ISSN 0288 - 6936

群馬高専レビュー

平成２７年度　　　　第　３４　号

目　　次

正観寺沼（群馬高専西湖）の野鳥 【第２報】
～ 100 か月間の観察結果および浚渫・周辺環境整備の影響 ～

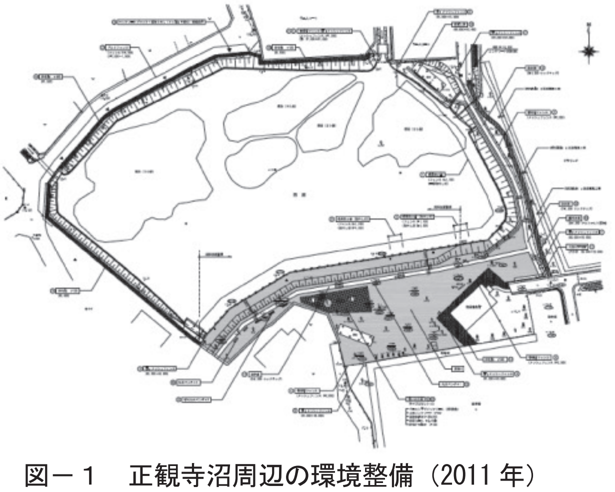
宮 越 俊 一*

（2015 年 11 月 26 日受理）

正観寺沼（群馬高専「西湖」）について

正観寺沼（群馬高専「西湖」）は，もともと約 7,800 ㎡ の農業用ため池で, 中群馬用水の末端に位置している。沼の水は南西端の水門を出たところから正観寺川（一級河川）となり，井野川，烏川を経て利根川に合流する。地域住民にも親しまれていたが，1962 年の群馬高専開校以来，その一部となり，地域とのつながりは希薄になっていた。流入する土砂で埋まり，その規模は当初よりも大幅に縮小したほか，人の出入り少ないまま放置されたため，沼の周囲の環境も草木が生い茂るなど荒れた環境となっていた。

2007 年 4 月から 30 か月にわたる調査の結果，稀少種を含めて 60 種類あまりの野鳥が観察される, 県内でも有数の野鳥の棲息地であることが確認され，前報にて報告した [1]。その調査を機に, 原則として年に 2 回, 日本野鳥の会群馬との共催で 2015 年 3 月までに 11 回の野鳥観察会が開催され，毎回，地域の方々や学生・教職員など 15～50 名にその身近で多様な生態に触れていただでいる [2]。



図－１　正観寺沼周辺の環境整備（2011 年）
芝生（灰色部分）とフェンス（黒線）の設置など

写真－1　浚渫・周辺整備前（上）と
整備後（下）の正観寺沼（2011 年）

上流からの土砂の流入により，沼の縮小傾向はその後も続いていたが，関係者の努力と高崎市や高専機構の協力により，2011 年 9 ～11 月に沼の浚渫工事が, 同年 11 月 ～ 2012 年 3 月に周辺の環境整備が，群馬高専五十周年事業の一環として行われた。整備にあたっては，日本野鳥の会群馬とも相談して，繁殖する野鳥などの保護に配慮して，沼の北岸～西岸をふだん人

＊ 一般教科（自然科学），生物教育研究連携センター

の立ち入らないサンクチュアリとすることとした。浚渫工事に際しては本校環境都市工学科の青井教授（当時）の生態系保全型・資源循環底泥浚渫システムを導入するなど，環境影響を最小とするなどの配慮がなされた。親水公園のように整備され，蘇った沼は，2012年３月に地域住民にも50年ぶりに公開された。今日では，他高専にはないユニークな施設として，生物・環境系科目の実習の場として，卒業研究・特別研究のフィールドとして，学生や地域の方々の憩いの場として，幅広く活用されている。

前報からさらに，五十周年事業をはさんで６年余（2007年４月から累計100か月）に渡る野鳥の継続調査の結果を報告するとともに，浚渫工事と周辺整備の環境影響を評価したので，報告する。

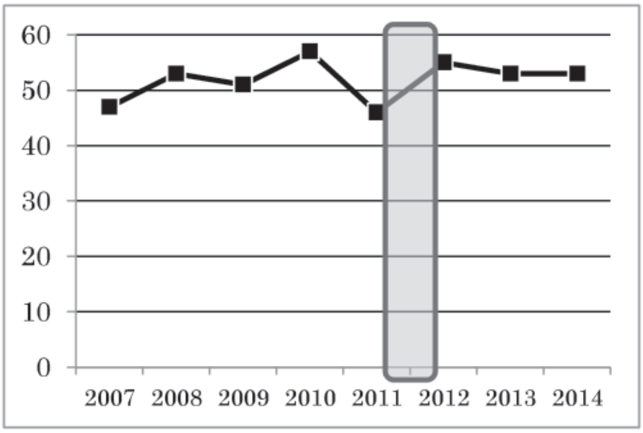
調査方法

前報[1]の方法に従い，原則として月１回，始業前の20分程度を利用して正観寺沼の南岸から見える範囲で野鳥の種と数を記録した。双眼鏡と野外観察用スコープを併用して実施し，フィールドガイド等を利用し，2012年に改訂された日本鳥学会による日本鳥類目録（改訂第７版）の新分類体系に従って同定した[3~5]。繁殖や集団ねぐらの形成については，その位置や規模も記載した。繁殖や稀少種にかかわる観察は一定の距離を確保するなどの配慮をして行い，準絶滅危惧種以上と思われる種に関する情報の公表は日本野鳥の会群馬などに確認の上行うこととした。野鳥との距離を保ち，排泄物や死骸との接触を避けるなど鳥インフルエンザほかの感染症対策にも留意して実施した。調査期間は前報分と合わせると2007年４月～2015年９月の８年６か月（ただし，2014年７～８月は調査者入院のためデータなし）である。

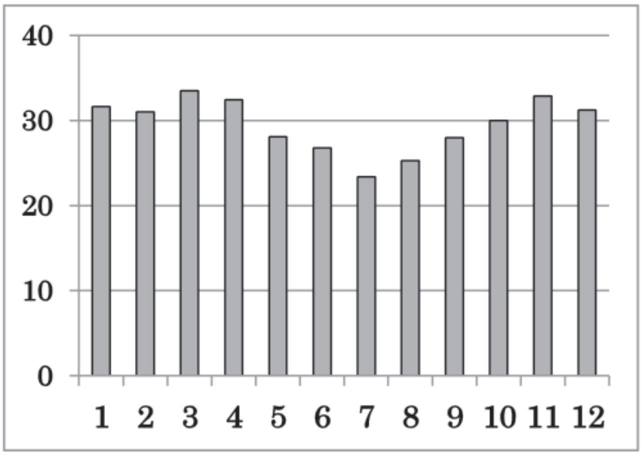
調査結果および考察

（１）全体の傾向

2007年４月から2015年６月までの（2014年７ ～８月を除く）８年にわたる調査の結果，正観寺沼とその周辺に棲息，もしくは飛来する野鳥はさらに 20 種あまり増えて83 種に達した一方，観察される野鳥の種数に大きな変動はなかった（図－２）。通常の都市環境では30 ～ 40 種が一般的であることからこの水面の生物多様性があらためて認識できる結果となった。季節別に見ると，カモ類をはじめとする冬鳥が多い冬季～春季に毎月30 ～ 34種，夏季で23 ～ 28種の野鳥が観察された（図－３）。「群馬県鳥類目録2012」では，迷鳥80種，留鳥74種，冬鳥70種などとなっており[6]，迷鳥を無視すると，留鳥と冬鳥の生息時期である冬から春に多くの種が確認できると考えられ，正観寺沼での結果はこれと一致する（日本野鳥の会群馬，浅川千佳夫氏コメント）。 2011 年度に行われた環境整備の前後では，観察された種数にわずかに減少が見られるが，時期を同じくして土砂の流入により湖底が浅くなる傾向が強まっており，それが原因との可能性も否定できない。また，一時的な現象なのか，環境変化にともなう事実なのかも含めて引き続き注視する必要がある。



図－２　観察された野鳥の種数の経年推移



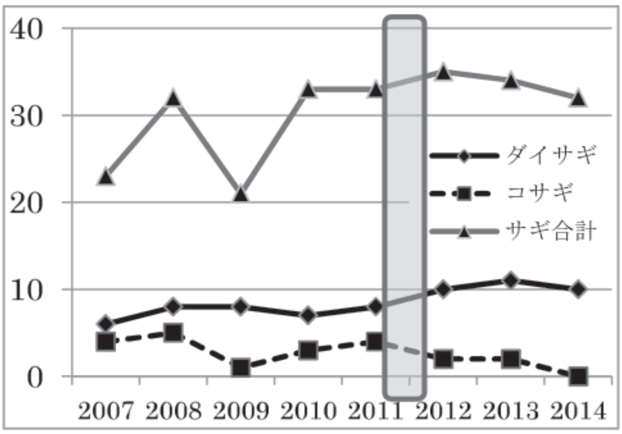
図－３　観察された野鳥の種数の月別推移

（２）繁殖行動

前報で正観寺沼およびその周辺で繁殖が確認された，あるいはほぼ確実な種として，カイツブリ *Tachybaptus ruficollis*，カルガモ *Anas poecilorhyncha*，バン *Gallinula chloropus*，オオバン *Fulica atra*，オオヨシキリ *Acrocephalus orientalis* などを挙げた[1)]。ただし，このうちオオバンは2011年以降姿を消した。オオバン以外では，サンクチュアリ区域でのキジ *Phasianus colchicus* の繁殖が確認され，コジュケイ *Bambusicola thoracica* の繁殖の可能性もあるほかは, 環境整備の前後で変化はなかった。近年では夏の豪雨に伴う水位の変化が激しく，カイツブリでも抱卵が危ぶまれるケースもあるが, 2015年の例では，再抱卵して無事４羽が巣立った。ゴイサギ *Nycticorax nycticorax* の営巣の実態は不明であるが，このヨシ原を根拠地として2007年から2015年の繁殖期にかけて毎年20 羽以上の幼鳥が観察され，こちらも環境整備の前後で変化はなかった。

（３）サギ類

サギ類の月例カウントの結果を図－４に示した。前報でも述べた通り, 8月～9月の日没時には多くのダイサギ *Ardea alba* と少数のコサギ *Egretta garzetta* が沼の中央の島の木々にねぐら入りする様子が観察された。2014年を除いて35 ～ 60羽の主にダイサギからなる塒の形成が確認され，その生態は浚渫・周辺整備で変化していない。この８年間で，ダイサギの増加傾向とコサギの減少傾向が顕著であるが，県内の他の地域とも一致した結果であり[6)]，この沼の環境変化が原因とは言えない。ゴイサギの繁殖については前項で述べた通りである。



図－４　サギ類の月別推移

写真－２　サギ類のねぐら
（2015年８月18日 18:00ころ撮影）

（４）カモ類

図－５に示したように，正観寺沼では留鳥のカルガモを含め６種類のカモが観察された。カルガモを除くとコガモ *Anas crecca* が飛来数, 滞在日数ともに最も多い。オナガガモ *A. acuta* は2007年～2008年にかけての冬には多く見られたが，その後飛来しなくなった。ヒドリガモ *Anas penelope* は10～11月と３月あたりに限って見られ，主な越冬地は別にあると考えられるが，その飛来数は減少傾向にある。

カモ類は過去15年ほどの間に多摩川水系をはじめ関東全域でその数が激減しており[7)]，その動向や原因について多くの議論がある。正観寺沼についてはまだ充分な分析はできないが，引き続き注意を要する。

（５）渡り鳥や移動途中の野鳥

カモ類以外の渡り鳥や移動途中の野鳥の飛来では，前報までの報告の後，冬鳥ではさらにオオジュリン *Emberiza schoeniclus* もアオジ *E. spodocephala* などに交じって観察された。夏鳥では，南からの渡りの途中とみられるオオルリ *Cyanoptila cuanomelana*，キビタキ *Ficedula narcissina* が各１例観察されているほか，エゾムシクイ *Phylloscopus borealoides*，センダイムシクイ *P. coronatus* も移動中のものがしばしば観察されている。ツバメ *Hirundo rustica*，イワツバメ *Delichon dasypus* の動向は変わらず，ツバメについては構内にも営巣が見られるものの，この沼のヨシ原を夏のねぐらとする動きは今のところ，認め

られない。一方，移動途中で姿を見せていたコアジサシ *Sterna albifrons* はその後，観察例がない。このほか, コウライウグイス *Oriolus chinensis* が2010年9月に県内唯一の観察例として記録されているが[6], 2015年8月に2例目がやはり正観寺沼で観察された。

（6）稀少種や目立つ野鳥など

その後，正観寺沼ではカワセミ *Alcedo atthis* がほぼ毎日見られていて，本校の象徴的な存在として親しまれている。雄・雌ともに見られることが多いが，この沼での繁殖行動は今のところ，確認できていない。2007年10月，正観寺沼中央の島の木にオオタカ *Accipiter gentilis* の幼鳥が初めて観察され，その後も冬季にはしばしば観察されていることは前報で述べた[1]。準絶滅危惧種とされた本種は個体数が増加しているといわれるが，この沼で観察される頻度は明らかに減少している。また， 2012年6月にはフクロウ *Strix uralensis* も日中に沼周辺で観察されている。

カッコウ科では例年，カッコウ *Cuculus canorus* が6月に飛来し，とくに2015年7月には頻繁に沼の周りで囀り，その後，幼鳥が9月まで観察されたことから, 沼のオオヨシキリの巣に托卵した可能性がある。ツツドリ *C. opatatus* もしばしば観察例があり, 2010年10月には渡りの前と思われる赤色型の幼鳥が1個体，確認されている。

（7）外来種の動向

近年，生息域を拡大している外来種では，ガビチョウ *Garrulax canorus* は観察されるものの，まだ頻度は高いとはいえない。群馬県内で赤城山南麓を中心に分布を広げているカオジロガビチョウ *G. sannio* は，2015年8月に高専内で初めて確認された。カオグロガビチョウ *G. perspicillatus* は観察されていない。ヨシ原の陸地化に伴ってコジュケイの増加が懸念されたが, ガビチョウ，コジュケイともに前回の報告に比べて特に増加したとは言えない。ただし，沼の東部のヨシ原では従来のヨシ *Phragmites australis*, ガマ *Typha latifolia* に加えて河川の河原の代表的な外来植物オオブタクサ *Ambrosia trifida* が繁茂する一方，哺乳動物ではニホンイタチ *Mustela itatsi* も観察されていて，今後も生物相の変化から目を離せない。また，総社神社周辺で1985年頃から観察されているワカケホンセイインコ *Psittacula krameri manillensis* は，数羽から十数羽の群れでの飛来頻度が増している。

結　語

表－1に8年間に観察された野鳥の種数を月別に示した。正観寺沼および周辺の水面が生物の多様性に寄与していることが再確認できたほか，平成23 (2012) 年度の環境整備の前後で，観察種類数に大きな変化はないことが明らかにされた。前報とその後の継続的な調査の結果，2011年度の浚渫・周辺整備の野鳥の多様性への影響はほぼないと結論づけられた。野鳥を指標とする立場に立てば，植栽された植物や水生生物全般への影響についても同様と考えられる。なお，浚渫後も土砂が流入して沼の縮小は続いており，特に近年の夏の豪雨による流入の影響は大きい。引き続き環境の維持に積極的に関与してゆくことが望まれる。

このたびの継続調査を通じて明らかになったおもな点を，以下に掲げる。

１）正観寺沼は80種類以上が繁殖または飛来する，この地域としては有数の野鳥の棲息地であることが再確認できた。

２）2011年度の浚渫・周辺整備の前後で，野鳥の多様性への影響はなかった。

３）野鳥以外の生物の調査は行っていないが，野鳥が一定の指標となることを考慮すれば「里池」の生態系全体についても，ほぼ，同様のことが言えると推定される。

４）少なくとも5種類の野鳥が正観寺沼のヨシ原で繁殖し，夏～秋の日暮れ時にねぐら入りするサギ類の生態も浚渫・周辺整備の前後で変化はない。

５）カモ類をはじめとする冬鳥，ツバメをはじめとする夏鳥の飛来数も浚渫・周辺整備の前後で変わらない。

６）環境や生物多様性に関する教育のフィールドとして, 環境アセスメントのモデルフィールドとして, 本水面は教育・研究両面で貴重な材料を提供しうる可能性が示された。

謝　辞

地域住民向けの野鳥観察会は毎回，浅川千佳夫副代表はじめ日本野鳥の会群馬の協力を得て実施している。平素のご協力とご助言に対し，深謝申し上げる。また，本調査の実施にあたり，本校環境都市工学科の青井研究室（当時）・宮里研究室の皆様の協力を得た。一般教科（人文科学）の櫻岡教授はじめ生物教育研究連携センターの先生方には貴重な情報をいただいた。日頃より環境整備に尽力されている職員の方々にも，この場を借りてお礼申し上げる。

参考文献

1) 宮越俊一：正観寺沼（群馬高専西湖）の野鳥　～その多様性と環境教育への応用～，群馬高専レビュー，28，1～6（2010）.
2) 群馬工業高等専門学校：群馬高専五十年史，p. 269 ～ 276 （2013）.
3) 日本鳥学会，日本鳥類目録（改定第７版）（2012）.
4) 高野伸二，フィールドガイド「日本の野鳥」増補改訂版，日本野鳥の会（2007）.
5) 真木広造，大西敏一：日本の野鳥 650，平凡社（2014）.
6) 日本野鳥の会群馬：群馬県鳥類目録 2012,（2014）.
7) 八王子・日野カワセミ会，数えあげた浅川流域の野鳥３，八王子・日野カワセミ会（2015）.

