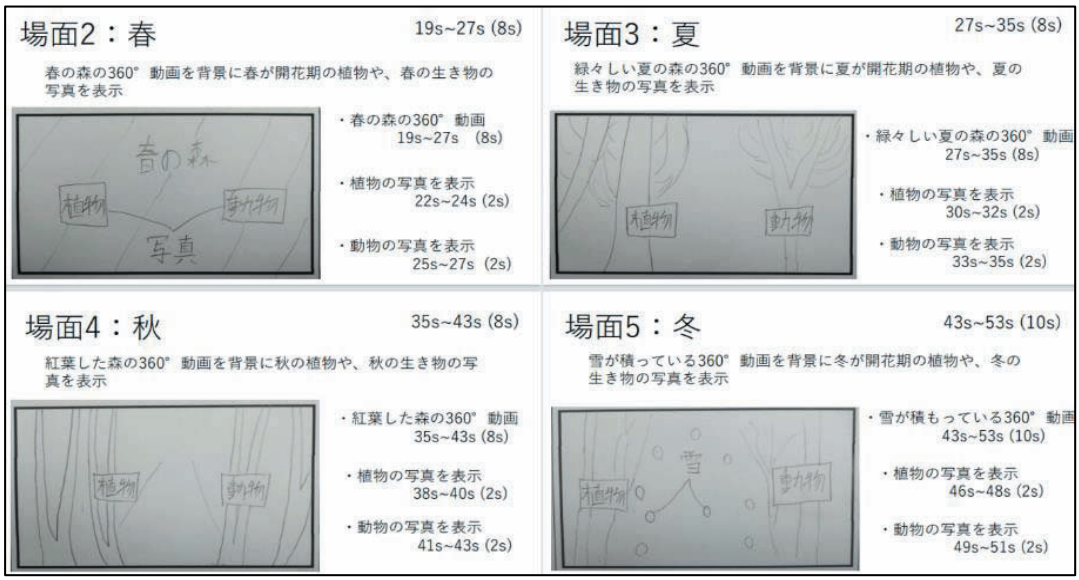


図 12　魅力編の動画絵コンテ

6.　動画初公開

2022 年 6 月 18 日に京都大学 125 周年記念イベントが開催され，部員数名が参加した．そこでは作成した 2 本の本編動画が一般公開され，イベントでは，総勢 128 名の方に体験していただくことができた．

そのイベントの様子を図 13 に示す．ブースには VR ゴーグルが置かれており，参加者はそれを使用し動画を見ることができた．実際に動画を楽しんでいる参加者の方を見ることができ，来場した部員一同達成感を得ることができた．

（a）イベント会場

（b）イベント会場における VR カメラの視聴

図 13　京大 125 周年記念イベントの様子

7.　おわりに

本稿ではプロジェクトの概要と制作したVR動画について報告を行った．2021年5月26日から2022年6月18日という1年以上のプロジェクトだったが，無事に動画を完成させることができた．また，このプロジェクト芦生を通して貴重な経験を多く得られた．

謝辞：最後に本プロジェクトを成功させるにあたり，関わっていただきました芦生研究林，KDDI関係者各位に深く感謝申し上げます．その中でも特に，動画を制作するに当たり終始適切な助言を賜り，また丁寧に指導して下さった京都大学フィールド科学教育研究センター 赤石大輔特定講師に感謝申し上げます．

参考文献

1）福本繁,『芦生研究林を歩きつくす』,ナカニシヤ出版（2021）
2）京都大学芦生研究林,“一般利用（散策等）する場合”,利用案内,https://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/ashiu/use/（参照2023.1.21）
3）京都大学芦生研究林,“沿革”,概要,https://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/ashiu/about/history/（参照2023.1.21）

（2022.12.9 受付）

蛇島ガソリン庫の遺物と遺構

Investigation of remains and relics in Jajima Gasoline Storage

牧野雅司[1]・毛利聡[2]・朝倉槙人[3]
Masashi MAKINO, Satoshi MOHRI and Makito ASAKURA

1. はじめに

筆者は 2019 年以降、舞鶴市から依頼を受けた本学教員毛利聡氏に協力するかたちで、旧海軍の施設であった蛇島ガソリン庫（現・京都府舞鶴市）の調査を行ってきた。本稿は、調査のなかで筆者が確認した蛇島に残存する旧海軍のものと思われる遺物・遺構について、その現状を記録したものである。

