

---

長野県南信工科短期大学校

---

# 紀 要

---

第 7 号

---

2023



長野県南信工科短期大学校

NAGANO PREFECTURE NANSHIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY



# 長野県南信工科短期大学校紀要

---

第7号 2023

---

## 目次

### 巻頭言

紀要第7号の発刊	武田三男	1
----------	------	---

### 論文・解説

H字型強誘電体導波管における EPSILON NEAR ZERO トンネリング現象の数値解析	武田三男, 中田陽介, 千葉 永, 宮丸文章	2
ハイブリットロケット用テレメトリユニットの開発	松原洋一	10
金型表面の微細テクスチャによる射出成形における樹脂流れの制御	小林義和	16
一方向凝固による $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ の晶出	工藤賢一, 垣内健児	21

### 技術資料

2022年度総合課題の取り組み	柳沢裕二	25
-----------------	------	----

### 事例紹介

畳み込みニューラルネットワーク超解像の端緒論文を読む	武久泰夫	30
編入に向けた試験問題の分析	南澤壮和	35
南箕輪小学校6年1組と機械システム学科2年生との共同実習について		
－南箕輪村紹介ボードゲーム製作－	中島一雄	42
南箕輪小学校4年生のトレジャータイムへの協力について		
－ものづくり教室の実施－	中島一雄	45
科学ふれあいフェア2022「デザインコンクール」の実施について	中島一雄	48
伊那弥生ヶ丘高校の「総合的な探究の時間」について		
－ものづくりと環境－	鮎沢俊輔	50

研究・教育・社会活動の概要		52
---------------	--	----

編集後記		62
------	--	----

# JOURNAL OF THE NAGANO PREFECTURE NANSHIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

---

No.7 2023

---

## CONTENTS

<b>Preface</b> .....	Mitsuo W. TAKEDA	1
<b>Paper • Review</b>		
Numerical Analysis of Epsilon-Near-Zero Tunnelling Phenomena in H-Shaped Waveguide with Ferroelectrics ..... Mitsuo W. TAKEDA, Yosuke NAKATA, Hisashi CHIBA, Fumiaki MIYAMARU		2
Development of Telemetry Unit for Hybrid Rocket .....	Yoichi MATSUBARA	10
Control of Resin Flow for Injection Molding by Micro-Texture on Mold Surface ..... Yoshikazu KOBAYASHI		16
Crystallization of $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ by Directional Solidification ..... Kenichi KUDO, Kenji KAKIUCHI		21
<b>Technical Report</b>		
FY202 2 Integrated Projects .....	Yuji YANAGISAWA	25
<b>Case Study</b>		
Read the Introductory Paper on SRCNN .....	Yasuo TAKEHISA	30
Analysis of Test Questions for Transfer Admission .....	Takekazu MINAMISAWA	35
Joint Training with 6th Grade Class 1 of Minamiminowa Elementary School and 2nd Grade Students of Department of Machinery Systems Engineering — Minamiminowa Village Introduction Board Game Production — .... Kazuo NAKAJIMA		42
Cooperation with Minamiminowa Elementary School 4th Grade “Treasure Time” — Implementation of Manufacturing Classes — .....	Kazuo NAKAJIMA	45
Implementation of Science Fair 2022 “Design Competition” .....	Kazuo NAKAJIMA	48
“Comprehensive Inquiry Class” at Ina Yayoigaoka High School — Manufacturing and Environment — .....	Shunsuke AYUZAWA	50
<b>Research, Education, and Social Activities</b> .....		52
<b>Editor's Note</b> .....		62

巻頭言

## 紀要第7号の発刊

長野県南信工科短期大学校・校長 武田三男

長野県南信工科短期大学校は、地域の課題に対して本校で培った「ものづくりのスペシャリスト」としての専門知識と技能を生かして周囲の人とも協同して解決策を積極的に見いだす新しい「地域中核人材」の育成を目指しています。また、本校は教育活動に加えて科学技術の研究を通して地域貢献を推し進めてゆきます。

本紀要の目的は、本校の教職員が行った研究・教育・社会活動等の取組とその成果を公表し、本校の活動をご理解いただくことです。昨年度（令和4年度 [2022年度]）1年間の本校の活動をまとめて紹介いたします。主な内容は以下の3項目から構成されています。

「論文（原著論文および解説（レビュー）」 ここでは、オリジナルな研究成果の発表である原著論文とこれまでの研究成果をまとめて編集紹介する解説（レビュー）を掲載します。原著論文として、「H字型強誘電体導波管における EPSILON NEAR ZERO トンネリング現象の数値解析」、「ハイブリットロケット用テレメトリユニットの開発」および「金型表面の微細テクスチャによる射出成形における樹脂流れの制御」を掲載しました。解説として「一方向凝固による  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  の晶出」を掲載しました。

「技術資料」 ここでは、本校のカリキュラムの中から特色ある「総合課題」および「卒業研究」の中からいくつかを選んで紹介します。総合課題の中からは、「2022年度総合課題の取組み」を掲載しました。

「事例紹介」 ここでは、本校の教育・研究活動を紹介します。研究活動として、「畳み込みニューラルネットワーク超解像の端緒論文を読む」および「編入に向けた試験問題の分析」を紹介しました。また、近郊の高等学校や小学校における教育活動では「地域との共同実習-南箕輪小6年1組の児童と機械システム学科2年生との共同実習について-南箕輪村紹介ボードゲーム制作-」、「南箕輪小学校4年生のトレジャータイムへの協力について-ものづくり教室の実施-」、「科学ふれあいフェア 2022「デザインコンクール」の実施について」および「弥生ヶ丘高校の「総合的な探究の時間」について-ものづくりと環境-」を掲載しました。

「研究・教育・社会活動の概要」 ここでは、この一年間に教職員と学生が取り組んだ研究・教育・社会活動を一覧表にまとめました。

昨年度も新型コロナウイルス感染症禍で授業形態の変更や登校制限、式典等の自粛をせざるを得ない状況下でしたが、十分な教育・研究成果を上げるよう努力した成果です。本年度から編入学特区に採択され、長野県内の4年制大学への編入学が認められ、学生のキャリアパスに新しい選択肢が拓けました。このためには「教育の質保証」が不可欠となります。本校のカリキュラムの改編と大学との単位互換制度の整備を進めています。また、教員の教育活動充実のためにはその土台となる研究スキルの向上が求められます。本紀要が本校の活動内容を皆様にご理解いただく一助になればと願っています。忌憚のないご意見を賜れば幸甚です。With corona の状況下においても、本校においては地域の皆様のご期待に応えるべく、座学ではDX利用の授業形態を模索しつつ、実験実習重視のカリキュラムにより高い技術・技能の修得した地域中核人材である「ものづくりのスペシャリスト」の育成をめざしてゆきます。今後とも本校への変わりないご理解とご支援をお願い申し上げます。

【原著論文】

# H字型強誘電体導波管における EPSILON NEAR ZERO トンネリング現象の数值解析

武田三男\*・中田陽介\*\*・千葉 永\*\*\*・宮丸文章\*\*\*

## Numerical Analysis of Epsilon-Near-Zero Tunnelling Phenomena in H-Shaped Waveguide with Ferroelectrics

Mitsuo W. TAKEDA, Yosuke NAKATA, Hisashi CHIBA, and Fumiaki MIYAMARU

あらまし 電磁波は、誘電率が0に極めて近い ENZ (Epsilon Near Zero) 媒質で満たされた空間中ではその媒質を囲む導波管の形状が一定の条件を満足すれば、自由に透過することができる。実際にローレンツ型の誘電応答を示すスプリットリング共振器等で構成されるメタマテリアルによる実証実験が数多く報告されている。誘電体中のフォノンの誘電関数もローレンツ型で記述されるが、誘電体のフォノンを用いた ENZ トンネリング現象の報告は少ない。一般には誘電率のバックグラウンドが大きいことと Q 値も高くないことから広い ENZ 領域が出現しにくいからである。本研究では、低い振動数領域に固有振動数を持つ強誘電体の極性フォノンでは ENZ が実現できる可能性があることに着目する。メタマテリアル等の人工的物質ではない強誘電体 ( $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  および  $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$ ) を充填した導波管における電磁波伝播を、充填した領域の形状 (厚さや幅) をパラメータとした FDTD 及び有限要素法数值解析により議論する。

**Summary** Electromagnetic waves can propagate freely independently of the shape of waveguides in space filled with materials whose electric permittivity is near zero (ENZ). Many experimental and theoretical studies of ENZ tunneling have been reported for metamaterials using split-ring resonators. The dielectric function of phonon modes in the ferroelectrics is described in terms of the Lorenz function as well as split-ring resonators. ENZ in ferroelectrics is quite challenging to realize because the background of the dielectric constant is relatively large, and the Q value of the polar phonon mode is not high. We focus on the ferroelectrics with a low-frequency polar phonon mode whose dielectric constant is possible to be negative between TO and LO optical modes. We discuss the propagation properties of electromagnetic waves in the H-shaped waveguide fulfilled with ENZ ferroelectrics in terms of numerical analysis.

**Key Words** : Epsilon Near Zero, ENZ, H-shaped Waveguide, Ferroelectrics, Polar Phonon, Finite Element Method

### 1. まえがき

誘電率 $n$ と透磁率 $m$ が共に負であるような物質においても、屈折率は実数となり電磁波が伝播することが許される。このような物質では、電場 $E$ 、磁場 $H$ 及び波数ベクトル $k$ の方向が左手の関係を持つため、「左手

系物質」と呼ばれている。左手系物質の概念は古く1960年代にベセラゴ (V. Veselago) によって提唱された (Fig. 1) <sup>1~2)</sup>。その後の1999年にペンドリー (J. Pendry) が金属ロッド及びスプリットリング・アレイの組み合わせによって「負の屈折率」の実現を提案した<sup>3)</sup>。この応用としてパーフェクトレンズが実現可能なことを予測した<sup>4)</sup>。2000年にカルフォルニア大学サンディエゴのスミス (D. Smith) らのグループが実証したことがきっかけとなり、俄かに注目されてきた<sup>5)</sup>。

こうした現象は、フォトニック結晶のバンドギャップに起因する負の屈折率が示す特異な電磁波の伝播特性とも関連し広く研究されてきた。左手系物質、強い吸収を持つ媒質およびフォトニック結晶を含めて負の屈折率を示す人工的物質は「メタマテリアル」と呼ばれている。

受理 2023年 9月 19日  
採択 2023年 11月 22日

\*長野県南信工科短期大学校, 南箕輪村  
Nagano Prefecture Nanshin Institute of Technology,  
Minamiminowa, Nagano, 399-4511 Japan

\*\*大阪大学大学院, 基礎工学研究科, 豊中市  
Graduate School of Engineering Science, Osaka University,  
Toyonaka, 560-853 Japan

\*\*\*信州大学理学部, 松本市  
Department of Physics, Faculty of Science,  
Shinshu University, Matsumoto 390-8621, Japan

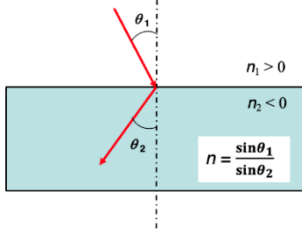


Fig. 1 Schematic drawing of negative refraction of light incident from air ( $n_1 > 0$ ) to left-handed material ( $n_2 < 0$ ), where  $n$  is refractive index. The refracted light has a reversed group velocity to the phase velocity in material with a negative refractive index.

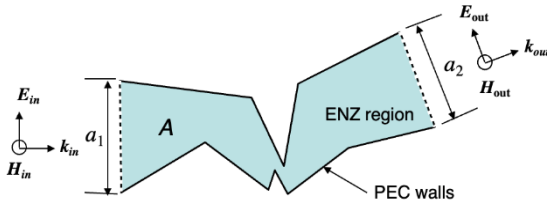


Fig. 2 Schematic drawing of electromagnetic waves which perfectly penetrate through a narrow crevice regardless of its wavelength and a shape of waveguide.

一方、誘電率のみが0に極めて近いEpsilon Near Zero (ENZ) 物質中の電磁波も極めて特異な伝播特性を示す<sup>7~10</sup>。Figure 2にENZトンネリングの典型的なセットアップを示す。完全導電体 (Perfect electric conductor: PEC) で周囲を囲まれた領域をENZ媒質で満たされた空間中では、ENZ物質が占める面積 $A$ が十分小さく、 $1 > k\mu A/2a$ が満たされれば、入射した電磁波は媒質を囲む導波管の形状や電磁波の波長に関係なく極めて狭い隙間も透過することが知られている。ここで、 $a_1 = a_2 = a$ 、 $k$ は入射電磁波の波数、 $\mu$ は媒質の比透磁率である<sup>6~10</sup>。

本研究では、誘電体の極性フォノンに起因する比誘電関数 (比複素誘電率) は下式に示すローレンツ型であり、条件によっては負の値を持ちうることに着目した。

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_{bg} + S \frac{\omega_0^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2} \quad (1)$$

$$\varepsilon''(\omega) = S \frac{\omega_0^2\gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2} \quad (2)$$

$$S = \frac{Ne^2}{m\varepsilon_0\omega_0^2} \quad (3)$$

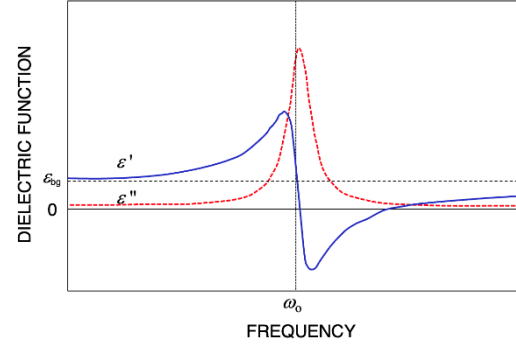


Fig. 3 Schematic drawing of the Lorentzian dielectric functions. There exists a frequency region where dielectric constant  $\varepsilon'$  becomes zero.

ここで、 $\varepsilon'(\omega)$  及び  $\varepsilon''(\omega)$  はそれぞれ比誘電率と比誘電損失を示す。 $m$ は原子の質量、 $e$ は電気素量、 $\varepsilon_{bg}$ は媒質のバックグラウンドの比誘電率、および $\omega_0$ は真空の誘電率である。 $\omega_0$ および $\gamma$ はフォノンの固有振動数と減衰定数であり、 $N$ は双極子密度である。また、 $S$ は振動子強度と呼ばれフォノンの誘電率への寄与の大きさの目安を表す。

Figure 3に誘電体のローレンツ型誘電関数の概念図を示す。比誘電損失 $\varepsilon''(\omega)$ は $\omega = \omega_0$ 近傍で極大を持ち、比誘電率 $\varepsilon'(\omega)$ は比誘電損失の $\omega$ による一階微分のかたちをしている。振動数が高くなるにつれて $\omega_0$ の手前で極大となり、 $\omega_0$ よりもやや高い領域で負となり、極小を形成してから再び正の値をとる。比誘電率が負になる前後でENZが実現できる可能性がある。

一方、半導体のキャリアに起因する比誘電関数は以下のドルーデ型であらわされる。

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_{bg} - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \gamma_p^2} \quad (4)$$

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{\omega_p^2\gamma_p}{\omega(\omega^2 + \gamma_p^2)} \quad (5)$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{N^*e^2}{\varepsilon_0m^*}} \quad (6)$$

ここで、 $\omega_p$ はプラズマ振動数であり、 $m^*$ 、 $\gamma_p$ と $N^*$ はそれぞれキャリアの有効質量と減衰定数および濃度である。ENZ領域を決めるのはプラズマ振動数 $\omega_p$ であり、(6)式のように半導体中のキャリア濃度 $N^*$ に依存する。Figure 4に示すように比誘電率 $\varepsilon'$ はプラズマ振動数 $\omega_p$ より少し低い振動数以下では負となるためENZ領域が実現できる可能性がある。

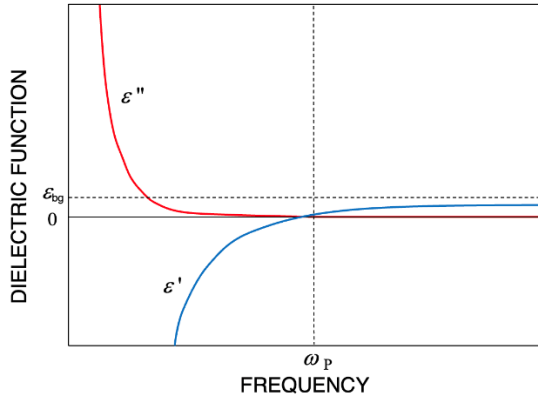


Fig. 4 Schematic drawing of Drude-type dielectric functions. Dielectric constant becomes negative below around plasma frequency  $\omega_p$ . ENZ region appears just below  $\omega_p$ .

## 2. H字導波管

実在する誘電体である強誘電体 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (BIT) 及び $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$  (LGO) により充填されたと仮定したH字型導波管中を伝播する電磁波の特性を有限要素法 (Finite Element Method) による数値計算により解析し, ENZトンネリング現象の可能性を検討する。導波路にはH字型導波管を選択した。これは, トンネリング現象実現の条件が明確に決定でき, 導波管の幅や長さを比較的容易に選択できるからである<sup>10,11)</sup>。Figure 5にH字型導波管の概念図を示す。金属 (完全導伝体) 製の矩形導波管の中央に置かれた2つの金属ブロック (灰色領域) の中心に狭いスリットが空いている。この金属ブロックの前方と後方, そしてそれをつなぐスリット部分が強誘電体で充填された構造となっている。強誘電体で満たされた空間 (青紫色領域) がちょうどアルファベットのH字の形をしていることからこの導波路はH字導波管と呼ばれている。

電磁波は金属製の矩形導波管中を進行し中央の強誘電体に侵入する。そして, 同じ強誘電体で充填された中心の狭い隙間をすり抜けて反対側の強誘電体に進行し, そこを通過して出口側の金属によって囲まれた矩形導波管へと進む。

強誘電体部分の誘電率に分散がなく一定の値を取ると仮定しこの導波管の透過率スペクトルの有限要素法による数値計算結果を Figure 6 に示す。H字導波管の高さ  $h=0.20$  mm とその他のサイズパラメーターは, それぞれ,  $L=0.50$  mm,  $d=0.02$  mm,  $w=0.20$  mm,  $g=0.02$  mm である。強誘電体が充填されていない真空の

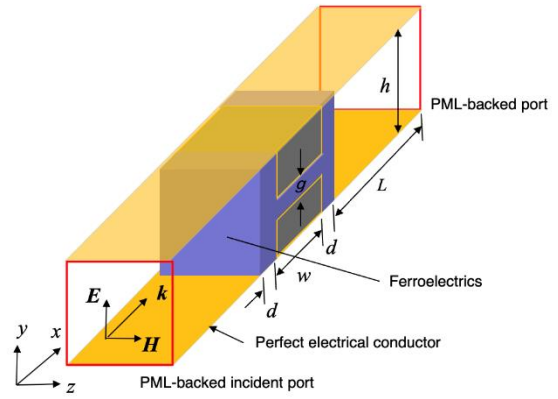


Fig. 5 Schematic drawing of H-shaped waveguide. Ferroelectrics is placed at the center area (indicated by blue H) of rectangular waveguide made of metal (perfect electrical conductor).

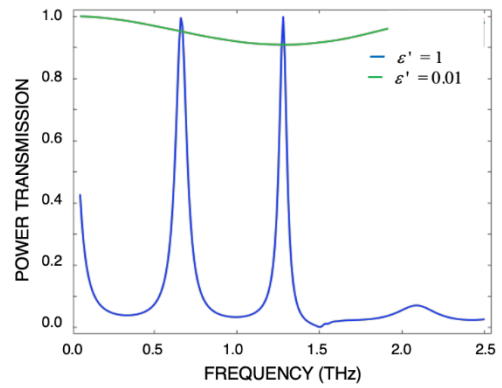


Fig. 6 Calculated transmission spectra by FEM for H-shaped waveguide filled with non-dispersive dielectrics. The blue line indicates that without dielectrics ( $\epsilon' = 1.0$ ), and the green line indicates that with ENZ material ( $\epsilon' = 0.01$ ).

場合 (比誘電率:  $\epsilon' = 1.0$ ) を青い実線で示し, 比誘電率が極めて0に近いENZである場合 ( $\epsilon' = 0.01$ ) を緑色の実線で示した。真空の場合は狭い隙間に励起された定在波のみが透過する通常の矩形導波管の伝播特性を示す。ENZで満たされた場合は入射電磁波の振動数 (波長) に関係なくほぼ完全に透過してゆくことが分かる。

Figure 7には導波管内に充填した媒質の誘電率が全振動数領域で0.01の場合の, FDTD数値解析により得られた振動数1 THzの電磁波のポインティングベクトルの方向と強度をそれぞれ矢印と色分けで示す。導波管の垂直 (y軸) 方向の幅が0.02 mmと狭いにも関わらず, 電磁波がH字導波管の中心の隙間に集まって, 減衰することなしに通り抜けてゆくことが確認できる。

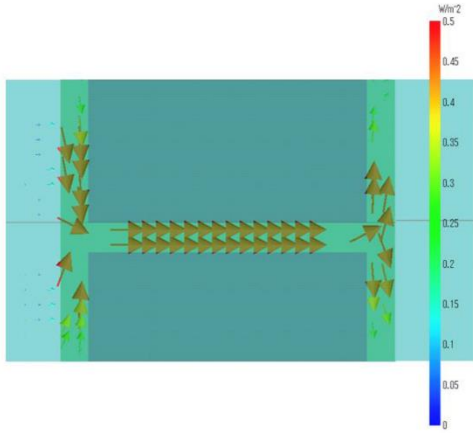


Fig. 7 Poynting vector of electromagnetic wave at 1.0 THz calculated by FDTD in H-shaped waveguide filled with dielectrics whose dielectric constant is  $\epsilon' = 0.01$ . The direction and intensity of the Poynting vector are denoted by arrow and colors, respectively.

### 3. 強誘電体

ENZ出現の可能性のある $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (BIT)<sup>12,13</sup>および $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$  (LGO)<sup>14~17</sup>の誘電特性に関する測定結果をまとめておく。これらの強誘電体では最も低い固有振動数を持つ極性フォノンがテラヘルツ領域に存在することから、試料サイズの点においても作製が比較的難しくない。特に、LGOでは、1.0 THz近傍にもQ値が高いハードモードが存在し、この領域のバックグラウンドの比誘電率も7と低く、このモードのLOフォノン振動数近傍でENZが出現している可能性が高い。また、この周波数領域ではテラヘルツ時間領域分光装置 (THz-TDS) を用いて試料の透過強度と参照信号との位相差スペクトルを測定することができる。その結果から、比誘電率と比誘電損失スペクトル (誘電関数) を直接決定する。

#### 3. 1 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

Figure 8 に THz-TDS 測定から算出した、BIT の誘電関数を示す<sup>13</sup>。黒丸が比誘電率であり、赤丸が比誘電損失を示す。ここで、比誘電率と比誘電損失それぞれにおいて  $20 \text{ cm}^{-1}$  以下で現れている鋭いピークの繰返し変調は平行平板試料の入射面と出射面による多重反射に起因するもので実際の誘電関数は極大値を結んだ包絡線となる。振動数  $30 \text{ cm}^{-1}$  ( $0.90 \text{ THz}$ ) 付近に極性フォノンに起因する強い分散が現れている。この領域では、比誘電損失が大きいため透過強度が極めて弱く誘電関数を算出できていない。

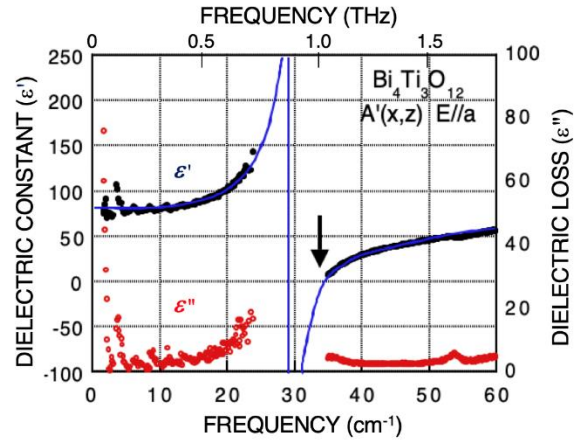


Fig. 8 Dielectric functions of ferroelectrics BIT estimated by THz-TDS measurement. In the vicinity of the frequency indicated by the arrow ENZ must be realized. A broad Lorentzian dispersion is confirmed at around  $30 \text{ cm}^{-1}$  ( $0.90 \text{ THz}$ ).

そこで、見やすくするために青い実線でローレンツ型共鳴を仮定しフィッティングした比誘電率の分散曲線を示す。矢印で示した LO フォノン振動数近傍で比誘電率がゼロとなると推察される。ENZ トンネリング現象の数値計算には、このローレンツ型分散曲線の共鳴振動のパラメータを用いる。

#### 3. 2 $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$

Figure 9 に THz-TDS 測定から算出した LGO の誘電関数を示す<sup>17</sup>。青い丸印が比誘電率 ( $\epsilon'$ ) で、赤い丸印が比誘電損失 ( $\epsilon''$ ) を示す。こちらのスペクトルでも試料内部の多重反射に起因する繰返し変調が見られる。振動数  $10 \text{ cm}^{-1}$  ( $0.30 \text{ THz}$ ) より低い振動数領域にソフトフォノンに起因する強い分散の兆候が現れている。この領域では、比誘電損失が大きいいため正確な誘電関数を算出できていない。しかしながら、 $50 \text{ cm}^{-1}$  ( $1.50 \text{ THz}$ ) 近傍に典型的なローレンツ型の分散が確認できる。このハードモードは Q 値が高く、しかも、この領域のバックグラウンドは比誘電率は 7 と低いため、このモードの LO フォノン振動数近傍で ENZ が出現している可能性が高い。

本研究では、Figure 8 および Figure 9 に示した強誘電体 BIT と LGO の複素誘電関数の THz-TDS による測定結果をローレンツ型の分散式にフィッティングして得られたパラメータを用いて、H 字型導波路の透過率スペクトルの数値計算を実施した<sup>18</sup>。

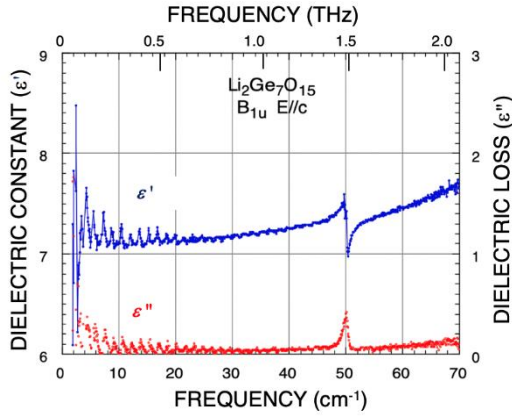


Fig. 9 Dielectric functions of ferroelectrics LGO estimated by THz-TDS measurement. A sharp Lorentzian dispersion is confirmed at  $50 \text{ cm}^{-1}$  ( $1.50 \text{ THz}$ ).