	種名（和名）	月別観察頻度												観察頻度（月数累計）	月平均観察頻度		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		I 期	II 期	III 期
1	キジ	6	2	8	8	3	6	1	0	4	3	3	3	47	0.43	0.40	0.55
2	オシドリ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.00	0.03	0.00
3	オカヨシガモ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0.00	0.03	0.05
4	ヨシガモ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.00	0.03	0.00
5	ヒドリガモ	0	0	0	1	0	0	0	0	2	5	2	3	13	0.17	0.13	0.10
6	マガモ	5	6	8	1	2	0	0	1	1	6	8	6	44	0.40	0.50	0.43
7	カルガモ	8	8	8	8	9	9	8	7	8	8	8	7	96	1.00	1.00	0.95
8	ハシビロガモ	0	0	2	0	0	0	1	0	1	1	2	0	7	0.07	0.03	0.10
9	オナガガモ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0.10	0.00	0.00
10	コガモ	8	8	8	9	9	1	0	1	8	8	8	8	76	0.73	0.83	0.75
11	カイツブリ	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
12	キジバト	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
13	カワウ	8	8	8	9	9	9	7	6	7	7	8	8	94	0.90	1.00	0.98
14	ゴイサギ	5	2	3	4	9	9	8	7	8	8	7	6	76	0.63	0.73	0.93
15	アマサギ	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0.00	0.03	0.03
16	アオサギ	8	8	8	8	5	6	8	7	8	8	8	8	90	0.90	0.90	0.95
17	ダイサギ	6	4	4	4	7	6	6	6	8	8	8	8	75	0.63	0.67	0.95
18	チュウサギ	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0.00	0.03	0.05
19	コサギ	0	0	0	2	0	0	0	4	6	6	3	1	22	0.30	0.27	0.15
20	クイナ	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0.00	0.00	0.08
21	バン	3	2	7	9	9	9	8	6	8	7	8	7	83	0.93	0.73	0.88
22	オオバン	2	2	2	4	2	2	0	0	0	0	1	2	17	0.50	0.07	0.00
23	ツツドリ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00	0.03	0.00
24	カッコウ	0	0	0	0	1	8	5	2	2	0	1	0	19	0.13	0.17	0.30
25	アマツバメ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.03	0.00	0.00
26	ヒメアマツバメ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.03	0.00	0.00
27	イカルチドリ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.03	0.00	0.00
28	コチドリ	0	0	0	4	5	3	0	0	0	0	0	0	12	0.00	0.07	0.25
29	イソシギ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0.03	0.00	0.03
30	コアジサシ	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0.07	0.00	0.00
31	トビ	6	6	7	7	6	4	3	3	7	7	6	6	68	0.27	0.90	0.85
32	ハイタカ	1	1	1	4	0	0	0	0	0	2	2	2	13	0.00	0.27	0.13
33	オオタカ	3	4	4	1	2	0	0	0	0	5	4	3	26	0.43	0.27	0.13
34	ノスリ	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5	0.00	0.07	0.08
35	フクロウ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.00	0.00	0.03
36	カワセミ	8	8	8	8	9	7	5	7	8	8	8	8	92	0.90	0.93	0.98
37	コゲラ	2	1	1	7	1	3	3	1	3	3	1	1	27	0.10	0.17	0.50
38	アオゲラ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2	6	0.10	0.03	0.08
39	チョウゲンボウ	0	0	0	1	4	5	3	0	2	1	0	0	16	0.10	0.03	0.30
40	コウライウグイス	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0.00	0.03	0.03
41	モズ	8	8	8	8	9	2	1	3	7	6	7	6	73	0.70	0.63	0.88
42	オナガ	8	8	8	9	8	9	8	7	8	8	8	8	97	0.97	1.00	1.00
43	カケス	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0.03	0.07	0.03
44	ハシボソガラス	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
45	ハシブトガラス	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
46	ヤマガラ	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0.00	0.00	0.05
47	シジュウカラ	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
48	ヒバリ	0	0	8	5	3	2	0	0	0	0	0	0	18	0.10	0.13	0.28
49	ツバメ	0	0	1	8	9	9	8	7	6	0	0	0	48	0.57	0.40	0.53
50	イワツバメ	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0.00	0.00	0.05
51	ヒヨドリ	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
52	ウグイス	5	8	8	8	4	6	4	3	5	6	6	6	69	0.53	0.83	0.70
53	エナガ	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	1	0	5	0.03	0.03	0.08
54	エゾムシクイ	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0.07	0.00	0.00
55	センダイムシクイ	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0.07	0.03	0.03
56	メジロ	7	8	8	9	9	9	8	6	7	8	8	8	95	0.93	0.97	1.00
57	オオヨシキリ	0	0	0	0	3	7	3	4	0	0	0	0	17	0.23	0.07	0.20
58	セッカ	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	5	0.17	0.00	0.00
59	ムクドリ	8	8	8	9	8	9	8	7	8	8	8	8	97	0.97	1.00	1.00
60	シロハラ	3	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.00	0.17	0.13
61	ツグミ	8	8	8	8	2	0	0	0	0	0	8	8	50	0.43	0.57	0.50
62	ジョウビタキ	0	5	1	0	0	0	0	0	0	6	6	2	20	0.17	0.17	0.25
63	エゾビタキ	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0.00	0.00	0.05
64	コサメビタキ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.00	0.00	0.03
65	キビタキ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00	0.00	0.03
66	オオルリ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00	0.03	0.00
67	スズメ	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
68	キセキレイ	7	6	8	2	5	2	2	3	7	6	7	6	61	0.43	0.63	0.78
69	ハクセキレイ	3	8	4	8	4	7	3	3	3	6	4	5	58	0.77	0.33	0.68
70	セグロセキレイ	7	5	6	6	6	1	2	3	2	5	5	7	55	0.30	0.73	0.63
71	ビンズイ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.03	0.00	0.00
72	カワラヒワ	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	8	98	1.00	1.00	1.00
73	シメ	8	8	8	6	1	0	0	0	0	0	7	8	46	0.40	0.57	0.45
74	イカル	3	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	7	0.07	0.07	0.08
75	ホオジロ	8	8	8	4	2	6	1	3	2	3	5	4	54	0.67	0.53	0.45
76	カシラダカ	8	7	2	0	0	0	0	0	0	0	1	5	23	0.17	0.37	0.20
77	アオジ	8	7	7	5	0	0	0	0	0	0	6	8	41	0.23	0.53	0.48
78	オオジュリン	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.00	0.00	0.08
79	コジュケイ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0.00	0.03	0.05
80	ドバト	8	7	7	8	9	6	7	6	5	6	6	5	80	0.90	0.83	0.75
81	ワカケホンセイインコ	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	6	0.03	0.00	0.15
82	ガビチョウ	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0.03	0.03	0.00
83	カオジロガビチョウ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.00	0.00	0.03
84	雑種ガモ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.00	0.03	0.05
	平均出現種数	32	31	34	32	28	27	23	25	28	30	33	31	2847			

I 期 2007年4月～2009年9月
II 期 2009年10月～2012年3月
II 期 2012年4月～2015年9月（2015年7～8月を除く）

表－１　正観寺沼の月例カウントで観察された野鳥の種の出現頻度とその変化

Wild Birds on Shokanji Pond (Lake Saiko, National Institute of Technology, Gunma College) (Part 2)

Effects of the construction work for the environmental preservation on the biodiversity of the pond

Shunichi Miyakoshi

Avifauna of Shokanji Pond or Lake Saiko, National Institute of Technology, Gunma College was investigated for 100 months from April 2007.　More than 80 species of birds including semi-endangered species were observed on the pond.　In 2011, the pond was dredged and the construction work for the environmental preservation was completed.　By comparing the avifauna before and after the construction, the effect of the construction on the biodiversity was evaluated.　Little effect of the construction was shown when the number of the species and individuals of the wild birds of the pond such as ducks, herons and other waterfowls were compared before and after 2011.

多軸工作機械の運動学と軌道制御の理解をねらいとしたシミュレーション演習

金子　忠夫*　　樫本　弘*

(2015 年 11 月 26 日受理)

１．はじめに

筆者らは、数年前から４年機械工学実験の一部でパソコンCNC用ソフトLinuxCNCを用いたモータ制御実験を行っているが[1]、LinuxCNC には、①OS が Ubuntu である、②パラレルポートが必要である、などの問題点がある。そこでパラレルポートのある古い WindowsXP パソコンを集め、ソフトのインストールと環境設定を行って利用している。徐々に増やし今では利用できるパソコンが１０台程になった。しかしパラレルポートのあるパソコンは既に購入できないので何か対策がなされないかと思っていた。すると最近になって、BeagleBone Black(小型のマイコン、通称 BBB)を使い、Debian7 上で LinuxCNC を動かす方法が公開された(参考 URL の[1])。筆者の一人が４年の必修科目でArduinoマイコンを使っていることから[2]、早速利用してみることにした。現在、BeagleBone Black でパソコン CNC が行えるよう準備中で、ようやくパラレルポートの問題から解放される。日本ではややマイナーな BeagleBone Black ではあるが、実際にマシンを動作させる場面を除けばBeagleBone Blackを使わなくてもよい。

ところで、NC 工作機械と産業用ロボットの制御機構はその技術的背景が類似しているにもかかわらず、ほとんどの学生が全く別の装置と認識している。学生はこれらの装置が発展した歴史を知らないので、無理からぬ事と言えるかも知れない。しかし、本校の実習工場にも５軸マシニングセンタや複合加工機が設置され、NC 工作機械と産業用ロボットとの類似点や相違点がより把握しやすくなったように思われる。

多軸工作機械が３軸 NC フライス盤･３軸マシニングセンタと大きく異なる点は、運動学 (kinematics) に関する点である。直交３軸加工機では目的の工具位置に移動するために必要な各軸の移動量が自明であり、運動学を意識する必要はない。ところが、多軸工作機械では運動学を適用して工具位置、工具姿勢を制御している。

そこで、学生に多軸工作機械における運動学を理解させるための演習環境を、LinuxCNC シミュレータを使って整備することにした。本報告ではその概要を述べる。

２．多様な PC 環境下での LinuxCNC の利用

LinuxCNC は Ubuntu10.04(8.04)下で起動する必要があり、これまでは専用のパソコンを用意してきた。しかしこのままでは多数の学生が同時に利用できないので、以下の対策を検討した。

２．１　USB ブートによる方法の検討

本校の設計演習室には Windows パソコンが１クラス分整備されている。この Windows パソコンの USB ブートで LinuxCNC を起動させれば、HDD に何らの変更も加えずに一斉に演習ができて都合が良い。このためまずネットから､①LinuxCNC が動く Debian7 ベースの iso ファイル(参考 URL の[2])、②Ubuntu12.04 と LinuxCNC ソース、をダウンロードした。手元の 32bit デスクトップパソコンと 64bit ノートパソコンにインストールし、さらにそれぞれで日本語化や必要なソフト (Inkscape、PyCAM など) のインストール、LinuxCNC 用の各種設定ファイルのコピーなどを行い、元本となるシステムを作成した。この際ブート用 USB の容量を考える必要があるので、HDD に約８GB のパーティションを作成して全ての作業を行った。

16GB の USB を 20 本、32GB の USB を５本用意してブート対応にフォーマットし、約 500MB と残りの二つのパーティションを作成した。次いで、①デバイスに約 500MB のパーティションを指定した grub のインストール作業、②HDD 内に作成したシステムファイルの dd コマンドによるコピー作業、③grub.cfg の修正作業、を行った。

このようにして 4 種類 (Debian7/Ubuntu12.04、32bit/64bit)のブート USB を作成して動作チェックを行った。設計演習室の Windows パソコンは 64bit で、64bit のノートパソコンで作成したブート USB は起動した。一方、32bit のデスクトップパソコンで作成したものは起動しなかった。ところが別の 32bit ノートパソコンでは起動したので作業は適切に行われていたように見えた。このようにパソコンによって起動したりしなかったりするのは、dd コマンドでシステム全体をコピーしているためで、パソコンのハードの違いを反映していないからである。起動できるパソコンを選ぶ必要や、動作がやや遅

*機械工学科

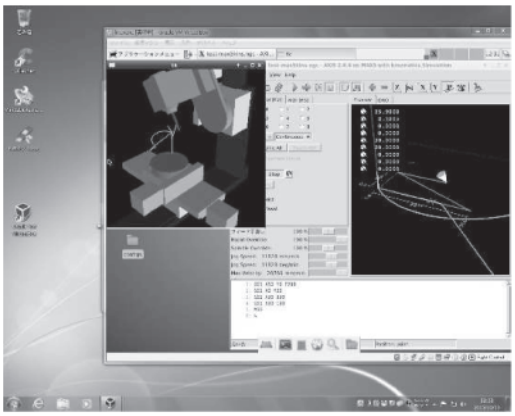
く感じられたりするものの、起動さえすれば十分使用できると思われた。

２．２　LiveCD 化

LiveCD 化すればパソコンのハードの違いを反映してブートできる。そこで Ubuntu12.04 に LinuxCNC をシミュレーション用にインストールして LiveCD 化した。ここでは一般に Ubuntu をカスタマイズするのに使われる Remastersys を用いた。ホームディレクトリを含む iso ファイルが容易に作成できたので、いろいろなパソコンで、必要に応じて LinuxCNC が利用できるようになった。もちろん Dual-boot すれば Windows システムと併用できる。システムを、アップデートやアップグレードすると一部のグラフィックが動作しなくなり、最新の Ubuntu 系 OS にすることはできなかった。

２．３　仮想 PC の利用

Windows マシンに仮想化ソフトをインストールすれば、多様な OS をエミュレートできる。そこで、① Windows8.1(64bit) のノートパソコンと VMware、② Windows7(32bit)のデスクトップパソコンと VirtualBox、の二通りの組合せで比較した。インストール CD は前述の Debian7 ベースの iso ファイルを使った。仮想 PC でも実際の PC と同様、インストール作業、設定ファイルのコピーなど、必要な作業を一度は行う必要がある。そこで両者ともほとんど同じように実施した。その後実際に仮想 PC 下で LinuxCNC を起動すると、いずれも軽快に動作した（図－１）。USB ブートよりも快適で仮想化ソフトを導入してよいパソコンであれば、仮想 PC の方が良いと思われる。使用した Windows7、32bit パソコンのメモリは実装２GB で仮想 PC には 512MB を配分した。なお仮想化には HDD の容量が数十 GB 必要なので注意を要する。



図－１　仮想 PC の実行画面例

３．LinuxCNC の運動学とシミュレーション

３．１　ロード可能な運動学モジュール

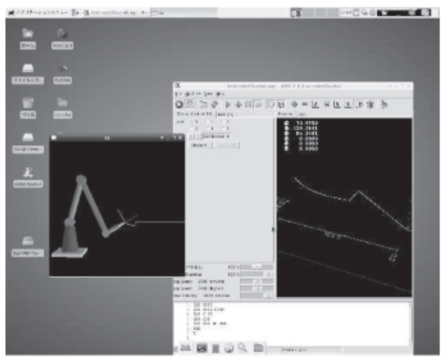
LinuxCNC は単にインストールしただけでいくつかの異なった装置構造に対する運動学モジュールが含まれている。そこで、設定ファイル（hal）にロードする運動学モジュールを記述して使用する。LinuxCNC は、X,Y,Z,A,B,C,U,V,W の９軸に対応している。直交３軸の加工機で実質的に運動学を使わない場合は、trivkins と名付けられた kinematics モジュールを用いる。ソースプログラムの逆運動学部分を確認すると、図－２に示すように各軸の移動量とモータの駆動量を一致させて特に何もしていない事がわかる。

```
int kinematicsInverse(const EmcPose * pos,
            double *joints,
            const KINEMATICS_INVERSE_FLAGS * iflags,
            KINEMATICS_FORWARD_FLAGS * fflags)
{
    joints[0] = pos->tran.x;
    joints[1] = pos->tran.y;
    joints[2] = pos->tran.z;
    joints[3] = pos->a;
    joints[4] = pos->b;
    joints[5] = pos->c;
    joints[6] = pos->u;
    joints[7] = pos->v;
    joints[8] = pos->w;

    return 0;
}
```