蛇島ガソリン庫は、1920（大正 9）年 1 月に「舞鶴工廠需品庫ガソリン庫」として建設が決定された施設である[i]。島を東西に貫くかたちで 4 本の隧道式ガソリン庫が造られ、それらが現在も残っている。戦後、GHQ により内部のガソリンタンクやパイプ、バルブは接収され、そのガソリン庫としての役割を終えた。この蛇島ガソリン庫については、成立過程や利用状況、舞鶴鎮守府[ii]におけるこのガソリン庫が担った役割など、未解明な部分が多い。遺構が現存することの意味は大きいと言えるだろう。

しかし、蛇島の調査は、その場所や費用などから頻繁に行うことはできず、限られた時間内でしか行うことができない。そのため、後述するように集中的な調査を行うことが難しく、必ずしも効率的な、また十分な調査が行えているとは言えない。その一方で、調査が不十分な現在の状態で、舞鶴市が市民向けの見学会を実施するなど、観光資源としての利用が始められようとしている[iii]。

こうした状況から筆者は、学問的なレベルから見ればはなはだ不十分ではあるものの、現在までに収集できた情報を整理しておくことは、今後の蛇島をめぐる調査・保全を進める上で必要であると判断した。本稿では、まずいくつかの文献史料から蛇島に設置された施設について確認する。そして、現段階で確認できたトンネル以外の遺構とその位置について概観していく。調査の方法は以下の通りである。

①島内を踏査し、目視により遺構や遺物の有無を確認する。

②遺構・遺物などをスマートフォン（図 1 の①～㉒・㉔・㉗～㉝は iPhone XR、㉓・㉕・㉖は iPhone 14 Pro）で写真撮影して現状を記録するとともに、GPS による位置情報を取得する。また、適宜デジタルカメラでも撮影を行う。

③取得した GPS 情報を地図上で表示する[iv]。

以上の作業を行うことで、島内の遺物・遺構を記録し、その情報を残しておくこととしたい。ただし、遺物・遺構の採寸については、時間の制約もあり、全てのものについて行うことはできていない。また、GPS による位置情報は、当日の天候や機器の違いによって誤差が生じている。

また、現在筆者たちは史跡保存の効率的な方法を提案することを目指し、実験的に様々な機器を用いて調査を行っている。本稿で扱う遺構についても、3D スキャナーを用いて計測を試み、いくつかの知見を得ることができている。ただし、トンネル以外の遺構については十分なデータを採取するには至っていない[v]。こうしたデータの公開については、別稿で行うこととしたい。

2. 蛇島の概要について

現段階で筆者は蛇島ガソリン庫の図面として、1916（大正 5）年に作成された「加佐郡西大浦村大字佐波賀小字蛇嶋　海軍用地位置図」[vi]と、1947（昭和 22）年に作成されたと考えられる「舞鶴地方復員局補給部位置図」[vii]を確認している。図 2・3 はそれらをトレースしたものである。また、図 1 は調査で現存が確認できた遺構の場所を現在の地図に配置したものである。

まず図 2 から見てみよう。この地図は蛇島ガソリン庫建設に先だって作成されたものであり、設置以前の島の様子や計画段階での施設の概要がわかる。現在の島の様子と比べると、現在 4 本のトンネルが現存しているものの、図 2 の段階では「第三庫」までしか描かれていない。桟橋も現在より北に計画されていたこともわかる。どの時点で計画が変更されたのかという問題は、蛇島ガソリン庫の役割を考える上で非常に重要であるものの、今後の課題とせざるを得ない。