#### 4. 数値解析結果と考察

次に、H字導波管に強誘電体を充填した場合に対して、有限要素法により得られた数値計算結果を考察する。Figure 10に数値計算に用いたH字導波管の概念図を示す。Figure 5で説明したように完全電気伝導体 (Perfect electrical conductor: PEC) で覆われた矩形導波管の中央に2つの金属ブロック (黒色) が幅  $g$  の隙間を隔てておかれている。それらを囲むようにH字領域に強誘電体 (青紫色) が充填してある。ここで、H字の幅と高さはそれぞれ  $w + 2d$  と  $h$ 、縦棒と横棒の幅 (高さ) はそれぞれ  $d$  および  $g$  である。左端の入射ポートおよび右端の出射ポートはそれぞれの後方に反射電磁波の影響を防ぐための吸収層 (Perfectly matched layer: PML) が置かれている。それらの長さは十分な吸収効果を保証するため矩形導波管の長さ  $L$  の半分の長さ ( $L/2$ ) とした。入射電磁波は偏光 ( $E // y$ ) の  $x$  軸方向に進む平面波 ( $k // x$ ) である。

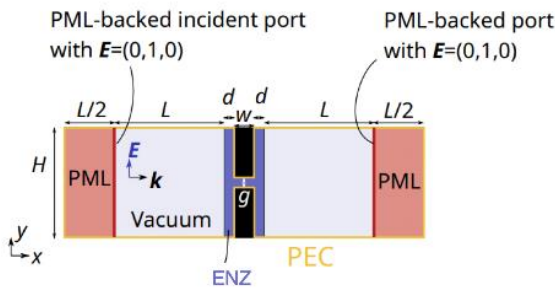


Fig. 10 Schematic drawing of H-shaped waveguide used for numerical calculation. PMLs are placed to prevent disturbance of reflected waves at both incident and exit sides.

#### 4. 1 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

最初に、実在の強誘電体 BIT の測定から算定したローレンツ型分散を仮定して計算した透過強度スペクトルの結果を Fig.11(b)に示す。それに用いたローレンツ型誘電関数が Fig.11(a)である。ここで、パラメータは、 $L = 5 \text{ mm}$ ,  $h = 4.5 \text{ mm}$ ,  $d = 1.0 \text{ mm}$ ,  $w = 3.0 \text{ mm}$ , 振動子強度  $S = 25$ , バックグラウンドの比誘電率  $\epsilon'_{\text{bg}} = 50$ , バックグラウンドの比誘電損失  $\epsilon''_{\text{bg}} = 2$ , 共鳴フォノンモード振動数  $\omega_0 = 27.5 \text{ cm}^{-1}$ , および共鳴フォノンモード減衰定数  $\gamma = 1.2 \text{ cm}^{-1}$  である。スリット (H字の横棒) の幅 (高さ)  $g$  が  $0.02 \text{ mm}$  と  $0.5 \text{ mm}$  の導波管の結果をそれぞれ緑線と青線と示す。 $g$  が小さいほど透過強度は全振動数に渡って増加するが、 $1.0 \text{ THz}$  近傍の ENZ 領域でも  $-500 \text{ dB}$  とほとんど透過しないことが分かる。これは、誘電損失が大きく電磁波が BIT に吸収されてしまうことが原因と考えられる。

スリット幅  $g$  が  $0.5 \text{ mm}$  の場合の ENZ 領域の電磁波 ( $1.01 \text{ THz}$ ) の磁場振幅の  $z$  成分 ( $H_z$ ) の空間分布を Figure 12 に示す。この図には導波管の左半分の入射側のみを示した。BIT の存在しない真空領域では綺麗な平面波が立っていることが確認できるが、BIT に入射

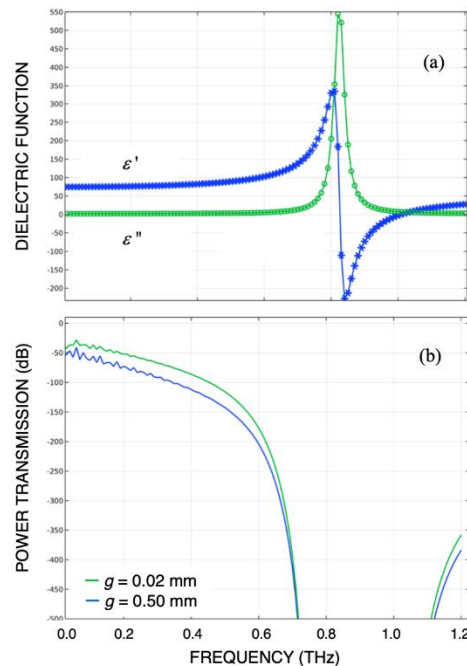


Fig. 11 (a) Lorentzian dispersion functions due to polar phonon mode whose parameters are set coincident to those of ferroelectrics BIT. (b) Calculated transmission spectra of electromagnetic wave in H-shaped waveguide filled with ferroelectrics BIT. The green line indicates that in the case of  $g = 0.02 \text{ mm}$ , and the blue line indicates that of  $g = 0.5 \text{ mm}$ .

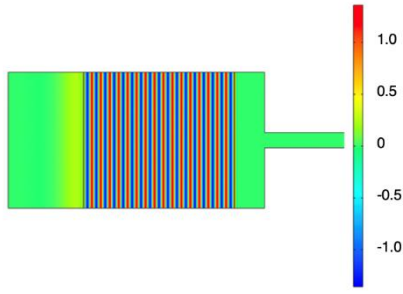


Fig. 12 Spatial distribution of  $z$ -component of magnetic field ( $H_z$ ) of electromagnetic wave at 1.0 THz in left hand area of H-shaped waveguide of  $g = 0.5$  mm. Intensity of  $H_z$  significantly attenuates in the ferroelectrics.

した直後の H 字の縦棒領域の表面においてほぼ磁場振幅は 0 となり、電磁波は H 字の横棒にさえ到達できていないことが分かる。

#### 4. 2 $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$

次に、強誘電体 LGO の測定から算定した極性フォノンモードの誘電関数にローレンツ型分散を仮定して計算した透過強度スペクトルの結果と、それに用いたローレンツ型誘電関数 ( $S = 0.03$ ,  $\epsilon'_{\text{bg}} = 7.2$ ,  $\epsilon''_{\text{bg}} = 0.05$ ,  $\omega_0 = 49.5 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\gamma = 0.08 \text{ cm}^{-1}$ ) を示す (Fig. 13 と Fig. 14)<sup>18)</sup>。用いた導波管の形状パラメータは、Figure 13 が  $L = 5$  mm,  $h = 4.50$  mm,  $d = 1.00$  mm,  $w = 3.00$  mm である。横棒の高さ  $g$  については、 $g = 0.50$  mm (青線) および  $0.02$  mm (緑線) を選び高さの影響を確認した。また、Figure 14 に用いた形状パラメータは、 $L = 0.50$  mm,  $h = 0.20$  mm,  $d = g = 0.02$  mm,  $w = 0.20$  mm である。

Figure 13 から LGO が充填されている H 字の横棒の長さ  $w$  とその前方の縦棒の幅  $d$  がミリメートル以上の場合では、横軸の厚さ  $g$  がサブミリメートルの場合でも、BIT の場合と同様に振動数が ENZ 領域 (1.495~1.500 THz) にあってもほとんど透過しない (-1000 dB 以下) ことが分かる。

一方、Figure 14 に示すように H 字の横棒の長さ  $w$  とその前方の縦棒の幅  $d$  がサブミリメートルかそれ以下の ( $d = 0.02$  mm) 場合では、横軸の厚さ  $g$  がサブミリメートル以下の  $0.02$  mm ときわめて狭い場合ではあるが、少しだけ透過の兆候が表れている (-40 dB)。

誘電率が ENZ 領域にもかかわらず電磁波が伝播しない原因は強誘電体中を透過する行程での誘電損失による減衰が大きいためと考えられる。誘電損失の影響を確認するために、縦軸の幅  $d$  および横軸方向の長さ  $w$  はそのまま変えず ( $w = 0.02$  mm,  $d = 0.04$  mm) に、強

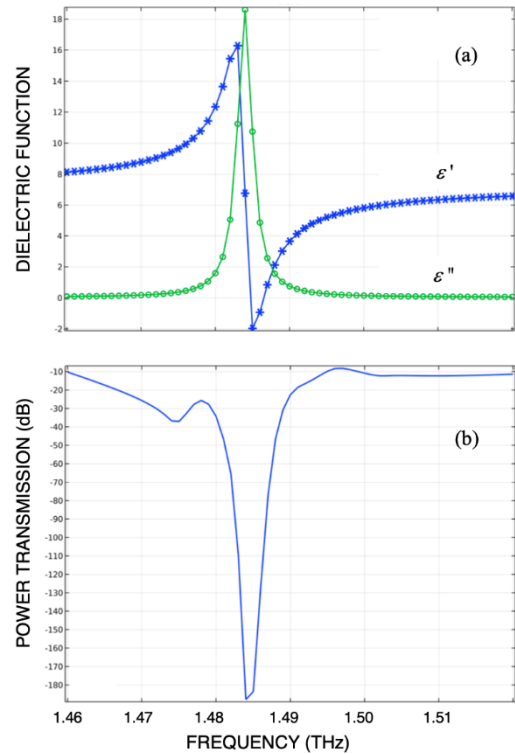


Fig. 13 (a) Lorentzian dispersion functions due to polar phonon mode whose parameters are set coincident to those of ferroelectrics LGO. (b) Calculated transmission spectra of electromagnetic wave in H-shaped waveguide filled with dielectrics with ferroelectrics LGO. The green line indicates that in the case of  $g = 0.02$  mm, and the blue line indicates that of  $g = 0.50$  mm.

誘電体の誘電損失のみを減少させた場合を考察する。強誘電体 LGO においては誘電関数のバックグラウンドの比誘電損失 ( $\epsilon''_{\text{bg}} = 0.05$ ) が存在するため全体の誘電損失を抑えるためには、式(2)からも明らかなように極性フォノンモードのローレンツ関数の減衰定数  $\gamma$  を小さくする (フォノンモードの Q 値を上げる) 必要がある。

Figure 15 に減衰定数  $\gamma$  が 0.02, 0.002, 0.0002 および  $0.0 \text{ cm}^{-1}$  の場合の透過スペクトルを示す。比誘電損失が  $0.002 \text{ cm}^{-1}$  以下と小さくなると、振動数 1.487~1.488 THz の極めて狭い領域でも 2 つの透過ピーク (A および B) が出現する。Figure 16 にこれらのピークに対応するモードの導波管全体における電磁波の磁場振幅の  $z$  成分 ( $H_z$ ) の空間分布を示す。低振動数ピークのモード A は、強誘電体の存在しない左側半分の真空領域では定在波動的な波が立っており、中央の ENZ 領域でも減衰はするものの狭いスリットを透過して右側まで到

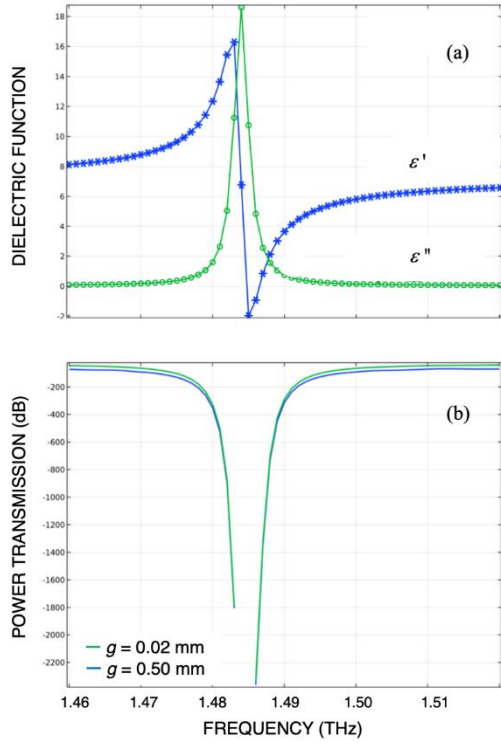


Fig. 14 (a) Lorentzian dispersion functions due to polar phonon mode as same as Fig. 13(a). (b) Calculated transmission spectrum of electromagnetic wave in H-shape of  $L = 0.50$  mm,  $h = 0.20$  mm,  $w = 0.20$  mm,  $d = g = 0.02$  mm, respectively.

達していることが確認できる。

一方、高振動数モード B ではほとんど減衰せず右側まで到達していることが確認できる。このモードは振動パターンがスリットの左右で反対称であることから高次モードであることが分かる。この他にも共鳴振動数の近傍領域ではいくつか透過ピークが出現するが、その原因はこの共鳴振動数領域では誘電率が高くなっているためと考えられる。

以上の数値計算の結果から誘電損失を小さくし強誘電体を透過する距離を短くすれば、電磁波はある程度透過することが確認できた。しかしながら今回の数値計算で用いたスリットサイズの H 字導波路を作製し実証実験を行うことは現実的ではない。ENZ トンネリング現象の実現においてもローレンツ型共鳴に起因する誘電関数では誘電率と誘電損失はお互いにトレードオフの関係にあるため、きわめて誘電損失の小さい、すなわち、Q 値の高い低振動数の極性フォノンを持つ物質が必要となる。現在、その条件を満たす強誘電体を探索中である。

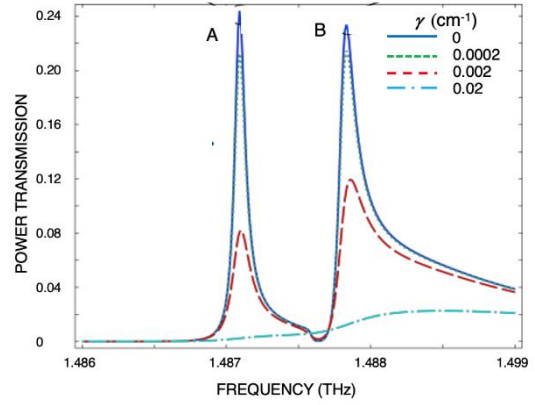


Fig. 15 Calculated transmission spectra in the case of quite low damping constants ( $\gamma = 0.0, 0.0002, 0.002,$  and  $0.02$   $\text{cm}^{-1}$ , respectively). Two transmission peaks are found in the relatively narrow frequency region.

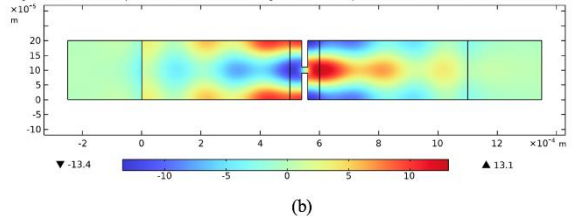
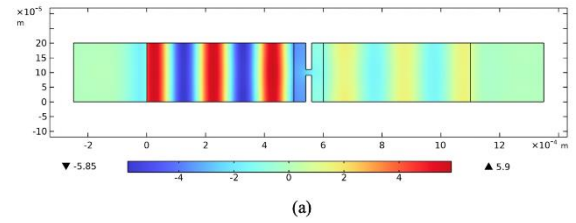


Fig. 16 Spatial distribution of  $z$ -component of magnetic field  $H_z$  of (a) lower frequency mode A and (b) higher frequency mode B in H-shaped waveguide.

## 5. あとがき

強誘電体 BIT 及び LGO 単結晶により充填された H 字型導波管中を伝搬する電磁波の伝播特性を、有限要素法および FDTD 法を用いた数値計算により求め、ENZ トンネリング現象を考察した。

- (1) THz-TDS の測定結果をもとに強誘電体の極性フォノンをローレンツ型で近似し、固有振動数、緩和定数や振動子強度等の物理量を決定した。
- (2) BIT 及び LGO 単結晶を使用した実証実験が可能な結晶の形状とサイズを仮定し、H 字型導波管の透過スペクトルおよび電磁波伝播特性を有限要素法を用いて計算した。

素法および FDTD 法を用いた数値計算により求めた。

- (3) 誘電率が ENZ 領域にあっても、電磁波が通過する行程が長いと誘電損失による減衰が大きく ENZ トンネリング現象を実験で確認することは容易でないことが分かった。
- (4) Q 値が高くバックグラウンドの誘電損失が小さな極性フォノンを持つ誘電体を見つければ ENZ トンネリング現象の実証実験が可能なことを確認した。

### 参 考 文 献

- 1) V. G. Veselago: The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ ; *Usp. Fiz. Nauk.*, **92**, 517-526 (1964) & *Sov. Phys. Usp.* **10**, 509 (1968).
- 2) V. G. Veselago: Properties of materials having simultaneously negative values of the dielectric and magnetic susceptibilities; *Sov. Phys. Solid State*, **8**, 2854 (1967).
- 3) J. B. Pendry, A. J. Holden, D.J.Robbin, and W. J. Stewart: Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena; *IEEE Trans.Microwave Theory Tech.*, **47**, 2075 (1999).
- 4) J. B. Pendry: Negative Refraction Makes a Perfect Lens; *Phys. Rev. Lett.*, **85**, 3966 (2000).
- 5) R. A. Shelby: D. R. Smith, and S. Schultz: Experimental Verification of a Negative Index of Refraction; *Science*, **292**, 77 (2001).
- 6) N. Engheta: Pursuing near-zero response; *Science* **340**, 286 (2013).
- 7) I. Liberal and N. Engheta: The rise of near-zero-index technologies; *Science* **358**, 1540 (2017).
- 8) M. Silveirinha and N. Engheta: Tunneling of Electromagnetic Energy Through Subwavelength Channels and Bends Using Epsilon-Near-Zero Materials; *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 157403 (2006).
- 9) M. G. Silveirinha and N. Engheta: Theory of supercoupling, squeezing wave energy, and field confinement in narrow channels and tight bends using epsilon-near-zero metamaterials; *Phys. Rev. B*, **76**, 245109 (2007).
- 10) Ruopeng Liu, Qiang Cheng, Thomas Hand, Jack J. Mock, Tie Jun Cui, Steven A. Cummer, and David R. Smith: H Experimental Demonstration of Electromagnetic Tunneling Through an Epsilon-Near-Zero Metamaterial at Microwave Frequencies; *Phys. Rev. Lett.*, **100**, 023903 (2008).
- 11) Brian Edwards, Andrea Alù, Michael E. Young, Mário Silveirinha, and Nader Engheta: Experimental Verification of Epsilon-Near-Zero Metamaterial Coupling and Energy Squeezing Using a Microwave Waveguide; *Phys. Rev. Lett.*, **100**, 033903 (2008).
- 12) S. Kojima and S. Shimada: Soft Mode Spectroscopy of Bismuth Titanate Single Crystals; *Physica*, **B219&220**, 617 (1996).
- 13) S. Kojima, N. Tsumura, M. W. Takeda, and S. Nishizawa: Far-Infrared Phonon-Polariton Dispersion Probed by Terahertz Time-Domain Spectroscopy; *Phys. Rev. B*, **67**, 035102 (2003).
- 14) M. Wada, A. Sawada, and Y. Ishibashi: Ferroelectricity and a Soft Mode in  $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$  Crystal; *J. Phys. Soc. Jpn.*, **50**, 1881 (1981).
- 15) M. Wada and Y. Ishibashi: Ferroelectric Phase Transition in  $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$ ; *J. Phys. Soc. Jpn.*, **52**, 198 (1983).
- 16) M. W. Takeda, Y. Noda and T. Yamaguchi: Inelastic Neutron Scattering Study of Ferroelectric Phase Transition in Lithium Heptagermanate ( $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$ ); *Ferroelectrics*, **412**, 45 (2011).
- 17) 小島誠治, 北原英明, 津村直希, 西澤誠二, 武田三男: テラヘルツ時間領域分光と物性物理への応用; *固体物理*, **38**, 2003 (2003).

# ハイブリッドロケット用テレメトリユニットの開発

松原洋一\*

## Development of Telemetry Unit for Hybrid Rocket

Yoichi MATSUBARA

あらまし ハイブリッドロケットの飛行情報の取得と迅速な落下地点の把握のためにテレメトリユニットを開発した。気圧センサ・加速度センサ・ジャイロセンサ・GPSを搭載し、特定小電力無線モデムを用いて1秒ごとに地上にデータ送信を行う。また、10 ms ごとセンサ情報をテレメトリユニット内のSDカードに保存し、ユニット回収後に解析を行った。複数回の打上試験を行い、すべてにおいて必要な情報を地上に送ることができた。また、SDカードにはセンサ情報が的確に格納されており、ロケットの詳細な性能を解析し、ロケット開発に役立てることができた。

**Summary** In this study, we developed a telemetry unit equipped with multiple sensors and using a specified low-power radio modem, and executed multiple launch tests. The sensor information was stored on an SD card in the telemetry unit every 10 ms and analyzed after the unit was picked up. The SD card accurately stored sensor information, which was useful for subsequent rocket development.

**Key Words** : Hybrid rocket, SUWA Rocket Project, Telemetry, Specified low power radio modem

### 1. まえがき

ハイブリッドロケットとは、固体燃料と液体もしくは気体の酸化剤を使用したロケットである。固体燃料には樹脂材料などを使用するため、固体ロケットや液体ロケットと比べ比較的 안전한ロケットである。このため、打上げの運用・管理コストを大幅に削減でき、多くの研究機関が開発を行っている。SUWA 小型ロケットプロジェクトでは、このハイブリッドロケット開発を行っており、筆者もメンバーとして参加している。また、2021年からは南信工短ロケットクラブを立ち上げ、学生やOBも試験や設計等に協力している。

現状のハイブリッドロケットの打上試験では、高度は数100 mから数kmであり、パラシュートを開いて地上（水上）に落下させて回収している。この際、迅速に回収するために飛行情報を計測・保存し、必要な情報を地上に送る機能がテレメトリユニットである。

本研究では、気圧センサ・加速度センサ・ジャイロセンサ・GPSを搭載し、特定小電力無線モデムを用いたテレメトリユニットを開発し、複数回の打上試験を行った。また、10 ms ごとにセンサ情報をテレメトリユニット内のSDカードに保存し、ユニット回収後に解析を行った。

本稿では、開発したユニットの構成を示す。また、打上試験の結果データを示し、ユニット性能についてについて考察する。

### 2. 開発したテレメトリユニット

#### 2.1 ユニット構成

テレメトリユニットの構成図を Fig.1 に、使用部品一覧を Table 1 に示す。マイコンとして ARM Cortex-M3 コア搭載の mbed LPC1768 を用いる。このマイコンに、ジャイロセンサ、加速度センサ、高度（気圧）センサの各センサを I2C(Inter-Integral Circuit)で接続している。これらのセンサ情報から、機体の高度、姿勢、速度などを計算することができる。できるだけ正確な姿勢等を得るために、10 ms 間隔での測定を行う。

機体の位置を知るために GPS センサを使用している。GPS 情報はセンサの仕様で1秒間隔に更新される。GPS により機体の緯度・経度および高度を得ることができる。

受理 2023年 8月 18日

採択 2023年 11月 24日

\*長野県南信工科短期大学 電気システム学科、  
南箕輪村

Department of Electrical Systems Engineering,  
Nagano Prefecture Nanshin Institute of Technology,  
8304-190 Minamiminowa, Nagano, 399-4511 Japan

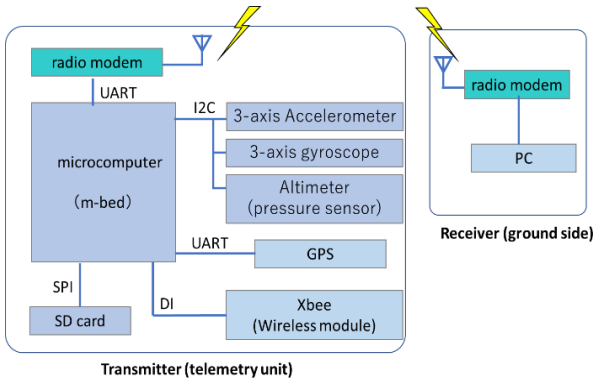


Fig. 1 Diagram of the telemetry unit

また、機体内の別のユニット（パラシュート放出のための分離機構）の状態を無線通信で取得し、マイコンにデジタル信号で入力している。この通信距離は1m程度の近距離であることから、無線通信としてはZigbee規格に対応した無線モジュールXbeeを使用している。Xbeeには送信側からの無線通信で、受信側のデジタル出力を制御する機能があるため、テレメトリのmbedには受信側Xbeeのデジタル信号を入力している。これにより、mbedに通信負荷を与えずに情報を取得することができる。

マイコンで取得した情報は、1秒ごとに無線モデムから地上に送信する。無線モデムには429MHz帯の特定小電力無線モデムを使用している。送信するデータは、GPSから取得した緯度・経度と高度センサから取得した高度および分離機構の状態信号である。機体の位置と状態を知るための最小限のデータのみを送信している。送信したデータは、打上げ本部近くで受信し、落下地点の迅速な把握に役立つ。なお、本部は射場の周辺もしくは、湖上での打上げの場合は最寄りの湖畔になる。マイコンで取得した情報は、10msごとにSDカードに記録する。SDカードは機体回収時に回収する。回収後にデータを解析し、飛行姿勢・速度などを算出する。

この構成に基づいて作製した基板の写真をFig. 2に示す。写真は2023年打上げに使用したものであるが、他の年の構成も基本的には同じである。写真ではマイコンとジャイロセンサおよび加速度センサが写っている。基板背面には高度センサとSDカードが実装されている。基板サイズは約72mm×62mmである。GPSと無線モデムはアンテナの位置が重要になるため機体の先端（ノーズコーン）に搭載している。Xbeeと電池は基板スペースの関係上基板外に配置した。

なお、防水等の処理は施していない。海や湖に落下

Table 1 Devices used in telemetry unit

Type	Model
Microcomputer	mbed NXP LPC1768
3-axis Accelerometer	ADX345
3-axis gyroscope	L3G4200D
Altimeter	MS5607
GPS	GYSFDMAXB
Wireless module	Xbee S2C (2.4GHz)
SD card	Micro SD
Radio modem	MU-3-429 (429MHz)
Power	006P (9V)

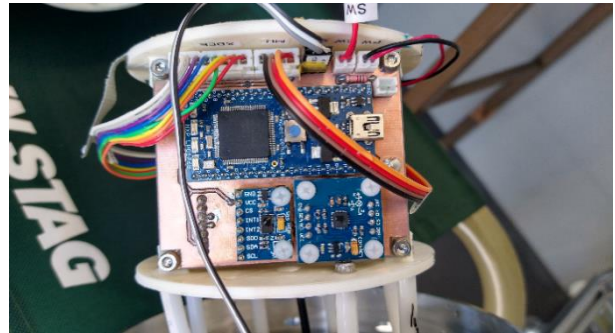


Fig. 2 Photograph of substrate actually manufactured. (2023)