図－２　trivkins の逆運動学の記述

そもそも運動学とは何か、ということを説明するために、公開されている LinuxCNC 用平面３自由度シリアルロボットシミュレーションプログラム（参考 URL の[3]）を利用することにした。先端リンクを主軸とみなせば位置制御と工具姿勢制御の必要性が理解しやすい。実際に簡単な G コードプログラムで動作させている様子を図－３に示す。工具先端が軌道上を移動しながら姿勢が変化するのがわかる（LinuxCNC では vishmach.py でシミュレーションウインドーが描画され、自由にアングルを変更しながら観察できる）。



図－３　平面３自由度シリアルロボットの動作画面

平面３自由度シリアルロボットでは容易に各リンクの回転角 θ から順運動学が導かれる。ソース(robot3kins.c)を見ると、実際に以下の式が kinematics モジュールに組込まれているのがわかる。

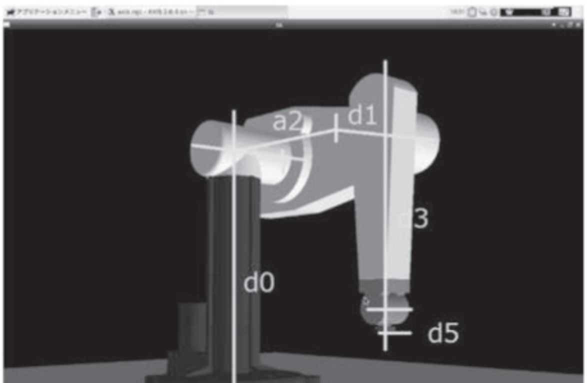
$$x_E = x_B + a_1 cos\theta_1 + a_2 cos(\theta_1 + \theta_2) + a_3 cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$y_E = y_B + a_1 sin\theta_1 + a_2 sin(\theta_1 + \theta_2) + a_3 sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

異なる構造の加工機でも、順運動学、逆運動学が導かれれば、運動学モジュールを直接書き換えできる。書き換えたソースプログラムをコンパイルする際には comp コンポーネントを使用する。LinuxCNC にはロボットティーチング機能が組込まれていないが、PUMA や SCARA 型のロボットもシミュレートできる。PUMA560 では表－１の DH パラメータ（参考 URL の[4]）が設定されている。値を変更してしまうとロボットの各軸位置（gui の）と一致せず（図－４）、world mode 表示に変更して jog 動作させれば正しい軌跡を描かないのがわかる。

表－１　PUMA560 の DH パラメータ

Joint	ai (inch)	αi	di (inch)	Remarks (puma560gui)
0	0	0	26.45	Height (waist)
1	0	π/2	-5.5	Z axis=>horizontal
2	17	0	0	Elbow
3	0	π/2	17.05	Forearm
4	0	-π/2	0	Wrist bend
5	0	π/2	2.2	Tool swivel

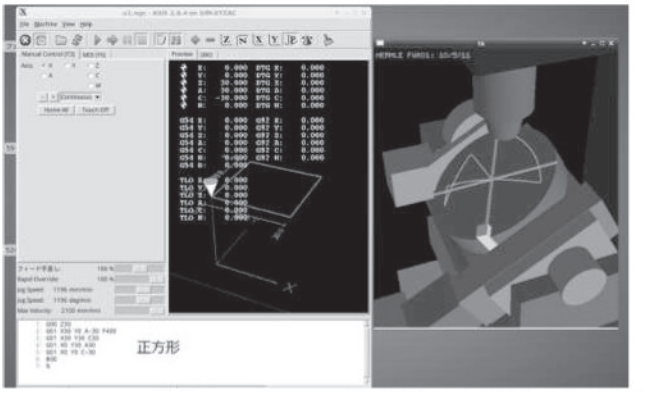


図－４　シミュレーション用 PUMA560 ロボット

３．２　５軸加工機のシミュレーション

ロボットの工具姿勢は３次元ベクトルで表されるが、エンドミル加工では主軸が回転するので工具軸まわりの方向性がない。このため２軸の回転運動で任意の工具姿勢が達成できる。直線３軸に回転２軸を加えた５軸加工機は回転２軸の構成によりいくつかのタイプに分類される。LinuxCNC を単にインストールしただけで XYZBC 構成の５軸加工機のシミュレーションが行える。図－１は仮想 PC 上でこれを実行した例で、いわゆる主軸チルトタイプである。本校の５軸加工機は XYZAC 構成のテーブルチルト型である。XYZAC 構成の場合、別途、gui と運動学モジュール組込む必要がある（参考 URL の[5]、CAXY/Z 構成のマシンなので全く同じではない）。

LinuxCNC では前述のように実際に使う運動学モジュールをその都度指定するので、同じマシン構成でも異なる運動学モジュールが使える。このため運動学を全く考慮しない場合と適切な運動学モジュールを用いた場合とが容易に比較できる。XYZAC 構成で正方形を描く G コードでも、trivkins を適用すると図－５に示すように正方形とは全く異なるテーブルの動きになってしまう。



図－５　XYZAC 構成で trivkins を使用した場合の動作例

指定された工具姿勢をとるために傾斜、回転すれば、工具先端の位置が移動して別の位置になる。そこで姿勢を変えても同じ位置に留まるためには XYZ 駆動軸を移動させて補正する必要がある。工具姿勢が CAM で決定され、単位ベクトル(e_x, e_y, e_z)で表されているとすれば、XYZAC 構造のマシンでは（A,C の順に回転させる必要がある）、

$$\cos A = e_z$$

$$\cos C = e_y \Big/ \sqrt{{e_x}^2 + {e_y}^2}$$

から A、C の大きさが求まる。G コードプログラムではこの二つの角度（A、C）で工具姿勢が示される。パス生成時点ではワーク座標系なので、いずれかの段階で機械座標系に変換する必要がある。LinuxCNC の逆運動学プログラム（XYZACkins.c）を見ると図－６のように書かれており、参考文献３）に書かれている逆運動学と一致しているのがわかる。自作説明用資料とともにこれらの参考文献も home ディレクトリーに保存していつでも参考にできるようにした。表－２は、工作機械、産業用ロボット及び歩行ロボットの片足をそれぞれ比較したもので、自作資料の一つである。工作機械とロボットが同じ表に記述できる点を学生には強調したい。工作機械を、工作物

から始まって工具で終わる剛体の連鎖と考えると、単純な機構学的ジョイントで構成されるシリアルリンクと言える。このため５軸加工機でも機械座標系から工具先端へたどる座標変換関係を､回転中心を考えたDHパラメータで記述できる。なお産業用ロボットは、シリアルリンクの広い動作範囲が得られるという特徴を重視した構造である。これに対し多軸工作機械は頑丈なガイドで剛性を獲得する構造となっている。

```
double dz = *(haldata->Z_offset);
double dy = *(haldata->Y_offset);
double c_rad = pos->c*M_PI/180;
double a_rad = pos->a*M_PI/180;

joints[0] = pos->tran.x*cos(c_rad) -
            pos->tran.y*sin(c_rad);

joints[1] = pos->tran.x*sin(c_rad)*cos(a_rad) +
            pos->tran.y*cos(c_rad)*cos(a_rad) -
            (pos->tran.z+dz)*sin(a_rad) -
            (1-cos(a_rad))*dy;

joints[2] = pos->tran.x*sin(c_rad)*sin(a_rad) +
            pos->tran.y*cos(c_rad)*sin(a_rad) +
            (pos->tran.z+dz)*cos(a_rad) +
            sin(a_rad)*dy - dz;

joints[3] = pos->a;
joints[4] = pos->b;
joints[5] = pos->c;
```

図－６　XYZACkinsの逆運動学

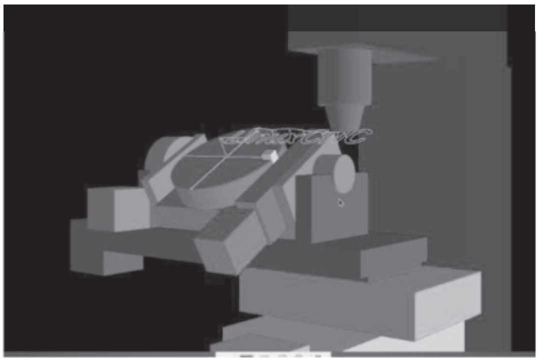
表－２　自作説明用資料の一例

NC加工機とロボットの類似性（シリアルリンク、6自由度以内/逆運動学が解析的に解ける）

	NC加工機		産業用ロボット		片足（歩行ロボット）	
姿勢	工具（エンドミル） A軸、B軸、C軸	3自由度以内	エンドエフェクタ（ハンド、ツール）	3自由度以内	足先 足首の角度、足裏の角度	3自由度以内
位置	工具先端/回転軸 X軸、Y軸、Z軸	3自由度	先端/回転軸	3自由度	足首関節の位置	3自由度

汎用CNC(例えばFANUC製)でも、リアルタイムアプリケーション用のカスタマーズボードを利用すれば、多様な運動学が組込めるようになっている。適正な運動学を組込めば、ワーク位置が異なっても同じGコードプログラムが使用できる（工具先端点制御)。そうでない場合にはCAMのポスト処理で運動学に基づく座標変換と短線分処理を行うが、ワークの設置位置データ（ワーク原点と回転中心までの距離）をポストに入力する必要が生じる（言い換えるとワーク原点がポスト処理した時点で固定される)。

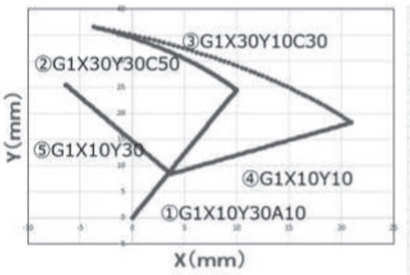
LinuxCNC でワーク座標系を設定する場合、①joint mode で原点設定、②world mode にして手動で移動、③Touch off、④P1 G54、の順に操作する。各 joint の値は、joint mode 表示すれば確認できる。この機能を利用すれば、回転軸をオフセットさせると直交軸の値が自動的に変更されるのがわかる。G54でワーク座標系のA軸を30度傾けて(工具を３０度傾けたのと同じ効果が得られる）加工シミュレートした例を図－７に示す。このように平面加工用のGコードプログラムで回転軸を傾けても正しく加工できるのは､適正なkinematicsが組込まれているからである。なお同時制御という言葉は、各軸が同時に動き始め､同時に停止する補間速度制御を意味している。



図－７　G54による傾斜加工

近年、次世代の工作機械としてパラレルリンクを応用した多軸加工機が開発されている（例えばオークマ製PM-600)。LinuxCNCでも､代表的パラレルリンクのtripod､hexapod 型のシミュレーションが組込まれている。一般にパラレルリンクでは、逆運動学の方が順運動学より容易に導かれるという特徴がある。パラレルリンクで機械原点が運動学上と実機で異なる場合、各軸を動作させずに座標系をオフセットできるG92を用いることで対応できる。５軸加工機やパラレルリンクを応用した多軸加工機では、加工精度を確保するための誤差解析が必要になる。回転中心の位置や角度誤差、各軸のボールねじのピッチ誤差などが複雑に絡み合うからである。どのように絡みあって影響するのか、どうしたら誤差伝播が抑制できるのか、などを検討する際にも運動学が必要である。演習時にはこれらの点についても言及したい。

直交３軸加工機ではワーク座標系と機械座標系が平行なので、G コードを見れば機械座標系の指令値もすぐにわかる。ところが、５軸同時制御では回転軸が回転するに従って位置データがリアルタイムに修正されるので、X,Y,Z の各機械軸に送信される位置データが実際にどうなっているのかはわからない。図－８は、XYZAC 構成の５軸加工機で、正方形の軌跡を描くように指令した時のXY機械軸の軌跡を描いたものである。この図の軌跡だけから、NCコマンドは正方形である、と推測するのは無理と言えよう。

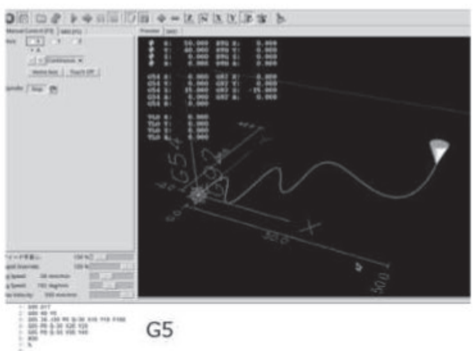


図－８　XY 機械軸の軌跡

４．軌道制御・速度制御シミュレーション

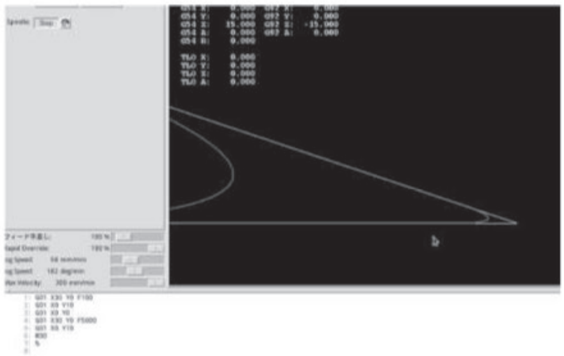
G01 が直線補間で G02、G03 が円弧補間だということはほとんどの学生が知っている。しかし、なぜ「補間」と呼ばれるかは理解していないように見える。学生が「補間」を直感的に捉えるのに、LinuxCNC に組込まれている Hal Meter と呼ばれる機能が役立つと思われる。Hal Meter は、加工動作中の各軸の位置、速度、加速度などを数値で表示できるので、学生に簡単な G コードプログラムを作成させ、次いで、１行ごとに G コードブロックと Hal Meter の表示値を比較させれば、１行の命令実行中に何をしているかが把握できよう。さらに、LinuxCNC はモータドライバに step/dir のパルス列信号を送信しているが、これらの信号を Hal Scope で同時に観察できる。このためパルス列信号が位置と速度の情報を持っていることが容易にわかる。

LinuxCNC は補間用のハードウェアを持たないいわゆるデジタル補間なので、スプライン関数を用いた補間なども可能である。図－９に G5(Cubic spline) で描いた曲線例を示す。このような命令は JIS には無いので、同様な曲線を描くとしたどうするか学生に考えさせる一つの題材となる。ところで、ワークの角部などを加工する場合、一旦停止しないと理論上は加速度が無限大になる。実際には、停止する前に次の駆動軸の動作を開始する切削モード（G64）で、ワークの角部を適当に丸めて加工している。角部の角度と送り速度からこの角部付近がどの様になるか、図－１０に示すように角部を大きく拡大すると確認できる(ただしサーボ遅れは考慮されていない)。

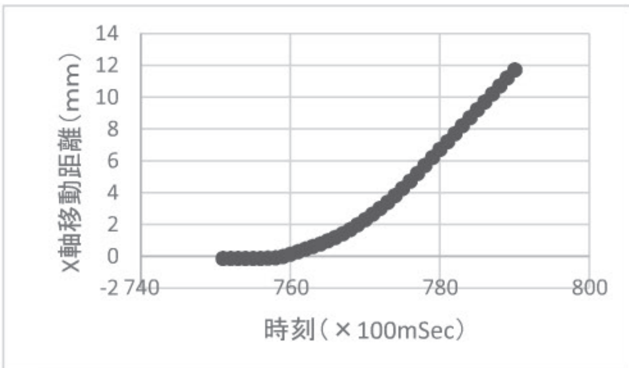


図－９　G5 コマンドによる補間曲線

角部を丸めずに切削するためには角部で一旦完全に停止する必要がある（G61）。なお、角部がいわゆる R 面取りではなく、放物線的な軌跡を描いているのも注目すべき点であろう。なぜ放物線的なのか学生に推論させるのも良いと思われる（角部の近くを通り出来るだけ急減速しない曲線。加速度の変化が徐々におこる）。

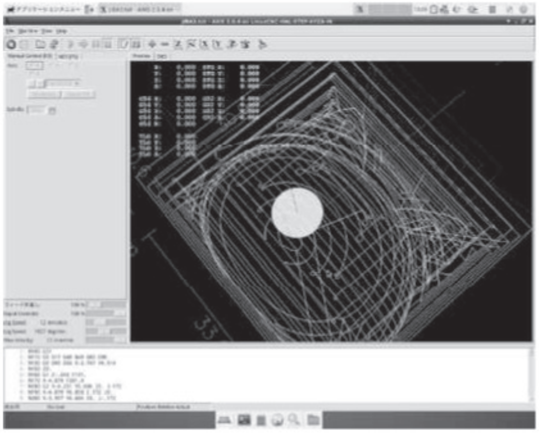


図－１０　切削モード（G64）での角部軌跡



図－１１　加速過程での機械軸の動き

LinuxCNC は各軸で最高速度、最高加速度を設定する、いわゆる台形速度制御を採用しており、起動停止時には徐々に加減速される。このような動作を実際に確認するために Sampler モジュールが使える。Sampler モジュールで 100msec 間隔に位置データをファイルに書き出し、USB にコピーしてから Windows パソコンの Excel-chart でグラフ化した例を図－１１に示す。予想どおり徐々にスピードアップしているのがわかる。Sampler モジュールを上手に使うと多様な演習ができる。多軸制御加工機では各軸が連動して動くので、割出し加工と多軸同時制御加工の違いを把握することは重要であろう。そこで、本校で実加工に使用している CAM ソフト MasterCAM,X6 を用いてパス生成し、一部を手修正してから LinuxCNC に読込んでみた。図－１２に示すように３D モデル上を工具が動くのがわかる。この例は３軸加工用であるが、５軸加工用ファイルも演習時のデモ用として用意したい。