[1] 舞鶴工業高等専門学校　人文科学部門　准教授
[2] 舞鶴工業高等専門学校　建設システム工学科　准教授
[3] 舞鶴工業高等専門学校　非常勤講師

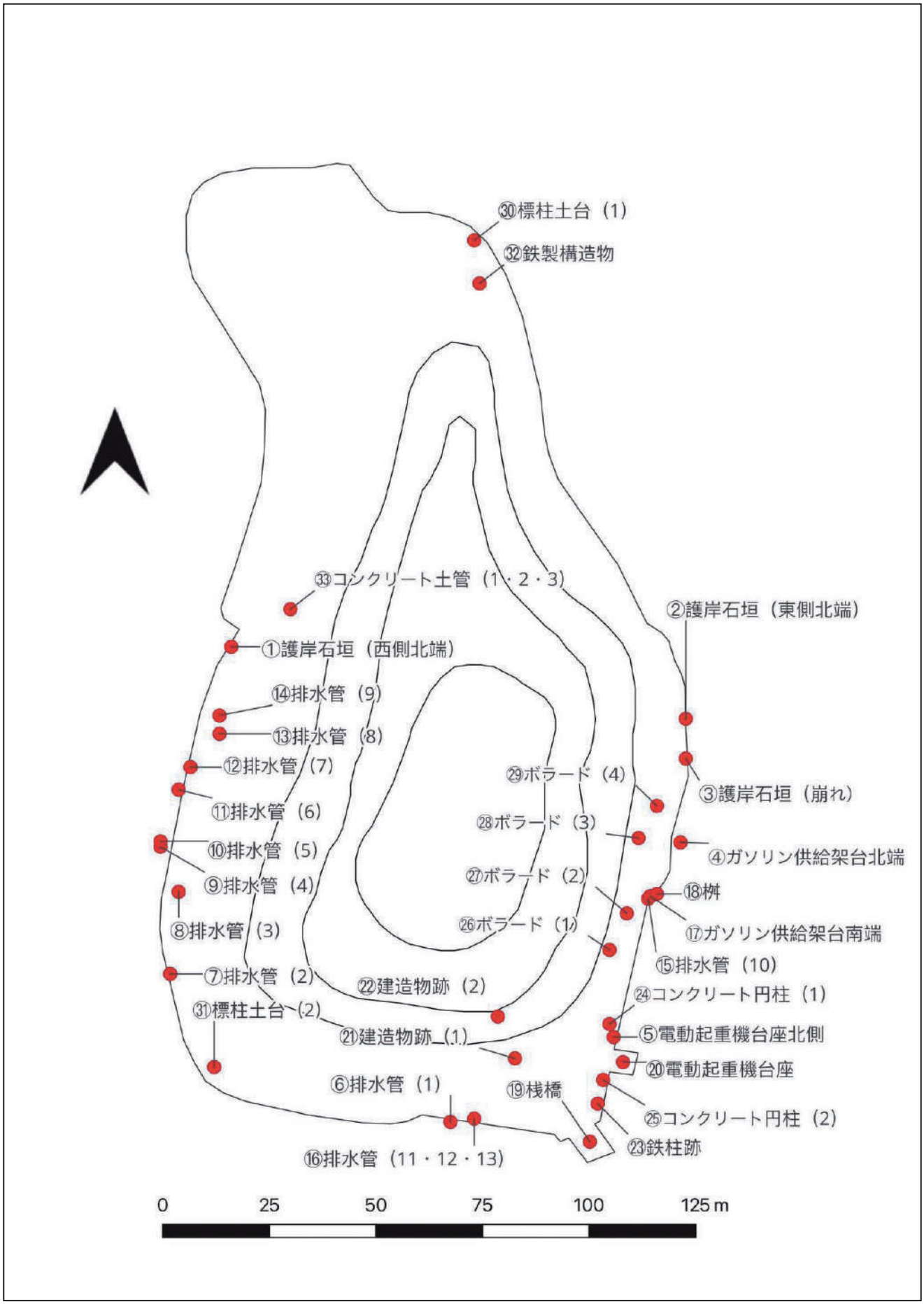


図１　蛇島地図（2022 年）

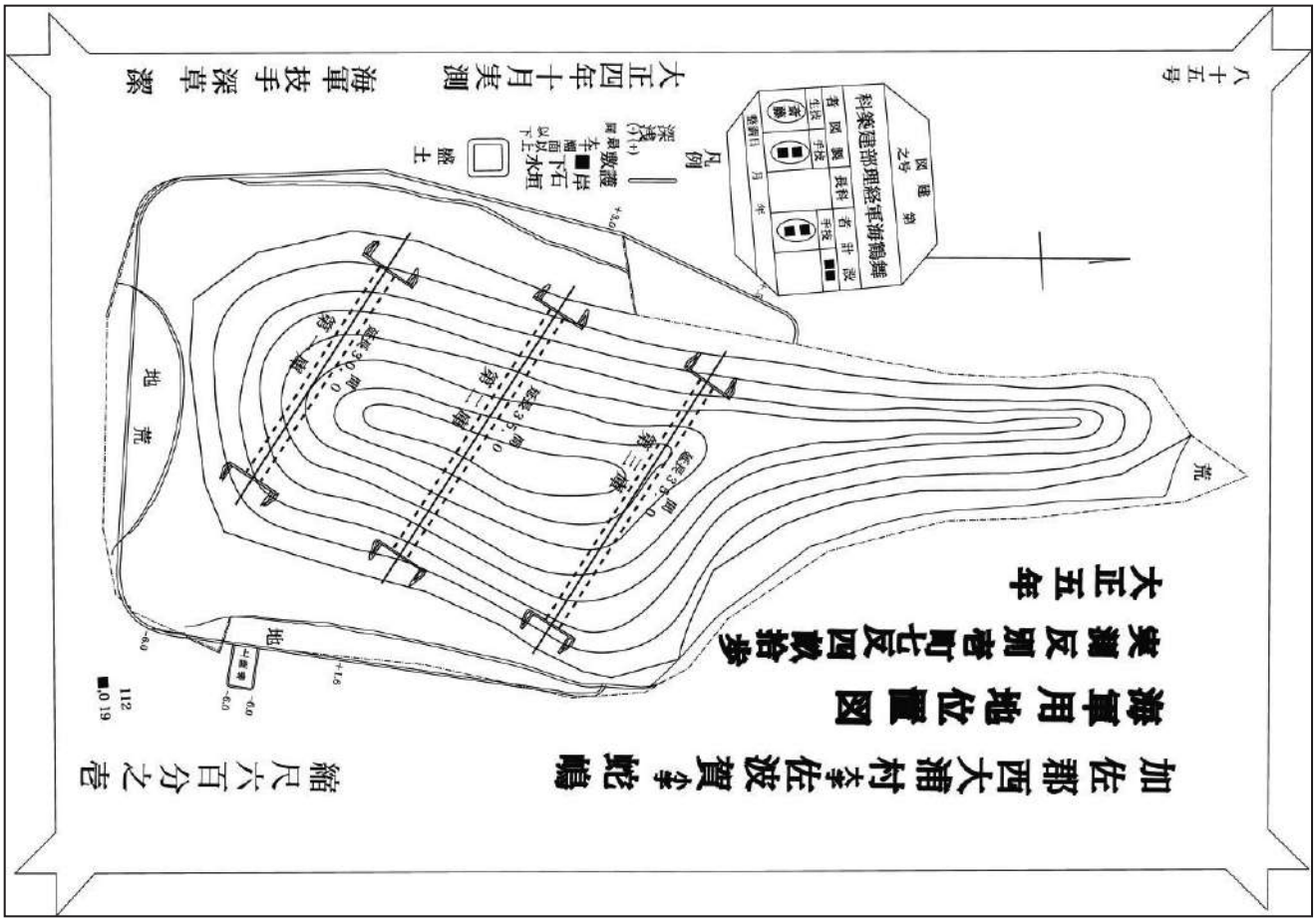


図２　海軍用地位置図（1916 年）

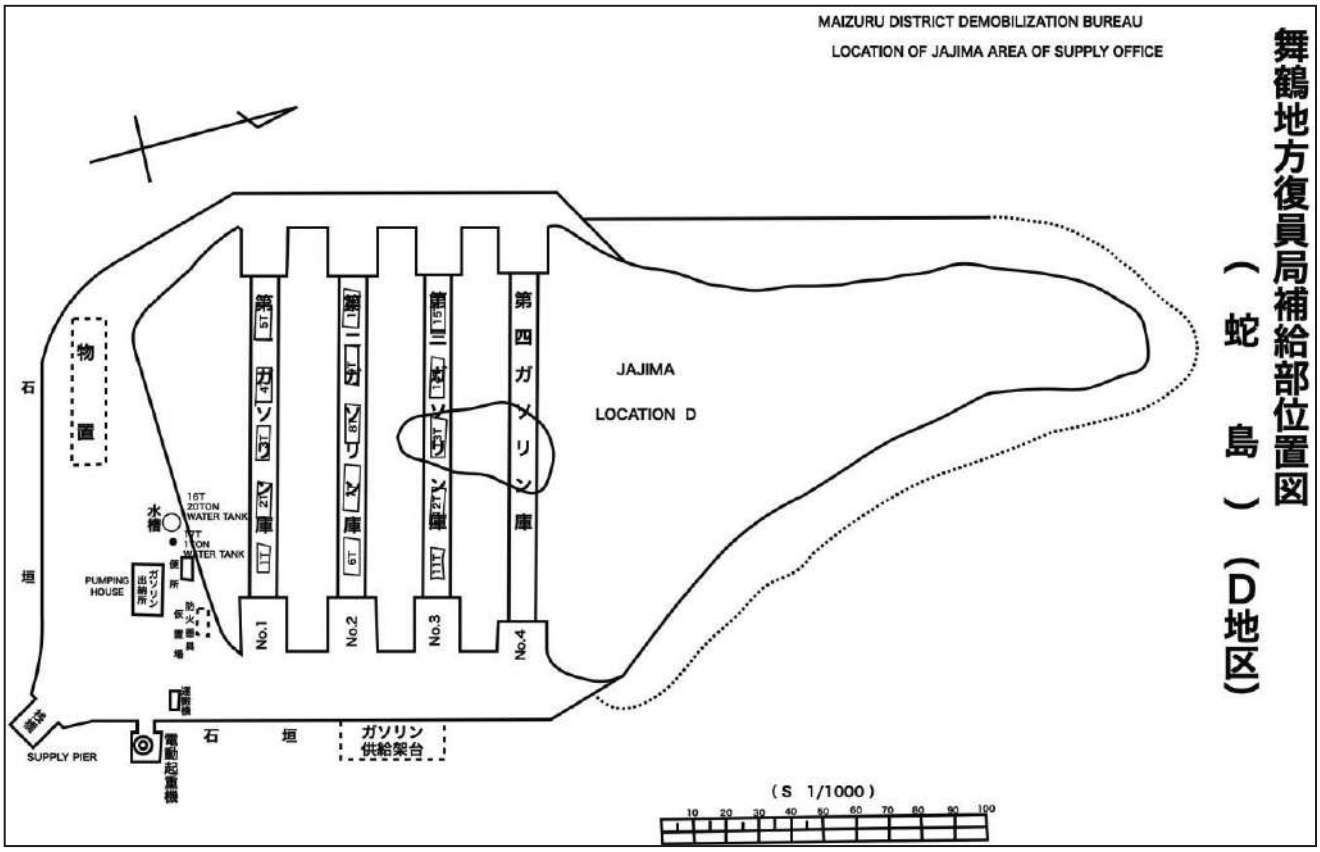


図３　舞鶴地方復員局補給部位置図（1947 年）

次に図 3 を見てみよう。戦後に作成された図 3 には、各トンネルのガソリンタンクの配置やその他の施設の配置も描かれている。これらトンネル内のタンク 15 個は全て同じもので、重量 9,800kg、容量 50kL、大きさは長さ約 9.1m、直径約 2.8m であった[viii]。また、島南部の平地に「ガソリン出納所」や「水槽」、「物置」などの施設があり、桟橋北側に「電動起重機」、ガソリン庫正面の海岸部に「ガソリン供給架台」があったことがわかる。図 2 よりも多くの情報を得ることができるものの、一方でこれらの施設がどの段階で設置されたのかという点については不明である。