することになるため、防水機能があった方がよいと考えられるが、気圧を正確に測定するためになるべく囲わないこととした。

## 2. 2 マイコンの機能

マイコンの主な機能は、データの取得、地上通信、データ保存である。マイコンのソフトウェアはC++言語で記述し、開発環境はオンラインコンパイラーを使用した。

### 2. 2. 1 データの取得

加速度・ジャイロ・高度センサおよびXbeeのデジタル信号は10msごとに割込タイマを使用して受信する。すべてのセンサの値を読み込むにはセンサの信号変換時間とあわせて6~7msほどかかる。また、GPSはUARTを介して接続しているが、UARTの受信割込機能を使って1秒ごとに受信している。

受信したデータはmbed内蔵メモリに構造体形式で格納する。構造体は24×10の2次元配列とし、リングバッファ形式で使用することで、長時間の格納ができるようにしている。2次元配列にした理由は、SDカードへの保存処理中にも非同期でデータ格納できるようにするためである。

### 2. 2. 2 地上通信

地上への通信は無線モデムを介して行う。マイコンから無線モデムにはUART通信で送信する。無線モデ

ムの通信速度は 4800 bps であるが、実効値は 3400 bps 程度である。1 度の送信は 255 文字までに制限されている。実際の通信は GPS から取得した緯度・経度と高度センサから取得した高度および分離機構の状態信号のみとし、1 回あたり約 50 文字程度の送信としている。

### 2. 2. 3 データ保存

SD カードへの保存は、SPI 通信を介して行われる。保存は 1 つのファイルにバイナリデータ形式で追記する。保存は 10 データづつまとめて書き込む（データ取得が 10 ms 間隔のため 100 ms ごとに書き込む）。SD カードへの書き込み時間は 100 ms 以内に完了するが、ファイルを CLOSE する処理には時間がかかる場合がある。そこで、2.2.1 で示したようにデータ配列を 2 次元にすることで書き込むデータ領域と測定値を格納するデータ領域を分け、データの損失無しに連続的な保存を可能にした。

## 3. 実験

### 3. 1 通信性能の実験

429 MHz 帯の無線モデムの通信性能を測定するため、諏訪湖畔において通信テストを行った。使用したモデムは MU-3-429 の旧機種である MU-1N である。両者はほぼ同じ性能である。諏訪湖畔の岡谷多目的広場の地上 3 m（湖面から 6 m くらい）に受信用のアンテナを設置し、発信側モデムを対岸の①立石公園、②すわっこランド、③湊小学校付近の地上高 1 m 付近に設置して通信を行った。受信側で受信信号強度インジケータ（RSSI）の値を調べた結果を Table 2 に示す。①立石公園は水平距離が 5 km 以上あるが比較的良好に受信できている。これは高低差があり見通しが良いためと予想される。高低差が無い場合は②の 3 km くらいが通信の限界と思われる。ロケットは数 100 m から数 km の高度まで上昇後、パラシュートで落下する。水面からある程度上空まで電波を受信できていれば落下地点を把握できるため、この無線モデムを採用した。

### 3. 2 打上試験

テレメトリの動作を確認するため、実際のロケットに搭載して打上試験を行った。打上試験を 6 回実施しており、一覧を Table 3 に示す。前半 3 回は秋田県能代の海岸から日本海へ向かって打上げた。4、5 回目は諏訪湖上の台船から打上げ、6 回目は諏訪湖畔から打ち上げている。いずれもテレメトリユニットからの測

Table 2 Wireless modem communication performance measurement results

condition			
Transmission point	Horizontal distance	Height difference	RSSI [dB]
①Tateishi Park	5670m	180m	-93 ~ -100
②Suwakko Land	3470m	0m	-105
③Around Minato Elementary School	1300m	0m	-97

Table 3 List of Launch Tests

Date	Launch site	Maximum altitude
2017.3.19	Coast of Noshiro	986m
2018.3.18	Coast of Noshiro	3500m
2019.3.17	Coast of Noshiro	2500m
2020.3.1	Suwa Lake	300m
2022.03.20	Suwa Lake	320m
2023.03.19	Suwa Lakeside	175m

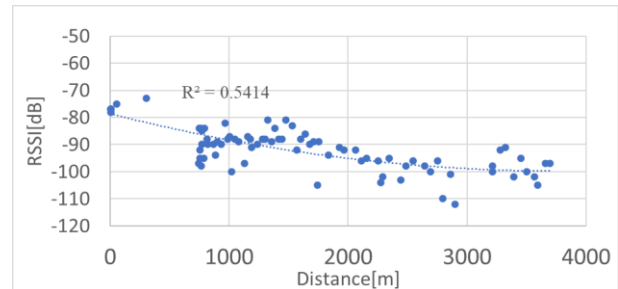


Fig. 3 Received RSSI and transmitter/receiver distance (2018)

定データを受信することに成功している。

#### 3. 2. 1 地上受信データ（電波受信状況）

実際の打ち上げ時の電波受信状況（RSSI: Received Signal Strength Indicator）を Fig. 3 に示す。2018 年の試験であり、横軸は受信局からのおおよその距離である。距離は、GPS の緯度・経度情報と高度センサの高度から算出した。受信強度は距離の二乗で弱まることが知られているが、二次の近似多項式と弱いながらも相関が確認できる。ただし、受信強度はロケット側のアンテナの向きや障害物の有無にも依存するため、ばらつきも大きくなっていると考えられる。

同じ 2018 年の試験における、地上受信した時の機体位置（緯度・経度）を Fig. 4 に図示し、高度データを Fig. 5 の橙色マーカーで示す。いずれの図からもロケ

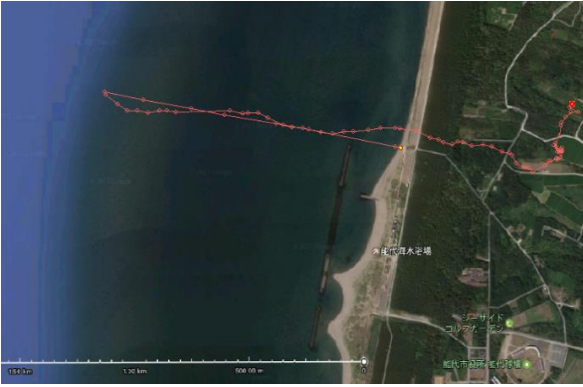


Fig. 4 Map showing the received rocket location (latitude and longitude) (2018)

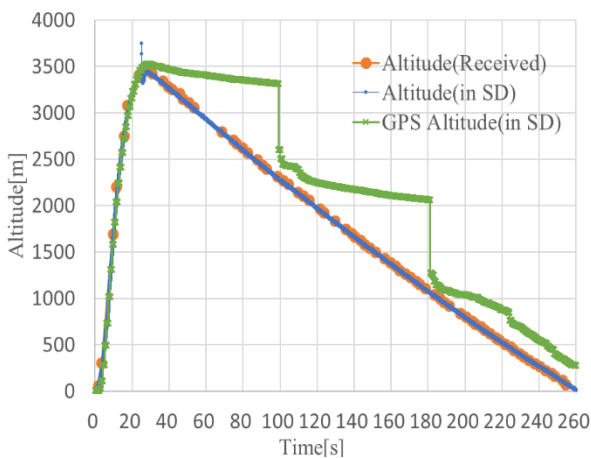


Fig. 5 Rocket flight altitude. Orange markers indicate data received on the ground. Others are data stored on SD cards. (2018)

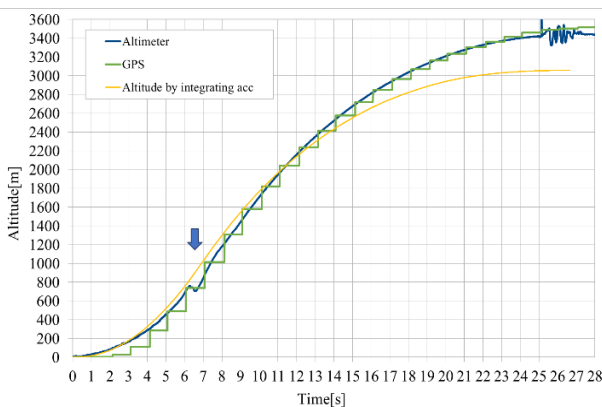


Fig. 6 Altimeter and GPS altitude data stored in SD card. (2018)

ット上昇時には、地上であまり受信出来ていないことが分かる。テレメトリのアンテナはロケット先端に配置されており、上昇時にはアンテナと受信場所との間に機体が入る姿勢になるため、電波を遮る障害物になった影響や、速度が速い（最高速度は7秒付近で280

m/s）ことの影響などが考えられる。

ロケットは最高点付近でパラシュートを開傘する。開傘すると速度が低下し、テレメトリとロケット本体が分離し、2つがパラシュートにつながった状態で落下する。このときは、テレメトリのアンテナは垂直下側を向くことと障害物になる機体が分離したため、比較的安定して受信が出来ていたと考えられる。また、Fig. 6 から落下直前の低い高度まで受信できていることがわかる（260秒付近）。すべての打上試験において、落下直前まで受信できており、機体の迅速な回収に役立った（ただし、2019年の試験は、機体が海中に沈んだため、破片の一部のみしか回収できなかった）。

### 3. 2. 2 地上受信データ（状態信号）

Xbee経由で受け取る分離機構の状態信号について、2019年試験の地上受信状況を Fig. 7 に示す。高度（橙）および2種類の状態信号を示す。状態信号は、分離機構のマイコンの状態に関する内部状態と、実際に分離したかどうかをセンシングし、その結果状態を示すセンシング状態の2種類がある。2019年の試験では、Fig. 8 に示すように、2段階分離機構を採用し、最高点付近で第1分離を行い小さいパラシュート（実際にはストリーマー=吹き流しを使用）を放出し、高度が十分低くなってから第2分離によりパラシュートを放出する。Fig. 7 では分離指令の状態を赤マーカー、分離状態をセンシングした情報を紫マーカーで示している。最高高度付近で第1分離したこと、高度500m付近で第2分離の指令がでて、300m付近で第2分離したことが見て取れる。第2分離は機構上時間がかかる分離方式のため、タイムラグが生じている。このように、Xbeeを介して、テレメトリとは接続されていない分離機構からの情報を地上に通信することに成功している。なお、本来なら第2分離のあとに減速するはずであるが、高度の変化から減速しているようには読み取れない。おそらく、第2分離したもののパラシュートが放出されなかった（機体から抜けなかった）可能性が高く、このことが原因で機体が海中に沈んだものと考えている。なお、二段階分離機構は2019年と2020年に採用し、いずれも通信に成功している。2020年には通信および地上からの映像から二段階分離機構が正常に動作していることを確認できている。その他の打上試験では、1段階でパラシュートを開く方式でありXbeeを搭載していない場合もある。

Fig. 7 の2019年のデータでは、2018年の Fig. 5 と異なり打上から分離するまでが受信状態が良好であった。

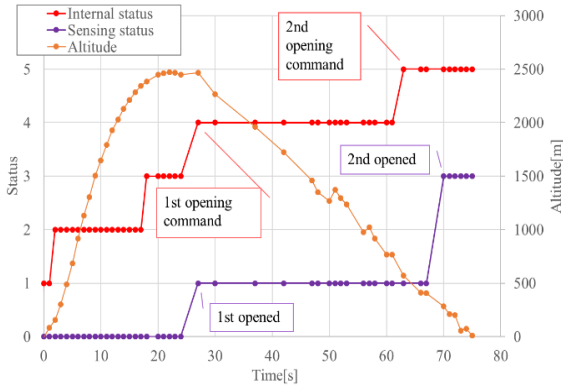


Fig. 7 Separation mechanism status signal received on the ground (2019)

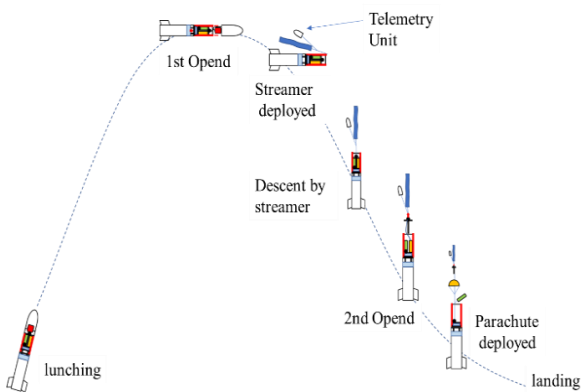


Fig. 8 Schematic diagram of separation mechanism (2019)

この理由については不明である。一方、下降時はあまり良くなかった。こちらは、ストリーマーで下降しているため、十分減速せず、テレメトリユニットの姿勢が不安定であったためと推察している。

### 3. 2. 3 SD カード保存データ

2019 年以外は機体を回収でき、回収したすべてで搭している SD カードの情報を読み出すことができた。防水は行っていなかったが、問題なく読み出せている。ただし、海水に浸かって回収したのは 2017 年のみのため、サンプル数としては十分とはいえない。

Fig. 5 には、地上で受信したデータ（橙）に加え、SD カードに保存されている高度計の高度（青）と GPS 高度データ（緑）も合わせて図示した。また、Fig. 6 に開傘前までの SD カード内の高度計高度（青）と GPS 高度（緑）、および加速度を二重積分して得た高度（黄）を図示した。パラシュート開傘前までは、高度計（気圧計）による高度と GPS 高度は一致しており、正確に計測できていることが分かる。なお、GPS は 1 秒間隔に更新されるため、階段状になっている。

ただし、Fig. 6 の 6.5 秒付近では、高度計の値が不規

則に低下している箇所がある。この付近は最高速度付近であるため、衝撃波など何らかの理由で気圧に狂いが生じた可能性がある。

開傘後は GPS のアンテナの向きが下向きになるためか高度が大きくずれている。なお、GPS に関しては、軍事転用を防ぐ理由から、音速を超えると位置情報を取得できなくなるという制限があるため、GPS に頼らない高度推定が必要である。

Fig. 6 に示した加速度計から二重積分して求めた高度については、最高高度で 400 m 程度のずれが生じた。この原因は以下のように考えられる。加速度計から高度を求めるためには、まずジャイロの情報からロケットの姿勢を計算する。ロケットの姿勢が分かれば、加速度計にかかる重力成分を除去することが出来る。重力成分を除去した加速度を積分することで、進行方向の速度を算出できる。進行方向の速度をロケットの姿勢を考慮して積分することで、高度を算出できる。ただしこの計算は、ジャイロセンサで姿勢を推定し、更に加速度を二重積分することから、誤差が生じやすくなっている。

誤差要因としてゼロ点がずれるドリフトも考えられる。ただし、ジャイロセンサのゼロ点を計算しなくても高度にはそれほど影響しなかった。一方、加速度センサのゼロ点がずれた場合は 100 m オーダーでの誤差が生じる可能性はあった。

また、別の誤差要因として、加速度センサのサンプリングレートと測定レンジの不足も考えられる。打ち上げ直後はエンジン燃焼により大きく振動し、頂点に近づくとも燃焼が終わり惰性で上昇するために振動や変化は小さくなる。すなわち、打上前半の方が誤差が大きくなりそうである。二重積分での高度と気圧計の高度は前半は比較的一致しており、頂点に近づくともずれているため、レンジやサンプリングレートの影響ではない可能性が高い。

高度の計測は非常に重要な測定項目であるが、気圧を使う方法、GPS を使う方法、加速度を使う方法ともに誤差が生じる要因があり、今後より安定した測定方法を検討する必要がある。

## 4. むすび

ハイブリッドロケットに搭載するテレメトリユニットを設計・作製し、実際の打上試験でのデータを取得した。6 回の打ち上げを行い、いずれも地上との通信ができ、最高高度や落下地点を把握することができた。

このため、落下地点に迅速に行くことができ、2019年以外すべてで機体を回収できた。

また、機体を回収できた場合すべてでSDカードの情報を読み出せている。SDカードには10ms間隔のデータが保存されており、より詳細な飛行情報を得ることができた。

### 謝 辞

本稿は、「小型ロケット製作を通じたものづくり技術の高度化と人材育成」（プロジェクトマネージャ：中山昇、通称SUWA小型ロケットプロジェクト）のも

とで実施した成果をまとめたものである。SUWA小型ロケットプロジェクトのメンバーはじめ関連機関に感謝申し上げます。また、南信工科短大ロケットクラブのメンバー、とりわけ2023年のテレメトリ基板を作製いただいた岩村匠君に深く感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 1) 富永直樹, 安田絹子, 多田好克: 加速度センサを使った自律位置同定手法の考察; 情報処理学会全国大会講演論文集, 63, 3, 3397-3398 (2004).

【原著論文】

# 金型表面の微細テクスチャによる射出成形における樹脂流れの制御

小林義和\*

## Control of Resin Flow for Injection Molding by Micro-Texture on Mold Surface

Yoshikazu KOBAYASHI

あらまし 射出成形技術により製造されるプラスチック製品はますます高精度化している。そのため、射出条件、成形樹脂の特性、ランナーやゲートの条件や金型の加工精度など金型の設計要求は厳しさを増している。そのなかで、金型内におけるプラスチック樹脂の流動の形態は、製品の表面品質に大きな影響を及ぼす。本研究は射出成形金型の樹脂の流れを可視化する金型の作製と、金型表面上の微細凹凸による樹脂流れを制御する技術の開発を目的としている。本報では実際に2組の金型を作製して射出成形実験を行った結果について報告する。なお、この2組の金型は以下の条件の基に製作した。

- (a) 梨地シボのテクスチャーパターンと山の頂上高さは変わらない。
- (b) 梨地シボの凸凹の傾きが変化している。

**Summary** This study proposed the control of resin flow for injection molding by surface texture. The pattern of surface texture in this study is micro-roughness pattern called nashizi shibo which is alike on the surface of the pear. The planes to control the resin flow are the following concepts.

- (a) The texture pattern and the height of summits of nashizi shibo are not changed.
- (b) The slope of bumps of nashizi shibo is changed.

As a result of some experiments of injection molding, it was shown that the resin flow was changed by the difference of micro-roughness for shibo surface.

**Key Words** : Injection molding, Shibo, Texture, Micromachining, Visualization

### 1. まえがき

表面の微細凹凸（表面テクスチャ）は、製品の視覚品位を向上させるだけでなく、トライボロジー特性向上など様々な目的のために加工されている。そこで、表面テクスチャを応用する新しい試みとして、成形品表面の品質向上を目的に、表面テクスチャを射出成形樹脂の流れ制御因子とした成形実験を行った。本報ではその射出成形実験に必要な技術について説明する。なお、本実験で用いた表面テクスチャは梨地シボとした。

### 2. 表面テクスチャによる樹脂の流れ制御

#### 2.1 コンセプト

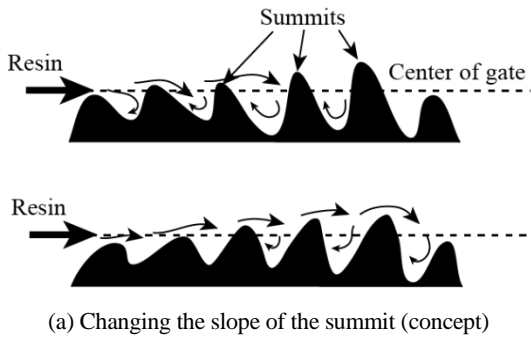
金型の梨地シボ表面の微細凹凸を変化させることにより、樹脂の流動性を制御できないかと考え、金型表面の「凸部（山と呼ぶ）の高さは変化させず、山の傾斜を変えて流動性を制御する」、というコンセプトにより表面を設計した。これは、Fig.1 (a)に示すように山の傾斜を樹脂流れに対して変化させることにより流れを制御する方法である。通常の梨地シボの山は方向性がないので Fig.1 (b)の左図の様な樹脂流れの形態をとる。この場合、流入口(Gate)から同心円状に樹脂は広がる。一方、Fig.1 (b)の右図の様に山の傾斜に方向性を持たせることにより、樹脂の流れに対する抵抗を変化させることにより樹脂の流れを制御する。本研究では均一に樹脂が流れるように山の傾斜を制御することにした。

なお、山の傾斜は Fig. 1(b)左図の方向性がない梨地シボと右図の3領域にそれぞれ異なる傾斜を持つもの

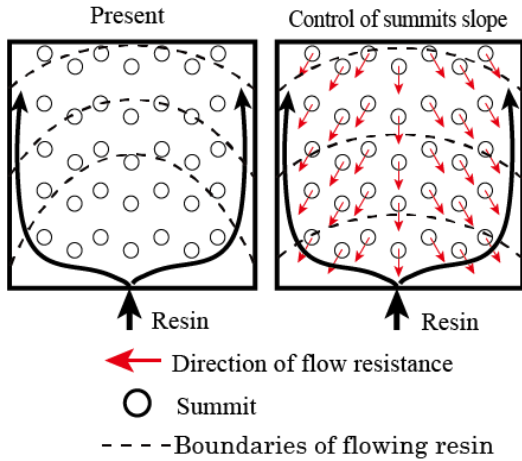
受理 2023年10月10日  
採択 2023年11月22日

\*長野県南信工科短期大学 機械システム学科,  
南箕輪村

Department of Machinery Systems Engineering,  
Nagano Prefecture Nanshin Institute of Technology,  
8304-190 Minamiminowa, Nagano, 399-4511 Japan



(a) Changing the slope of the summit (concept)



(b) Flow control by changing the slope of the summit

Fig. 1 Methods to control resin flowability

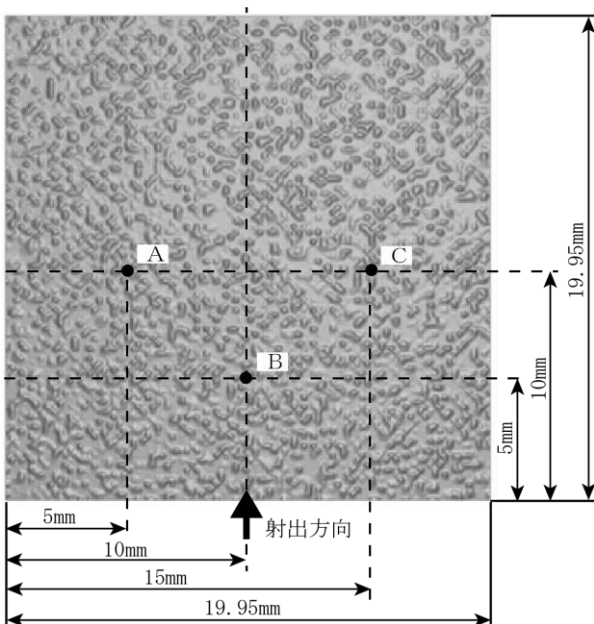


Fig. 2 Nashiji-shibo pattern and measurement position

(3方向傾斜)の2種類とした。図中の矢印は、矢印方向に傾斜を急にすることを表している。したがって、2種類の異なる傾斜を持つ試料を作製し実験を行う。

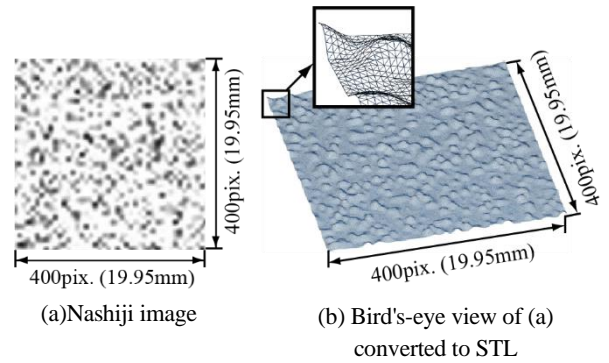


Fig. 3 Conversion from image to STL

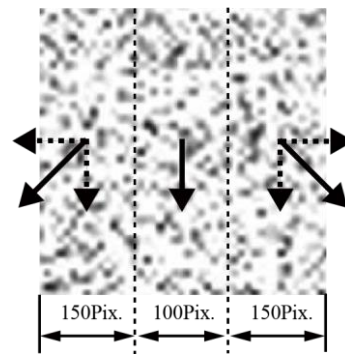


Fig. 4 Direction of summit slope

## 2. 2 テクスチャ表面の作製と評価

梨地シボ表面は Fig. 2 に示す凹凸パターンを基本とし、Fig. 3 に示す画像から3次元 STL(Stereolithography)を作成する。まず、画像処理ソフトにより400×400ピクセルの濃淡値(0~255)のグレースケールの梨地画像を作成し、その濃淡値を高さ(0~100 μm)に割り付け、ピクセル間の間隔を50 μmとした STL形式の3次元凹凸データを作成した<sup>1)</sup>。したがって、梨地シボパターンの大きさは19.95 mm×19.95 mmとなる。これを山の方向性がない基本の梨地パターンとした。

山の傾斜は Fig. 4 に示すように、領域を3つに分けそれぞれ違う傾斜を持つパターンを作成した。図中の矢印は、実線の矢印方向に傾斜を急にすることを表している。今回は左右の領域は樹脂射出方向に対して45°方向に傾斜が急で、中央の領域は樹脂流れに対して抵抗が大きくなるように射出方向に傾斜が急になるように調整した。その傾斜は基本の梨地画像の濃淡値を局所的に変化させることにより作成する。具体的には山の頂上周辺の濃淡画像を傾斜がきつくなる方向に移動させ、その後周辺をスムージング処理することにより作成する。

傾斜がどのように変化したかを定量的に表すため、STLの三角形パッチの法線ベクトルの向きをX,Y平面

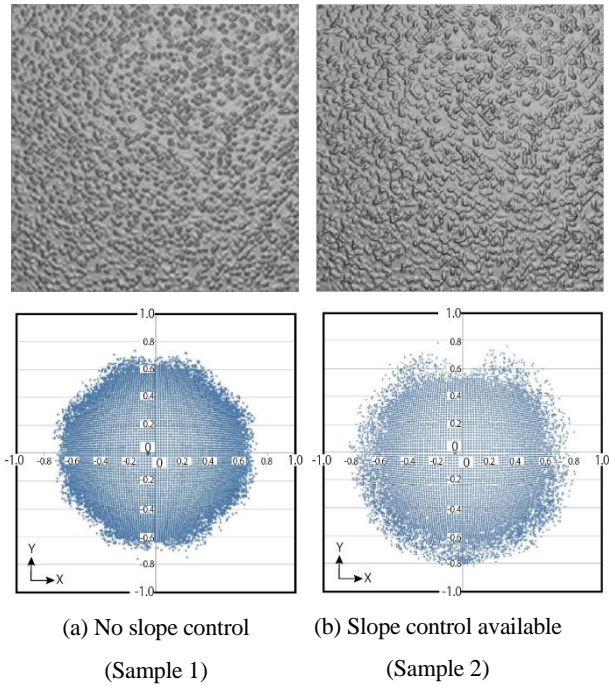


Fig. 5 Direction of summit slope

に写像したものを Fig. 5 に示す。Fig. 5(a)は傾斜処理をしていないもの(Sample 1), Fig. 5(b)は Fig. 4 の傾斜処理をしたもの(Sample 2)で, 上図はその鳥観図, 下図は法線ベクトルを写像した図である。鳥観図では両者の違いは確認できない。下図は, 中心(0,0)付近の点は三角形パッチの法線が上を向いていることを示し, 一方, 下方(0,-1)方向にある点は三角形パッチの法線が下方向に X,Y 平面と水平に向いていることを示している。すなわち, 下方向に垂直な壁が作られていることを表している。このことを踏まえ下図を見ると, Sample 1 は法線ベクトルの分布は円形となり, 形状を構成している三角形パッチの向きの偏りはなく当方的であり, 特定の方向に山が傾いていることはない。しかし, Sample 2 では, 下方向に円が膨張しており, Fig. 4 の実線方向に対して山の側面の傾斜が急になっていることがわかる。