図－１２　MasterCAM で作成した加工パスの例

５．おわりに

現在準備したブート可能 USB を４年生の学生実験に試験的に導入しながら説明用資料の充実を図っている。また、本年度実施した中学生対象の「機械の学校 in 高専」でもこれらの USB を使ったが特に大きな支障はなかった。NC 工作機械とロボットは全く異なる、と学生が判断しているのは、主として装置の外観の違いに起因している。LinuxCNC シミュレータを使って、ロボットと多軸工作機械を同時に扱えば、必要とされるマシン剛性の違いによる構造上の差異を除けばかなり類似している、と認識されるのではなかろうか。なお本校の５軸加工機の構造は、形状創生理論によれば CA/XYZ と表される。この記述法はテーブルから工具までを順に示しており、途中の/は静止要素（機械のベッド）を表している。別な言い方では、table-rotating/tilting type である（トラニオンテーブルを使用している）。本校の装置とは構造の異なる５軸加工機をいくつ想像できるか、演習時には学生に尋ねてみたい。

参考文献および参考 URL

1) 金子忠夫、樫本弘：CAD・CAM 補助教材の開発（その３）、群馬高専レビュー、第 32 号、43-47 頁、(2013)

2) 樫本弘、平社信人：Arduino を用いたマイコン制御の入門教育、群馬高専レビュー、第 33 号、69-77 頁、(2014)

3) Y.H.Jung, D.W.Lee, J.S.Kim, H.S.Mok：NC post-processor for 5-axis milling machine of table/tilting type, Journal of Materials Processing Technology 130-131(2002)641-646

[1]http://blog.machinekit.io/p/machinekit_16.html

[2]http://www.linuxcnc.org/index.php/english/download

[3]http://alvarestech.com/temp/RoboAseaIRB6S2-Fiat/CinematicaExemplosManuaisConfigurador-DH-EMC/

[4]http://juve.ro/blog/puma

[5]http://wiki.linuxcnc.org/cgi-bin/wiki.pl?ContributedComponents#XYZACkins_5_axis_kinematics_for_a_milling_machine

Simulation-based learning for understanding the kinematics and trajectory control of multi-axis machine tools

Tadao KANEKO and Hiroshi KASHIMOTO

LinuxCNC is a non-industrial PC-based CNC software which controls motor drivers with step/dir signals via LPT port, so that a new PC not having LPT port cannot drive an actual machine. However, the simulator mode is useful for playing with g-code on screen. In order to learn the kinematics and trajectory control of multi-axis machine tools, the way for simulating simultaneously on some PC's is discussed. In five-axis CNC machine, kinematics is treated as a serial link with five degrees of freedom, just like a robotic manipulator while the cutter is treated as an end effector. Such multi-machine tools are easily simulated by applying the appropriate kinematics module, or the trivial kinematics module which is used for the most common milling machine. As LinuxCNC employs a trapezoidal velocity profile generator, it is easily shown by using the Sampler module and Excel chart that the accelerated velocity region corresponds to the parabolic region of the joint position vs. time charts. And also, it is shown that the trajectory planner in LinuxCNC uses parabolic blends applying the feed velocity and angles for every segment-segment transition in default operations, or follows G61 command to stop at the end of the next segment.

Production of Acrylic Test Tube Racks by Laser Beam Machining and Their Contribution to Experiment Education

Saitoh Yoshiyasu[1)], Hiroshi Asami[1)], Ayano Kuribara[1)], Yukari Tabei[2)], and Masao Fujishige[3)]

（2015 年 11 月 26 日受理）

Abstract

As a part of activities to improve the skills of technical staff members through exchange with staff in other disciplines, mechanical engineering staff members were assigned to a Chemistry and Materials Science Experiment Course (qualitative analysis) offered to first year students of the Department of Chemistry and Materials Science. Asking the mechanical engineering staff members to perform assignments as efficiently as experienced chemical engineering staff without any preparatory measures would have been unreasonable, in addition to the fact that the assignment already put mental pressure on both the group dispatching the mechanical engineering staff and the group receiving them and caused feelings of uneasiness in both groups. To dispel the uneasiness, various efforts were repeatedly made; for example, teaching staff members elucidated and explained in detail to the mechanical engineering staff members about the four themes of the experiment course, which they would work on over the course of a semester, and the mechanical engineering staff members conducted preparatory experiments with the teaching and chemical engineering staff members. By its nature, the experiment course required its participants to conduct extensive observations. It was felt that there were many experiment phenomena which could be noticed only after they had been explained. These included cases where, for example, observation was very difficult because barely visible precipitate formed in the solution inside a test tube, but became transparent when the test tube was shaken, or where after the precipitate had dissolved, it transformed into crystalline precipitate when it was recrystallized. Furthermore, the mechanical engineering staff members were taught that in some cases, it was very important to observe different deposits and compare them with each other.

During the regular experiment classes, the staff members are very busy carrying out their duties, such as preparing chemical reagents, receiving reports, and monitoring and managing students' safety and the progress of their experiments. Test tube racks for small test tubes used for the department's student experiment classes were blackened, and some 3 mm long sections between test tube holes were corroded and had disappeared due to more than 30 years of aging deterioration and degradation by chemicals and other materials. However, the experiment staff members could not afford to take the time to solve the test tube racks' problems due to being so busy and under budgetary constraints. The test tube racks were not commercially available goods, but hand-made products created by a craftsman. Therefore, even if a decision to replace them with new ones was made, arranging for the replacements would be problematic. According to the results of the preparatory experiments conducted by the staff members, it was hard to detect a minute amount of precipitate as well as to observe the colors, crystallization and other precipitate characteristics with the test tube rack because the rack's upper plate creates a shade while the blackened bottom plate reduces reflectivity, leading to an insufficient amount of light reaching

1) Technical Support Center for Education and Research, 2) Gunma University, Organization for Promotion of Research and University-Industry Collaboration, Instrumental Analysis Center, 3) Department of Chemistry and Materials Science

the test tubes inserted in the rack.

While the wooden test tube racks were hand-made by a craftsman, the authors proposed new designs from the point of view of the mechanical engineering staff, using stainless steel, acrylic and other plates to produce prototypes, and a laser beam machining tool to finely process acrylic plates to mass produce new rack units to be used in class. In this report, the authors describe their activities to design and manufacture new acrylic test tube racks, and use them for an experiment class. Furthermore, the authors report that the acrylic test tube racks contributed to improving test tube observation results as expected and that this technical staff exchange between different disciplines was successful.

1. Introduction

Figure 1 shows the structure of a test tube rack for small test tubes used in a semi-micro qualitative analysis experiment assignment given to the Department of Chemistry and Materials Science's first year students during their second semester. The wooden test tube rack's structure uses 6.0 mm thick wood plates. The lower plate is 260 mm long and 68 mm wide, and 6.0 mm thick legs are attached to the full width of its 68 mm wide short sides. The top plate consists of front and rear rows: the taller rear row has 12 holes with diameters of 15 mm for smaller test tubes, which are placed at intervals of 3 mm, and the front row has 9 holes with diameters of 15 mm and 2 holes with diameters of 26 mm. The test tube rack was blackened, and some of the 3 mm long sections between test tube holes were corroded and had disappeared due to more than 30 years of aging deterioration and degradation by chemicals and other materials. When test tubes are inserted in the test tube rack, the top plate creates a shade that reduces the amount of light that reaches the test tubes and the blackened bottom plate reduces the amount of reflected light, making it difficult to detect minute amounts of precipitate and observe the colors and other precipitate characteristics due to insufficient light.

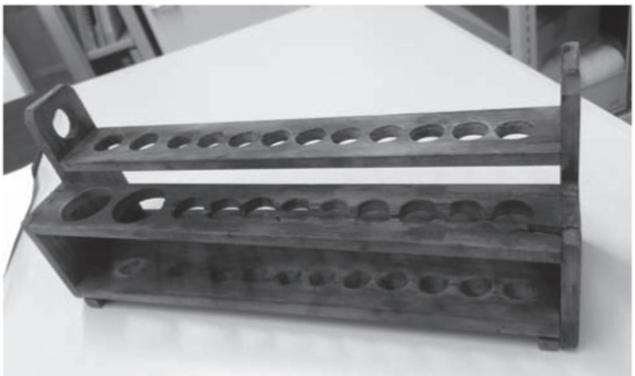


Figure 1 Wooden Test Tube Rack Used for Many Years

Hence, the authors aimed to produce a new test tube rack that would allow its users to properly observe the colors and changes over time of precipitates in test tubes inserted in it. However, no commercially available product was found as a ready-made product, which could be used for semi-micro analysis test tubes (whose diameter is 11 mm and length 105 mm). Also, no ready-made product was found which could accommodate 21 test tubes per rack.

While referring to the specifications of the old test tube rack, the authors considered how to produce a prototype of a new test tube rack which enables its users to appropriately observe test tubes inserted in it. The authors excluded wood plates from their consideration because of the difficulties involved in drilling and assembling them. A plastic molding approach was considered to be inappropriate to produce only 40 test tube racks used in class because it would require manufacturing a metal mold, as well as other reasons, and was excluded from the authors' consideration. It was considered that stainless steel plates might deform due to heat applied to them during spot welding performed after machining, and that as a result a test tube rack made of the stainless steel plates would be unstable. Therefore, stainless steel plates were excluded from consideration. Finally, it was decided to process acrylic plates to produce a prototype test tube rack because an acrylic top plate allows light to reach the test tubes inserted in the rack and enables the rack's users to observe the test tubes appropriately.

In this report, the authors will detail how a new test tube rack's drawing was created while referring to the specifications of the old wooden test tube rack, how the number of the new test tube rack's parts was reduced while considerably strengthening its structure when assembled, and how to set a laser beam machine's operating conditions. Furthermore, the authors describe how a prototype was produced, the first unit of the new test tube rack completed, and the 45 units of the new test tube racks for use in class mass produced. The authors also reviewed how the mass produced units contributed to experiment education when they were used by students conducting experiments.

2. Experimental methods

2.1 Selection of Materials for Test Tube Rack by Using 3D CAD

A laser beam machine is installed in the campus's factory for practical training, which enables precise but relatively easy machining. Furthermore, it is expected that the laser beam machine will be able to produce parts at a lower cost. Because different processing and assembly methods must be used depending on the raw materials, the authors compared wooden, stainless steel and acrylic plates, which can be processed by the laser beam machine, as candidate materials and examined how to create designs with 3D CAD to efficiently cut them into parts and then assemble the rack. The examination results were compared with each other.

2.2 Designing and Assembling an Acrylic Test Tube Rack

On the assumption that acrylic plates would be used as raw materials, a CAD unit was used to create a drawing which could minimize the number of parts required to assemble a new test tube rack unit as well as the amount of leftover raw materials to be disposed of (or discharged materials). The resulting drawing was used as a baseline for laser processing. Laser machined parts were temporarily assembled and acrylic adhesives were applied to fix them.

2.3 Evaluation of the Acrylic Test Tube Rack Prototype

A prototype of the new test tube rack was produced. The old wooden test tube rack and the prototype were used in an experiment to confirm the group manipulation reaction of metal cations, which is one of the second semester themes of Chemistry and Materials Science Experiment I, and their performances were compared with each other.

3. Results and Discussion

3.1 Using Stainless Steel and Acrylic Material Prototypes

Wooden, stainless steel and acrylic plates are raw materials which can be processed by the laser beam machine, but the assembly method depends on which material is used. Therefore, Figure 2 shows an assembly diagram for acrylic and wooden materials to which nails and/or adhesives can be applied, and Figure 3 shows one for stainless steel materials. It was estimated that wooden materials would require more time and effort because the cut surfaces might be burnt, and nails as well as adhesives would have to be used for assembly. Although it was thought that acrylic material was fragile, and hard to drill, laser machining is appropriate to the material. It was expected that parts could be precisely cut out from acrylic material and easily attached with acryl-specific liquid adhesives after being temporarily assembled.

It was also expected that because light could pass through transparent acrylic material, any subtle changes in a test tube could be detected if the test tube was inserted in an acrylic test tube rack.

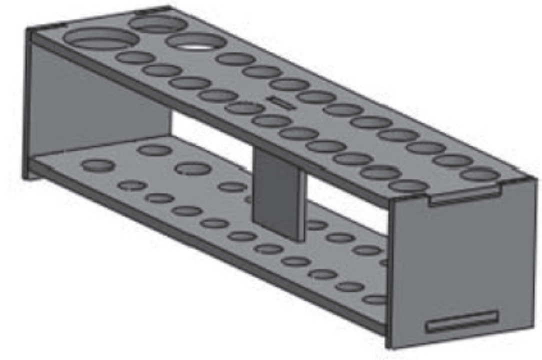


Figure 2 Assembly Diagram of Wooden/Acrylic Test Tube Rack

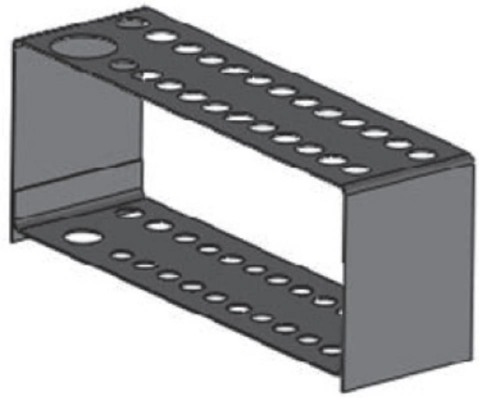


Figure 3 Assembly Diagram of Stainless Steel Test Tube Rack

If stainless steel material was to be used, it was thought appropriate to use thin stainless steel plates and bend them for assembly. However, it was found that a bender or other appropriate machinery equipment would be required, and the equipment which was available to the authors at that time was not adequate for such precise bending. Furthermore, it was thought that if thin stainless steel plates were to be used, a support would have to be inserted in the center of the test tube rack to prevent the rack from becoming warped, the same way as shown in Figure 2, and that spot welding would be required to install the support. However, it was suspected that the welding's heat strain would cause the rack to deform, making it instable when it standing alone. Therefore, it was decided to use acrylic plates to produce the new test tube rack.

3.2 Designing and Assembling the Acrylic Test Tube Rack

After the performance characteristics of existing large and small laser beam machines had been compared with each other, a small laser beam machine was selected as it was judged that it was more suitable for the authors' purposes. Table 1 shows the small laser beam machine's specifications.

Table 1: Name and Specifications of Laser Beam Machine

Model Name: VLS3.50 manufactured by Universal Laser Systems, Inc.	
Laser Type	Carbon Dioxide (CO_2) Laser
Laser Oscillator	50 W
Cut Capability	About 4 mm thick wooden and acrylic materials can be cut.
Weight	45 to 48 kg
Processing Area	About 600 mm x 300 mm

In addition, the small laser beam machine's laser output ratio, processing speed and DPI (irradiation times per inch) during its operation were adjusted, and Table 2 shows their adjusted optimal values.

Table 2: Optimal Laser Irradiation Values during Acrylic Plate Processing

Process Type	Laser Output	Process Speed	DPI
Machining a round hole 20-30 mm in diameter	100%	6 %	1000
Other machining	100%	8 %	1000

In addition, a CAD drawing was created to minimize the number of parts required to assemble a new test tube rack unit as well as the amount of leftover raw materials to be disposed of (or discharged materials), and the rack parts were prepared based on this drawing. Figure 4 shows an assembled prototype based on the 3D CAD assembly diagram shown in Figure 2.

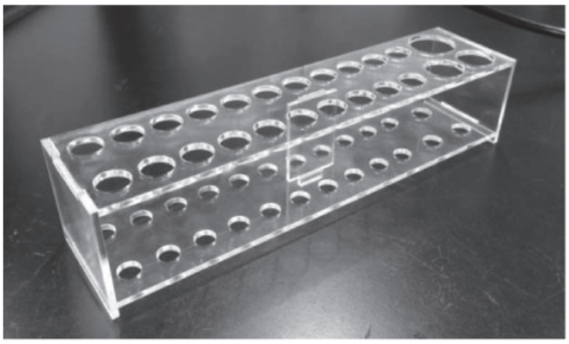


Figure 4 Prototype of Acrylic Test Tube Rack (based on Figure 2)

3.3 Evaluation of Acrylic Test Tube Rack Prototype

The old wooden test tube rack and the prototype were used in an experiment to confirm the group manipulation reaction of metal cations, which is one of the themes of student experiments at the Department of Chemistry and Materials Science, and their performances were compared with each other.

Figure 5 shows the old wooden test tube rack used for the experiment, and Figure 6 shows the prototype acrylic test tube rack used for the experiment.