以上のように、2 点の地図から設置前と戦後の島の状況をある程度知ることができる。しかし、設置から敗戦までの施設の様子やその変化を知ることは残念ながらできていない。蛇島ガソリン庫がどのように利用されていたのかという問題を考える上で、これらの施設がどの時点でどのように設置されたものなのかという点は非常に重要である。今後さらに文献調査を進めていかなければならない。

3.　遺物の位置と概要

では、現存が確認できた遺物・遺構について概観していこう。本稿で対象としている遺物・遺構は、海軍が設置したと考えられる施設に限定することとする。註 v)でも述べられているように、蛇島は戦後地元の人々が上陸していたことがわかっており、現在でもビール缶や一升瓶、漁網などが島内に散見される。また、トンネル内に置かれているはずのガソリンタンクの台座が桟橋に置かれているなど、本来設置された場所とは明らかに異なる場所に遺物が存在しているケースも見られる。こうした移動が明らかなもの、また移動した可能性の高いものについては、本稿では扱わないこととする。

ただし、用途は不明であるものの、その大きさなどから戦後に島外から持ち込まれたとは考えにくいものもいくつか存在している。これらについては、「その他」として挙げておくこととした。また、写真の番号は図 1 の番号と対応している。

3.1　護岸石垣

まずは護岸石垣について見てみよう[ix]。

護岸石垣は谷積で造られており、天端には笠石が積まれている。ただし、桟橋だけは布積みで造られている。また、桟橋以西は練り積みで造られているものの、東岸は空積みで造られている。そのためか、南・西岸の護岸石垣の残存状態が良好であるのに対し、東岸は崩れている箇所が多い。

石垣の端は、西側は①まで、東側は②までである。両地点ともに波による侵食によって石垣が崩れており、両地点以北に石垣の跡は見られない。また、南・西岸の石垣の残存状態は非常に良く、状態が良好に保たれているものの、東岸の石垣は崩れている箇所が多く見られる。例えば、③を見ると、下部が沈下したため全体的に石垣が崩れている。また、④のように、樹木の生長によって笠石が浮き上がっている箇所もある。⑤の桟橋北側にある電動起重機跡の北側も沈下しており、それにともなって石垣も崩れている。

石垣には計 12 点の排水管が設けられていることが確認できる。このうち、⑥は陶器製、⑦～⑭はコンクリート製、⑮・⑯は鉄製である。コンクリート製のものは島の西岸に使用されており、保存状態が良好のものもあれば、割れているものもある。一方、鉄製のものについては桟橋付近に使用されており、どれもかなり腐食が進んでいる。