### 2. 3 可視化金型の作製

梨地シボパターンが樹脂の流動に及ぼす影響を調べる目的で, 樹脂流動を観察するための可視化金型を作製した。梨地シボ表面の金型は Fig. 5 の STL をもとに機械加工した。加工後の表面を白色干渉計により Fig. 2 の測定場所 (A, B, C) を測定した。その結果を Table 1 に示す。Sample 1 と Sample 2 はほぼ同じパターンが測定結果として表れていることがわかる。Sample 1 では測定位置 A, B, C ともに各山の中心部が高くなっているが, 傾斜処理した Sample 2 では測定位置 A では左下

Table 1 Measured results of machined surfaces

Measuring conditions		
Measurement area : $X \times Y = 4.36 \times 5.82 \text{ mm}$		
Height :		
	100.0	-50 $\mu \text{ m}$
	Sample 1	Sample 2
A		
B		
C		

方向に, 測定位置 B では真下方向に, 測定位置 C では右下方向に山の頂上部 (高さが高い領域) が移動していることがわかる。したがって, 設計通りに3方向に傾斜処理が行われていることが確認できた。

モールドベース内に可動側と固定側のコマを作製し, 可動側コマには梨地シボ表面の金型が設置され, 固定側コマには梨地シボ表面と向き合うように設置されたプリズム (材質: ポリシリケートガラス[BK7]) を含む可視化用のコマが設置されている。Fig.6にモールド

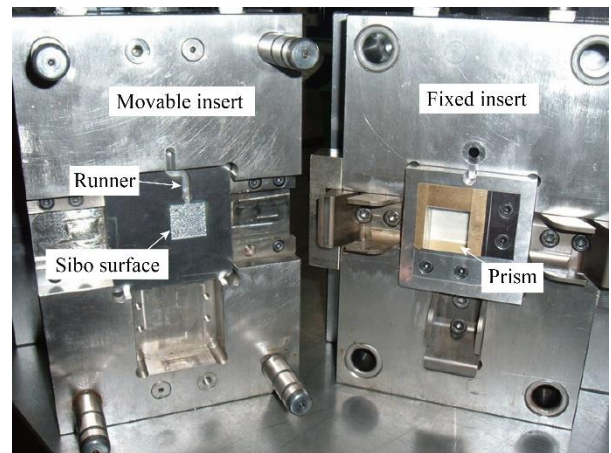


Fig. 6 Visualization Mold

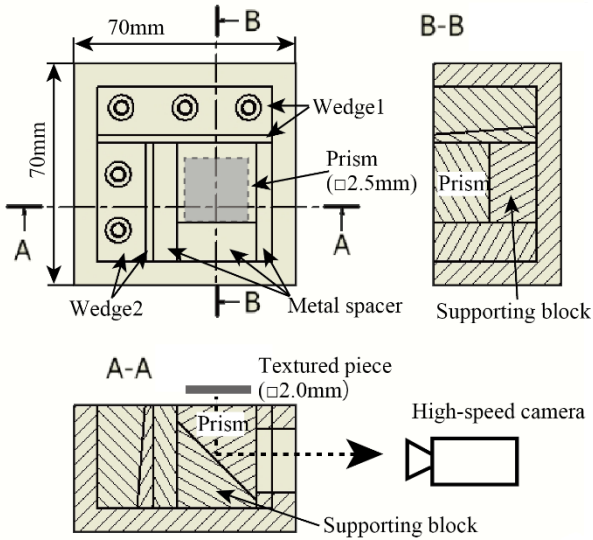


Fig.7 Fixed insert

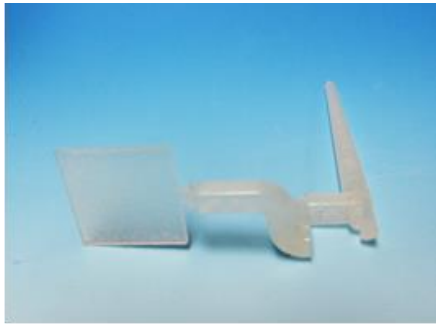


Fig.8 Molded part

Table 2 Molding conditions

Injection speed	80, 100, 150mm/s
Resin	Polycarbonate (PC)
Mold temperature	80°C
Molded product shape	19.95×19.95×1.0mm Height of summit : Max 100µm

ベースに設置された可動側及び固定側コマの写真を示す。成形品の大きさは、縦×横×高さ = 19.95 × 19.95 × 1.00 mm とし、梨地シボ表面とプリズムの間隔は 1.0 mm となるよう調整した。したがって、梨地シボの凹凸は最大 100 µm なので、成形品の肉厚はその約 10 倍となる。固定側コマは Fig.7 に示すように樹脂の流れをプリズムを介して外部に設置された高速度カメラ (Photron FASTCAM SA-X) を用いて観察する。なお、固定側コマの構造は横井らの文献<sup>2,3)</sup>を参考にし、プリズムは周囲に配置された楔状のプレートにより固定させている。成形された部品を Fig. 8 に成形条件を Table 2 に示す。

### 3. 成形実験

今回の実験は「傾斜処理なし(Sample 1)」及び「3方向傾斜(Sample 2)」の梨地シボを対象とし、射出速度を 80, 100, 150 mm/s の 3 種類に変化させて実施した。一例として射出速度 150 mm/s での樹脂の流れを撮影した連続写真を Table 3 に示す。撮影速度は 10,000 fps である。写真の黒く広がっていく場所が樹脂であり、写真の上方向から樹脂が充填されている。より詳細な樹脂の流れを調べるため、経過時間に対する樹脂の境界をプロットしたものを Fig.9 に示す。(a)「傾斜処理なし」の Sample 1 より(b)「3方向傾斜」の Sample 2 が完全充填まで時間がかかっていることから、山の傾斜が充填時間に影響していることがわかる。詳しく見ると、(a)が射出初期では同心円状に樹脂が流れているのに対し、(b)は初期の段階から円が崩れていることから流動

Table 3 Sequential photographs of resin flow (Injection speed : 150mm/s)

Elapsed time	No slope control (Sample 1)	Slope control available (Sample 2)
5ms	 Resin	
15ms		
25ms		
35ms		

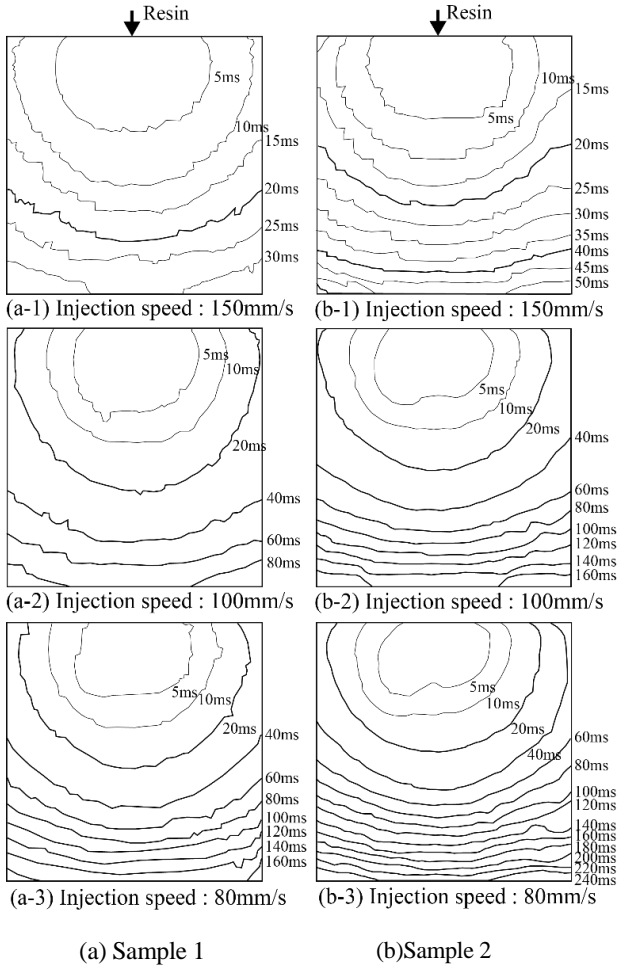


Fig.9 Behavior of resin flow

樹脂はテクスチャにより複雑な抵抗を受けていると推測される。

また、射出速度が速くなるにつれて完全に充填されるまでの時間は短くなるが、Fig. 10 に示すように正比例の関係ではなく射出速度を早くしても完全充填時間が一定となる限界点（飽和時間）があるように見える。詳しく見ると、Fig. 9 中の Sample 2, 射出速度 80 mm/s

(b-3), 100 mm/s (b-2)の図の経過時間 5ms の曲線の先端部が窪んでおり、この周辺位置で流動樹脂が大きな抵抗を受けていることがわかる。この抵抗がかかっているとと思われる位置は Fig. 2 の測定点 B にあたり、その凹凸の測定結果は Table 1 の中段の図となる。この測定結果から、射出方向に垂直で且つ比較的大きい山 (Table 1 中段図の白丸) が傾斜処理されることにより流動樹脂に対する抵抗が増加し、Fig. 9 の様に曲線先端部が窪んだものと推測できる。これらの結果から、梨地シボパターンのような微細形状を変えることでも射出成形における樹脂流動を制御できることを見いだした。

#### 4. むすび

射出成形用金型表面に形状の異なる梨地シボを作製し、成形樹脂の流れ挙動を観察した。その結果、テクスチャの形状により成形樹脂の流れ挙動が変化することがわかり、表面上の微細凹凸で成形樹脂の流れを制御できる見通しを得た。今後はテクスチャ形状の定量化と成形実験を進め、流れ挙動との相関を調査する予定である。

#### 参 考 文 献

- 1) S.Takahashi et al.: Algorithms for Extracting Correct Critical Points and Constructing Topological Graphs from Discrete Geographical Elevation Data; *Computer Graphics Forum*, **14**(3), pp.181-192 (1995).
- 2) 横井秀俊：射出成形現象の可視化と基礎計測技術; *精密工学会誌*, **66** 卷 10 号, pp.1518-1523 (2000).
- 3) 長谷川茂, 村田泰彦, 横井秀俊：超高速射出成形における矩形薄肉キャビティ充填過程の可視化; *生産研究*, **55** 卷 6 号, pp.52-55 (2003).

一方向凝固による  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  の晶出

工藤賢一\*・垣内健児\*\*

Crystallization of  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  by Directional Solidification

Kenichi KUDO, Kenji KAKIUCHI

あらまし ランガサイト型結晶の中で、1325 °Cの比較的低融点を持つ  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  (CNGS) 結晶の育成を目的として、化学量論組成の出発原料を Pt 坩堝中で一方向凝固させ、得られた結晶の構造や組成、異相の有無等を調べた。坩堝を 2.0 mm/h の引下速度で凝固させた場合、薄黄色を呈した不透明な CNGS 結晶が晶出し、結晶側面と内部は白濁の Si をほとんど含まない異相、最終固化部には  $\text{Ca}_2\text{NbO}_7$ ,  $\text{Ca}_2\text{Ga}_2\text{SiO}_7$ ,  $\text{SiO}_2$  が析出した。0.5 mm/h で凝固させた場合、結晶側面には育成方向に沿って異相が析出したが、内部の異相の析出は減少した。一方向凝固によって得られた CNGS 結晶を種子として垂直ブリッジマン法によって結晶育成した結果、一方向凝固の場合と同様に異相は析出したが、一部に薄黄色を呈した透明な CNGS 結晶が得られた。

**Summary** For the purpose of growing  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  (CNGS) crystal, which has a relatively low melting point of 1325deg among langasite crystals, a starting material with a stoichiometric composition is directionally solidified in a Pt crucible, and the resulting crystal is the structure, composition, presence or absence of foreign phases, etc. were investigated. When solidified at 2.0 mm/h, a pale yellow, opaque CNGS crystal was crystallized, the sides and interior of the crystal were a cloudy heterophase containing almost no Si, and  $\text{Ca}_2\text{NbO}_7$ ,  $\text{Ca}_2\text{Ga}_2\text{SiO}_7$ , and  $\text{SiO}_2$  were precipitated in the final solidified part. When solidified at 0.5 mm/h, different phases precipitated on the side surfaces along the growth direction, but the precipitation of different phases inside decreased. As a result of crystal growth using the vertical Bridgman method using the CNGS crystal obtained by directional solidification as a seed, a transparent CNGS crystal with a pale yellow color was obtained in some parts, although other phases were precipitated as well.

**Key Words** : Directional solidification,  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ , Langasite crystals, Vertical Bridgman method, Stoichiometric composition

## 1. まえがき

水晶と同じ三方晶系の点群32に属する、 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  (LGS),  $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.5}\text{O}_{14}$ 等のランガサイト型結晶<sup>1)</sup>は、水晶の3倍以上の電気機械結合係数を有し、温度特性も比較的優れており、融点まで相転移点が無いことから、無線通信機器用のSAW フィルタやエンジン用燃焼圧センサ等へ応用されている。融点が約1500 °Cの一

致熔融物質であるため、通常はチョクラルスキー (Czochralski ; CZ) 法により結晶が育成される<sup>2)</sup>。T. Karakiらは、ランガサイト型結晶の中で1325 °Cの比較的低融点を持つ  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  (CNGS) を、CZ法により結晶育成した結果、成長速度の異方性が大きく、晶出した結晶はZ面が発達した板状形状であったと報告しており<sup>3)</sup>、ウエハを製造する上では円柱形状結晶の方が適している。A. Wuは、円柱形状結晶の量産性に優れた垂直ブリッジマン (Vertical Bridgman ; VB) 法により、LGS結晶を種子としてCNGS結晶を育成したと報告している<sup>4)</sup>。しかしながら、得られた結晶の外観や形状、異相の有無等の詳細は不明である。

本稿では、VB法によるCNGS結晶育成を目的として、まず化学量論組成の出発原料をPt坩堝中で一方向凝固させ、晶出した結晶の構造や組成、異相の有無等を調

受理 2023年10月17日

採択 2023年11月22日

\*長野県南信工科大学短期大学校, 南箕輪村

Nagano Prefecture Nanshin Institute of Technology,  
8304-190 Minamiminowa, Nagano, 399-4511 Japan

\*\*長野県産業振興機構, 諏訪市

Nagano Industrial and Commercial Encouragement Organization,  
1-1644-10 Kamikawa, Suwa, Nagano, 392-8601 Japan

べる<sup>5)</sup>。また、一方向凝固により得られたCNGS結晶を種子として、VB法により結晶育成した結果についても述べる。

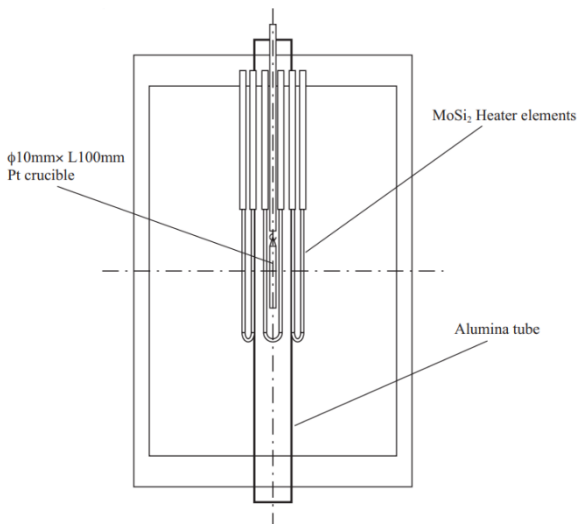
## 2. 実験方法

### 2.1 原料の合成

出発原料には、市販の純度 3N 以上の  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  を用いた。化学量論組成で秤量した原料をエタノールで湿式混合し乾燥させた後、十分に反応を進めるように空气中で  $1100\sim 1250\text{ }^\circ\text{C}$ 、20 時間焼成した。焼成粉を直径約 9 mm、長さ 90 mm の棒状に成形し、静水圧プレス（東洋油圧機械 CIP-35-2000）により圧力 2000 MPa で成形し原料棒を得た。この原料棒を、直径 10 mm、長さ 100 mm、厚さ 0.2 mm の Pt 坩堝に充填した。



(a) Photograph of Apparatus.



(b) Schematic diagram of apparatus.

Fig. 1 Vertical electric furnace with  $\text{MoSi}_2$  heater.

### 2.2 一方向凝固及び結晶育成

Figure 1 に、一方向凝固及び結晶育成に用いた  $\text{MoSi}_2$  ヒータ縦型電気炉（クリスタルシステム SF-1800）の外観及び模式図を示す。ヒータ加熱部の長さ 20 cm が均熱領域となり、その下端から離れるにしたがって温度が低下する。この温度勾配を用いて、吊り下げた坩堝を一定の速度で引き下げることにより、坩堝下部から凝固、又は結晶が育成される。

一方向凝固は、原料棒を充填した坩堝を空气中で  $1350\text{ }^\circ\text{C}$  まで加熱し、その温度で 2 時間保持した。坩堝上部の温度が CNGS の融点より低い  $1320\text{ }^\circ\text{C}$  となるまで、坩堝を一定の速度で引き下げた後、室温まで冷却した。坩堝を  $2.0\text{ mm/h}$  及び  $0.5\text{ mm/h}$  の速度で引き下げ、凝固過程に及ぼす影響を調べた。

結晶育成は、一方向凝固から晶出した長さ 10 mm の CNGS 種子結晶を坩堝最下部に、次に原料棒を入れ、坩堝外部から種子結晶と原料の界面温度が  $1325\text{ }^\circ\text{C}$  となるよう熱電対によって測定しながら種子付けを行った。空气中で 2 時間保持した後、 $0.2\text{ mm/h}$  の速度で引き下げた後、室温まで冷却した。

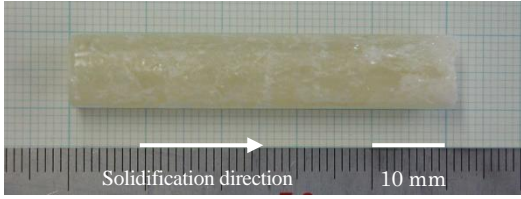
### 2.3 結晶評価

晶出した結晶を切断・研磨し、X 線回折装置（理学社製 RINT2100V）を用いて、背面ラウエ法により結晶の育成方位を、粉末 XRD 法により結晶相を同定した。電子プローブマイクロアナライザ（EPMA；日本電子社製 JXA-8100）により結晶の組成分析を行い、組成の均一性や異相の存在について調べた。

## 3. 結果及び考察

Figure 2 に、引下速度  $2.0\text{ mm/h}$  の一方向凝固により晶出した結晶の外観と切断面を示す。直径 10 mm × 長さ 50 mm 程度で、全体的に不透明で薄黄色を呈し、側面及び最終固化部に白濁の異相が析出していた。切断面を観察した結果、薄黄色の透明と白濁不透明な部分が混在した多結晶であった。粉末 XRD の結果、結晶の中間部は CNGS であったが、最終固化部は CNGS の他に、 $\text{Ca}_2\text{Ga}_2\text{SiO}_7$ 、 $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ 、 $\text{SiO}_2$  が含まれていた。Figure 3 に、切断面の中心及び円周付近を EMPA により分析した結果を示す。領域 2 及び 5 の結晶粒は均一な CNGS であったが、領域 1 及び 3、4 の白濁の原因となる異相が多数点在しており、ほとんど Si を含有していなかった。

Figure 4 に、引下速度  $0.5\text{ mm/h}$  で晶出した結晶と切断面を示す。 $2.0\text{ mm/h}$  と同様に透明と不透明な領域は



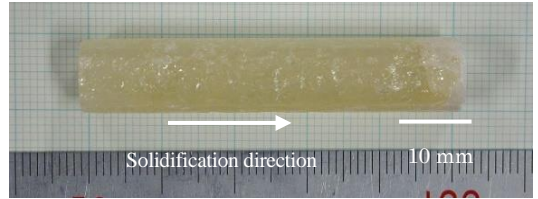
(a) Photograph of boule.



(b) Middle part.

(c) Termination part.

Fig. 2 Boule crystallized by directional solidification at 2.0 mm/h.



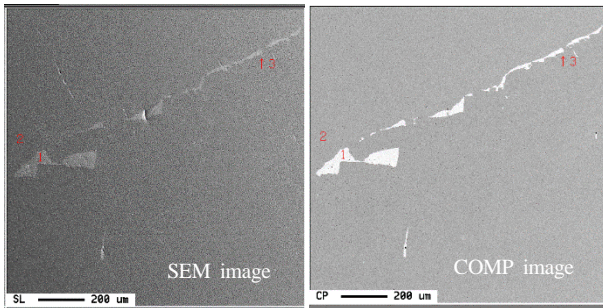
(a) Photograph of boule.



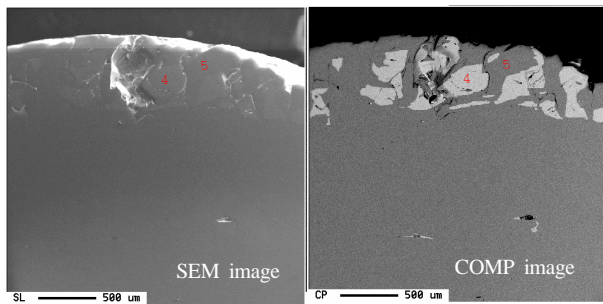
(b) Middle part.

(c) Termination part.

Fig. 4 Boule crystallized by directional solidification at 0.5 mm/h.



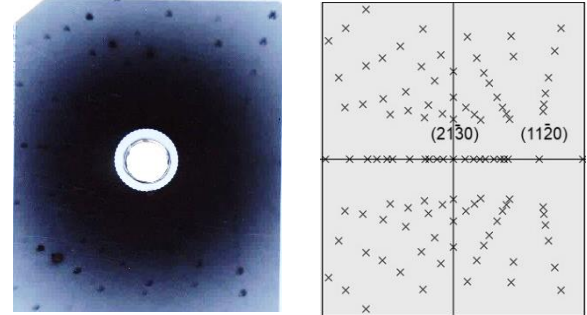
(a) Near the center



(b) Near the circumference

Fig. 3 EPMA analysis of directionally solidified crystal at 2.0mm/h.

混在していたが、最終固化部や外周部において異相の析出は減少し、透明な領域は広がっていた。引下速度を 0.5 mm/h まで低下させても異相は完全には無くなかったことから、融液が攪拌できなかったため、融液組成の不均一が生じて液相分離が発生し、結晶側面には Si をほとんど含有していない異相や、最終固化部は融液組成が Si-rich になり共晶組成の異相が析出した



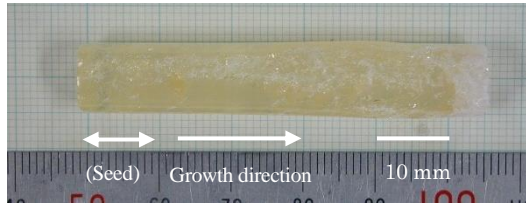
(a) Photograph of diffraction. (b) Calculated diffraction.

Fig. 5 Back Laue diffraction pattern of crystal solidified at 0.5 mm/h

と考えられる。

Figure 5 に示した背面ラウエ回折パターンのおり、引下速度 0.5 mm/h で晶出した結晶の透明な領域は、(2130)面の結晶であった。このことから、結晶側面の異相は、Z 面に垂直であって育成方向に沿って発生した。T. Karaki らの結果<sup>3)</sup>と同様に、Z 軸方向の育成速度が他の方向と比べて速いことを示唆している。

Figure 6 に、CNGS 結晶を種子として VB 法により育成した結晶の外観と切断面を示す。一方向凝固の結果と同様に、直径 10 mm×長さ 50 mm 程度で、全体的に不透明で薄黄色を呈し、側面及び最終固化部に白濁の異相が析出した。種子結晶との界面は不明であり、クラックも発生しているが、結晶の中間部から末端部において、切断面は楕円形に変形していることが確認できた。これは、CNGS の晶癖の特徴をよく示していると考えられる。



(a) Photograph of boule.



(b) Termination part.

Fig. 6 Boule grown by Vertical Bridgman method at 0.2 mm/h.

#### 4. あとがき

VB 法による CNGS 結晶育成を目的として、まず化学量論組成の出発原料を Pt 坩堝中で一方向凝固させ、晶出した結晶の構造や組成、異相の有無等を調べた。また、一方向凝固により得られた CNGS 結晶を種子として、VB 法により結晶育成した結果についても述べた。

- (1) 化学量論組成の出発原料を用いて、一方向凝固した結果、薄黄色を呈した不透明な CNGS 結晶が晶出し、結晶側面と内部に白濁の Si をほとんど含まない異相、最終固化部には  $\text{Ca}_2\text{NbO}_7$ 、 $\text{Ca}_2\text{Ga}_2\text{SiO}_7$ 、 $\text{SiO}_2$  が析出した
- (2) 0.5 mm/h で一方向凝固、さらに、0.2 mm/h で種子を用いた結晶育成を試みた結果、側面には育成方向に沿って異相が析出したが、内部の異相の析出は減少し、一部に薄黄色を呈した透明な CNGS 結晶が得られた。

- (3) 結晶側面と結晶中の白濁不透明な異相は、融液が攪拌できなかったため、融液組成の不均一が生じて液相分離が発生し、結晶側面には Si をほとんど含有していない異相、最終固化部は融液組成が Si-rich になり共晶組成の異相が析出したと考えられる。
- (4) 異相の析出を抑制するため、坩堝を回転させる、高い温度勾配を持たせる等の育成装置の改良と共に、出発原料組成を Si-poor とするなどの検討が必要と考えられる。

#### 参 考 文 献

- 1) A.A. Kaminskyii, B.V. Mill, G.G. Khodzhabayyan, A.F. Konstantinova, A.I. Okorochkov, I.M. Silvestrova: Investigation of trigonal  $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  crystals; *Phys. Status Solidi (a)*, **80**, 387 (1983).
- 2) 例えば, K. Shimamura, H. Takeda, T. Kohno, T. Fukuda: Growth and characterization of lanthanum gallium silicate  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  single crystals for piezoelectric applications; *J. Cryst. Growth*, **163**, 388 (1996).
- 3) T. Karaki, R. Sato, M. Adachi, J. Kushibiki, M. Arakawa: Piezoelectric properties of  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  single crystal; *Jpn. J. Appl. Phys* 43, 6721 (2004)
- 4) A. Wu: Bridgman growth of langasite-type piezoelectric crystals; *Cryst. Res. Technol.* 42, No. 9, 862 (2007)
- 5) 工藤賢一, 垣内健児: 垂直ブリッジマン法による  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  結晶の育成; 第 38 回結晶成長国内会議 NCCG-38 予稿集, 170 (2008).