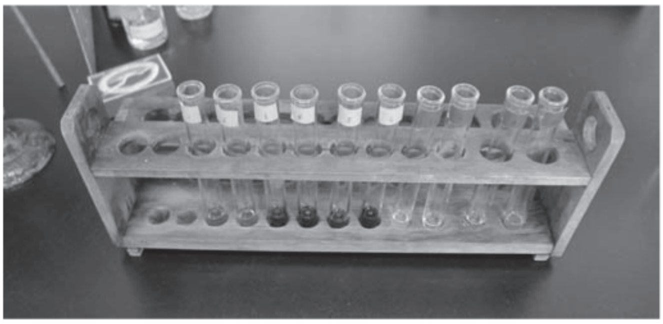


Figure 5 Old Wooden Test Tube Rack

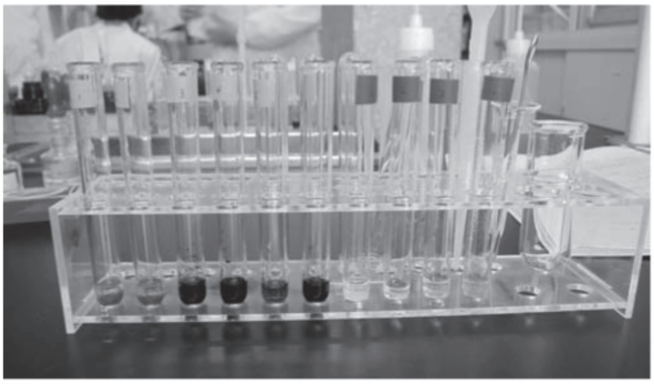


Figure 6 Prototype of New Acrylic Test Tube Rack

There is no significant difference between Figure 5 and Figure 6 because camera's automatic adjustment function was used when the photographs were taken. From these figures, it may appear that both test tube racks can provide sufficient observability. However, for human eyes, Figure 5's case was dimmer, and Figure 6's was brighter, clearly displaying the better observability provided by the new acrylic test tube. In addition, as Figure 7 shows, the acrylic test tube rack provided sufficient observability when semi-transparent shading, minute gelatinous precipitate and other faint phenomena were observed.

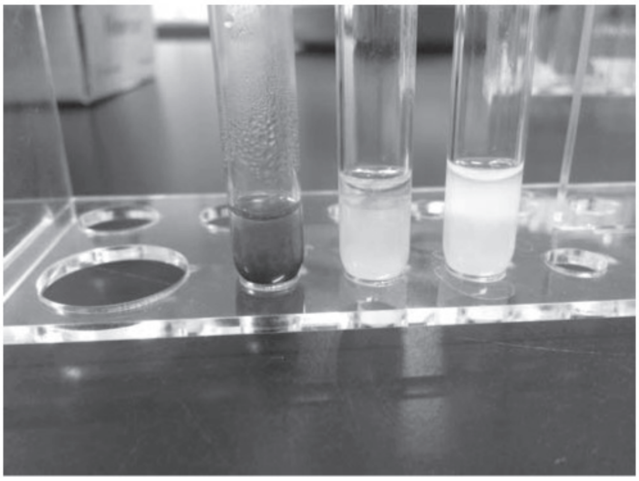


Figure 7 Observation with Test Tubes Inserted in the Acrylic Test Tube Rack

In addition, the authors received the impression that because the new acrylic test tube racks enabled students to conduct proper experiment observation and sufficient comparisons, the students were more actively involved. After the students finished their experiments, their experiment advisors compared the students' experiment memos and results, and verified if there were any omitted items or errors. With the new acrylic test tube, the experiment advisors were able to explain experiment results more clearly. In addition, with the new acrylic test tubes, the students were able to observe their experiments in more detail. For example, some of them commented "while the upper part has become cloudy, there are still transparent areas at the bottom" instead of saying "there is white precipitate." Though such comments may be qualitative, the authors concluded that the new acrylic test tubes could provide better experiment conditions to students. The mechanical engineering staff members, who were involved in this activity, can now fully understand the purposes of student experiments, prepare the experiments safely, and forecast hazardous events and advise students regarding potential hazards.

As a result of the mechanical engineering staff members' participation in experiment classes of a different discipline, both the experiment class environment for the students and the skills of the mechanical engineering staff have improved. The authors expect that such results as presented here will be seen more and more in the future.

4. Conclusions

While the wooden test tube racks were hand-made by a craftsman, the authors proposed new designs from the point of view of the mechanical engineering staff, using stainless steel, acrylic and other plates to produce prototypes, and a laser beam machining tool to finely process acrylic plates to mass produce new rack units to be used in class. In this report, the authors describe their activities to design and manufacture new acrylic test tube racks, and use them for an experiment class. Furthermore, the authors report that the acrylic test tube racks contributed to improving test tube observation results as expected and that this technical staff exchange between different disciplines was successful.

宮部みゆきの英訳版『クロスファイア』——どう翻訳されているか——

横山　孝一*

（2015年11月26日受理）

はじめに

宮部みゆきの『クロスファイア』(1998 年)は、火を武器として思いのままに放射できる青木淳子を主人公にしたミステリー小説である。ＳＦ、サスペンス、アクション、ロマンスなどさまざまなジャンル的要素を取り入れているが、基本的にミステリー（推理小説）と言って差し支えないだろう。雑誌『ＥＱ』1995 年 1 月号に発表された「燔祭」(「傑作推理小説」と銘打たれた『鳩笛草 燔祭/朽ちてゆくまで』所収)が下敷きになっていて、事件の鍵を握る多田一樹と、何度も言及がある「連続女子高生拉致殺人事件」と、犯行グループのリーダー小暮昌樹が焼き殺された「荒川河川敷事件」は、この中編小説のほうで扱われている。前作を読むことで理解が深まるのはたしかだが、警察側の登場人物は『クロスファイア』で初めて創造され、散りばめられた情報から以前の事件が浮かび上がる仕掛けになっているので、独立した長編小説としてじゅうぶんに楽しむことができよう。以下は、『クロスファイア』のあらすじである。

「念力放火能力」（パイロキネシス）を持つゆえに、人目を避けて暮らしてきた青木淳子は、ある日、貯まった火を放射しに行った廃工場で、非行少年４人がサラリーマンの藤川を埋めに来たところを目撃して「戦闘」になり、容赦なく３人を焼き殺す。しかし、密造拳銃で肩を撃たれ、１人（浅羽敬一）に逃げられる。銃でとどめを刺された被害者の藤川から、恋人の奈津子をさらわれたことを知った淳子は、救出のため、落ちていたマッチを手掛かりに逃げた若者を捜す。店はなくなっていたが、近所の豆腐屋の娘で元恋人の信恵から浅羽のことを聞き、浅羽の父親の墓で見つけたメモの番号に電話して、銃の密造職人と会う。力ずくで、浅羽の居場所を聞き出し、母親の酒店の２階に監禁されていた奈津子を救い出す。しかし、浅羽は屋上で何者かに射殺されており、奈津子も同様に額を撃ち抜かれて死んでしまう。（現場には、紙をはがされた紙巻タバコの中身がたくさん落ちていた。）

失意の淳子は、自分の活動を知っているという謎の組織ガーディアンから電話をもらう。２年前、女子高生をおもしろ半分に車で追いかけてひき殺した犯人の少年たちを、淳子は単独で処刑していたのだが、唯一人取り逃がしていた叶仁志の居場所を聞かされる。淳子は拳銃職人や浅羽の母親を殺したように、叶の恋人まで念力で焼死させてしまう。ふたたび電話してきた木戸浩一と会い、戦争で非戦闘員を巻きこんでしまうのは仕方がないと語る彼に魅かれ、法律では裁けない悪党を自殺に見せかけて処刑するというガーディアンに勧誘される。淳子は、「連続女子高生拉致殺人事件」で妹の雪江を殺され、二人で復讐しようとしたが土壇場で思いとどまって別れた多田一樹のことがずっと気になっていたが、別の女性と幸せに暮らしていることを木戸浩一と確認し、ガーディアンの仲間に加わる。ずっと孤独だった淳子は、相手を「押して」コントロールできる浩一を同じ孤独な異能者として愛するようになり、初めて女の幸せを味わう。

ガーディアンのために、淳子は自分と同じ念力放火能力をもつ 13 歳の少女倉田かおりを拉致して「妹」として訓練する任務を与えられるが、ガードが固く計画は中止。淳子は、かおりと接触できぬまま浩一と河口湖の別荘に行き、浅羽と奈津子を射殺したのが、ガーディアンの一員で元刑事の「船長」（キャプテン）だと気づく。倉田家の人たちを見張っていた彼が、タバコを「解体」していたからだった。そのことを話した直後、淳子は、浩一に銃で撃たれる。秘密裏に活動するガーディアンにとって、派手な殺し方をする淳子は結局は邪魔な存在だったのだ。浩一の任務は初めから彼女を殺すことだった。初恋の人を発狂させた浩一は心を捨てていた。合流した「船長」が淳子に同情して泣くなか、淳子は、悪党以外も殺した自分の非を悟って「船長」を許す一方、愛する

*人文科学系・英米文学/比較文学

浩一を一瞬で炎上させ、駆けつけた刑事にかおりを自分の二の舞にしないよう頼んで息絶える。二人の遺体は、警察の内部にもいるガーディアンのメンバーたちによって「無理心中」として処理される。

以上は淳子を中心としたあらすじだが、実際には、廃工場の焼殺事件のあと、警視庁放火捜査班の「おっかさん」石津ちか子が部下の清水と捜査を開始。牧原刑事の協力を得て、容疑者の淳子にたどり着くまでの苦労が並行して描かれる。こちらの展開もまとめておこう。

「連続女子高生拉致殺人事件」の主犯格と見なされながら証拠不十分でマスコミの寵児になっていた小暮昌樹が焼き殺された未解決の「荒川河川敷事件」と手口がそっくりなことに、ちか子は気づく。捜査を続けている荒川署の牧原刑事は、腹違いの弟が公園で一瞬のうちに燃え上がって死んだ過去が忘れられない。泣いて走り去る幼い女の子を見たことから「念力放火能力」が実在すると信じており、ちか子に全面協力する。ちか子は、女子高生殺しの被害者の一人だった佐田蓉子の遺族を訪ね、廃工場の事件後に届いた匿名の電子メールの内容から、同じく妹を殺された遺族の多田一樹が独自に事件の関連を調べているらしいことに注目する。

また、上司の伊東警部の「秘蔵っ子」である砧路子刑事の不審火捜査から、念力放火能力をもつ 13 歳の少女、倉田かおりを知る。父親がガーディアン（第二次世界大戦後、やりたい放題だった進駐軍兵士に報復する自警団が原形）のメンバーとして、娘を組織のために利用しようとしていることを聞き、娘をかくまう母親の味方につく。ちか子は、射殺された奈津子が「ストーカー110 番」に相談に行っていたことを知り、警察を辞めてそこで副所長を務める先輩の伊崎四郎（このあと淳子の前に仲間として登場する「船長」）と再会する。（娘と孫を暴力夫に殺された過去が語られる。）

その後、自宅アパートの窓から淳子を見た多田一樹が佐田夫妻の元に現われ、淳子との過去の復讐未遂事件を告白し、青木淳子が一連の焼殺事件の犯人だと言ったという。連絡を受けたちか子は、牧原刑事と一緒に多田と会って確認。多田は、妹の敵討ちを土壇場で思いとどまって淳子を見捨てたことに責任を感じていた。ちか子と牧原は、入手した淳子の写真を持って、淳子が念力放火能力を信じてもらうため、外に止めてあったベンツを燃やしたというレストラン「パラレル」へ。ボーイが淳子のことを覚えていて、最近、男と店に来ていたと証言。控えていた来客者の車のナンバーの中に木戸浩一の車があり、ついに淳子の居場所がわかる。ちか子と牧原は、淳子が実際にパイロキネシスで浩一を焼き殺して死ぬ、悲劇的な現場に立ち会うことになる。

締め括りの後日譚では、捜査を通じて淳子に同情するようになったちか子が、かおりを連れて、亡くなった淳子のアパートを片づけに訪れる。会ったことがないにもかかわらず、かおりは淳子の孤独を感じとり、小さな犬のぬいぐるみを受け継ぐ。テレビで淳子の死を知って、信恵が花を供えに来る。ちか子に「淳子さんの妹？」と質問するのを聞いたかおりは「うん、そうよ」と答える。

長くなったが、以上が、青木淳子と石津ちか子の２つの視点から交互に語る『クロスファイア』の物語の概要だ。ガーディアンの極秘メールを見るための暗号が「ファイアスターター」で、本文中にスティーヴン・キングの名前が登場する（宮部みゆき『クロスファイア』、下 69 頁）ことから、このアメリカ人ホラー作家の小説から「念力放火能力」のアイデアを拝借したことがわかる。しかし、20 世紀末の日本（当時の流行を細かく書き込んでいてなつかしい）を舞台に、社会問題になっていた十代の快楽殺人と厳罰化を叫ぶ大人たちを真正面から扱っており、正義を考察する、宮部みゆき独自の小説世界になっている。「おっかさん」と慕われるちか子の公平でやさしい視点から導き出される結論は、作者自身のメッセージだろう。上巻では、ハリウッド映画でおなじみの勧善懲悪的アクション・シーンが中心になるが、下巻では、正義を体現しているつもりでいた淳子が、ガーディアンと関わることで、自分自身を初めて客観的に見て反省する。宮部みゆきは、正義の名のもとに法律の外で制裁を加えることがいかに独善的になりやすいかを描き切った。『クロスファイア』は、正義と制裁が大好きなアメリカ人にぜひ読んでもらいたい、まぎれもない日本発のエンターテイメントである。

孤独な男女がこの世で束の間の幸せを共有し、互いに安息の死をプレゼントし合う究極の恋愛小説、クリスマス物語と見なすこともできる。好きになった女の子の頭の中をいじって狂人にしてしまった過去をもち、非情を自覚する木戸浩一と、やっとありのままの自分を受け入れてくれる理想の男性を見つけたと信じた淳子の突然の対決は、その悲恋ゆえに圧倒的な感動を呼ぶ。結局、わかり合えなかった二人は「無理心中」として処理されるが、後日譚の締め括りでは、ちか子、かおり、信恵という３人の女性たちが淳子に同情し、さわやかな余韻を残す。

この宮部みゆきの傑作の英語版が題名をそのままに、講談社インターナショナルから 2005 年に刊行され、2007 年にペーパーバックになった。わが国の娯楽小説のレベルの高さを世界に示す試みとして大いに喜ばしい出来事だった。翻訳は、岩淵デボラ氏と磯崎アンナ氏が

担当した。本論では両氏の苦心の跡をたどり、日本の推理小説を英語に訳すとはどういうことなのかを、原文の日本語と訳文の英語の比較をとおして明らかにしたい。とりわけ、翻訳の限界と、それを踏まえた工夫に注意を払うつもりである。最初に紹介したあらすじの細部がどういう英語になっているのかじっくり見ていくことにしよう。

1．主語の省略――冒頭の夢

『クロスファイア』の冒頭は以下のように始まっている。

> 廃工場を夢に見た。
> 冷え冷えとした銅色の闇の天井を、打ち捨てられたまま手入れも掃除もされることなく錆びつき腐食してゆく金属のパイプが、右に左に迷走している。広い工場のあちこちに、複雑な形に組み合わされた機械が機能を停止したままうずくまり、それらのあいだを鉛色のベルトコンベアが結んでいる。すべてがしん――と動かない。（宮部みゆき『クロスファイア』上5頁）

念力放火能力をもつ青木淳子の夢だが、サスペンス効果を狙って、著者がそのことを伏せている点に注目しよう。夢を見たのが誰なのか主語を省略してわざとわからないように工夫している原文は、英訳版でも The abandoned factory appeared in a dream.（*Crossfire*, 5）と始めて、しっかりその意図を汲んでいる。引用した文章中、英訳版で違いがあるとすれば、The cavernous room, uncared for and uncleaned(5)と、「打ち捨てられたまま手入れも掃除もされることなく」を金属のパイプでなく、工場自体の修飾に変更したことだろう。これはこのあとの、

> 手を伸ばし、水に触れた。
> 冷たい。夜のように。
> 水は黒かった。オイルに似て、指にまとわりつき、粘ついた。（上5-6頁）

を The water was cold. And black, like night. It looked like oil, and was sticky, clinging to her fingers. (5)と訳したのと似て、論理的でわかりやすい。英訳版の言うとおり、掃除されていないのは、パイプだけではなく工場全体である。また、暑い夜もあるので、夜のように冷たいという比喩も変だ。原文の水はオイルのように黒かったのだが、英語では「夜のように黒かった」と修飾語を常識的に結び直しているのだ。

しかし、Cold. The chill was refreshing. Even in the dream, it felt good, passing the water back and forth between her hands. (5)と原文を簡潔に整理したときに、最後の「冷気。それはまるで慈悲のようだ。」（上6頁）をすっぽり落としてしまったのは残念だ。なぜ冷気が「慈悲のよう」なのか。そのまま訳すと一見不合理に見えるが、体内に意図せず火が貯まる主人公にとって、水は救いであり、慈悲のように感じられるのである。重要な伏線を省いてしまったのは、訳者の不注意と言わざるをえない。