東岸のガソリン供給架台があったとされる地点では、護岸石垣の様子が他とは異なる。④から⑰までのあいだの笠石は西側に寄せら

①護岸石垣（西側北端）

②護岸石垣（東側北端）

③護岸石垣（崩れ）

④ガソリン供給架台北端

⑤電動起重機台座北側

⑥排水管（1）

⑦排水管（2）

⑧排水管（3）

れ、その部分の天端はコンクリートで舗装されている。この場所の付近にボラードが 4 点（㉖～㉙）、コンクリート製の桝（⑱）が 1 点残っている。

⑲の桟橋は前述のように布積みで作られ、突端に向けて傾斜が付けられている。桟橋にはボラードが設けられ、現在 2 点残っているものの、根本から折れた跡が 1 箇所見られる。また、桟橋にはトンネル内部から持ち出したガソリンタンクの台とみられるコンクリート塊も置かれている。

3.2　桟橋周辺

桟橋から島の東側はコンクリートで舗装された跡が見られる。ただし、草木が生い茂っているため、どの範囲に舗装が施されているかは現段階では不明である。島内の施設の全体像を把握するために、表面の土砂・枯葉・植物の除去が望まれる。

桟橋の北東側にはコンクリート製の台座が設けられ、図 3 では「電動起重機」とされている。ただし、ここにあったとされる電動起重機は GHQ の賠償品リストに入れられておらず[x)]、海軍が設置したものかどうかは定かではない。また、台座部分を見るとすべてコンクリート造であり、周辺の護岸の様子とは大きく異なっている。

㉑には建物を取り壊した跡が見られる。土砂や草木によって全体像を明らかにすることはできていないものの、建物の基礎の一部を確認することができた。また、周辺にはコンクリート壁やれんが壁の瓦礫が散見され、当時この場所に建造物があったことがわかる。図 3 を見ると、この場所には「ガソリン出納所　PUMPING HOUSE」と記載があり、出土した基礎はこの建物の一部と考えられる。

この基礎部分が出土した北側㉒でも建物の基礎を確認することができた。図 3 には記載がなく、建物の規模も小さい。調査では遺構上の土砂・草木を取り除いたものの、遺構の全体像を露出させることはできていない。また、コンクリート製の床部分がある一方で、その北側には土砂が詰まった部分があり、この部分の土砂を除去するには至っていない。

桟橋の付け根にあたる㉓には鉄柱跡が残存している。コンクリート製の土台部分に鉄管が埋め込まれており、その一部が残存している。何かしらの標識が建てられていたものと考えられる。

また、この付近にコンクリート製の円柱が 2 点（㉔・㉕）残存している。これは高さ約 330mm、直径約 180mm の円筒形のコンクリートに薄い鉄板が撒かれたものである。上

⑨排水管（4）

⑩排水管（5）

⑪排水管（6）

⑫排水管（7）

⑬排水管（8）

⑭排水管（9）

⑮排水管（10）

⑯排水管（11・12・13）

⑰ガソリン供給架台南端

⑱桝

⑲桟橋

⑳電動起重機台座

㉑建造物跡（1）

㉒建造物跡（2）

部は丸みを帯びていて、破損した形跡は見られない。

3.3　東側

前述のように、図３の「ガソリン供給架台」と描かれている場所付近に、コンクリート製の桝が残されている。周辺および内部は草木に覆われているため全体像を明らかにすることができず、おおよその大きさは幅約3.0m、奥行き約 1.8m 深さは 0.8m 以上である。この桝の付近にボラード（㉖～㉙）が残っており、現段階で４点確認できている。このうち㉖は上部が破損しており、根本しか残っていない。ガソリン供給架台との位置からこれに関係するものであろうと考えられる。

㉓鉄柱跡

㉔コンクリート円柱（1）

㉕コンクリート円柱（2）

㉖ボラード（1）

㉗ボラード（2）

島の北端である㉚には幅・奥行き約 600mm、高さ約500mm のコンクリート塊が残されている。上部から見ると、中央には縦横約 250mm、深さ 450mm 以上の穴が設けられている。形状から考えると、これは地中に設置された標柱の土台が、波による侵食のために露出しこの場所に残存したものと考えられる。後述するように、島の南西部にも同様のコンクリート製の構造物が残されていることから、この場所に海軍の用地であることを示す標柱が立てられていたものと推測することができる。

3.4　西側

㉛には前述のように、標柱が立てられていたと想定されるコンクリート製の土台が見られる。大きさは先述の㉚とほぼ同程度であることから、同様の目的で設置されたものと言えるだろう。ただし、こちらは護岸石垣の内側にあったため、波の浸食を受けず、当時のまま残存したと考えられる。