#### 謝 辞

本解説で紹介した EPMA による結晶評価にご協力頂いた、長野県工業技術総合センター精密・電子・航空技術部門 成田博氏に深謝致します。

## 2022 年度総合課題の取組み

教務委員会 柳沢裕二\*

## FY2022 Integrated Project

Yuji YANAGISAWA

## 1. はじめに

長野県南信工科短期大学校では、2016年度の開校初年度から1年次のカリキュラムで「総合課題」という科目名で、1年次のまとめとなる作品を製作する授業を実施している。この授業の趣旨は、チームで協力し合うことの必要性を知り、自分たちのアイデアを形や動きにしていく体験を通じて、発想・想像力や情報収集力を身に付け、ものづくりの大きな流れを学ぶことである。この趣旨に基づき、この授業では学科の枠を飛び越えて、機械システム学科と電気システム学科の両科の学生で5～7名のチームを結成し、学生自身が作ってみたい作品を自由に企画・提案し、設計・製作・発表までを学生主体で行う。

できるだけ学科の専門性の枠にとらわれず、様々な技術に積極的にかかわることと、チーム内での情報共有を心がけコミュニケーション能力を養うことを主な目的としている。これまでの取り組みについては、本校の紀要で紹介してきた。

今年度も学生から36個の様々なアイデアが提案され、その中から表のとおり5テーマが選ばれた。

## 2. 各テーマの紹介

## 2. 1 Drive Master RC

## 2. 1. 1 コンセプト

コンセプトは安全な運転が体験できるリアルシミュレータ。ラジコンからのカメラ映像をもとに、ハンドルとフットペダルによりラジコンを操作する運転シミュレータで、車の挙動に合わせてドライバが乗っているシートが動き、車本来の運転に近い体験ができるというのが特徴である。楽しいことと安全であることを重視し、校内外のイベントで遊んでもらうことを目標とした。

Table 1 List of production themes

No.	テーマ名	概要
1	Drive Master RC	シートが傾く運転シミュレータ
2	ALOHA	アロハの動きと一緒に掃除するロボット
3	ひかるのバイク	古いバイクをカスタムしたバイク
4	運転支援車いす	安全に乗って遊べる車いす
5	もぐらたたかない	もぐらをたたかないもぐらたたき

シミュレータで、車の挙動に合わせてドライバが乗っているシートが動き、車本来の運転に近い体験ができるというのが特徴である。楽しいことと安全であることを重視し、校内外のイベントで遊んでもらうことを目標とした。

## 2. 1. 2 構造

シートを動かす部分は図1、図2のように、シートが乗ったプレート後方を4本のタイヤで挟み込む構造で実現している。車体の重心(G)を計算で推測し、ステッピングモータでこれらのタイヤを制御することでプレートを傾け、運転者がGを体感できるようにしている。



Fig.1 Drive Master RC overview

受理 2023年10月14日

採択 2023年11月22日

\*長野県南信工科短期大学校 電気システム学科,  
南箕輪村Department of Electrical Systems Engineering,  
Nagano Prefecture Nanshin Institute of Technology,  
8304-190 Minamiminowa, Nagano, 399-4511 Japan

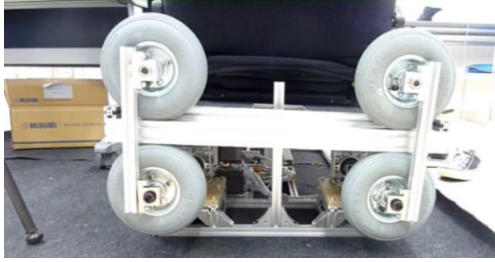


Fig.2 Tilt mechanism



Fig.4 ALOHA

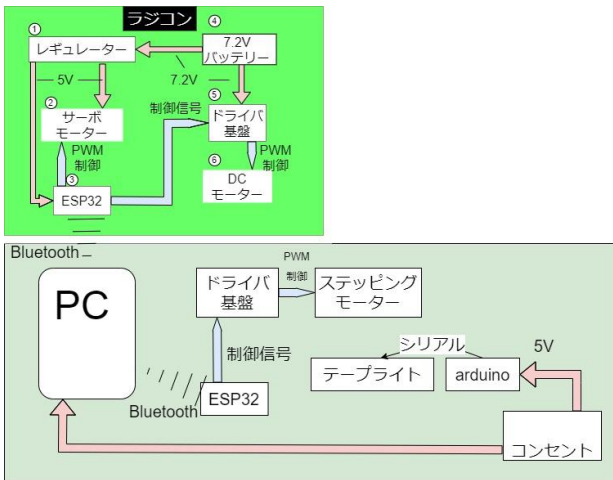


Fig.3 Drive Master RC system diagram

制御は、図3のようにPCを中心としたシステム構成とした。PCは操縦者からの入力処理と物理演算を行い、ラジコンを動かすESPマイコンと、シートを動かすESPマイコンそれぞれにBluetoothで指令を送り、それぞれのESPマイコンがモータを制御する。

### 2. 1. 3 製作結果

車本来の運転に近い体験とイベントで使えるようにという目的を達成できるものが出来上がった。ラジコンに取り付けたカメラの映像をディスプレイに表示するはずが、ノイズが強くてきれいに映らないことの改善や、もっとシートの動きの激しい体験もできたほうがよかった等の改善のアイデアが出された。

## 2. 2 ALOHA

### 2. 2. 1 コンセプト

人とロボットと一緒に掃除をするというコンセプトで、人とロボットと一緒に暮らす社会を想定し、“掃除ロボット”としての性能よりは、外観や動きにこだわり“一緒に楽しく作業する”ことを重視した。そのため、人が箒で掃いたごみを、音や光を出しながらフラダンスの動きで集めてくれる機能を持ったロボットを製作することとした。

### 2. 2. 2 構造

外観にこだわり、図4のように頭部は発泡スチロー

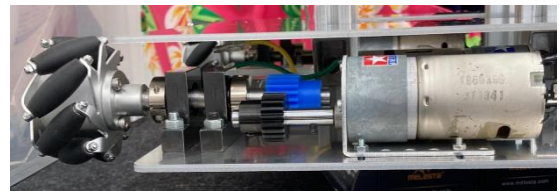


Fig.5 Mecanum wheels

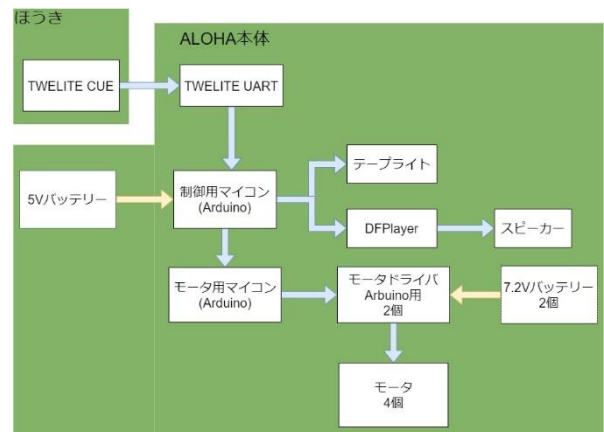


Fig.6 ALOHA system diagram

ル、手はクッション素材で作り、花柄の服やリースをあしらってアロハ風で明るく愛嬌のある見た目とした。スカート裾に掃除用モップをつけることで動きながらゴミを集められるようにした。

駆動部はダンスの動きを再現するために4つのメカナムホイールを用い、図5のようにそれぞれのモータで駆動させることとした。

人が掃除を始めると一緒に掃除をするために、人が持つ箒には加速度センサ付き無線ユニットのTWILITE CUEを取り付け、ALOHA本体内のTWILITE UARTと通信を行う。本体は2台のArduinoにより、4つのモータ、スピーカ、テープLEDを制御し、フラダンス風の動きと音と光による雰囲気を作り出した。

### 2. 2. 3 製作結果

外観にこだわるといふ点と、人の持つ箒とロボット

が連動するという部分については目的を達成することができた。上から服をかぶせて外には一切のスイッチ類が出ない構造のためか、デモ運転で止まらなくなった時に非常停止ができなかった。これらも踏まえ、操作性やメンテナンス性の悪さが反省点として挙げられた。

## 2.3 ひかるのバイク

### 2.3.1 コンセプト

中古のバイクをもとにしたカスタムガソリンエンジンバイク。見た目にこだわり、Ninja H2の外観に近づけることを目指した。また、速度や回転数、走行時間や距離を表示させる表示計の構築も目指した。

### 2.3.2 構造

見た目にこだわるために、フロント、サイド、リアに取り付けるカウルを自作した。カウルは軽さと強度に優れた CFRP を用いることとし、オートクレーブ法により図7のように成型を行った。



Fig.7 CFRP molding by autoclave



Fig.8 Display meter by Raspberry Pi



Fig.9 Hikaru's bike

表示計は図8のように Raspberry Pi と一体化した7インチディスプレイを用い、Processingにより計器類の画面を描画した。他の電装系も Raspberry Pi で情報を取得できるようにできるように置き換えを行った。例えば、スピードメータは既存の仕組みを再利用し、ホール素子でタイヤの回転数を計測するようにし、タコメータは元となったバイクにはなかったため、スパークプラグに電線を巻き付けてエンジン回転数を取得できるように工夫した。

### 2.3.3 製作結果

外観を図9のように Ninja H2 に似せて、電装系を置き換えることができ、私有地内では問題なく走行できることを確認した。見た目としては、電線がむき出しになっている部分があるため、もっとうまく隠したかったという反省があった。また、雨天での走行ができるようにしたい、より多くの情報をディスプレイに表示したいなどの改良点が挙げられた。

## 2.4 運転支援車いす

### 2.4.1 コンセプト

コンセプトは安全に使用でき、乗って遊べる車いす。これまでの総合課題では、介護支援を目的とした車いすに取り組んだ例があったため、今回は介護と関係なく健康な者が乗って遊べる乗り物として車いすを利用した。乗り物としては安全性を重視し、障害物検知、死角を補うカメラ、下り坂での速度制限などの機能の実装を目指した。

### 2.4.2 構造

駆動伝達部は図10のようにモータの動力をローレット経由で車いすのタイヤに伝える機構にしている。

車いすの安全基準は6 km/h以下と定められているため、今回は2 km/h程度を目標とし、その速度に合うようにギアボックスを自作した。

タブレットで前後進、右左折の操縦ができるように



Fig.10 Transmission mechanism

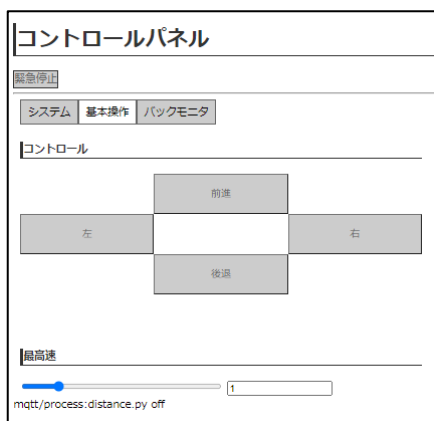


Fig.11 Operation Screen in Tablet



Fig.12 Going up entrance slope

するため、制御には Raspberry Pi を用いることとした。タブレットの操作画面は図 11 のようにブラウザベースで作成し、Raspberry Pi とは MQTT プロトコルにより通信を行っている。障害物検知には赤外線センサを、死角対策にはカメラモジュールを用いてタブレットで後方を見られるようにした。

### 2. 4. 3 製作結果

タブレットからの操作により、前進、後進、右左折の基本移動ができ、構内にある車いす用のスロープを図 12 のように上り下りすることもできた。

一方で、完成がぎりぎりになってしまったために調整する時間がなく、入力に対して動作が敏感すぎて操縦難易度がかなり高くなってしまったことが反省点だった。また、メンテナンス性を考慮していない車体構造のために調整・修理が困難な点が課題として挙げられた。

## 2. 5 もぐらたたかない

### 2. 5. 1 コンセプト

直感的に遊べる「もぐらたたき」のゲーム性を踏襲しつつ、生き物を叩いてはいけないという観点から「もぐらをたたかずに遊べるゲーム」をコンセプトにした。それに加え、イベントなどの来場者を対象に大

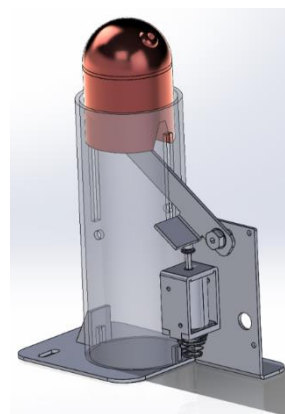


Fig.13 Up and down mechanism

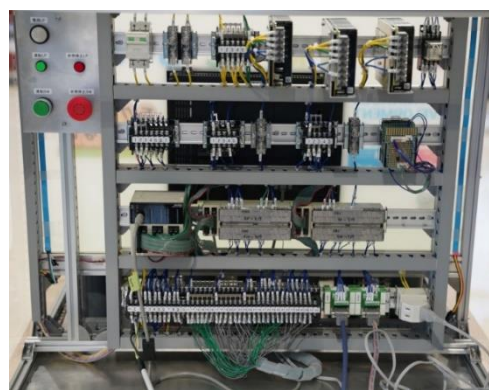


Fig.14 Control Panel

人から子供まで楽しんで遊んでもらえることと、ゲームを通して生き物との共存、人々の多様性について考えるきっかけを作ること为目标とした。

### 2. 5. 2 構造

もぐらが飛び出す部分は、図 13 のように 3D プリンタで作成したもぐらをソレノイドで上下させる機構とした。それぞれのモグラには赤外線受光モジュールを内蔵させることで、叩くのではなく光（赤外線）を当てることでもぐらを追い払うことを可能にした。11 匹のもぐらは色や表情、装飾品を変えることでみんな違う外見とし、多様性というテーマを盛り込んだ。

運転停止、発光、各モグラのソレノイドと受光についてはすべて PLC で制御を行っており、正面には PLC から制御できる大きな GOT（タッチパネル）を据え付け、遊び方やスコア等が大きく表示されるようにした。ゲームの雰囲気が高めるための LED と効果音については Arduino をサブコントローラーとして用いている。電気機器及び配線は図 14 のように機器の背部にまとめることで、作業性と安全性の向上に努めた。

### 2. 5. 3 製作結果

1 分以内になるべくたくさんのもぐらを叩かず光で追い払うゲームモードを実装し、もぐらたたかない



Fig.15 Front View

コンセプトを満たした装置ができた。伝えたいテーマについても、図 15 のように前面に SDGs のロゴを貼ることでメッセージ性を高めている。発表時点では未完成の部分もあったが、その後に改良を重ねて完成度を高めたため、校内外のイベントに出展する作品の定番となりつつある。

### 3. むすびに

今年度も学生の自由な発想のもとに興味深い作品が製作された。想定通りにいかない部分もあったが、その点を含めて、ものづくりの楽しさと難しさを感じることができたと思われる。学生の感想では「チーム内でもっと情報共有ができればよかった。」「スケジュール管理をしっかりしたい」というような前向きな意見が目立ち、コミュニケーション能力やスケジュールリングの大切さを身をもって実感できたことがうかがえる。また、「次はもっとこうしたい」といったような、向上心を持った反省も得られた。

今年度は総合課題終了後に一週間程度まとめの時間をとったことから、これらの経験を履歴書や面接練習に落とし込む時間的余裕もあり、就職活動へスムーズに結びつけることもできたと考える。

### 参 考 文 献

- 1) 中島一雄：専門課程 1 年生の総合課題；長野県南信工科短期大学校紀要,1,19-22(2017).
- 2) 蟹江和彦，横道正和：DC モータを用いたホパークラフトの製作；長野県南信工科短期大学校紀要,1,23-26(2017).
- 3) 中島一雄：ゲーム台『いとおかし』の製作；長野県南信工科短期大学校紀要,1,27-29(2017).
- 4) 矢崎美彦：重錘式振り子時計の製作；長野県南信工科短期大学校紀要,1,30-32(2017).
- 5) 千葉隆史：総合課題「無限ドミノ」製作の指導について；長野県南信工科短期大学校紀要,1,33-36(2017).
- 6) 横道正和：Active Trash Box の開発；長野県南信工科短期大学校紀要,1,37-40(2017).
- 7) 宮下利仁：課題製作「バブルミネーション」の紹介；長野県南信工科短期大学校紀要,1,41-44(2017).
- 8) 湯本一彦：機械装置『KARAKURI』の製作；長野県南信工科短期大学校紀要,1,45-47(2017).
- 9) 横道正和，中島一雄，湯本一彦，大工原裕之：平成 29 年度総合課題の取り組み；長野県南信工科短期大学校紀要,2,16-20(2018).
- 10) 千葉隆史：総合課題「草むしりロボット」の紹介；長野県南信工科短期大学校紀要,2,21-23(2018).
- 11) 宮下利仁：総合課題「電動アシスト車いす」の紹介；長野県南信工科短期大学校紀要,2,24-25(2018).
- 12) 三沢雅芳，柳沢裕二：総合課題「M-POV」の製作；長野県南信工科短期大学校紀要,2,26-28(2018).
- 13) 矢崎美彦：2018Ene-1GP SUZUKA KV-BIKE チャレンジへの参加；長野県南信工科短期大学校紀要,2,49-51(2018).
- 14) 三沢雅芳，鮎沢俊輔：自動ホワイトボード消し装置の製作；長野県南信工科短期大学校紀要,3,13-16(2019).
- 15) 矢崎美彦，松原洋一，柳沢裕二：2021 年度総合課題の取り組み；長野県南信工科短期大学校紀要,6,9-14(2022).

## 【事例紹介】

# 畳み込みニューラルネットワーク超解像の端緒論文を読む

電気システム学科 武久泰夫

## 1. はじめに

紀要前号の解説記事<sup>1)</sup>において、次号は AI 超解像について報告すると締めくくってから早一年、時間の速さを痛感しています。筆者はかつてマルチフレーム超解像を研究、そして本校に赴任してからは隙間時間に機械学習を勉強した経緯があり、両者が融合された AI 超解像の理解にはそんなに苦労しないだろうと楽観していました。ところが、ある躰きで道を踏み外したため遠回りを強いられる羽目になってしまいました。賢明な読者には一笑に付されてしまいそうなその躰きとは何かを説明し、筆者の他に迷子をつくらないため、AI 超解像の麓までご案内します。

## 2. AI 超解像元祖の論文

AI 超解像は、2015 年に発表された研究論文<sup>2)</sup>に端を発します。論文中で使われた SRCNN (Super-Resolution Convolutional Neural Network) が、この研究の代名詞となりました。日本語では“畳み込みニューラルネットワーク超解像”と訳せますが、本稿の中でも略語表記 SRCNN を使用します。SRCNN により、深層学習が超解像（特にシングルフレーム超解像）の性能向上に大きく寄与すると示されて以来、多くの発展研究が続きますが、そのルーツを辿ると大概 SRCNN に行き着くようです。SRCNN を提案した研究者がその解説を試みている 2 つの論文<sup>2),3)</sup>を入手し読み進めていくと、

- ・ただだか 3 層の畳み込みニューラルネットワークで構成されている
- ・スパースコーディング超解像に着想の原点がある
- ・学習さえ完了していれば処理を高速にこなす

といった特徴を有している点が明らかになってきました。サンプルプログラムを実装し出力画像を観察すれば、確かに従来のシングルフレーム超解像を凌駕する性能を発揮します。では、なぜこの手続きで高解像度が達成されるのでしょうか？研究論文ですから、その問いに対する回答が抜け落ちているわけがありません。しかし幾度論文を読み返しても、「なるほど、だから上手くいくのか！」と心から納得するには至りま

せんでした。中でも、SRCNN の核心「スパースコーディング超解像との対応」をどう解釈すればよいのか、そこでの躰きが迷走の始まりとなりました。と前置きすると、その処理は複雑なのではと身構えるかもしれませんが、実は拍子抜けするほどシンプルな要素で構成されています。この研究論文<sup>2)</sup>が発表された当時、畳み込みの層数が数十に及ぶディープなニューラルネットワークが提案されていたにもかかわらず、SRCNN はたったの 3 層で従来法を置き去りにする性能を見せつけたわけですから、超解像研究者に与えたインパクトは大きかったと想像できます。

では SRCNN がどのような処理を行っているのか、そしてスパースコーディング超解像とどのような関係にあるのか、それらについて、2. 1 と 2. 2 節に論文<sup>2)</sup>の該当部分の日本語訳を示して説明します（ゴシックフォント）。図 1 と 2 もそこからの引用です。

### 2. 1 SRCNN

#### (1) パッチの抽出と表現

画像復元の一般的な戦略は、パッチを密に抽出し、PCA, DCT, Haar などの事前に訓練された基底の集合でそれらを表現することです。これは、それぞれが基準となる一連のフィルターによって画像を畳み込むことと同じです。私たちの定式化では、これらの基底の最適化をネットワークの最適化に含めます。正式には、最初のレイヤーは操作  $F_1$  として(1)式により表されます。

$$F_1(\mathbf{Y}) = \max(0, \mathbf{W}_1 * \mathbf{Y} + \mathbf{B}_1) \quad (1)$$

上式で、 $\mathbf{W}_1$  と  $\mathbf{B}_1$  はそれぞれフィルターとバイアスを、「\*」は畳み込み演算を表します。 $\mathbf{W}_1$  は  $c \times f_1 \times f_1$  をサポートする  $m_1$  個のフィルターです。 $c$  は入力画像のチャンネル数、 $f_1$  はフィルターの空間サイズです。直感的に  $\mathbf{W}_1$  は、カーネルサイズ  $c \times f_1 \times f_1$  で  $m_1$  個のフィルターを画像に畳み込む処理といえます。出力は  $m_1$  個の特徴マップで構成されます。 $\mathbf{B}_1$  は  $m_1$  次元のベクトルで、各要素がフィルターに関連付けられています。フィルター応答に正規化線形ユニット (ReLU,  $\max(0, x)$ ) を適用します。

#### (2) 非線形マッピング

最初のレイヤーは、各パッチの  $m_1$  次元の特徴を抽出

します。2番目の操作では、これら  $m_1$  次元のベクトルのそれぞれを  $m_2$  次元のベクトルにマッピングします。これは、空間サポート  $1 \times 1$  を持つ  $m_2$  個のフィルターを適用することと同じです。この解釈は、 $1 \times 1$  フィルターに対してのみ有効です。しかし、 $3 \times 3$  や  $5 \times 5$  などのより大きなフィルターに一般化するのは簡単です。その場合、非線形マッピングは入力画像のパッチに対してではなく、特徴マップ上の  $3 \times 3$  または  $5 \times 5$  画素サイズの「パッチ」に対して適用されます。第2層の操作は次のとおりです。

$$F_2(\mathbf{Y}) = \max(0, W_2 * F_1(\mathbf{Y}) + B_2) \quad (2)$$

ここで、 $W_2$ にはサイズ  $m_1 \times \ell \times \ell$  で  $m_2$  個のフィルターが含まれ、 $B_2$ は  $m_2$ 次元です。出力  $m_2$ 次元ベクトルのそれぞれは、概念的には再構成に使用される高解像度パッチの表現です。畳み込み層をさらに追加して、非線形性を高めることができます。ただし、これによりモデルの複雑さが増す可能性があります（1つの層に対して  $m_1 \times \ell \times \ell \times m_2$  個のパラメーター）、より多くのトレーニング時間が必要になります。セクション4.3.3で追加の非線形マッピングレイヤーを導入することにより、より深い構造を探索します。

### (3) 再構築

従来の方法では、予測された重なり合う高解像度パッチが平均化され、最終的に完全な画像が生成されることがよくあります。平均化は、特徴マップの集合に対する定義済みのフィルターと見なすことができます（特徴マップの集合の各位置は、高解像度パッチの「平滑化された」ベクトル形式です）。これに動機付けられて、畳み込み層を定義して、最終的な高解像度画像を生成します。

$$F(\mathbf{Y}) = W_3 * F_2(\mathbf{Y}) + B_3 \quad (3)$$

ここで、 $W_3$ はサイズ  $m_2 \times \ell_3 \times \ell_3$  の  $c$  個のフィルターに対応し、 $B_3$ は  $c$ 次元のベクトルです。

高解像度パッチの表現が画像ドメインにある場合（つまり、各表現を単純に変形してパッチを形成できる場合）、フィルターは平均化フィルターのように機能すると予想されます。高解像度パッチの表現が他のドメイン（たとえば、いくつかの基底に関する係数）にある場合、 $W_3$ は最初に係数を画像ドメインに投影してから平均化するように動作すると予想されます。いずれにしても、 $W_3$ は線形フィルターのセットです。

興味深いことに、上記の3つの操作は異なる直感によって動機付けられていますが、それらはすべて畳み込み層として同じ形式につながります。3つの操作をすべて組み合わせて、畳み込みニューラルネットワークを形成します（図1）。このモデルでは、すべてのフィルタリングの重みとバイアスが最適化されます。全体的な構造が簡潔であるにもかかわらず、SRCNNモデルは、超解像の大幅な進歩から得られた広範な経験を引き出すことによって慎重に開発されています。次のセクションで関係を詳しく説明します。

## 2.2 SRCNN とスパースコーディング超解像の関係

スパースコーディング超解像は、畳み込みニューラルネットワークと見なすことができることを示します。図2にイラストを示します。

スパースコーディングベースの手法では、入力画像から  $\ell_1 \times \ell_1$  の低解像度パッチが抽出されます。次に、Feature-Sign などのスパースコーディングソルバーは、最初にパッチを（低解像度の）辞書（フィルター群）に投影します。辞書サイズが  $m_1$  の場合、これは入力画像に  $m_1$  個の線形フィルター（ $\ell_1 \times \ell_1$ ）を適用することと等価です。平均減算も線形演算なので吸収できます。