夢の場面は手のひらの水が燃え出すところで終わり、「そこで目が覚めた。」（上6頁）と最後まで夢を見ている者が誰なのか隠しとおしているが、英語版では、she saw、She could feel と女性であることを早々と明かし、She woke then. (5)「そこで彼女は目を覚ました」と訳した。日本語と違って、英語で主語を隠しつづけることは難しい。そのため、性別さえはっきりしない原文と違い、英文では、女性の夢だと途中でわかってしまうのである。

2．イタリック体の使用例

廃工場で淳子は偶然、死体を埋めに来た若者たちを目撃する。初めてではないらしい。淳子の怒りについて原文ではこう語られている。

> そういう連中を、人間と呼べるか？　呼んでいいか？　いや、呼ぶのは自由だ。彼らを人間と、無軌道な若者と、彼らこそ社会の犠牲者だと、なんとでも呼べばいい。だが、少なくとも淳子はそう呼ばない。青木淳子は、この四人のような連中を人間とは思わない。そしてそれである以上――
> 彼らを倒すことを厭わない。（26頁）

この語りは、淳子に寄り添いながら若者の犯罪に苛立つ、あるいは苛立つふりをして読者を扇動する作者の声ともとれる。少なくとも、純粋に淳子の声ではない。

> Could their type be called human? Or was it stretching the word too far? Well, they could be called anything―people were free to say what they wanted. They were human, they were wild and aimless youth, they were victims of society… they could be called whatever people wanted. But she, Junko Aoki, didn't think a group like these four were human. And furthermore―
> *She wouldn't mind getting rid of them.* (17)

「そういう連中を、人間と呼べるか？」以下について、原文では主語の「あなたは」を省略している。英訳では、一般の人 people が省略されていると考えて their type「そういう連中」を主語にした受動態に変えている。「そしてそれである以上」は原文どおり訳すと、And furthermore（さらに）よりも therefore（それゆえ）のほうが適切だろう。「彼らを倒す」は、実際には殺すことを指すが、殺人の生々しさを抑える響きがあり、ヒーローが悪人や敵を殺すときに好んで使われる。英語版では、「（悪いもの）を取り除く」の *get rid of* でうまく対応させている。英訳者は、傍点部の強調をイタリック体で表わしている。

ここで英文におけるイタリック体の使用例を概観しておきたい。英語版では、このあとにもイタリック体が頻出するのだ。

> Her heart started to pound painfully fast, and Junko had to pace each breath to slow down the mounting tension. *I can do it. For me, it's no trouble at all. It would only be a matter of letting out the power I just sucked back down inside. That's all. There's no point in hesitating.* (17)

淳子の内的独白がイタリック体で表現されている。原文の日本語では地の文に溶け込んでいるが、英文ではイタリック体にしてはっきり区別する。ということは、イタリック体になっていなかった先ほどの「そういう連中を、人間と呼べるか？」以下を、やはり訳者は、淳子の内面の声とは見なさなかったということだ。対して、

> できる、あたしならできる。造作もなく。さっき押さえ込んだ「力」をまた解放すればいいのだ。それだけでいい。何をためらうことがある？（上 27 頁）

という原文の言葉は、淳子本人のものだ。イタリック体にすることで作者の語りと区別され、一目瞭然、主人公の考えていることだとわかる。このあと改行した「あたしは普通の人間じゃないんだから。そう、彼らが人間でないのと同様に。」（上 27 頁）は、 Because I'm not normal; just the way they're not human. (17) と、イタリック体が解除されているが、これは印刷ミスであろう。小説中でイタリック体は、強調にも、地の文と区別した内的独白にも使うのが基本である。

浅羽に銃で撃たれた淳子について語られる以下の英文を見てみよう。

> Junko fought desperately to stay conscious. She could not pass out. She had to stand up. *Get Asaba!* The life of the poor man by the water tank depended on her. She had to help him. (21)

> 混濁しかけた意識と、淳子は必死で闘った。気を失ってはいけない。立ち上がらなくては。「アサバ」を追わねば。水槽のなかに捨てられかかっていたあの不運な男の命も、淳子の行動如何にかかっているのだ。彼を助けなければ。（上 33 頁）

原文と比べると「「アサバ」を追わねば。」のみがイタリック体になっている。原文は「気を失ってはいけない。」から最後まで内的独白と受けとれるが、英訳ではそうしなかった。*Get Asaba!* のみを淳子の心の叫びととらえ、強調している。内的独白と強調の両方の意味を込めてイタリック体を使っている例だろう。

淳子は、浅羽の父の墓で「アサバ」を追う手がかりを見つける。

> メモのようだ。取り出して広げると、白紙の上に、書きなぐったような文字が踊っていた。
> 「受け取ったらすぐ電話してくれ　ツツイ」
> （上 122 頁）

カギカッコはこのようにメモに書かれた内容を直接示すのにも使われるが、英文ではイタリック体がこういう場合にも使用される。*Call me as soon as you get it. Tsutsui.* (73) 読者の目を引きやすいので、ここでも強調の効果が出ている。「荒川河川敷事件の検死解剖を担当した法医学教室では、最終的には四人を「焼殺されたもの」として結論を出した」（上 151 頁）を The coroner's autopsy report read "Death by Fire" (86) としているので、引用符を使って内容を示し、大文字で強調することも可能だとわかるが、イタリック体のほうがさらに目立つだろう。

> ――なぜこんなことをしたの、淳子？
> お母さんの声だ。
> ――どうしてお隣のワンちゃんをあんなひどい目にあわせたの？（上 171 頁）

いきなり飛びついて噛んだ犬を焼き殺して母にとがめられた過去を回想するシーンで、宮部みゆきは会話にダッシュを使ったが、英訳ではイタリック体を使っている。*Junko, why did you do that?* It was her mother's voice. *How could you do that to the neighbor's* *dog?* (98) は、淳子の頭の中で声が響いている感じがよく出ている。そして、「――だからあたし、お隣のワンちゃんを焼いちゃった！」(上 172 頁) を、一文のみで改行し、*That's why I burned that dog, Mommy!* (98) としたのは、効果的な強調となっている。

原文では、とりわけ強調したい文には傍点を打っている。幼い頃、公園でとうとう小さな男の子を火だるまにしてしまった、衝撃的な過去を回想する場面に使われている。

> わざとやったんじゃないの、わざとじゃないの、
>
> そんなつもりはなかった。（下、248 頁）

もちろんこの部分も英訳では、*I didn't do it on purpose! I didn't mean to do it!* (341)になっている。

他にもイタリック体は英語になっていない外国語にも使われる。あとでまた触れるが、ちか子の夫が食べる「お茶漬け」がそのまま *ochazuke* (187)と表記されている。日本食を知らない外国の読者は、どんな食べ物か大いに気になるのではあるまいか。

３．警察にまつわる英語

『クロスファイア』は推理小説、警察小説の一種なので、その手の用語がちりばめられている。営利誘拐事件(kidnapping)、大量殺人事件(mass homicide)、女子高生連続殺人事件(a series of murders of high school girls)、冤罪(false charges)、鑑識課員(forensic staff)、高感度フィルム(high-speed film)、検視解剖 (autopsy)、荒川河川敷事件 (the Arakawa riverside homicides)、燃焼促進剤(flammable liquid)、放火捜査のベテラン (arson squad veterans)、野次馬 (crowd)、銃創 (gunshot wound)、黙禱 (a short, silent prayer for his soul)、ガセネタ (a false lead)、マルチ商法 (pyramid scheme)、ストーカーまがいの放火魔 (arson stalker)、ストーカー110 番 (Stalker Hotline)、興信所(detective agency)、模範囚 ('model' prisoner)、品川警部 (Captain Shinagawa)、衣笠巡査部長 (Sergeant Kinugasa)、清水刑事(Detective Shimizu)、荒川署(Arakawa precinct)、捜査会議 (the investigation meeting)、本庁 (MPD)など。ちなみに、MPD は「警視庁」(the Metropolitan Police Department)の略で、英語版では 30 頁で紹介されてから頻繁に使用されている。

事件を追う石津ちか子は「巡査長」 (Sergeant) で「警視庁刑事部の放火捜査班」(the arson squad of the Criminal Investigation Division at the Tokyo Metropolitan Police Department)に所属している。47 歳になり、現場で「最年長」(the oldest)のため「おっかさん」("Mom")というあだ名がつき、息子と大して変わらぬ年齢の清水邦彦とコンビを組んでいる。日本語の「コンビ」は、combination に由来するが、英語では partner(30)である。ちなみに「ゴールデン・コンビ」（下 184 頁）は the Golden Duo (308)と訳されている。和製英語は注意を要する。「ベンツ」（下 289 頁）ですら日本独特の言い方なので、英訳本では、 a Benz を a Mercedes (369)と言い換えている。

警察手帳を出して名のる場面は、刑事ドラマではおなじみだが、英語に訳すときは注意が必要だ。

> 「わたくしは、警視庁の石津ちか子と申します」ちか子は警察手帳を取り出し、身分証明のページを開いて提示した。（下 131 頁）

> "My name is Chikako Ishizu. I'm from the Tokyo Metropolitan Police Department." Chikako dug out her police ID. (281)

原作では、日本の警察官が携帯する警察手帳が文字どおり手帳の役割を果たし、身分証明のページがあって、名のる時に提示することを正確に書いている。しかし、日本独特の警察手帳は翻訳ではわかりにくいので、単に police ID と訳している。したがって、「ちか子は警察手帳を取り出し、メモしたページをめくりながら言った」(上 108 頁)という箇所では、単に her notebook (65)となる。

ちか子の上司は伊東警部だが、アメリカ英語では Captain Ito (30)だ。他にも、Captain Shinagawa が登場し、翻訳上、困ったことが起きる。

> 「船長（キャプテン）と呼んでください」と、男が言った。
>
> 「似合わないだろ？」
>
> 「そんなことはないけど……」淳子は微笑した。
>
> 「でも、差し支えなかったら由来を教えてください。海がお好きなんですか？　船をお持ちだとか？」
>
> （下 257 頁）

原作者の宮部みゆきは「キャプテン」といえば「船長」のことだと思い込んでいるようだが、もともと「かしら」という意味なので、船長以外にも、使われる場所によって大尉・艦長・機長・主将などに変わる。警察では、Captain Ito のように警部になる。イギリス英語なら Chief Inspector Ito だが、アメリカでは「キャプテ

ン」なのだ。というわけで、原作でわざわざキャプテンと読ませる“船長”は、英訳では skipper（小型の商船・漁船・レジャーボートの船長）に変更されている。日本人の耳にはキャプテンのほうがかっこいいが、“Please call me Skipper,” he said. (346)なのである。

４．漢字をどう英訳するか

日本語の小説を英訳するとき、難しいのは漢字の処理だろう。宮部みゆきは漢字をネタにするのが好きらしい。『クロスファイア』の会話には、「綾瀬のサイホウジってお寺。西の芳しいって字を書くの」（上 101 頁）といったセリフが出てくる。これを英語でどうするかが問題なのだ。英訳者はこの部分を、“At a temple in Ayase called Saihoji.” (61)とあっさり訳している。つまり、原文を無視して問題を回避しているのである。しかし、訳せないわけではない。必要ならばきちんと訳す。

「浅羽君、名前はなんていうの？」
「ケイイチ。浅い羽に、尊敬のケイに数字の一。なんだあんた、あいつのフルネームも知らないんだね」
　浅羽敬一か。（上 87 頁）

“What's Asaba's first name?”
“Keiichi. It's written with the characters for ‘respect,’ and the number ‘one.’ You didn't even know his full name?”
Kei-ichi, huh? (53)

姓の「浅い羽」のほうは省略したが、「敬一」は、英語でちゃんと説明している。耳で聞いた「アサバ・ケイイチ」という単なる音が、漢字になって「浅羽敬一か」と納得する原文を、‘respect’ と‘one’からなる名前だと理解して *Kei-ichi* とハイフンを入れて示したところが実にうまい。ここで英訳者が「敬一」の漢字にこだわったのは、このあとに「あいつのお父さんが、この世で一番尊敬される人間になるようにって、つけたんだって。皮肉だね」（上 87 頁）“His father named him that, hoping he'd become the most respected man in the world. Ironic, isn't it?” (53)という重要なセリフがつづくからだろう。

同じく名前を扱っていても、「まさかヨシコとかカズコとかじゃないだろうね？　ま、レトロも悪くないけどさ」（下 75 頁）と主人公の淳子を誘う若者のセリフは省略されている。日本人女性の名前の流行を扱っていて外国の読者にはわかりにくく、主筋と関係ないので、あえて無視したにちがいない。

おもしろいのは、意味があれば、漢字の名前も英訳してしまう場合があるということだ。

“She attends the Essence Academy junior high. The philosophy there is to support learning in a free atmosphere, and to value individuality—”
(165)

主人公・淳子のあとを継ぐことになる倉田かおりの通う学校名は「精華学園中等部」である。それを the Essence Academy junior high とした。意味不明の Seika にはしないのだ。たしかに、日本人読者は「精華」に Essence の意味を読み取っている。

名前といえば、日本ではローマ字で綴られることもある。

しかし、スーツの襟のすぐ内側に、ネームが縫い取りしてあるのを見つけた。
「Fujikawa」
「フジカワさんね」と、淳子は声に出して言った。
（上 40 頁）

「フジカワさんね」は、スーツの内側に刺繍したローマ字を淳子が読んで名前を理解したことを表わしている。最初から「Fujikawa」なので英訳が難しそうだが、『クロスファイア』の訳者は次のように処理している。

But then she found a name sewn inside his jacket collar: FUJIKAWA.
“Fujikawa.” Junko said his name out loud. (24)

大文字を読んで Fujikawa と理解したことにしており、英語ではさほど違和感がないが、本来の刺繍はあくまで Fujikawa であり、それを FUJIKAWA に変えたのは苦肉の策と言えなくもない。

外国人読者をターゲットにした英訳本なので、方針としては、日本になじみのない人にもわかるように英語に置き換えることが何よりも重要なのだ。そうすると、「昭和」「平成」はどうなるのか。当然、西暦で表記するのである。

「元は、伊佐山鉄鋼という会社だったそうですよ。倒産して社長が夜逃げをしてしまって、それが平成三年の春ごろじゃなかったかって。バブル経済がはじけたころですね」（上 108 頁）

“Originally it was a company called Isayama

Steel. It went bankrupt and the company president ran off, sometime around the spring of 1991, as they recall. Right around the time the economic bubble burst.” (65)　以下、引用文の下線はすべて引用者

「バブル経済」は、世界に報道された「阪神大震災と地下鉄サリン事件」（上 229 頁）the Kobe earthquake and the subway sarin gas incident(124)同様、the economic bubble とちゃんと訳されている。しかし、「平成三年」は、the 3rd year of the Heisei Era とはせず、あっさり 1991 とする。

「ＮＨＫ」も世界では意味をなさない。「テレビを点けると、ＮＨＫでニュースを放送していた」（上 256 頁）は、She switched on the TV to get the noon news broadcast (139)と、文字どおり無名になる。「新宿駅の南口」（下 304 頁）the south exit of Shinjuku Station (373)は訳されていても、日本人の生活の一部になっているＪＲですら、the trains were out of service (363)と固有名詞をはぎ取られている。

道路名については、「水戸街道と環七の交差点、青砥陸橋」(上 129 頁)は the Aoto intersection of the Mito Highway and Kannana Avenue (76)ときちんと訳している。がこれは、淳子の戦いの舞台となる喫茶店『カレント』(Currant)の位置を示すためのものだ。「道路の方は順調に封鎖が解けているらしく、東名高速道路や中央自動車道は、思いのほか早く復旧した」(下 288 頁)は、Most of the highways and main thoroughfares had been cleared of snow by now, and traffic was back to normal.(364)と、水戸街道と環七よりも日本人になじみのある「東名高速道路」「中央自動車道」を省略してしまっている。ストーリー上重要ではなく、外国の読者には無意味だからだろう。

５．翻訳の限界とその対策

日本語特有のニュアンスは英語に訳しにくい。「浅羽とトラブってるの、誰なの？　もしかしてあんたの妹とかじゃないの？」（上 83 頁）“So who’s in trouble with them? Is it your little sister or something?” (51)は、「トラブってる」の由来となった英語の in trouble を使って対応させ、or something? で「とかじゃないの？」を巧みに表現している。小説の発表当時まだ流行語だった「ロン毛」（下 293 頁）はもちろん Long hair (366)になる。日本語のおもしろみが消えてしまうは、仕方がないことなのだ。

翻訳不能なのは、レストラン「パラレル」（英語版では Parallel ではなく、「無比の」を意味する、響きの似た Sans Pareil に変えてしゃれたフランス料理の店をイメージさせる）で、ボーイが次のように語る特徴的な言葉づかいが最たる例だろう。

それ以来、店長すごく神経質になったス。警察からも、出入りする車のナンバーを控えるようにって指導されたス。犯人も、車で来て火を点けたのかもしれないスし、また来るかもしれないスもんね。（下 298 頁）