㉘ボラード（3）

㉙ボラード（4）

3.5　その他

㉜には鉄製の構造物が残されている。全体の大きさは幅約 3m、奥行き約 1.2m、高さ約 0.7m と非常に大きなものである。上部に 0.7m×0.5m の楕円形の穴があり、ハッチの跡とみられる部品が残されている。なかには落ち葉や酒瓶などが大量に入っており、内部をうかがうことはできない。場所はガソリン庫の施設が見られない場所であり、戦後に島外から持ち込まれたものとも考えにくい。用途も来歴も不明とせざるをえない。

㉝にはコンクリート製の土管が 3 点残っている。直径が約 1m の大型のものであるものの、島内に同様の遺物を確認することができず、用途は不明である。なぜこの場所にあるかも含めて調査が必要であろう。

㉚標柱土台（1）

㉛標柱土台（2）

㉜鉄製構造物

㉝コンクリート土管

4.　おわりに

本稿で見てきたように、蛇島には多くの遺物が良好な状態で残されている。これはこの島が戦後ほとんど利用されなかったという条件に恵まれたためとも言えるだろう。

ただし、残された課題も非常に多い。まず、文献史料の収集がいまだ十分とは言えないことが挙げられる。本稿で様々な遺物を見てきたものの、それらがどの段階で、どのような目的で設置されたのかという点はほとんど解明できていない。例えば、東西で護岸石垣の積み方が異なるように、この蛇島ガソリン庫が何回かにわたる改修を経て成立したものである可能性もある。また、当初第 3 トンネルまでの計画だったものが第 4 トンネルまで掘鑿されているなど、その規模は拡大している。1919（大正 8）年 12 月 9 日に舞鶴鎮守府参謀長田口久盛から海軍省軍務局長井出謙治宛に出された「「ガソリン」格納庫設計ニ関スル件」では、蛇島ガソリン庫は「今秋御来府ノ際御要望有之候本府将来計画ノ一部」であると表現されている[xi]。この舞鶴鎮守府の「将来計画」がどのようなものであったのかも含め、今後解明していかなければならない。

二つ目は、調査にかけられる時間の問題である。蛇島はその位置や管理上、調査を行うには各部署との調整が必要であり、筆者が実地で調査ができたのは 4 年間で 4 日間しかない。このように、調査時間が限られているにもかかわらず、毎年遺構の確認のため除草から始めなければならないなど、効率的であるとは必ずしも言えない。また、毎年器材が少しずつ更新され、記録できる要素が充実している反面、集められたデータが必ずしも統一的なものではないという問題もある。本稿でも、2019 年と 2022 年では機種を変更しているため、GPS データの取得において精度が異なっている。遺物の記録も写真だけではなく、2022 年の調査では 3D スキャナーを利用することが可能となった。こうしたデータの質を均質にするためにも、時間をかけた集中的な調査が必要であると言えるだろう。

三つ目は、調査にかけられる労力の問題である。これまでの調査のなかで、本稿で挙げた遺物・遺構を確認することができた。しかし、いまだ手付かずのものもある。例えば、桟橋から各トンネルへとつながるコンクリート鋪道である。蛇島ガソリン庫の最大の問題は、この施設がどのように使われていたのかが不明瞭な点である。それゆえに、このコンクリート鋪道がどの範囲で設置されているのかを解明することは、施設の利用状況を知る重要な手がかりとなり、蛇島ガソリン庫、そして舞鶴鎮守府を理解する上でも大きな役割を果たす。しかし、現段階で集めることができている情報は本稿で挙げた程度のものであり、コンクリート鋪道の範囲を確定するには到底及ばない。

全体として、蛇島についてはきちんと研究成果がまとめられているわけではなく、史跡の整備という点では本稿執筆の時点でいまだ不十分な状態である。しかし、この蛇島の調査のスタートが「日本遺産」への追加登録のためというところにあったこともあり、現在までの市の取り組みを見ると、学問的な調査よりも観光資源の開発に重点が置かれているように見受けられる。本来であれば、調査結果に基づいて観光資源開発が行われるのが望ましいものの、その順序は必ずしも守られているとは言えない。

例えば、蛇島全体の調査が終わっていないということは、何がどこにあるのかという点を把握できていないということであり、本稿では明らかにできていない当時の遺物が残存している可能性もあるのである。そうした状態の場所に不特定多数の人が入れば、彼らが遺物を持ち去ることも想定され、さらに現段階ではそうした事態に気付くことすらできないのである。あまり拙速な観光資源開発は、文化財保護の観点から見て非常に危険である。また、以前海上自衛隊の方から、蛇島に上陸できるようにするのであれば、不発弾の検査をすべきとのアドバイスをいただき、その点は有識者の発言として市にも伝えてある[xii]。今後の調査と文化財保護の進展に期待したい。