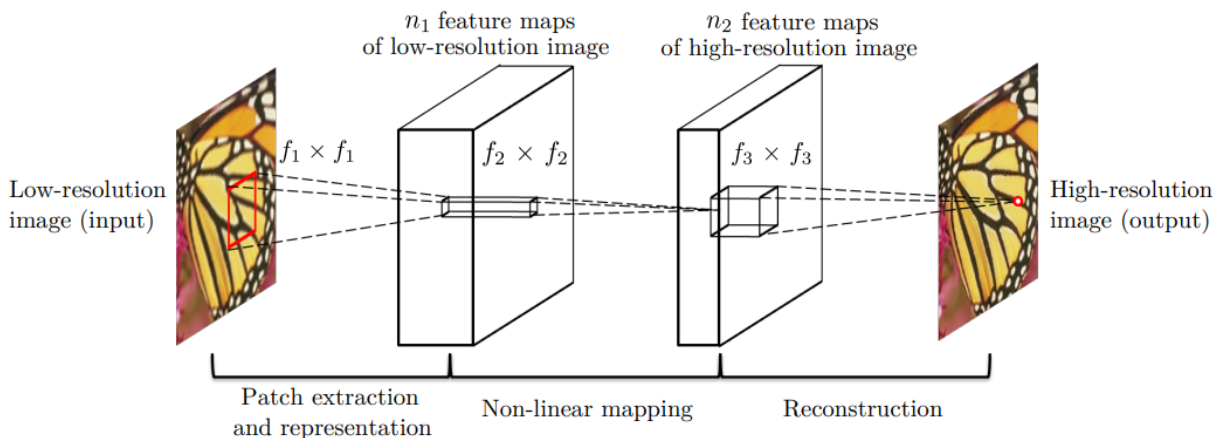


図1 SRCNNの3ステップによる高解像度処理

これは、図2の左側に示されています。

スパースコーディングソルバーは、 $m_1$  個の係数を繰り返し処理します。このソルバーの出力は  $m_2$  個の係数であり、スパースコーディングの場合は通常  $m_2 = m_1$  です。これら  $m_2$  個の係数は、高解像度パッチの表現です。この意味で、スパースコーディングソルバーは、空間サポートが  $1 \times 1$  の非線形マッピング演算子の特殊なケースとして動作します。図2の中央部分を参照してください。ただし、スパースコーディングソルバーはフィードフォワードではありません。つまり、反復アルゴリズムです。それどころか、非線形演算子は完全にフィードフォワードであり、効率的に計算できます。 $f_2 = 1$  を設定すると、非線形演算子はピクセル単位の全結合層と見なすことができます。注目に値するのは、SRCNN の「スパースコーディングソルバー」は、最初の2つのレイヤーを指し、2番目のレイヤーのみもしくはアクティベーション関数 (ReLU) のみを指すわけではないことです。したがって、SRCNN の非線形演算も、学習プロセスを通じて適切に最適化されます。

上記の  $m_2$  個の係数 (スパースコーディング後) は、別の (高解像度) 辞書に射影され、高解像度パッチが生成されます。次に、重複する高解像度パッチが平均化されます。上で説明したように、これは  $m_2$  個の特徴マップの線形畳み込みに相当します。再構成に使用される高解像度パッチのサイズが  $f_3 \times f_3$  の場合、線形フィルターはサイズ  $f_3 \times f_3$  と同等の空間サポートを持ちます。図2の右側を参照してください。

上記の説明は、スパースコーディングベースの超解像メソッドが一種の畳み込みニューラルネットワーク (異なる非線形マッピングを持つ) と見なすことができることを示しています。しかし、スパースコーディングベースの超解像メソッドの最適化では、すべての

操作が考慮されているわけではありません。それどころか、畳み込みニューラルネットワークでは、低解像度の辞書、高解像度の辞書、非線形マッピング、および平均減算と平均化がすべて最適化されるフィルターに参与しています。したがって、私たちの方法は、すべての操作で構成されるエンドツーエンドのマッピングを最適化します。上記のアナロジーは、ハイパーパラメーターの設計にも役立ちます。たとえば、最後のレイヤーのフィルターサイズを最初のレイヤーのフィルターサイズよりも小さく設定できるため、高解像度パッチの中央部分により多く依存します (極端に言えば、 $f_3 = 1$  の場合、平均化なしの中心ピクセル)。また、 $m_2 < m_1$  を設定することもできます。典型的かつ基本的な設定は、 $f_1 = 9$ 、 $f_2 = 1$ 、 $f_3 = 5$ 、 $m_1 = 64$ 、および  $m_2 = 32$  です (実験セクションでさらに多くの設定を評価します)。全体として、高解像度ピクセルの推定には、 $(9 + 5 - 1)^2 = 169$  ピクセルの情報が使用されます。明らかに、再構成に利用される情報は、既存の外部の例に基づくアプローチで使用される情報よりも比較的大きく、たとえば  $(5 + 5 - 1)^2 = 81$  ピクセルを使用します。これが、SRCNN が優れたパフォーマンスを提供する理由の1つです。

### 3. 筆者の思い込み

以上の2. 1と2. 2節が、論文<sup>2)</sup>でSRCNNとスパースコーディング超解像との関係性を説明している核心部の日本語訳でした。ここからは再び筆者の経験に戻ります。この説明と2つの図を見て、スパースコーディング超解像の低解像度辞書に相当するのは、 $W_1$ として使われているカーネルサイズ  $c \times f_1 \times f_1$  の  $m$  個のフィルターである、と思い込んでしまったところから迷走が始まりました。とすれば「高解像度の  $m$  個の辞書

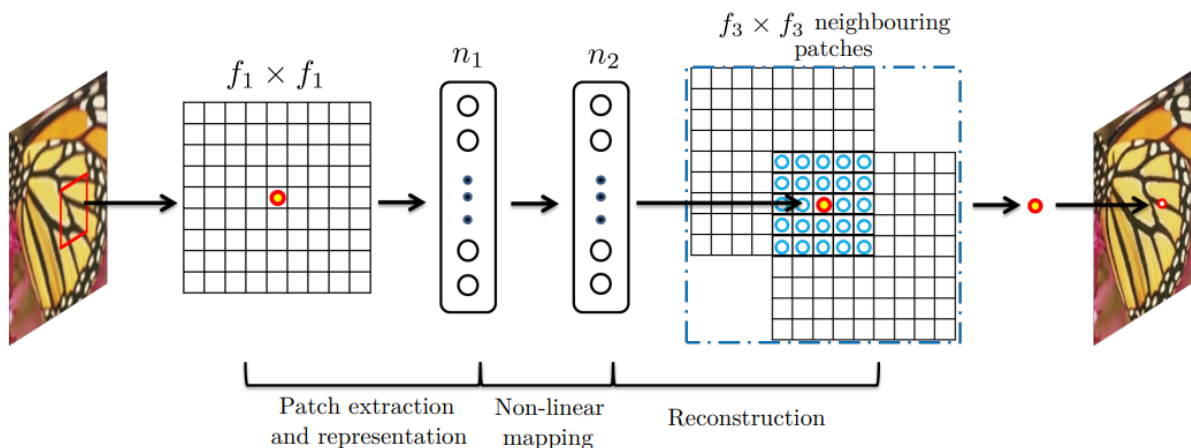


図2 SRCNN とスパースコーディング超解像との関係

もどこかにあるはず、それは何か?」。 $W_2$ はサイズ  $m \times f_2 \times f_2$  の  $m$  個のフィルターですが、 $f_2 = 1$  つまりフィルターの空間サイズ  $1 \times 1$  なので無理があります。では  $W_3$  で使われているサイズ  $m_2 \times f_3 \times f_3$  のフィルターが高解像度の辞書ではないか? 論文中では  $f_3 = 5$  として実験しているので、空間サイズ  $5 \times 5$  のフィルターサイズならば不自然なところはありません。そうだ、そうに違いない。次なる疑問は、「各辞書のフィルターにかかる係数としてはどの値が相当するのか?」です。その答えを探しているとき目についたのが、図2の赤丸の画素でした。 $W_1$  と  $W_3$  でマッピングされた特徴マップ上のこの赤丸画素の値を係数とすれば、なんとなく辻褃が合いそうです。しかし、赤丸の特徴マップの画素値とフィルターの線形結合で本当に画像パッチが再現されるのか、もやもやが消えず、実際に小さなフィルターサイズで手計算してみても、やはり再現されません。では辞書はどこにあり、係数の値はいくらなのでしょう。謎は深まるばかりです。自分の解釈に無理があるに違いありません。ならば論文を補完する別の説明を探し当て、頭の曇りを晴らさなくては。本紀要の締め切りも迫り、一刻の猶予も許されない状況となりました。関連キーワードを検索し、そしてついにはきっかけをつかむ文献<sup>4)</sup>に遭遇しました。そこに書いてあったのは次の記述です。「高解像度/低解像度の辞書を明示的に作成するスパースコーディングベースの手法とは対照的に、深層学習ベースの手法の辞書は、複数の畳み込みの非線形結合として暗黙的に取得されます」。これを額面通りにとらえれば、辞書や係数は目に見える形で表れるものではなく、CNNの非線形マッピングの過程で知らず知らずに使われ、処理されているということになります。道理でいくら探しても辞書や係数が見当たらないわけです。では  $W_1$  に使われているカーネルサイズ  $c \times f_1 \times f_1$  の  $m$  個のフィルターは何のために?それが次の疑問として湧き上がってきました。この疑問に答えてくれたのは、機械学習研究者がセミナー資料として公開している高次元スパース推定のスライド<sup>5)</sup>でした。スパース推定では、数多のデータから関係の薄い成分を除去し、真に寄与する成分のみを抽出することにより、高精度で頑健な予測を行っています。そのスライドを見て目に留まったキーフレーズが次です。

- どこが重要なかわからない→特徴選択：データから学習
- 予測に寄与する特徴量を特定できれば解釈性も上が

る  
特徴選択と特徴量、これはCNNでは畳み込みフィルターと特徴マップに相当するはず、とピンとききました。そうか、単に画像パッチに分割するだけでなく、 $F_1$  で特徴抽出することにより、よりエッセンシャルな  $m_1$  個の成分に限定しているのか。なるほど、それでSRCNNがスパースコーディング超解像由来という提案者の主張が腑に落ちました。出力段の  $F_3$  は、論文<sup>2)</sup>の記述通り「平均化フィルターのように機能すると予想されま

す」が妥当な理解でしょう。  
残るは  $F_2$ 、この部分こそが、低解像度パッチ→高解像度パッチ、を担う核心部分であるはず。  $W_2$  はCNNと言いつつ、フィルターサイズ  $f_2 \times f_2 = 1 \times 1$  なので実は全結合そのものです。特徴マップ上のある位置の1画素に対する64個のチャンネル方向データを32個のそれに非線形変換する処理です(図3)。特徴マップ  $F_1(\mathbf{Y})$  の1画素は、 $\mathbf{Y}$  の  $f_1 \times f_1$  パッチと  $W_1$  フィルターの情報を有しています。このような情報が64個あり、その非線形変換が  $F_2(\mathbf{Y})$  となりますので、厳密ではないながらもそれとなくスパースコーディング超解像との対比が浮かんできませんか。スパースコーディング超解像では、事前に低解像度パッチと高解像度パッチのペアを用意しておきますが、その対応も学習で構築できるところがSRCNNを高性能にしている所以でしょう。正直に言えば、まだ  $F_2(\mathbf{Y})$  の真理に完全には迫れておらず、論文理解80%の段階ですが、100を待っていると未来永劫原稿を執筆できないかもしれないと気を取り直し、このタイミングで投稿しました。

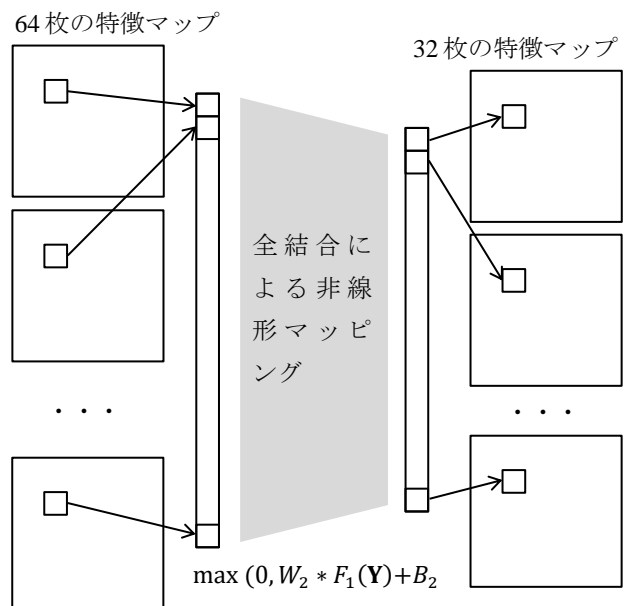


図3 全結合による非線形変換  $F_2(\mathbf{Y})$

SRCNN 以降, AI 超解像は右肩上がりにその性能を向上させています。筆者は上述の通り SRCNN で躓いてしまったため, その後の AI 超解像をフォローできていませんが, 前段の特徴抽出と最終段の平均化は共通しているのではないのでしょうか。 $F_2(\mathbf{Y})$ つまり低解像度→高解像度の非線形マッピングを工夫することで, 超解像性能を向上させているのでしょうか。この原稿は, SRCNN を正しく理解するうえでの道しるべになればとの思いで執筆しましたが, 筆者自身の備忘録の色合いが強くなってしまったことをお詫びします。

#### 4. おわりに

SRCNN の論文を読み始めたのは, 厳しい寒さの最中だったと記憶しているので, かれこれ9か月も頭の中に引っかかるものを抱えて過ごしてきました。ではその時間は一歩も前進がなかったのかと聞かれれば, 答えは「そんなことはありません」。SRCNN そのものの理解が深まったのは当然として, 畳み込みニューラルネットワーク, スパースコーディングの他, 周辺に広がるデジタル信号処理, 画像符号化を再トレースする時間でもありました。

さらに, インターネット上の様々な情報に触れる中で, 手っ取り早く理解したいと飛びついた記事の多くが読みやすい反面, 上辺をなぞるだけであり, 疑問の

解消に導いてくれるものではありませんでした。本質的なところまで理解するには, 一見遠回りに見えても一つひとつ掘り下げていくのが結局は近道だと再認識させられました。とかくタイプとかコスパが追い求められる世相の中で, 研究・開発・技術分野の仕事のあり方を考えさせられる経験でもありました。

#### 参 考 文 献

- 1) 武久泰夫: 超解像研究を振り返る; 長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 6-8 (2022)
- 2) Chao Dong, Chen Change Loy, Kaiming He, Xiaoou Tang. "Image super-resolution using deep convolutional networks", IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 38(2), 295-307 (2015).
- 3) Chao Dong, Chen Change Loy, Kaiming He, Xiaoou Tang. "Learning a Deep Convolutional Network for Image Super-Resolution", Proc. of European Conference on Computer Vision (ECCV), 2014.
- 4) Shunta Maeda. "Image Super-Resolution with Deep Dictionary", Proc. of European Conference on Computer Vision (ECCV), 2022
- 5) 鈴木大慈, "機械学習技術とその数理基盤 (第1部)", [http://ibis.t.u-tokyo.ac.jp/suzuki/lecture/2018/ML\\_Gairon/ML\\_Gairon\\_01.pdf](http://ibis.t.u-tokyo.ac.jp/suzuki/lecture/2018/ML_Gairon/ML_Gairon_01.pdf)

## 【事例紹介】

# 編入に向けた試験問題の分析

電気システム学科 南澤壮和

## 1. はじめに

2023年1月5日に構造改革特別区域計画が内閣総理大臣に認定された。認定後の名称は長野県地域中核人材育成特区といい、県内の工科短期大学から信州大学および公立諏訪東京理科大学への3年次編入が可能となるものである。わが南信工科短期大学も2024年度より編入学が可能となる<sup>1)</sup>。

編入学のためにはこれらの大学が課す編入試験に合格する必要がある。編入学試験の出願者は高等専門学校<sup>2)</sup>の学生が大多数を占め、同じ枠（大学によっては推薦枠を設けている場合もある）を競うことになる<sup>2)</sup>。これらの高等専門学校においては、毎年一定の学生が編入学を希望するため、編入を支援する体制が整っていると予想される。これに対し南信工科短期大学の学生の自主的な学習だけでは、高等専門学校と比較して支援体制が十分とは言えず、本校においても何らかの準備・情報の蓄積が必要だと考える。

手始めに試験内容と過去の出題傾向を調査した。編入学を希望する学生とそれを支援する教員の助力となるよう分析結果を事例紹介としてまとめる。

次節以降では倍率・過去出題された問題など試験の詳細が公開されており、今年度編入学希望者がいると推測される信州大学工学部についてのみ述べる。また公開されている試験問題の解答例を作成したので最後に付録としてまとめる。

## 2. 試験概要

南信工科短期大学の学生の志望が予想されるのは信州大学工学部のうち次の学科である。

- ・電子情報システム工学科
- ・機械システム工学科

試験は一般選抜と推薦選抜の2種類存在するが、工科短大の学生は一般選抜のみ対象である。

定員は学科ごとには定められてはおらず、一般選抜と推薦選抜合わせて工学部全体で20名とのみ公表されている<sup>3)</sup>。選抜の状況として過去5年間の受験者数・合格者数が試験別に公開されている。一般選抜かつ工

表1 編入が予想される学科と選抜方法

学科	選抜方法（カッコ内は配点）
信州大学 電子情報システム工学科	数学（30） 口頭試験を含む面接（60） 書類（10）
信州大学 機械システム工学科	数学（60） 面接（40）

表2 口頭試験の選択分野と出題内容

選択	出題内容
電磁気学	不明
回路基礎	電気回路・電子回路・論理回路
情報基礎	プログラム・データ構造・アルゴリズム

学部全体の過去5年間の平均倍率は4.7倍である。電子情報システム科一般選抜のそれは3.2倍、機械システム工学科のそれは11.9倍である。

学科ごとの試験内容と配点を表1にまとめる。このうち数学は問題が公開されているため次節で詳しく述べる。面接は求める学生像に沿っているか、幅広く確認するものと思われる。学科ごとのアドミッションポリシーが公開されているためそちらを参照してほしい。

電子情報システム学科の口頭試験は電磁気・回路基礎・情報基礎の3科目からの選択である。それぞれの出題範囲を表2にまとめる。電磁気学は募集要項に記載がなかったため不明である。このうち南信工科短期大学で扱わない内容はデータ構造・アルゴリズムであり、情報基礎を選択する場合は追加の学習が必要になる。逆に追加の学習が要らず、出題内容と対応する科目を多く扱う回路基礎が一番の選択候補となる。

## 3. 過去の試験問題における出題内容

学力試験（数学）の問題は学科を問わず工学部で共通である。公表されている出題範囲を以下に示す。

- ・微分積分（極限、1変数と多変数関数の微積分）
- ・線形代数（線形方程式、ランク、逆行列、行列式、対角化）

この範囲は信州大学共通教育において開講されている科目、「微積分学Ⅰ・Ⅱ」と「線形代数学Ⅰ・Ⅱ」

表3 学力試験（数学）における過去の出題内容

年度	大問1	大問2	大問3	大問4
2019	微分方程式	積分	連立方程式の解の存在条件	行列固有値, 対角化可能条件
2020	関数の極限	積分の極限	行列式の数列	対角化可能条件
2021	該当する試験なし（感染症のため）			
2022	関数の連続性	積分の極限	行列式・漸化式	対角化可能条件
2023	関数の極限, 関数の展開	積分	正則性の判定	対角化可能条件
2024	関数の不等式	積分の極限	連立方程式の解の存在条件	対角化可能条件

の内容に相当する。学力試験の試験時間は90分である。過去の試験問題において出題された内容を表3にまとめる。このうち、ある行列が対角化可能か判定する問題や行列のある要素が未定数となっていて、対角化可能である未定数の条件を問うような問題は毎年出題されている。一般の行列に対する対角化可能条件は、参考書や数学系の記事を扱うWebサイトなどで紹介されている。例えば“すべての固有値に対して、固有値に対応する固有空間が固有値の重複度と等しい次元であれば対角化可能”といったものである。しかし、これらの条件は実際の判定では使いやすいとは言えない。このことについて使いやすく変形したものを考案した。付録ではその判定法を用いて解いているので参考にしてほしい。

また関数の極限・積分の極限を求める問題も頻出である。ただし単なる微分積分の計算だけでなく、関数の微分可能性・連続性なども問われている。数列・漸化式と絡めた問題もあり、高校数学の知識が使いこなせるかが吟味されると思われる。

複数の小問から構成される大問は、誘導を含んでいる。このような場合、解答の手が止まっても証明したい内容と後の問題を比較することで突破口が見つかるため時間の許す限り粘ってほしい。

#### 4. 試験問題の対策

編入試験は6月初旬に行われる。夏季休暇に入ると同時に準備を開始するとすれば10か月程度が試験対策に充てられる時間である。この間に信州大学の微分積分学Ⅰ・Ⅱ、線形代数学Ⅰ・Ⅱに相当する部分を学習する必要がある。90分×15コマ×4科目であるから5400分は自習時間として確保しておく。学習においては、編入先の学部で使用されているものと同じ教科書を用いて学習をすることが望ましい。科目と使用されている教科書はシラバスに記載されている。口頭試験

は回路基礎を選択するとすれば、追加の学習時間は最も少なく済む。ただし南信工科短期大学校で開講されている「電気回路」・「電気回路基礎実験」・「電子デバイス」・「電子デバイス基礎実験」・「デジタル回路基礎実験Ⅰ・Ⅱ」の授業内容を十分理解し、知識を維持できるよう復習することが望ましい。

入学に際して「数学（Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B）」・「理科（物理基礎・物理・化学基礎・化学）」・「英語（読解・表現・会話）」は十分身につけていることが前提となっている。高校で履修していない・理解に不安がある場合は、こちらの学習も並行して進める必要がある。

過去の出題問題にある項目についてのみ学習を行うのは推奨されない。そのような数学の問題としての側面にのみ注目すると、数学を応用として展開できなくなり、編入学後苦勞すると思われる。大学の数学は抽象化されているため理解に苦勞するが、抽象化と同時に、ありとあらゆる分野に応用できる普遍性を手に入れている。十分時間をかけて取り組んで欲しい。

最後に信州大学工学部公式HP<sup>2)</sup>にて公開されている学力試験（数学）の解答を付録としてつけておく。

#### 参 考 文 献

- 1) 長野県プレスリリース, “工科短期大学校から4年制大学への編入学が可能となる構造改革特別区域計画が内閣総理大臣から認定されました”, <https://www.pref.nagano.lg.jp/jinzai/happyou/documents/230105press.pdf>.
- 2) 信州大学工学部, “学部入試 | 入試について”, <https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/admission/undergraduate/#sec2>
- 3) 信州大学工学部, “令和6年度/2024年度 工学部第3年次編入学募集要項”, [https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/admission/R06\\_3hen\\_bosyuyoukou.pdf](https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/admission/R06_3hen_bosyuyoukou.pdf)

**R6-1**

(1)

$$f(1) = 0 \quad (1)$$

$$f'(x) = x^{p-1} - 1 \quad (2)$$

(2)

$f'(x) = 0$  となる  $x$  は  $x = 1$  であり、 $x > 0$  における  $f$  の増減を考えると  $f(x)$  は  $x = 1$  のとき最小値をとる。さらに  $f(1) = 0$  より  $f(x) \geq 0$  が成立する。

$$\frac{1}{p}x^p + \frac{1}{q} - x \geq 0 \quad (1)$$

$$x \leq \frac{1}{p}x^p + \frac{1}{q} \quad (2)$$

(3)

示したい不等式が成立していると仮定する。

$$\alpha\beta \leq \frac{1}{p}\alpha^p + \frac{1}{q}\beta^q \quad (1)$$

両辺を  $\beta^q$  で除する

$$\alpha\beta^{1-q} \leq \frac{1}{p}\alpha^p\beta^{-q} + \frac{1}{q} \quad (2)$$

$1/p + 1/q = 1$  の関係を用いると  $1 - q = -q/p$  が導出され、これを左辺に代入する。

$$\alpha\beta^{-q/p} \leq \frac{1}{p}\alpha^p\beta^{-q} + \frac{1}{q} \quad (3)$$

$$\alpha\beta^{-q/p} \leq \frac{1}{p}\left(\alpha\beta^{-q/p}\right)^p + \frac{1}{q} \quad (4)$$

これは前問で成立することを証明した不等式  $x \leq \frac{1}{p}x^p + \frac{1}{q}$  において  $x = \alpha\beta^{-q/p}$  としたものである。よって成立する。

**R6-2**

(1)

$x^2 = t$  と置換する。

$$\int \frac{x^3}{(1+x^2)^p} dx = \frac{1}{2} \int \frac{t}{(1+t)^p} dt \quad (1)$$

次に  $p$  の値によって場合分けを行う。

i.  $p = 1$  のとき

$$\frac{1}{2} \int \frac{t}{1+t} dt = \frac{1}{2} \int \left(1 - \frac{1}{1+t}\right) dt \quad (2)$$

$$= \frac{1}{2} \left( t - \log(1+t) \right) + C \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2} \left( x^2 - \log(1+x^2) \right) + C \quad (4)$$

ii.  $p \neq 1$  のとき

$$\frac{1}{2} \int \frac{t}{(1+t)^p} dt = \frac{1}{2} \int t \left( \frac{1}{-p+1} (1+t)^{-p+1} \right)' dt \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2} t \frac{1}{-p+1} (1+t)^{-p+1} - \frac{1}{2} \int \frac{1}{-p+1} (1+t)^{-p+1} dt \quad (6)$$

さらに  $p$  の値によって場合分けを行う。

(ii-i)  $p = 2$  のとき

$$\frac{1}{2} \int \frac{t}{(1+t)^p} dt = -\frac{1}{2} t(1+t)^{-1} + \frac{1}{2} \int \frac{1}{1+t} dt \quad (7)$$

$$= -\frac{1}{2} t(1+t)^{-1} + \frac{1}{2} \log(1+t) + C \quad (8)$$

$$= -\frac{x^2}{2} (1+x^2)^{-1} + \frac{1}{2} \log(1+x^2) + C \quad (9)$$

(ii-ii)  $p \neq 2$  のとき

$$\frac{1}{2} \int \frac{t}{(1+t)^p} dt = \frac{1}{2} \int t \left( \frac{1}{-p+1} (1+t)^{-p+1} \right)' dt \quad (10)$$

$$= \frac{1}{2} t \frac{1}{-p+1} (1+t)^{-p+1} - \frac{1}{2} \frac{1}{(-p+1)(-p+2)} (1+t)^{-p+2} + C \quad (11)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{x^2}{-p+1} (1+x^2)^{-p+1} - \frac{1}{2} \frac{1}{(-p+1)(-p+2)} (1+x^2)^{-p+2} + C \quad (12)$$

場合分けの結果をまとめると次のようになる。

$$\int \frac{x^3}{(1+x^2)^p} dx = \begin{cases} \frac{1}{2} (x^2 - \log(1+x^2)) + C & (p=1) \\ -\frac{x^2}{2} (1+x^2)^{-1} + \frac{1}{2} \log(1+x^2) + C & (p=2) \\ \frac{1}{2} \frac{x^2}{-p+1} (1+x^2)^{-p+1} - \frac{1}{2} \frac{1}{(-p+1)(-p+2)} (1+x^2)^{-p+2} + C & (p \neq 1 \text{ かつ } p \neq 2) \end{cases} \quad (13)$$