翻訳した英文と比べてみよう。

(...) and he’s been neurotic about cars parked here ever since. The police told him to take down the numbers of people who park here because maybe the arsonist had come in a car himself, and he might come again. (369)

「～ス」の語尾は、ボーイの硬派で愛想の良い性格を伝えユーモラスだ。宮部みゆきの『クロスファイア』を一読すれば、端役ながら確実に印象に残る人物である。しかし残念ながら、このしゃべり方は英訳できない。訳文は、the young waiter が話した内容を伝えているだけで、話し手の性格はまるで伝わってこない。

他にも、「浅羽のおふくろがやってる店なんだ」（上 143 頁）は、Asaba’s mother runs the store. (82)のように、「おふくろ」は、おかあさんや母と同じく、mother となる。「ねえちょっと、そこのカノジョ！」（上 373 頁）の「カノジョ」は、男性が呼びかけているのであれば対応する英語があるが、ミニクーパーに乗る若い日本人女性が同性に呼びかけていて、独特の響きがある。英語版では、“Excuse me! Hey!” (202)としてあるが、気どった言葉である「カノジョ」がぞんざいな Hey!でないことは確かだろう。

「厚化粧のクソババア」（上 165 頁）の you made-up hag (94)や、「このクソおやじ！」（上 131 頁）の *What a shithead!* (77)は、なんとか対応させようとがんばっている。「こわがることないわ、おじさん」(上 141 頁)の「おじさん」については、“There’s no need to worry, Mister.” (80) でじゅうぶん伝わっている。しかし、日本語の呼びかけである「おばさん」は、やはり、lady や Ma’am とは違う。

「おばさん、刑事なんだ」
「ええ、そうなのよ」(下 360 頁)
“So, you’re a detective.”
“That’s right.” (403)

「おばさん――刑事さん」と、信恵は訊いた。
「何かしら」(下 361 頁)
"Officer?"
"Yes?" (404)

どちらの会話も、英訳版では、呼びかけの「おばさん」が消えてしまっている。淳子の事件を追う、日本の「おばさん」を体現している石津ちか子の魅力も、こうした英訳の限界からかなり薄まっている。

いわゆる和製英語である「サラリーマン」や「ＯＬ」のニュアンスも翻訳が難しいようだ。「たとえば浅羽たちが、サラリーマンのおっさんを取り囲んでたり、ＯＬなんかを車に引っ張り込んだりしたら、すぐ大騒ぎだよ」（上 83 頁）は、こう訳されている。

If Asaba and his guys surrounded a middle-aged man or pulled some lady into a car, everyone'd make a big deal out of it." (51)

「サラリーマンのおっさん」がただの a middle-aged man になっているのは物足りない。ＯＬが lady なのも気になる。日本の会社社会の雰囲気が消えてなくなっている。ならば、salary man も OL もそのまま使えばいいのだろうか。翻訳不能なものは、そのまま英文中にイタリック体で外国語として書き入れることができる。

夫がお茶漬けを食べ終わり、ちか子がいれた番茶を飲みながら、テーブルの上の灰皿を近くに引き寄せて、煙草のパッケージを取り出し、一本くわえた。
（上 348 頁）

Noriyuki wolfed down his *ochazuke*, then picked up the hot tea she had set in front of him and pulled the ashtray on the table closer. (187)

「番茶」はただの tea に変えたが、「お茶漬け」は *ochazuke* としてある。いちばん正確なやり方だが、大部分の外国人読者には、意味不明な食べ物だろう。外国人読者に理解してもらえるように英訳している訳者としても、ここで例外的にイタリック体を使ったのは苦渋の選択だったにちがいない。

翻訳の難点ばかりに目が行き過ぎたようだ。英訳の限界を見極めたうえで工夫をこらしているところを、積極的に評価したほうが生産的かもしれない。

伊東のお――と言いかけて訂正したのは、「伊東のおじさん」だろうか、それとも「伊東のおじさま」だろうかと考えながら、ちか子はにっこりした。
（上 277 頁）

この文章中の「おじさん」と「おじさま」の違いは英語では表わせない。どちらも uncle である。そこで、英語版ではこう変えた。

Un―, she'd started to say, and then corrected herself, thought Chikako, smiling. So she must be pretty close to Ito; she'd been about to refer to him as "uncle." (152)

「おじさん」「おじさま」のいずれにせよ、砧路子刑事が年長の伊東警部を思わず "Uncle"と呼びそうになったことを、ちか子はほほ笑ましく思ったのだ。二人の親しい関係を英語で追加説明して、原文の雰囲気を伝えている。

すっかり意気投合した木戸浩一が淳子にユーモラスに語る自慢話はどうだろうか。日本特有の慣習がからみ、英訳が難しそうだ。

「結構モテたわけよ。バレンタイン・デーなんか、下駄箱にチョコレートが溢れてた。」（下 189 頁）

"I've always had lots of girlfriends," he went on. "You should have seen all the presents I got on Valentine's Day." (311)

「モテた」は「ガールフレンドがたくさんいた」と訳せるが、そのあとの「下駄箱」は日本特有のものだ。日本の学校では、校舎の入り口で靴を脱いで上履きに履き替える。そのために下駄箱がある。さらに日本のバレンタイン・デーはかなり特殊で、女性から好きな男性にチョコレートを贈る習慣がある。学校では、直接手渡せない場合、女子生徒は下駄箱に入れることが多い。以上のことがわからないと、直訳しても意味不明になる。そこで『クロスファイア』の英訳者は、下駄箱とチョコレートを思いきってカットし、「たくさんプレゼントをもらった」ことを語って、結果的に「モテた」証拠を英語で伝えている。適切な処置と見なすべきだろう。

木戸浩一が、好きになった女の子にラブレターを書いているところを母親が勉強していると勘違いしたことをおもしろおかしく語る箇所の英訳にも大胆な工夫が見られる。

「おふくろは俺が机にかじりついてて、しかも自発的に本を読んでるって、喜びのあまり赤飯炊いちゃ

った」（下 189 頁）

> “My mother couldn’t believe that I was sitting at my desk and reading books without anyone having to tell me to. She even baked a cake!” (311)

「赤飯」を炊く慣習も、外国人読者にはわかりにくい。宮部みゆきが原作に描き込んだ日本文化は薄れるが、「ケーキを焼く」で代用することで、単純な母親の喜びと浩一のユーモアの両方が、英語でうまく伝わっている。*sekihan* や red bean rice ではこうはいくまい。

おわりに

上下巻で 750 ページになる原作を本のサイズが大きくなるとはいえ 400 ページにまとめるのである。すぐ想像がつくとおり、英語版ではけっこう省略がある。本論でも少し触れたが、たいがい主筋に関係のない部分を省いているが、中にはきちんと訳して欲しかった箇所もある。たとえば、青木淳子が死ぬ前に語る次のせりふだ。

> 「あたし、ホントなら、あの子に、会うはずだった」
> 会いたかった。あなたはあたしの妹で、だからもう怖がることなんかないと言ってあげたかった。
> 「だけど、会わなくて、よかった。あたしなんかに、会わなくて、よかった。あの子が、あたしみたいな、人殺しを、見ることがなくて、よかった」淳子は微笑した。「見れば、心に、残ってしまう、から」
> （下 345 頁）

この感情的な言葉が英訳されずにすっぽり抜け落ちているのだ。結末では、かおりが、見なくても淳子を心にとどめるので、矛盾すると訳者は考えたのだろうか。たとえそうであっても、原作を尊重すべきだろう。

これに関連してもう一つ例をあげよう。ちか子と淳子の父親の死に関する箇所だ。

> ちか子は、高校二年生の頃に、勤務中の事故で父親を失った。父は建築現場で働く技術者で、地上十数メートルの足場から転落したのである。（上 50 頁）

> 建築家だった父は、淳子が高校一年生のときに、足場から転落して亡くなった。（上 265 頁）

なんという偶然だろうか。ちか子と淳子は結末以外顔を合わせなかったが、実によく似た境遇だったのだ。ところがである。英語版を参照してみよう。

> Chikako had lost her father in a work accident when she was seventeen. He was an on-site construction engineer and had fallen from a scaffolding three stories high. (31)

「高校二年生」を 17 歳に、「地上十数メートル」を３階の高さと言い換えてわかりやすく訳している。問題なのは、淳子の父の死についての英訳である。

> Junko’s father had died in a work-related accident when Junko was in high school. (145)

単に「仕事がらみの事故」とぼかして訳し、建築家だったことも、ちか子の父と同じく転落死していることも、なぜか省略している。原作の細部のおもしろさを台なしにしているように思われる。

しかし本論で見たとおり、翻訳では、細部が犠牲になる傾向があるのだ。細かい点をけなして、労作全体を否定してはなるまい。以下に、作品のテーマとなる原文とその英訳を並べてみたい。

> 女性はね、短いあいだに別人みたいに変わることがあるんです。（下 295 頁）
> it isn’t unusual for a young woman to completely change her appearance almost overnight. (368)

> 幸せというのは、いつだって点なんです。なかなか線にはならない。（下 355 頁）
> Happiness is like that. It’s usually just a dot. It never stretches out into a line. (400)

これだけを見ても、淳子と木戸浩一の悲恋の感動がよみがえってくる。アクション・シーンの迫力も英訳でじゅうぶん伝わっているが、本稿では取り上げなかった。あれは、以下の悟りを導き出すための道具にすぎないからである。

> すうっと霧が晴れるように、淳子には、ひとつの真実が見えてきた。人殺しを続け、他人の生殺与奪を握ることを覚えてしまうと、たとえその殺戮の目的が何であったにしろ、人は自分勝手な生き物へと成り下がるのだ。なによりも自分を優先するようになるのだ。あたかも自分が神であり、神の考えは全て

を超えるという思い違いをするようになるのだ。自分の考えに間違いはないと思うようになるのだ。
　あたしだってそうだったじゃない。（下 338 頁）

Junko's head cleared as a single thought came to her. If you continued killing people, if you had the power of life and death over other humans, no matter what your purpose in killing them was, you would inexorably sink into self-centeredness. You'd always put yourself first. As though you'd become a god. And ultimately you'd begin to believe your thoughts and judgments superseded all others'. Nothing you believed could possibly be mistaken.
That's exactly the way it was with me. (391)

英語では得意技のイタリック体を用いて、作者の宮部みゆきがいちばん言いたかったことをしっかり伝えている。悪人とは言い切れない人まで殺してしまい自己嫌悪に陥っていた淳子は、「たまには非戦闘員を巻きこむことだってある。それが戦争ってもんだ」（下 87 頁）という木戸浩一の言葉に一時的に癒されて、ガーディアンの仲間に加わったのだが、最後にその考え方が間違いだと気づいたのである。

――時には、非戦闘員も犠牲になるさ。（下 322 頁）

悟りに至る途中、浩一の言葉を思いだして疑問を感じる。英語版では、原文の下巻 87 頁を訳したときの英文をそのまま繰り返している。

Sometimes noncombatants get caught in the crossfire. (382)

最後の一語に注目したい。題名が『クロスファイア』にもかかわらず、原作の本文中にこの言葉は見当たらない。多くの日本人読者には意味のよく分からない題名である。しかし、翻訳では英語を活かし、本文中にさりげなく題名の *crossfire* を組み込んでいる。翻訳が原作を超える一例と言えよう。

引用文献

宮部みゆき『鳩笛草 燔祭/朽ちてゆくまで』光文社文庫、2000 年。

――『クロスファイア』上・下、光文社文庫、2002 年。

Miyuki Miyabe, *Crossfire*, Trans. Deborah Stuhr Iwabuchi and Anna Husson Isozaki, Tokyo: Kodansha International, 2007.

On the English Version of Miyuki Miyabe's *Crossfire*: How to Translate a Japanese Mystery Novel

Koichi YOKOYAMA

This is a close examination of the English translation (2005) of Miyuki Miyabe's *Crossfire* (1998) so as to show how the Japanese mystery is translated into English. It will be helpful for future translators to know some rules and methods revealed in this paper. By following the painful efforts of the two translators, Deborah Stuhr Iwabuchi and Anna Husson Isozaki, I have generalized such know-how. While evaluating the two women's work, I point out their careless mistakes. Whether on purpose or not, some omissions seem to be rather serious defects. Of course, other seeming weak points are not necessarily their faults. There are definite limits of translation, especially from Japanese into English: The nuances of some Japanese words like *ofukuro* and *obasan* are impossible to express in English. The young waiter's distinctive way of talking also cannot be translated; his funny tones completely disappear in the English version, but that is an exact example of the impossibility of translation.

The paper consists of seven sections: Introduction: a summary of *Crossfire*, 1) the opening dream (contrary to the original, the English version cannot hide that the dreamer is a woman), 2) various ways of using *italics* (effective for emphasis, especially in inner monologues), 3) English counterparts of police terms (because of Captain Ito, the original "Captain" is changed into "Skipper"), 4) Chinese characters (in most cases, the meanings of *kanji* are just ignored, yet the ironical, literal meaning of Kei-ichi, the name of a criminal, is explained properly; Seika-Gakuen, a proper noun, is even translated as Essence Academy), 5) the limits of English translation and some countermeasures (literal translation is often meaningless to foreign readers, so English substitutes will be useful like cake for *sekihan*), and Conclusion: examples of bad omission and good translation (although several impressive scenes and words are carelessly removed, most of the thematic lines are duly translated). The best thing about the English version is that it includes the key word "crossfire," because it is not found in the original text, and most Japanese readers do not know what it really means even though it is the title of the novel they have enjoyed.

EASY STORY HOUSEとPopcorn ELT Readers ――英語絵本教材対決――

横山　孝一*

（2015年11月26日受理）

はじめに

WorldCom ELT の EASY STORY HOUSE シリーズは、有名な童話（グリム、アンデルセン、『おおきなかぶ』『ビロードのウサギ』など）をそろえ、カラーのイラストが全ページにつき、それぞれ美しい絵本に仕上がっている（同じ表紙の問題集までつく）。文章は、Anna Paik と Gina Kim のどちらかが担当し、レベルに合わせて簡潔にリライトしてある。挿絵のほうは作品の雰囲気に合わせてイラストレーターを起用しており、多彩な絵が目を楽しませてくれる。ユーモラスでかわいらしい絵は、Y.K. Kim が得意とし、とりわけ ***The Lion and the Mouse*** がユーモラスで、***Goldilocks and the Three Bears*** がかわいらしい。Y.K. Kim 自身、作品によって効果的に作風を変えており、すぐれた才能を感じさせる。S. Kim は大胆なデフォルメによるキャラクター造形が魅力的で、外見がそっくりな５人兄弟が活躍する ***The Five Brothers*** が印象に残る。これらの絵がなければ、物語が成り立たないほど、本シリーズではイラストの役割が大きい。***Thumbelina*** の親指姫と ***The Velveteen Rabbit*** のウサギは、読者によっては相当イメージが異なるだろうが、たとえミスマッチであろうと、一度見たら忘れられないキャラクターになっている。この二人の Kim 以外にも、Y.S. Kim が ***The Wonderful Musician*** で描いたバイオリン弾き、H.J. Noh が ***The Three Spinners*** で造形した職業柄唇が厚くなった紡績のプロ、E.J. Seong が ***The Selfish Giant*** でていねいに描いた巨人の姿が記憶に残るだろう。イラストレーターはみな韓国人のようだが、***Rumpelstiltskin*** で M.H. Hwang が描く女性の表情以外、韓国を思わせる要素は見当たらない。みごとに国際化され、世界で通用するイラストだ。

対して、Scholastic の Popcorn ELT Readers は、名前から想像がつくように映画を題材とする。それも実写の ***Nanny McPhee and the Big Bang*** とテレビ・アニメ版『ミスター・ビーン』（ＣＤのインタビューがおもしろい）を例外として、人気のアニメ映画を集めている。『マダガスカル』『アイス・エイジ』『シュレック』『カンフー・パンダ』。それぞれ映画館で大ヒットしてシリーズ化したハリウッドのアニメ映画だ。本は、映画からとった名場面を全ページに載せており、本のサイズはこちらのほうが小さいが、EASY STORY HOUSE シリーズとつくりがよく似ている。どちらも子供の英語学習者を対象としたグレイディッド・リーダーで、いわゆる picture book(絵本)だ。映画ファンであれば、挿絵代わりになっているアニメのスチール写真を見て楽しむことができるだろう。WorldCom ELT の個性的なイラストレーターが描いた絵よりも、圧倒的に有名なアニメのほうが子供たちには人気があるにちがいない。しかし、読み物としては、映画のあらすじはあまりにも退屈だ。簡潔すぎるリライトのために、元の映画を見ていないと理解しにくいところもある。特に ***Madagascar*** と ***Ice Age*** はわかりにくかった。強敵が現われ、新しい技を修得して戦いに勝つ ***Kung Fu Panda*** と、醜男のシュレックと美しいフィオナ姫の恋の試練を繰り返し描く ***Shrek*** のシリーズは、展開が陳腐で、読んでもおもしろくない。声や動き、特殊効果、音楽など、アニメ映画がストーリー以外の要素に多くを負っていることがよくわかる。

『シュレック』は EASY STORY HOUSE が好むグリム童話を巧みに利用している。事実、***Shrek: Forever After*** では、ルンペルシュティルツキンが悪役として登場する。何の知識もなく読むよりも、EASY STORY HOUSE の ***Rumpelstiltskin*** を先に読んでからのほうが楽しめるにちがいない。童話のパターンは繰り返しが多く、英語のリーディングとリスニング（EASY STORY HOUSE のＣＤにはリピート練習がある）には最適である。また常識を超えた展開が多く、意外性があって読み物として大いに楽しめる。個人の創作童話より昔から伝わる童話のほうがおもしろい。特に、バカバカしくもクスリと笑える ***Goldilocks and the Three Bears*** と ***The Wonderful Musician*** と ***Henny Penny*** を推奨したい。

以下は、EASY STORY HOUSE 25 冊、Popcorn ELT Readers 15 冊の概要である。

*人文科学系・英米文学/比較文学

EASY STORY HOUSE

BEGINNER１（100語レベル）

① ***Patch's Lucky Star***

甲羅に黄色い星の模様がある雌カメのパッチは、他のカメと違うことを思い悩み、甲羅の中に引きこもっていた。友達のダイヤモンドとスナッパーが夜中に池で迷子になり、パッチの背中の星をめざして無事生還。「自分は特別な存在なんだ」と、パッチは自信を持ち、甲羅からようやく外に出てくることができた。"My shell is different. Different isn't good."という思い込みが、"My shell is different. Different is good."という自信に変わる。

② ***The Lion and the Mouse***

ライオンに食われそうになったネズミが「いつか助けますから」と約束し、見逃してもらう。その後、ライオンは狩人に捕まってしまうが、ネズミが網をかじって穴をあけ、実際にライオンを救い、仲のよい友達になる。Sometimes, small friends can be big helpers.