謝辞：本調査の一部は JSPS 科研費 22K18490 の助成を受けて実施した。調査のうち、蛇島ガソリン庫跡の上陸調査は財務省近畿財務局舞鶴出張所の許可を得て実施した。ここに記して謝意を表する。

註

ⅰ）防衛省防衛研究所所蔵『公文備考　巻九十六　土木二十二　水陸設備費工事訓令十一　舞鶴二止』（1920 年）。

ⅱ）1923（大正 12）年に舞鶴鎮守府は舞鶴要港部に、舞鶴海軍工廠は海軍工作部に格下げとなり、1936（昭和 11）年工作部は再び海軍工廠に、要港部は 1939 年に鎮守府へと昇格した。本稿では煩瑣となるのを避けるため、特にことわらないかぎりは舞鶴鎮守府・舞鶴海軍工廠で統一することとする。

ⅲ）2022 年 11 月 24 日・25 日の両日、「日本遺産構成文化財「蛇島ガソリン庫」特別公開」として市民向けに見学会が催された。

ⅳ）本稿では、国土地理院の提供する基盤地図情報を利用し、QGIS（Ver.3.28.0 - Firenze）を用いて加工した。

ⅴ）トンネルについては毛利聡・牧野雅司・今村友里子・眞鍋広紀・堀井樹・松崎健太・長嶺睦・谷口未来・長尾隆希「蛇島ガソリン庫跡の調査」（『舞鶴工業高等専門学校紀要』58、2023 年）を参照されたい。

ⅵ）前掲『公文備考　巻九十六』。

ⅶ）米国国立公文書館所蔵『GHQ/SCAP Records, Office of Civil Property Custodian』のうち「Maizuru Naval Fuel Depot (22-60)」。本稿では国立国会図書館憲政資料室に日本占領関係資料として所蔵されているマイクロフィッシュ（請求記号：CPC 16211）を利用した。

ⅷ）前掲「Maizuru Naval Fuel Depot (22-60)」。
ⅸ）護岸石垣の積み方や各部の名称については、国土交通省河川局河川環境課『河川の景観形成に資する　石積み構造物の整備に関する資料』（2006 年）を参照した。
ⅹ）GHQ のリストに入っているのは、次の通り。まず、移動可能なものとして、貯蔵タンク 50kL が 15 セット、20kL が 1 セット、1kL が 1 セット、3.5 インチのライジングスピンドルゲートバルブが 3 点、2 インチのものが 2 点、3.5 インチのグローブバルブが 36 点、2 インチのものが 34 点、3.5 インチのガス管が 390m、2 インチのものが 170m、消防ポンプが 1 セット、ガソリンエンジンが 1 セット、スイッチが 1 点、移動不可のものとしてタンクの土台 16 セット、トンネル 63m が 4 本、補助装置の基礎 2 セットが挙げられている（前掲「Maizuru Naval Fuel Depot (22-60)」のうち「Summery Sheet」）。
ⅺ）前掲『公文備考　巻九十六』。
ⅻ）舞鶴市によるニュースリリース「「舞鶴鎮守府島嶼施設」日本遺産構成文化財への追加認定について」のなかに、蛇島はこれまで「学術的な調査や周辺の不発弾の探査，文化財としての保護はされて」こなかったことが、有識者（本学教員毛利聡・尾上亮介）のコメントとして明記されている（https://www.city.maizuru.kyoto.jp/shicho/cmsfiles/contents/0000006/6362/20200626-1.pdf、最終閲覧日 2022 年 12 月 9 日）。

(2022.12.9 受付)

本紙に掲載された論文・報文は，舞鶴工業高等専門学校紀要編集委員会において校閲し，掲載が認められたものである。

令和４年度舞鶴工業高等専門学校紀要編集委員会
委員長　小島 広孝
委　員　篠原 正浩，室巻 孝郎，馬越 春樹

編集後記

紀要第 58 号がここに刊行されました。本紀要には，3 編の論文と 5 編の報文が掲載されています。これらの成果が有効に活用されることを望みます。

今年も引き続きコロナ禍で例年以上に校務等で忙殺される 1 年となりました。そんな中，真摯に研究活動に取り組み，今年度はとりわけ多くの論文，報文を投稿いただきました。著者各位に厚く御礼申し上げますとともに，紀要第 58 号の発刊にご協力いただいた皆様に深く感謝いたします。

2023 年 3 月

紀要編集委員会
委員長　小島 広孝

舞鶴工業高等専門学校紀要
第58号
印刷　令和５年３月３1日
発行　令和５年３月３1日
編集兼発行　舞鶴工業高等専門学校
〒625-8511　京都府舞鶴市字白屋234番地
電話　0773-62-5600(代)
E-mail gakujou@maizuru-ct.ac.jp
印刷　阿部印刷工業株式会社