問題より  $p > 2$  であるから求める不定積分の値は次である。

$$\int \frac{x^3}{(1+x^2)^p} dx = \frac{1}{2} \frac{x^2}{-p+1} (1+x^2)^{-p+1} - \frac{1}{2} \frac{1}{(-p+1)(-p+2)} (1+x^2)^{-p+2} + C \quad (14)$$

## (2)

$(x, y) = (r \cos \theta, r \sin \theta)$  と独立変数を変換する。この変換によって積分領域は次で表される。

$$D_n = \left\{ r, \theta \mid 0 \leq r \leq n, \frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{5\pi}{4} \right\}$$

さらにヤコビアンを計算することにより微小領域  $dxdy$  は次のように表される。

$$dxdy = \left| \begin{array}{cc} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \theta} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \theta} \end{array} \right| drd\theta = r drd\theta \quad (1)$$

これらの結果を用いると問題の積分は  $r, \theta$  の積分として次のように表せる。

$$I_n(p) = \int_0^n \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{5\pi}{4}} \frac{|r^2 \cos \theta \sin \theta|}{(1+r^2 \cos^2 \theta + r^2 \sin^2 \theta)^p} r drd\theta \quad (2)$$

$$= \int_0^n \frac{r^3}{(1+r^2)^p} \left( \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{5\pi}{4}} |\sin \theta \cos \theta| d\theta \right) dr \quad (3)$$

ここで  $\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{5\pi}{4}} |\sin \theta \cos \theta| d\theta$  の値について、

$$\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{5\pi}{4}} |\sin \theta \cos \theta| d\theta = \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{5\pi}{4}} |\sin 2\theta| d\theta \quad (4)$$

$$= \frac{1}{4} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{2}} |\sin t| dt \quad (5)$$

$$= \frac{1}{4} \left( \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sin t dt - \int_{\pi}^{2\pi} \sin t dt + \int_{2\pi}^{\frac{5\pi}{2}} \sin t dt \right) \quad (6)$$

$$= 1 \quad (7)$$

この結果を用いると  $I_n(p) = \int_0^n \frac{r^3}{(1+r^2)^p} dr$  となり、前問の結果より  $I_n(p)$  は次で与えられる。

$$I_n(p) = \frac{1}{2} \frac{n^2}{-p+1} (1+n^2)^{-p+1} - \frac{1}{2} \frac{1}{(-p+1)(-p+2)} (1+n^2)^{-p+2} + \frac{1}{2} \frac{1}{(-p+1)(-p+2)} \quad (8)$$

$p > 2$  のとき極限が存在して、極限は次で与えられる。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} I_n(p) = \frac{1}{2} \frac{1}{(-p+1)(-p+2)} \quad (9)$$

### R6-3

問題の方程式の係数行列、未知数ベクトル、右辺ベクトルをそれぞれ  $A, \mathbf{x}, \mathbf{b}$  とおく。拡大係数行列  $(A, \mathbf{b})$  に対して基本変形を施す。

$$(A, \mathbf{b}) \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & b+2 & a-4 & b+4 \\ -1 & b-4 & 8 & 0 \\ 1 & 2 & -3 & 2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} 2 & b+2 & a-4 & b+4 \\ 0 & b-2 & 5 & 2 \\ 1 & 2 & -3 & 2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} 0 & b-2 & a+2 & b \\ 0 & b-2 & 5 & 2 \\ 1 & 2 & -3 & 2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & a-3 & b-2 \\ 0 & b-2 & 5 & 2 \\ 1 & 2 & -3 & 2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

ルーシェカペリの定理により係数行列  $A$  と拡大係数行列  $(A, \mathbf{b})$  のランクが等しいとき解が存在する。 $a, b$  の値によって場合分けを行う。

i).  $b \neq 2$  のとき

$\text{rank}(A, \mathbf{b}) = 3$  であるから  $a \neq 3$  ならば解が存在する。この条件を用いて基本変形を続けて行う。

$$(A, \mathbf{b}) \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & a-3 & b-2 \\ 0 & b-2 & 5 & 2 \\ 1 & 2 & -3 & 2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

よってこの場合の解は次である。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 - \frac{4}{b-2} + \frac{10}{a-3} + 3\frac{b-2}{a-3} \\ \frac{2}{b-2} - \frac{5}{a-3} \\ \frac{b-2}{a-3} \end{pmatrix} \quad (6)$$

ii).  $b = 2$  のとき

$\text{rank}(A, \mathbf{b}) = 2$  であるから  $a = 3$  ならば解が存在する。この場合の解は任意定数  $c$  を用いて次のように書ける。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{16}{5} - 2c \\ c \\ \frac{2}{5} \end{pmatrix} \quad (7)$$

場合分けの結果をまとめると方程式の解は次で与えられる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{cases} \begin{pmatrix} 2 - \frac{4}{b-2} + \frac{10}{a-3} + 3\frac{b-2}{a-3} \\ \frac{2}{b-2} - \frac{5}{a-3} \\ \frac{b-2}{a-3} \end{pmatrix} & (a \neq 3 \text{ かつ } b \neq 2) \\ \begin{pmatrix} \frac{16}{5} - 2c \\ c \\ \frac{2}{5} \end{pmatrix} & (a = 3 \text{ かつ } b = 2) \\ \text{解なし} & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (8)$$

## R6-4

### 対角化可能条件

ある行列  $A$  に対して対角化可能条件は次のように表される。

$A$  の全ての固有値について、固有値の重複度 = 対応する固有ベクトルの次元が成立。

ここでいう重複度とは固有方程式  $\det(\lambda I - A)$  における重根のことであり、例えば  $\det(\lambda I - A) = (\lambda - 1)(\lambda - 2)^3$  ならば固有値 1 は重複度 1、固有値 2 は重複度 3 となる値である。

条件を言い換えると、重複度と等しい数の線形独立な固有ベクトルを取り出せたら対角化可能ということである。ここで固有値  $\lambda$  に対応する固有ベクトル  $v$  とは

$$Av = \lambda v \quad (1)$$

の解である。線形独立な固有ベクトルの数はこの方程式の解の自由度に等しい。ここで  $(\lambda I - A)v = 0$  の係数行列  $\lambda I - A$  が一つ rank 落ちするごとに解の自由度は 1 つ増えるから解の自由度は  $= n - \text{rank}(\lambda I - A)$  である。よって上の条件は

$$\text{重複度} = n - \text{rank}(\lambda I - A) \quad (2)$$

が成立していることと同値である。

対角化可能の判定手順をまとめると次のようになる。

1.  $\det(\lambda I - A) = 0$  を解き、固有値を求める。
2. 重複度が 2 以上の固有値全てについて  $n - \text{rank}(\lambda I - A) = \text{重複度}$  が成立しているか確認。重複する固有値が無い場合は対角化可能。
3. 対象の固有値全てが条件を満たす  $\rightarrow$  対角化可能。そうでないなら不可能。

この手順をフローチャートにしたものを Fig.1 に示す。

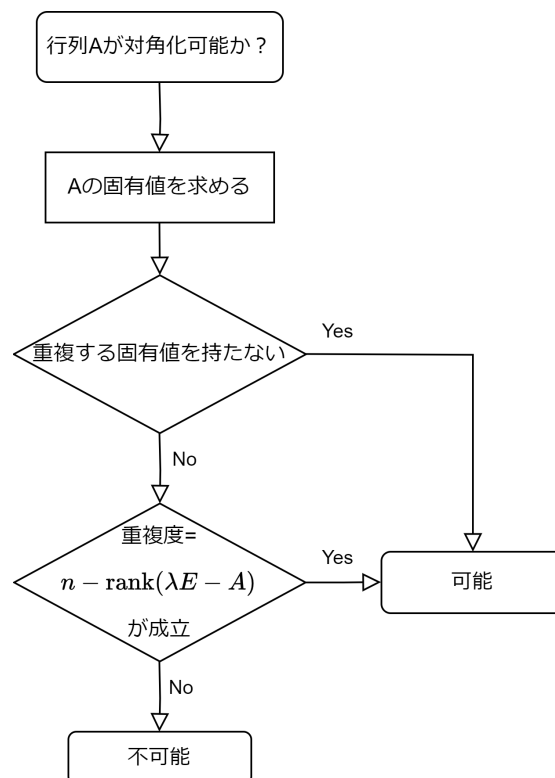


Fig.1 行列が対角化可能か判定する手順のフローチャート

**(1)**

$A$  の固有方程式を解き、 $A$  の固有値を求める。

$$\det(\lambda I - A) = \begin{vmatrix} \lambda - 1 & -1 & 0 \\ 0 & \lambda - 1 & -1 \\ 0 & 0 & \lambda - 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$= (\lambda - 1)^3 \quad (2)$$

よって  $A$  は重複度 3 の固有値 1 をもつ。

$$\lambda I - A = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$n - \text{rank}(\lambda I - A) = 1$  が重複度 3 と一致しないため対角化不可能。

**(2)**

$B$  の固有方程式を解き、 $B$  の固有値を求める。

$$\det(\lambda I - B) = \begin{vmatrix} \lambda & 0 & -1 \\ 0 & \lambda - 1 & 0 \\ -1 & 0 & \lambda \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$= (\lambda - 1)^2(\lambda + 1) \quad (2)$$

よって  $B$  は重複度 2 の固有値 1 をもつ。

固有値 1 に対して、

$$\lambda I - B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$n - \text{rank}(\lambda I - A) = 2$  が重複度 2 と一致する。よって対角化可能である。固有値 1 に対する固有ベクトル  $\mathbf{v}_1$  を求める。

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{v}_1 = 1 \cdot \mathbf{v}_1 \quad (4)$$

を解けばよい。  $\alpha, \beta \neq 0$  を任意定数として

$$\mathbf{v}_1 = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

と求められる。

次に固有値  $-1$  に対応する固有ベクトル  $\mathbf{v}_{-1}$  を求める。

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{v}_{-1} = -1 \cdot \mathbf{v}_{-1} \quad (6)$$

を解けばよい。  $\gamma \neq 0$  を任意定数として

$$\mathbf{v}_{-1} = \gamma \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

と求められる。よって固有ベクトルを列方向に並べた行列

$$V = \begin{pmatrix} \alpha & 0 & \gamma \\ 0 & \beta & 0 \\ \alpha & 0 & -\gamma \end{pmatrix} \quad (8)$$

を用いて次のように対角化できる。

$$B = V \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} V^{-1} \quad (9)$$

## 【事例紹介】

# 南箕輪小学校6年1組と機械システム学科2年生との共同実習について —南箕輪村紹介ボードゲーム製作—

機械システム学科 中島一雄

## 1. まえがき

令和3年度3月に、長野県南信工科短期大学校へ本校所在地の南箕輪村の関係者を通じて、南箕輪村立南箕輪小学校6年1組のクラスとの連携について相談があった。

本校の機械システム学科では、令和3年度まで2年次生に「設計製図実習（地域との共同実習）」として、企業からテーマや課題をいただき、連携しながら実習を進める授業を行ってきた。これは学生が実践力を身に付ける目的の他に、地域企業への本校のPRも兼ねていた。しかし、本校が抱える問題の一つの入学生の確保を考慮すると、企業よりも地域の小中高校へのPRの方が重要である。

令和4年度は小学校の要望に応える形で、本校の機械システム学科2年の学生と南箕輪小学校6年1組の児童が、一緒にものづくりを行う授業を、本校の新たな試みとして実施した。小学校だけでなく、近隣市町村の協力もあり、新聞等のメディアにも広く取り上げられ、本校のPRにも大きく貢献できた。これらの取組みを報告する。

## 2. 6年1組南箕輪村紹介ボードゲームについて

南箕輪小学校では、総合的な学習の時間として「トレジャータイム」という授業を行っている。今回、依頼のあった同校6年1組の児童は、5年次と同じクラスメイトで、前年度の授業で南箕輪村紹介ボードゲームを製作した。このボードゲームが様々なイベントで表彰されるなど好評であったため、これを南信工科短大の学生と協力して、6年生の授業の中で、さらにグレードアップしたいという依頼内容であった。そこで、機械システム学科2年のカリキュラムの「設計製図実習」の授業の一部で実施することとした。

## 3. 授業の目的と授業計画

今回の授業の依頼のあった南箕輪小学校6年1組担任の教諭と打合せの上、本校の見学も含め、合計6回

表1 機械システム学科  
「設計製図実習（地域との共同実習）」  
南箕輪村紹介ボードゲーム制作の計画表

回	月日	内容	場所
1	4月18日	見学	本校
2	5月25日	前年度の作品紹介 ブレインストーミング 今後の打合せ	本校
3	6月15日	学生と児童が ボードゲーム製作	本校
4	7月20日		
5	8月31日		
6	9月21日	完成品披露	本校
	10月14日	完成報告会 (南箕輪小学校)	小学校

の授業を計画した。表1に「設計製図実習（地域との共同実習）」南箕輪村紹介ボードゲーム制作の計画を示す。

## 4. 実施した授業内容

### 4.1 【1回目】小学生児童の南信工科短大の見学体験

1回目の授業は、4月18日に南箕輪小学校の6年1組の児童の皆さんが本校に来校し、校内の見学体験を実施した。その様子を図1に示す。



図1 見学体験の児童の様子

#### 4. 2 【2回目】前年度の作品紹介とブレインストーミングの実施

2回目の授業は、南箕輪小学校の児童の皆さんが5年生の時に制作したボードゲーム（図2）を、機械システム学科2年生の学生が紹介した（図3）。

その後、6年生の児童と機械システム学科2年生で5グループにメンバーを分けて、今年度制作するボードゲームについて、ブレインストーミングを行った（図4）。リーダーシップや指導力を身に付けてもらう目的で、児童へのブレインストーミングの指導は、機械システム学科2年の学生が行うこととした。

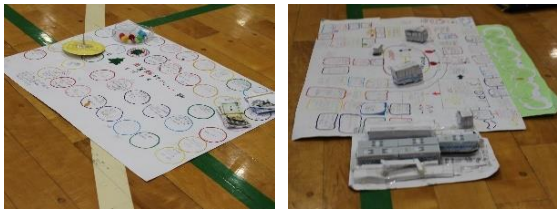


図2 前年度の小学校5年次に制作したボードゲーム



図3 ボードゲームの説明の様子

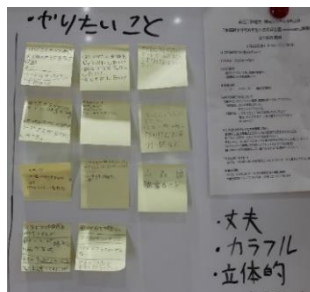


図4 ブレインストーミングの様子

#### 4. 3 【3～5回目】ボードゲーム制作

6月から8月までの3～5回目の授業は、それぞれのグループに分かれて、ボードゲームの制作を行った。学生の指導の下、児童の皆さんは、3次元 CAD、インターネットでの検索方法、形状モデルデータのダウンロード、3D プリンタ造形、レーザー加工等、様々な技術を体験しながら学んでいた。回数を重ね、学び

が進むに連れ、児童の皆さんからも具体的な提案が出てくるようになり、学生との交流も深くなっていた。図5に学生が児童に様々な技術を指導している様子を紹介する。



図5 学生が指導する様子

#### 4. 4 完成品披露

6回目となる9月21日は、計画していた授業の最終日になり、小学校からの要望で完成したボードゲームをお披露目し、一緒に作った学生と児童がボードゲームで遊んでみる内容とした。学生も、児童から頼られることで責任感を持って授業に取組み、児童の意見に耳を傾け、部品の製作を指導したり、手伝ったりするなど、通常の授業では見られなかった成長が見られた。各グループのメンバーと完成したボードゲームを図6a～6eに示す。



図6a グループ1のメンバーと作品



図6b グループ2のメンバーと作品



図6c グループ3のメンバーと作品



図 6d グループ4のメンバーと作品



図 6e グループ5のメンバーと作品

## 5. お礼の会

本校での授業を終えた後、南箕輪村長も同席し、小学校内でボードゲーム完成報告会を実施していただき、10月14日の金曜日に小学校を教員が訪問した。図7に記念品を受け取る様子を示す。当日は、多くの報道陣による取材もあった。

6年1組の児童の皆さんは、作ったボードゲームで、授業の中や休み時間等に何度も遊び、時には他のクラスの友人も呼んで遊んでいたとのことである。児童に感想を聞くと、毎回この授業を楽しみにしてくれていたようで、次の授業で何をどうやって作ってもらおうか等、グループで何度も話してくれていたようである。中には、「将来に南信工科短大に行く」と目を輝かせている児童もいた。児童の皆さんの良い思い出になったようである。



図 7 南箕輪小学校での完成報告会

## 6. 授業の教育効果

本授業は、教育の面でも、機械システム学科2年の学生にとっても、通常の校内の授業では得られない異なる世代とのコミュニケーション能力、指導力、リーダーシップ等を学べる機会でもあった。普段から学生と接する機会が多い教員にとっても、通常の授業では気が付かなかった学生の長所を発見することができ、授業の多様性を考えさせられる機会にもなった。

## 7. む す び

本校所在地の南箕輪村の南箕輪小学校の「トレジャータイム」の授業を機械システム学科2年の「設計製図実習（地域との共同実習）」の授業時間の一部を用いて共同授業として実施した。本校の学生が、他教育機関と6カ月間に計6回の長期に渡り、共同授業を実施するのは初めての試みであった。

校内の通常の授業を実施しながらであったため、教員の業務上の負担は大きかったが、本校のPRや学生の教育効果等、多くの得られるメリットがあった。

人口減に伴う製造業の働き手不足、理系離れ等のキーワードが示すように、これから将来にかけて、工業系を目指す人材の確保は継続的に困難な状態が続くと考えられる。教育機関が為すべきことのひとつとして、若い世代にもものづくりの楽しさや魅力を伝え、この分野を目指す人が増やすことがある。今回の授業を受けた児童の皆さんが、将来に本校を進学先の1つとして考えてくれることを期待したい。

## 【事例紹介】

# 南箕輪小学校4年生のトレジャータイムへの協力について —ものづくり教室の実施—

機械システム学科 中島一雄

## 1. まえがき

長野県南信工科短期大学の所在地（南箕輪村）にある南箕輪小学校のカリキュラムでは、探究学習科目「トレジャータイム」を小学校の特徴と位置付けて力を入れている。

令和4年3月に南箕輪小学校の教諭より、この授業に協力してほしいという要望があり、これに応える形で本校としては初めてとなる小学生向けの授業を計画した。令和4年度は、コロナ禍でも実施ということで細心の注意が必要であったが、南箕輪小学校の4年2組の児童 34 名に対して授業を実施した。理系離れが進むといわれる中で、小学校の児童の皆さんが、将来に科学技術に興味を持ってもらうための一助になればという思いで「ものづくり教室」を計画し、協力することとした。

## 2. 授業計画

表1に「ものづくり教室」計画を示す。機械システム学科の中で小学生の児童の皆さんが、楽しんで科学技術を学べるように心掛けて計画をたてた。

表1 南箕輪小学校4年2組トレジャータイム  
「ものづくり教室」計画

回	月日	内容	場所
1	4月19日	南信工科短大見学体験	本校
2	5月16日	47都道府県の立体地図モデル作成	小学校
3	6月21日	47都道府県モデルの3Dプリンタ造形	本校
4	7月6日	コースター製作（レーザー加工） CDコマ製作	本校
5	8月24日	バンナムコマ作成 コマの重心探し	本校
6	9月7日	コマ組立とコマ対戦 立体地図配布	本校
	1月18日	お礼の会	小学校

## 3. 実施した授業内容

### 【1回目】小学生児童の南信工科短大の見学体験

1回目の授業は、4月19日に児童の皆さんが本校に來校し、校内の見学体験を実施した。見学時の児童の皆さんは初めて見る技術や設備に興味津々で、それぞれで楽しんでいた。見学体験の様子を図1に示す。



図1 見学体験の児童の様子

### 【2回目】47都道府県立体地図モデル作成

2回目の授業は、教員が小学校を訪問し、小学校のICT教育用に導入され、授業で活用されているタブレットPCを用いて、国土地理院のwebサイトより日本の47都道府県の立体モデルを製作し、データをダウンロードする授業を行った（図2）。また、月の表面をいろいろな視点から見る事ができる機能も体験してもらった。児童の皆さんは目を輝かせてこの授業に取り組んでいた。



図2 小学校での授業の様子

### 【3回目】47都道府県立体地図モデルの3Dプリンタ造形

3回目の授業は、前回に児童の皆さんがダウンロードした立体地図モデルを本校の3Dプリンタで造形する様子を説明し、見学していただいた(図3)。今後の小学校の授業で、造形した都道府県モデルに着色をしていくことになった。



図3 3Dプリンタによる造形の説明を受ける児童

### 【4回目】レーザー加工によるコースター製作とDVDコマ製作

4回目の授業は、7月6日に児童の皆さんが本校に來校し、小型のレーザー加工機を用いてコースター製作を行った。事前に小学校の授業の中で児童一人一人が好きなコースターのデザインを描いていただき、それらをデータとしてレーザー加工を行った。レーザー加工を初めて見る児童の皆様は、自分が描いたデザインがコースターに加工されていく様子を見ることができ、歓声を上げて喜んでいたのである(図4)。完成したコースターを図5に示す。



図4 レーザー加工見学 図5 完成したコースター

また、レーザー加工の待ち時間にDVDディスクとビー玉でコマを作った。DVDディスクには一人一人好きなデザインを描いてもらった(図6)。授業の最後にどれだけ回るか競争をした。うまくコマを回せた児童は2分以上回っていた(図7)。

### 【5回目】ベンハムコマ作成、コマの重心探し

5回目の授業は、前回に製作したDVDコマを用いて、ベンハムコマを製作した(図8)。ベンハムコマとは、コマの表面に白黒で描かれた模様が、回転すると様々な色に見える錯覚を体験できるコマである。その後、別の実験として、三角形や四角形などの形状が



図6 児童が描いたDVDコマ



図7 クラスメイトと回転時間の競争



図8 ベンハムのコマ製作



図9 コマの重心を探す授業

複雑な厚紙の重心を探し、そこに爪楊枝を通してコマの軸とするコマづくりを行った(図9)。

### 【6回目】コマ組立とコマ対戦

6回目の授業は、本校で9月7日に児童の皆さんでコマ対戦を実施した。最初にコマの科学技術について学び、一人一人が強いコマを考えて、重心やバランスを調整してコマを作製した(図10)。コマの部品は、本校のUVインクジェット3Dプリンタで造形した。まず、本校で設計製作した回転数測定装置(図11)を用いて回転数を競い合う予選をした。その後、6グループに分かれて自分が作ったコマで対戦をした。クラスメイトと競い合い、一喜一憂しながら楽しんでいた(図12)。

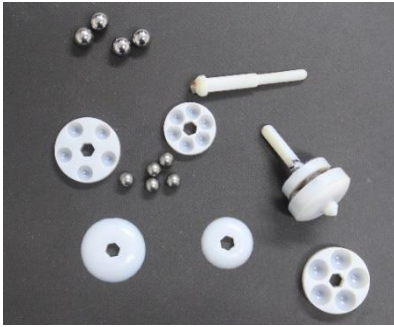


図 10 組立コマの部品

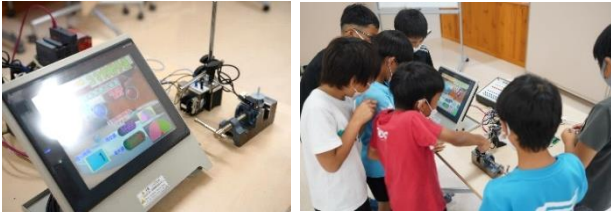


図 11 コマの回転数計測装置



図 12 コマ対戦の様子

#### 4. お礼の会

合計6回の授業を終えた後に、小学校よりお礼の会を催したいと連絡があった。児童の皆さんより、演奏会（図 13）や 47 都道府県立体モデルの完成お披露目（図 14）、また記念の自作カレンダー（図 15）などをいただいた。児童の皆さんとそれぞれと話をして感想を聞いてみると、この授業を毎回楽しみにしていたとのことで、児童の皆さんにとって、きっと小学校の思い出に残る授業であったと思われる。



図 13 演奏会の様子

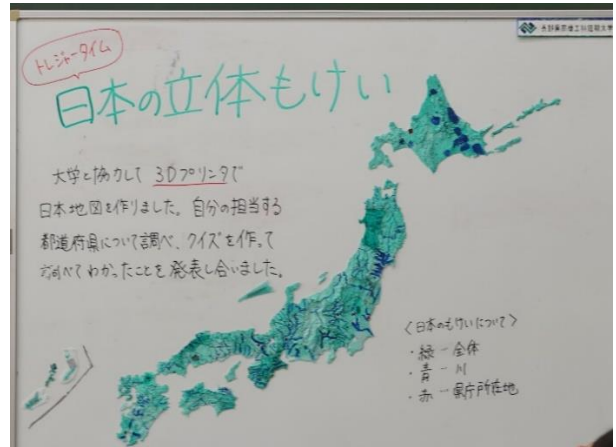


図 14 完成した 47 都道府県立体モデル



図 15 児童が作ってくれたカレンダー

#### 5. む す び

2022 年（令和 4 年）は、2020 年度から続くコロナ禍のために、様々なイベントや学校の PR 活動を十分にできない時期が続いた。そのような中で、地域の将来を担う小学生の児童の皆さんに、本校のことを直接知ってもらう機会として、地域の小学校のトレジャータイムの授業を担当させていただいたことは非常に意義があったと考えている。小学校教諭や市町村の皆様の協力もあり、新聞報道だけでなく様々な場面でこの取り組みを PR することができた。

今後も地域の教育機関との交流を積極的に行うことで、少しでも多くの若者がものづくりや科学、工学、研究等に興味を持っていただき、将来の長野県を担う技術者となってくれることを期待する。

## 【事例紹介】

# 科学ふれあいフェア 2022「デザインコンクール」の実施について

機械システム学科 中島一雄

## 1. まえがき

長野県南信工科短期大学校では、平成 28 年の開校年度より地域貢献や学校の PR 活動の一環として、「科学ふれあいフェア」を実施している。令和 4 年は新型コロナウイルスの影響で 3 年間中止になっていたこのイベントを再開させた。そこで、新たな取り組みとして近隣の小学校の児童に科学技術に関わる夢を想像・創造してもらおうという主旨で、近隣小学校に同イベント用のチラシやポスターのデザイン画を描いていただくデザインコンクールを実施した。また、令和 4 年 10 月に開催した科学ふれあいフェア当日に、南信工科短大振興会の協力のもとで表彰式を開催し、入賞者 7 名に会場で賞状と記念品を授与した。これらの取り組みについて報告する。

## 2. 科学ふれあいフェアについて

南信工科短期大学校の「科学ふれあいフェア」は、令和 2 年度まで「人材ふれあいフェア」という名称で開催してきた。徐々に地域に浸透してきており、コロナ禍前には 2000 人以上の来校者に来ていただけるイベントとなっていた。新型コロナウイルスの影響で令和 2 と 3 年度は中止になったが、昨年よりその影響が少なくなったことを受け、このイベントを再開させることになった。ただし、令和 4 年度はまだ感染対策を講じ、募集規模を近隣小学校 2 校のみとして小規模での開催とした。名称も令和 4 年より「科学ふれあいフェア」と改め、再開する運びとなった。

## 3. デザインコンクールについて

このデザインコンクールの取り組みの発端は、令和 4 年度に機械システム学科で取り組んだ南箕輪小学校との共同実習の打合せの中で発案、本校より提案したものである。南箕輪小学校教諭の皆様の協力もあり、同校 4 学年全児童と 6 学年全児童に授業の中で、以下のテーマで好きなデザインを描いていただいた。

4 年生デザインテーマ「未来の乗り物」

6 年生デザインテーマ「科学技術」

合計 250 人以上の児童がこのコンクールに応募していただいた。独創的で興味深い作品も多く、「科学ふれあいフェア 2022」の会場に、全デザイン作品を展示するブースを設け、来校者に閲覧していただいた(図 1)。また、同会場では後述の表彰式も開催した。



図 1 全デザイン作品展示の様子

また、全デザイン作品は本校の web サイトでも閲覧できるようにした。なお、令和 5 年 9 月現在では、すでに次年度の令和 5 年の作品を閲覧できるようになっており、本稿で紹介する作品は、入賞者のデザインを公開している。

## 4. 入賞作品とチラシ・ポスター

校教職員および南信工科短大振興会の職員で、表彰作品を選考した。最優秀賞を受賞した作品は、科学ふれあいフェア 2022 の募集用チラシやポスターの表紙として使用した(図 2)。



図 2 科学ふれあいフェア 2022 のチラシ

表彰は「最優秀賞1名(図3)」「優秀賞1名(図4)」「校長賞1名(図5)」「南信工科短大振興会会長賞1名(図6)」「佳作3名」の7名の受賞とした。



図3 最優秀賞「ロケットと私」  
南箕輪小6年 井原様



図4 優秀賞「空飛ぶ車」  
南箕輪小4年 瀬古様



図5 南信工科短大校長賞「ホテルの車」  
南箕輪小4年 太田様



図6 南信工科短大振興会会長賞  
「地球を守る 笑顔を守る」  
南箕輪小6年 伊藤様

## 5. 表彰式

科学ふれあいフェア 2022 当日に入賞者7名を学校に招待し、表彰式を開催した。記念品の盾を図7、表彰式の様子を図8に示す。



図7 記念品の盾



図8 表彰式の様子

## 6. むすび

「科学ふれあいフェア」は、地域に本校をPRするうえでとても重要なイベントである。これに合わせて令和4年度に初めて実施したデザインコンクールは、大変好評で今後も継続して実施することになった。このような取り組みを通じて、地域の若い世代の独創的な発想力を育んでいきたい。また、将来にこの中から科学技術に興味を持ち、地域を支える技術者が生まれることを期待して、今後も継続していきたいと考えている。

## 7. 謝辞

このデザインコンクールの実施に御協力いただいた南信工科短大振興会、南箕輪小学校教諭、南箕輪村、関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 【事例紹介】

# 伊那弥生ヶ丘高校の「総合的な探究の時間」について —ものづくりと環境—

機械システム学科 鮎沢俊輔

## 1. まえがき

高等学校のカリキュラムでは探究学習科目「総合的な探究の時間」が実施されている。これは、探究の見方や考え方を働かせて、課題を発見し解決していくための資質・能力を育成することを目標に掲げている。学校の外の人に学び、地域のこれからのを考えていく授業である。上伊那広域連合の郷土愛プロジェクトの一環として、伊那弥生ヶ丘高校1年生を対象に南信工科短大が「総合的な探究の時間」を担当した。「ものづくりと環境」をテーマに生徒さんは授業に取り組んだ。なお、本授業の様子を動画にまとめて南信工科短大 Youtube 公式サイトにて配信している。動画のサムネイルを図1に示す。



図1 伊那弥生ヶ丘高校の「総合的な探究の時間」動画のサムネイル

## 2. 実施内容

伊那弥生ヶ丘高校の生徒13人が、南信工科短大の学びを通じて、ものづくりと環境について全5回の授業の中で考えた。初日は、伊那弥生ヶ丘高校の教室で授業を実施した。図2に初日の授業の様子を示す。



図2 初日の授業の様子

13人の生徒さんは本授業を自ら選択した。生徒さんは「機械に興味がある」「大学の授業を体験し進路の参考にしたい」等の理由により選択したと話した。授業の初めに、「ものづくりと環境」について今生徒たちが今思うことを尋ねた。「プラスチックゴミを減らしたい」「温室効果ガスを排出している」などの意見が挙がった。「普段考えたこと無いことに着目できて面白かった」「ものづくりも環境もどちらも大切であると気付くことができた」等の感想が授業後に生徒から挙がった。この後3回にわたる南信工科短大での授業を通じて、「ものづくりと環境」についてさらに考えてもらうことにした。南信工科短大では、経木のものづくり(図3)、自然エネルギー(図4)、ドローンプログラミング(図5)とIoTプログラミング(図6)の4種類の授業が実施された。授業のテーマと内



図3 「経木のものづくり」授業の様子



図4 「自然エネルギー」授業の様子



図5 「ドローンプログラミング」授業の様子



図6 「IoT プログラミング」授業の様子



図8 成果発表の様子1

表1 授業のテーマと内容

テーマ	内容
経木のものづくり	厚さ約 0.1～0.5 mm の薄い木材である経木の、寒天やこんにやくを接着材とした立体造形の研究について学んだ。
自然エネルギー	石油などの限られた資源ではなく、太陽光や太陽熱、地熱、風力、水力、潮汐力などから得られる再生可能エネルギーがあることについて学んだ。また、太陽光パネルを使用して、明るさと発電電圧の関係性について実験を実施した。
ドローンプログラミング	ドローン操作・プログラミングについて学ぶとともに、伊那市ドローン物流プロジェクトについての授業を受けた。
IoT プログラミング	人感センサ、温度センサ、動きセンサなど様々なセンサを使いながら特性を学んだ。



図9 成果発表の様子2

発表では「これまで使用されていない分野での経木の活用」「センサとスマホを連動させて普段の生活や災害時に役立つシステムの構築」などの具体的なアイデアが挙げた。高校生だからこそできる柔軟な発想により、多くのアイデアが挙げた。生徒たちは、本授業を通じて、自ら考え能動的に課題に取り組む姿勢を身につけた。本授業は生徒たちの今後の進学や社会人生活にもプラスの影響を与えたと考えられる。

内容を表1に示す。「思っていたよりも多く身の回りにセンサを使っているものがあることが分かった」「自分のプログラムした通りにドローンが動き面白かった」「この先もっと深いプログラミングの勉強をしたいと思った」等の感想が授業後に生徒から挙げた。これらの授業の後、生徒たちは最終日に改めて「ものづくりと環境」についてグループワークを実施し、成果を発表した。図7にグループワークの様子、図8、9に成果発表の様子1、2を示す。



図7 グループワークの様子

### 3. む す び

令和4年(2022年)は、コロナ禍が続くものの、高校でも従来の授業を再開する動きが見られた年であった。しかし、募集活動のための高校訪問もコロナウイルスの感染状況によって、十分にできない状況に変わりはない。

そのような中で、伊那弥生ヶ丘高校の探究の時間を担当したことは、これから進路選択をする高校1年生に南信工科短大のことを直接知ってもらう機会として非常に効果があったと考えられる。

今後も地域の高校や教育機関との交流を積極的に行うことで、少しでも多くの若者がものづくりや科学、研究等に興味を持ってもらい、将来の長野県を担う技術者となってくれることを期待する。

## 研究・教育・社会活動の概要

(2022.4.1～2023.3.31)

### A. 研究活動

#### 1. 総説・解説・展望等

武田三男

光励起半導体鏡対を用いた動的カシミール効果の実証実験の提案  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 2-5, 2022.

武久泰夫

超解像研究を振り返る  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 6-8, 2022.

#### 2. 研究論文

松原洋一

深度カメラを用いたアスパラガス収穫機の開発  
画像電子学会誌, Vol52, No1, pp221-227, 2023

矢崎美彦, 松原洋一, 柳沢裕二

2021 年度総合課題取組み  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 9-14, 2022.

柳沢裕二

第四次産業革命に向けた PLC 関連科目の改変について  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 15-17, 2022.

中島一雄

学生募集に関する広報活動 -2020～2021 年度 新たに取組んだ事例-  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 18-20, 2022.

鮎沢俊輔

YouTube 公式チャンネルの充実 -総合課題と研究関連動画の共有-  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 21-22, 2022.

中島一雄

伊那弥生ヶ丘高校の「総合的な探求の時間」について -経木を使ったものづくり-  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 23-25, 2022.

田畑克敏

南信工科短期大学校 20kW 太陽光発電システム  
長野県南信工科短期大学校紀要, 6, 26-28, 2022.

### 3. 学会発表

中島一雄

「3D プリンタ AM と粉末冶金技術を活用した射出成形用金型製作技術の研究」  
日本機械学会 生産システム 部門研究発表講演会, 2022, 3, 8 オンライン発表

中島一雄

「3D プリンタ AM と粉末冶金技術を活用した射出成形用金型製作技術の研究」  
日本機械学会 生産システム部門研究発表講演会 2022 講演論文集  
日本機械学会 生産システム部門 第 101 期優秀講演論文表彰受賞 2023, 3, 6

鮎沢俊輔, 山田哲也, 宮川博夫, 手嶋勝弥

ルビー結晶層低温育成のための DFT 計算を用いたフラックス最適化  
第 32 回日本 MRS 年次大会, A-O6-005, 2022.

松原洋一

深度カメラを用いたアスパラガス収穫機の開発  
2022 年度 第 50 回 画像電子学会年次大会

### 4. 特許・発明

中島一雄

特許出願中 【発明の名称】 「成形型の製造法」 デジタルモールド粉末冶金  
有限会社スワニー 橋爪良博  
ナパック株式会社 鈴木隆

### 5. 共同研究

武田三男

テラヘルツ時間領域分光法による複素誘電関数の決定と電磁波分散関係の導出  
福井大学・遠赤外領域開発センター 北原英明

武田三男

強誘電体による Epsilon Near Zero トンネリング現象の研究  
信州大学・大学院総合医理工学研究科（理学部） 宮丸文章  
大阪大学・大学院基礎工学研究科（基礎工学部） 中田陽介

武田三男

テラヘルツ時間領域分光法によるフォトニック結晶およびメタマテリアルによる電磁波伝播特性制御  
香港科技大學（廣州）・功能樞紐先進材料學域 Weijia WEN

中島一雄

アカマツ経木の接着と立体造形活用  
株式会社やまとわ

中島一雄

3D プリンタ応用技術「デジタルモールド粉末冶金技術」

有限会社スワニー，ナパック株式会社

鮎沢俊輔

大型バルク状ルビー結晶のデザインに関する研究

信州大学先鋭材料研究所長（信州大学工学部物質化学科） 手嶋勝弥，山田哲也

松原洋一

足型の3Dデジタル化に関わる研究

株式会社エヌ・ウェーブ

松原洋一

牛の非接触体重測定の研究

長野県畜産試験場

## B. 教育活動

### 1. 授業担当

武田三男	社会学 ゲスト講師として、栗田秀實氏（自然調和技術研究所）、遠山宏樹氏（JAICA）に専門分野の講義を担当していただいた。
武久泰夫	電磁気学 電磁気学では、物理現象は数式によって表現できることを実感してもらえよう、身近な現象と数式を対応させて説明するように心がけた。また、常に単位系に気を配るよう指導した。
荒川 進	ゼミナール，総合課題，安全衛生工学，油圧・空圧制御，機械工学，機械加工実習，機械工学基礎実験 安全衛生では、社会人としてあるいは大学校での実習の基本的なルールを身につけることに重点をおいた授業を展開した。機械工学という工学分野の学問について興味をもって学習に取り組めるように心掛けた。
田畑克敏	制御工学概論，情報処理実習，制御工学実習Ⅱ・Ⅲ，数値制御Ⅱ，機械工学基礎実験Ⅱ，機械加工学Ⅱ，力学演習，油圧・空圧制御，ゼミナール，総合課題
中島一雄	機械加工実習Ⅰ・Ⅲ・Ⅳ，シーケンス制御，数値制御，制御工学実習，NCプログラミング実習，機械工学基礎実験Ⅱ，設計製図実習Ⅱ・Ⅲ，機械設計，ゼミナール，総合課題
矢崎美彦	熱力学，機械工学，機械工学基礎実験Ⅱ，測定工学実習，機械加工実習Ⅰ，ゼミナール，総合課題
鮎沢俊輔	基礎製図，機械加工実習Ⅰ，機械工学基礎実験Ⅰ，機械設計，材料，NC工作概論，NCプログラミング実習，切削加工法及び研削加工法，ゼミナール，総合課題 実習や卒業研究において、学生自身が能動的に学習に取り組むことができるようにした。
岡本 謙	機械工学基礎実験Ⅰ・Ⅱ，機械材料，情報処理実習，測定工学実習，安全衛生，機械加工実習Ⅰ，設計製図実習，測定及びけがき実習，NC工作概論，NCプログラミング実習，ゼミナール，総合課題
古畑美咲	機械材料，測定工学実習，機械加工実習Ⅰ
松原洋一	情報通信概論，安全衛生工学，情報通信基礎実習，ゼミナール，総合課題，自動制御実習，機械制御，FAシステム構築実習Ⅱ，データサイエンス概論，制御プログラミング基礎実習 FAシステム構築実習Ⅱでは、画像処理実習機等を用い、光学系の基本から画像処理の基礎知識までの授業を行った。PLCとの連携を行いより実践的な授業に取り組んだ。

木下昌信	シーケンス制御実習Ⅰ・Ⅱ，機械制御Ⅰ・Ⅱ，機械工作実習，自動制御実習，FAシステム構築実習，制御プログラミング基礎実習，総合課題 機械工作実習成果物（センサ回路，簡易制御盤）と機械制御（PLC）を連携した実習に取り組んだ。
倉澤勝美	電子デバイス，制御工学Ⅰ，自動制御Ⅱ，電気機器，デジタル回路基礎実験Ⅰ・Ⅱ，電気機器実験，総合課題
柳沢裕二	電気工学基礎実験，機械制御実習Ⅰ・Ⅱ，機械制御Ⅰ・Ⅱ，自動制御実習，FAシステム構築実習Ⅰ，総合課題
南澤壮和	電気回路，電磁気学，ゼミナール，総合課題
浅沼和志	生産工学，流体工学，電磁気学，電気工学概論
有賀武彦	機械加工実習Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ，測定工学，機械工作実習
池田治人	シーケンス制御，制御工学実習Ⅰ
伊藤彰規	シーケンス制御実習Ⅰ，機械制御Ⅱ
大林徹也	FAシステム構築実習Ⅰ・Ⅱ
桑澤明男	機械加工実習，測定法，機械工作実習
小平剛志	総合課題（3D-CAD）
五味久幸	材料力学，製図，製図基本実習，機械制御Ⅰ
戸田明彦	基礎数学，解析学概論Ⅰ・Ⅱ
土橋美博	基礎製図，設計製図実習Ⅰ，機械設計製図Ⅰ・Ⅱ
中村秋男	環境エネルギー有効利用実習
西澤信雄	環境・エネルギー有効利用技術Ⅰ
西山隆也	電子デバイス基礎実験，アナログ回路基礎実験，情報工学概論，電気工学概論，電気工学基礎実験，情報通信基礎実習，環境・エネルギー有効利用技術Ⅱ
藤崎淳子	設計製図実習Ⅱ，情報処理実習
松崎 旻	体育Ⅰ・Ⅱ
三沢雅芳	環境エネルギー有効利用技術Ⅰ・Ⅱ，環境エネルギー有効利用実習
御子柴孝	計測センシング
矢島幸治	測定工学，測定法，機械工作実習，機械加工実習Ⅰ・Ⅱ
横道正和	材料力学Ⅰ・Ⅱ，機械加工Ⅰ・Ⅱ，制御工学概論，機械工学基礎実験Ⅰ
リアナ・ジョセフ	英語Ⅰ・Ⅱ
小沢益也，藤森直樹	知的所有権

## 2. 卒業論文

岩下 優	低炭素鋼の板状引張試験片の表面性状が機械的特性におよぼす影響	荒川 進 (機械・生産技術科)
春日颯斗	寒天を使用した経木の接着方法に関する研究	中島一雄 (機械・生産技術科)
古賀直信	トポロジー最適化によるマレットゴルフ用スティックの設計 -密度法とレベルセット法との比較-	矢崎美彦 (機械・生産技術科)
柘植勇大	トポロジー最適化によるマレットゴルフ用スティックの打撃音の検討	矢崎美彦 (機械・生産技術科)
中山直也	水溶液結晶育成装置の開発	田畑克敏 (機械・生産技術科)
野原聖太	デジタルモールド粉末冶金の金型と樹脂射出成形に関する研究	中島一雄 (機械・生産技術科)
福澤瑠星	蛇型ロボットの直感的な UI の開発 -左右旋回動作の研究-	岡本 謙 (機械・生産技術科)
正木琉也	卓上 CNC 工作機械を用いた彫刻加工システムの開発 -工具経路の生成とワーククランプの自動化-	岡本 謙 (機械・生産技術科)
宮澤諒平	デジタルモールド粉末冶金の材料と金型製作条件に関する研究	中島一雄 (機械・生産技術科)
鷺津悠太	羽ばたきロボットの開発	鮎沢俊輔 (機械・生産技術科)
青木涼馬	ネットワーク実習に関する実習教材の開発	木下昌信 (電気・制御技術科)
石川瑠人	果実酒発酵状態遠隔監視システムに関する研究	柳沢裕二 (電気・制御技術科)
岩村 匠	自律制御可能なテニス練習ロボットの研究	倉澤勝美 (電気・制御技術科)
唐木瑞歩	PLC と産業用ロボットによる実習教材の開発	木下昌信 (電気・制御技術科)
清水想介	AI による競馬の着順予想	武久泰夫 (電気・制御技術科)
平澤優斗	MQTT を用いた IoT 玩具製作	倉澤勝美 (電気・制御技術科)
牧島虎太郎	表面筋電位を用いたデバイスの制御	柳沢裕二 (電気・制御技術科)
松井優弥	カメラ, センサを用いた予防保全システムの開発	木下昌信 (電気・制御技術科)
森田優介	作業着の着方 チェック AI	武久泰夫 (電気・制御技術科)
吉田悠真	牛の非接触体重測定システムの研究	松原洋一 (電気・制御技術科)
六波羅陽平	多入力多出力の制御システムの構築	倉澤勝美 (電気・制御技術科)

## 3. 課外活動

松原洋一

伊那市露地野菜コンソーシアムにおいて、アスパラガス収穫機の開発に参加し、主に認識部の開発に携わった。

松原洋一

SUWA 小型ロケットプロジェクトにメンバーとして参加し、バルブシステムを用いたロケット開発、無線を使っ

た遠隔点火システムの開発に携わった。

中島一雄

伊那弥生ヶ丘高等学校1年生の「探究の授業」で「環境とものづくり」をテーマとして合計5回の授業を実施した。

中島一雄

南箕輪村立南箕輪小学校4年2組の「トレジャータイムの授業」で児童に対し、「ものづくり教室」を合計6回担当した。

中島一雄

南箕輪村立南箕輪小学校6年1組の児童と機械システム学科2年の学生の合同授業「地域との共同実習」を合計6回実施し、「南箕輪村紹介ボードゲーム」の製作を行った。

中島一雄

駒ヶ根市赤穂公民館地域交流センターで2022年7月27日に実施した赤穂公民館「夏休みこども講座」で「コマづくり対戦」を担当した。

倉澤勝美, 柳沢裕二

伊那市・公益財団法人上伊那産業振興会共催事業「IoT導入人材育成講座」

「IoTツール実習研修」

2022.10.18 - 11.22, 産業と若者が息づく拠点施設 allia (アルラ) (伊那市)

倉澤勝美

マイコンプログラミング講座 (株式会社ケーエムケー (坂城町)) への講師派遣

2022.6.17, 7.15, 8.19, 9.16, 9.30, 10.14

#### 4. 学生の活動

モノづくりサークル

指導教員: 倉澤勝美

2022 信州大芝高原イルミネーションフェスティバルへの出展

2022.10.1 - 10.22, 大芝公園 (南箕輪村)

科学ふれあいフェアへの出展

2022.10.22, 長野県南信工科短期大学校 (南箕輪村)

ロケットクラブ

指導教員: 松原洋一

SUWA 小型ロケットプロジェクトに参加し, 燃焼試験や諏訪湖畔での打ち上げ試験に協力した。

テレメトリ基板の設計と作成を行い, ロケットに搭載された。

燃料供給配管のロケットからの切り離し機構を2軸ロボットを用いて作製した。

電気・制御技術科2年生の清水想介と森田優介が公立諏訪東京理科大学 AI コンテスト2022

～COVID 19 X-ray 写真判定～で特別賞を受賞

2022.10.28

機械・生産技術科2年生 野原聖太, 宮澤諒平  
卒業研究報告会「有限会社スワニー, ナパック株式会社」  
2023.3.8 南信工科短期大学校 (南箕輪村)

機械・生産技術科2年生 春日颯斗  
卒業研究報告会「株式会社やまとわ」  
2023.3.10 南信工科短期大学校 (南箕輪村)

## C. 社会活動

### 1. 役員

#### 1) 地域および国等での委員等

武田三男  
香港科技大学 (廣州) 兼任教授  
2022.7 - 2023.3

武田三男  
信州大学 特任教授  
2016.4 - 2023.3

武田三男  
信州大学大学院総合医理工学研究科 ゲスト講師 (先鋭領域融合研究群先端研究特講)  
2021.4 - 2022.3

武田三男  
諏訪広域公立大学事務組合公立大学法人評価委員会 委員  
2022.6 - 2023.3

武田三男  
駒ヶ根市「新製品・新技術開発支援事業補助金」 審査員  
2021.6 - 2023.3

武田三男  
信州大学理学部同窓会 副会長, 信州大学理学部物理同窓会 顧問  
2015.4 - 2023.3

武久泰夫  
長野県駒ヶ根工業高等学校 評議員  
2018.4 - 現在

武久泰夫  
伊那市新産業技術推進協議会委員ならびにスマート工業部会長  
2019.5 - 現在

武久泰夫  
箕輪町「新技術及び新製品開発事業補助金」 審査委員長  
2018.4 - 現在

武久泰夫  
駒ヶ根市雇用対策協議会 委員  
2018.4 - 現在

武久泰夫  
長野県産業人材育成支援ネットワーク会議 委員  
2018.4 - 現在

武久泰夫  
上伊那総合技術新校再編実施計画懇話会 構成員  
2021.11 - 現在

荒川 進  
南箕輪村教育連携協議会 委員  
2022.7 - 現在

松原洋一  
高校生ものづくりコンテスト電子回路組立部門 北信越大会 審査委員長  
2022.9.11

松原洋一  
高校生ものづくりコンテスト電子回路組立部門 全国大会 審査委員長  
2022.11.13

松原洋一  
長野県赤穂総合学科新校準備委員会 委員  
2022.4 - 現在

## 2. 対外的活動

### 1) 国・県、地域等での活動

柳沢裕二，松原洋一，南澤壮和  
東伊那公民館講座  
「MBot プログラミング講座」  
2022.8.1 - 2，東伊那公民館（駒ヶ根市）

柳沢裕二，松原洋一，南澤壮和  
宮田村公民館講座  
「プログラミング講座」  
2022.8.5，長野県南信工科短期大学校（南箕輪村）

倉澤勝美

南箕輪村公民館講座

LED ミニランタンづくり

2022.10.15, 長野県南信工科短期大学校 (南箕輪村)

松原洋一, 荒川進, 鮎沢俊輔, 岡本謙, 南澤壮和

伊那市立東部中学校 科学部 体験講座

「色付き結晶づくり」「色が変わるステンドグラス風しおり作り」「マイクロスコープと電子顕微鏡で観る生物の世界」「ドローンd eプログラミング」の各体験講座を実施

2022.12.10, 長野県南信工科短期大学校 (南箕輪村)

田畑克敏

技能検定 電気機器組立て検定員

2023.1.7 - 8, 松本ポリテクセンター (松本市)

柳沢裕二

技能検定 電気機器組立て検定員

2023.1.7 - 8, 松本ポリテクセンター (松本市)

中島一雄

技能検定 機械検査検定員

2023.2.10 - 12, 松本ポリテクセンター (松本市)

## 2) 会員

一般社団法人信州産学みらい共創会 賛助会員

伊那谷アグリイノベーション推進機構

一般財団法人 AREC 賛助会員

長野県産業人材育成支援ネットワーク会議

## 3) 研究・教育相談

中島一雄

技能検定に関わる技術相談

2022.6 - 2022.11

株式会社エグロ, 株式会社 IHI エアロマニュファクチャリング

## D. 研究助成

鮎沢俊輔

大型バルク状ルビー結晶のデザインに関する研究

令和4年度南信工科短大振興会研究補助金

20万円

岡本 謙

バレル工具を用いた高能率曲面加工のためのソフトウェア基盤技術開発

令和4年度南信工科短大振興会研究補助金

20万円

松原洋一

足型の3Dデジタル化に関わる研究

令和4年度南信工科短大振興会研究補助金

20万円

## 編 集 後 記

「編集後記として何を書こうか、気の利いた文章も思いつかないし・・・」その時心に浮かんだのは「そうだ、話題の ChatGPT に頼んでみれば楽ができるかも」という昨今ならではの安易な発想でした。私自身は ChatGPT 未体験者ですが興味津々です。それでも手を出さないのは、一旦その味を知ってしまうと二度と引き返せないのではないかと心のどこかでブレーキをかけているためです。もし禁断のツールに手を出すとすればどんなお願いの仕方になるのでしょうか。「工業系短大の紀要の編集後記を 400 文字くらいで書いて」と入力すれば、たちどころにそれらしい文章を返答してくれるのでしょうか。確実なのは、私がたった今書いているこんなヘンテコな編集後記だけは返してこない、それは自信をもって言えます。但し、この拙稿が ChatGPT のものより相応しいかについては全く自信がありません。

紀要委員会 主任 武久泰夫

2023 年度	紀要委員会
委員長	武田 三男
委員	宮島 俊
	工藤 賢一
	松原 洋一
主任	武久 泰夫

長野県南信工科短期大学校紀要 第7号 2023

---

令和5年12月25日 印刷

令和5年12月28日 発行

編集 長野県南信工科短期大学校 紀要委員会

発行者 長野県南信工科短期大学校

〒399-4511 長野県上伊那郡南箕輪村 8304-190

TEL 0265-71-5051 FAX 0265-72-2064

印刷所 株式会社 日本 広告

〒390-0863 長野県松本市白坂1-9-39

TEL 0263-33-6911

---