③ ***The City Mouse and the Country Mouse***

都会のネズミは、田舎のネズミの家に遊びに行き、新鮮な野菜を出されるが、この食事が気に食わない。田舎のネズミを都会のお屋敷に招待し、おいしいクッキーやケーキをごちそうする。しかし、食事中に番犬に襲われ、壁の中に避難する必要があった。慣れている都会のネズミは平気だが、田舎のネズミは１回でもうこりごりだった。Sometimes a safe meal is better than a dangerous one.

④ ***The Little Red Hen***

農場のめんどりが、見つけたコムギをまいて、大事に育て、収穫し、パンをつくる。何度も、犬、豚、牛に協力を求めるが、毎回、"We are busy."と断られる。結局、めんどりが独力でパンを焼き上げ、"Who can eat the bread with me?" と訊くと、ようやく"I can!"の返事。しかし、めんどりは「あんたたちは一度も手伝ってくれなかった。日なたで横になっているだけじゃないの。だから、わたしのパンを食べる資格はないのよ」と言って自分だけで食べる。

⑤ ***The Rich Man and the Shoemaker***

大きな屋敷で暮らす商人はお金を数えるじゃまになると、隣に暮らす貧しい靴屋がうたう歌を金でやめさせようとする。歌が大好きな靴屋はきっぱり断っていたが、３度目に金貨３袋を出され、とうとう受け取ってしまう。しかし、かえって不幸になり、奥さんに勧められて金を返す。He is now a happy man. He is happy to sing his songs and to make his shoes.

⑥ ***Three Billy Goats***

丘のふもとの草を食べ尽くした３匹のヤギが、丘の上の tall green grass を目指して移動することにした。川にかかる橋を渡ろうとすると、橋の主であるトロールが「腹が減ったから、おまえを食いたい」と言う。最初の子ヤギは「あとから大きいヤギが来ますよ」と言って見逃してもらい、２匹目の大きなヤギは「もっとでかいヤギが来ますよ」と言って渡りきる。そして３匹目は、ほんとうに巨体で、猛突進してトロールを川へ落としてしまう。こうして３匹は丘の上で合流し、草を思うぞんぶん食べることができた。

⑦ ***Thumbelina***

子供が欲しい女性が魔法の種をまき、花から小さな親指姫が生まれるが、ある日、「息子の嫁に」とカエルにさらわれてしまう。スイレンの葉の上にいるところを魚に助けられて脱出し、蝶の助けで花の蜜を食べて夏を過ごす。冬になると、掃除と物語りを条件にネズミの家に住み込むが、独身のモグラに気に入られ、ネズミをとおして結婚を迫られる。助けたツバメが戻ってきて難を逃れ、自分と同じようなこびとが住む世界を見つけ、最後は、花の精の王様とめでたく結婚する。And they live happily ever after.

⑧ ***Goldilocks and the Three Bears***

母と暮らす女の子ゴールディロックスはマフィンを買ってくるよう頼まれるが、"Be careful. Don't go through the forest."と注意されたにもかかわらず、森の中へ。留守中のクマの家に無断で入り、テーブルにあった３つの器のポリッジ（粥）を味見し、熱さがちょうどよいいちばん小さいのを平らげる。その後、３つの椅子を試し、いちばん小さな椅子に座って壊してしまう。疲れたので２階に上がり、３つのベッドを比べて、いちばん小さいのを選んで寝る。熱すぎたポリッジを冷ますため散歩に出ていたクマの家族が帰宅。クマの子は食べ物がなくなっているのを怒り、椅子が壊されているのに泣き、見知らぬ女の子が自分のベッドで眠っているのに驚く。目を覚ましたゴールディロックスは謝り、あわてて家に逃げ帰る。クマの子は、ポッリジと椅子を新しく作ってもらい満足する。

⑨ *The Enormous Turnip*
おじいさんが栽培したカブが大きく成長。一人では引き抜くことができず、助けを求める。なかなか抜けず、おばあさん、孫娘、犬、猫、そしてネズミが加わって、“Heave-ho! Heave-ho!”と掛け声をあげ、ついに土の中から出すことができた。“Hurray!”（万歳！）と一同喜ぶ。おばあさんはそのカブでスープを作り、おじいさんからネズミまでみんなそろって食事する。The enormous turnip is delicious.

BEGINNER 2（150語レベル）

⑩ *Rumpelstiltskin*
貧しい粉屋が「この子は藁から金を織れます」と嘘を言って、自分の美しい娘を王に差し出す。困った娘は、たくさんの藁と部屋に閉じ込められ、泣くばかりだったが、現われた小人にネックレスと指輪をやって２度、藁を金に変えてもらう。３度目は、最初に生まれた子供をやると約束して助けてもらい、妃の座を得る。しかし出産すると、約束したことを後悔。「おれの名前がわかれば許してやる」と小人から３日の猶予を与えられる。小人が自分の名前を言って踊る現場をたまたま召使が見て報告し、「ルンペルシュティルツキン」と当てることができた。悔しがる小人は床を踏み抜いて永遠に姿を消す。

⑪ *The Bremen Town Musicians*
農場で働けなくなった老ロバが音楽家になるため、脱走。道中出会った、老いた犬・猫・おんどりを誘って旅をつづけ、強盗一味の一軒家にたどりつく。ロバ・犬・猫・おんどりがそれぞれの背に乗って歌うと、強盗たちは幽霊と思ってあわてて逃げ出す。動物たちはごちそうにありつくことができた。夜中に強盗たちが戻ってくるが、みごとな連携プレーで追い払い、晴れてブレーメンの街へ到着する。“The townspeople are going to love our music.”と成功を確信して、一行は歌いはじめる。

⑫ *The Three Spinners*
働くのが嫌いな怠け者の娘を、糸をつむぐのが得意と母親がうそをついて女王に引き渡す。娘は、できない紡績の仕事を任されて泣きだすが、そこに紡績のプロである３人の女性が登場。代わりにてきぱきと仕事をこなし、娘は女王の息子と結婚することができた。３人の女性は、「おば」として結婚式に招かれるだけで満足した。結婚後、娘は糸をつむぐ仕事から解放され、めでたしめでたし。

⑬ *The Wonderful Musician*
音楽家が友達をつくろうと、森でバイオリンを弾く。美しい音色に感動して、オオカミ、キツネ、ウサギが習いにやってくるが、音楽家は一目見ただけで気にくわない。それぞれ身動きがとれないようにして放置し、演奏を続ける。怒った３匹は、音楽家に襲いかかろうとするが、音楽を聴きにちょうどやって来た木こりが盾になって守る。友になった木こりのために、音楽家は、最後にもう一曲バイオリンを弾き、家に帰っていく。

⑭ *Little Ant Andy*
アリのアンデイは学校（School is strange and scary.）に行くのが嫌だったが、「もう一日だけ行ってみたら」と何度も母親に励まされ、経験を積んでいく。先生は親切で、学校のコックがつくるクッキーはおいしい。学校の自然観察旅行ではキャンプファイアの準備を手伝い、放課後に誕生パーティーに招かれる。いまでは、学校（School is not strange and scary.）は楽しく、母親に言う。“Mom, school isn’t so bad. It’s the best!”

⑮ *Little Witch Wanda*
幼い魔女のワンダは呪文を熱心に勉強中だが、ほうきをケーキ(cake)に変えようとして熊手(rake)にしてしまうなど、なかなか思い通りにゆかない。魔法でカエルにいぼをつけることに成功し、先輩の魔女たちにいぼをつけてと頼まれるが、いぼつきのカエルに変えてしまう大失敗をしでかす。しかし、母から教わったほうきを振る魔法で元に戻り、They think Wanda is a very smart little witch.と評価される。

⑯ *The Elves and the Shoemaker*
親切だが貧しい靴職人は、靴が売れず、お金も尽きかけていた。用意した最後の皮をそのままにして寝ると、翌朝、すばらしい靴に仕上がっている。お金持ちの紳士に売れて、２足分の皮を仕入れる。同じように翌日すてきな靴が２足出来上がっていて、すぐお金持ちのレディに売れる。こうして裕福になった靴職人夫婦は、夜中に靴をつくる２人の妖精を見て、小さな服と靴をつくってお礼をする。喜んだ妖精たちは踊って家から出て行ってしまうが、靴職人もすてきな靴をつくれるようになり、めでたしめでたし。

⑰ *The Magic Fish*
貧しい漁師が、魔法の魚を釣り上げた。“Put me back in the water!”と言われて、あっさり海に帰す。この話を聞いた欲の深い妻は、pretty house を要求してこ

いと言う。願いはかなったが、１週間で飽きてしまい、今度はお城を要求。しかし、幸せは２週間しか続かない。女王の座を得て、手に入れられるものは何でも自分のものにしていったが、満足できず、ついには“Tell him I want to move the sun and moon.”と夫に命令。魚は、あきれ果てて、もとのみすぼらしい家に女を戻した。

ELEMENTARY１（200 語レベル）

⑱ *The Three Little Men in the Woods*
　未亡人が男やもめと再婚し、継娘をいじめはじめる。この美しい娘は雪の中、イチゴを探しに行かされる。森の中で小人たちの家に招かれ、持参したパンを分け与え、渡されたほうきで雪をはいたことが評価され、イチゴが見つかったばかりか、口から黄金が出て、日に日にますます美しくなっていく。継母のじつの娘もまねて出かけていくが、ケーキを独り占めして手伝いを拒否したため、口からヒキガエルを吐き、ますます醜くなる。その後、継娘は王に見初められ結婚し、王子を出産。怒った継母はじつの娘と入れ替える策略に出るが、アヒルに変えられた継娘を王が助け、継母と娘を窓から放り出す。And they lived happily ever after.

⑲ *Henny Penny*
　夏の青空の下、めんどりのヘニー・ペニーは、木から落ちたどんぐりが頭に当たり、空が落ちてきたと勘違い。王様に報告しに出かけ、道中、”I saw it with my two eyes. I heard it with my ears. And a piece of the sky also fell on my head.”と聞いた、おんどりのコッキー・ロッキー、アヒルのダッキー・ラッキー、ガチョウのグーシー・ルーシー、七面鳥のターキー・ラーキーが仲間に加わる。しかし、最後に同行することになったキツネのフォクシー・ロクシーが王の宮殿に案内すると言って真っ暗な自分の巣に連れて行くと、様子がおかしいことに気づいたヘニー・ペニーは、すぐさま家に逃げ帰る。結局、空が落ちてきたという報告を王様が聞くことはなかった。

⑳ *The Velveteen Rabbit*
　男の子はイースターの朝にプレゼントされたウサギの縫いぐるみをとても気に入り、たくさんのおもちゃを持っていたが、いちばんの仲良しになる。縫いぐるみは、本物のウサギにあこがれながらも、男の子に尽くす。男の子が重い病気にかかり、療養のため、離ればなれになる。森の中で、男の子を思う縫いぐるみの涙に感心して現われた妖精が、魔法で、本物のウサギに変えてやる。ウサギは、跳びはねることができるようになって本物のウサギの群れに加わり、ある日、元気になった男の子と再会を果たす。友情は変わらず、ふたりは一緒に遊ぶ。

㉑ *The Five Brothers*
　魔法使いを父にもつよく似た５人兄弟の物語。長男が海の水を全部飲み干してしまったことから、海に遊びに来た王様が激怒し、犯人を捕まえて罰しようとする。兄弟はそれぞれ脱出するための得意技をもっていて、“Sir, my mother is home by herself. Please let me go home and say goodbye to her.”と頼んでは、家に帰り、弟と順々に入れ替わって、次々に変えられる監禁場所から、奇抜な特殊能力で逃れる。五男は閉じ込められた地下牢から王様の寝室の床を突き破って脱出。王様が恥と感じていた大きな足を見て、王様も特殊な能力をもっていると持ち上げる。こうして王様は、大きな足で大量のジャガイモを踏みつぶすマッシュポテトづくりに精をだすようになった。

ELEMENTARY 2（300 語レベル）

㉒ *The Princess and the Pea*
　昔むかし、好みのうるさい王子は、父王が開いた舞踏会に集まった王女たちをことごとく批判し、お妃選びは失敗に終わる。一方、遠くの王国で同様に好みのうるさい王女は、外国へ結婚相手を探す旅に出る。途中、強盗に襲撃されて、単身逃げ、王子のいる城にひどい恰好で助けを求める。気高く美しい王女は、たちまち気難しい王子の心を虜にし、彼女もハンサムな王子を好きになる。問題は、彼女の素性がはっきりしないこと。そこで王子の母が、ベッドに細工をする。忍ばせた一粒のエンドウ豆のせいで、マットレスを７段重ねても眠れないことから王女と証明され、二人は、めでたく結婚。記念に当のエンドウ豆を大切に保管し、その後、末永く幸せに暮らしました。

㉓ *Rapunzel*
　小さな家で暮らす男は、隣接する魔女の庭から勝手にラプンツェルの花を盗み、妻はそれをサラダにして食べていた。ある夜、魔女に見つかって、せっかく生まれた娘のラプンツェルを奪われてしまう。魔女は、取り返されないようにこの子を高い塔に閉じ込めて育てた。“Rapunzel, Rapunzel, let down your hair.”と命じて長い髪を伝わって塔に登るところを、ある日、ハンサムな王子が目撃。魔女をまねて塔に上がり、美しいラプンツェルと相思相愛の仲になる。感づいた魔女は、娘の長

い髪を切って荒野に追放し、やってきた王子が登る絹のはしごを切る。茨に落ちて目が見えなくなった王子は、森の中をさまよった末にラプンツェルと再会。彼女の涙で目が治り、結婚。その後、末永く幸せに暮らしました。

ELEMENTARY 3（350語レベル）

㉔ *Tom Thumb*

子供がなく寂しい思いをしていた百姓夫婦にこびとの息子ができた。体は小さいが頭のよいトムは、馬に耳打ちして荷馬車を動かし、父を助けた。見世物に買いたいと二人組が現われたときは、貧しい父に金をもうけさせようとわざと売らせた。隙を見てネズミの穴に逃げ込み、カタツムリの殻で休む。夜中に、牧師館に盗みに行く二人の泥棒の会話に割り込んで、手伝うと申し出る。盗みの実行前に声を上げて泥棒たちを追い払うが、その後、寝ているところを干し草ごと牛に食われてしまう。中から叫び、恐れた牧師が牛を殺すと、今度は、牛の内臓ごとオオカミに食われてしまう。しかし、あきらめずに「うまい食事にありつける場所を知っている」と自宅に行かせ、父にオオカミを殺してもらい、両親と再会を果たす。

㉕ *The Selfish Giant*

放課後に子供たちが楽しく遊ぶ美しい庭に、7 年間留守にしていたわがままな巨人が帰ってきた。“My garden is MY garden” と怒った巨人は、子供たちを追い払い、高い塀をめぐらせる。その結果、この庭だけ厳しい冬がつづくことになる。ある日、巨人はようやく春が来たことに気づく。塀の隙間から子供たちが遊びに来たからだった。巨人は一人だけ木に登れずにいた小さな男の子を助け、お礼にキスされて「愛」を知る。塀を壊し、以後、庭を子供たちに開放。一緒に遊べない老齢になって、やっと男の子と再会。手足に穴があいた子供はキリストだった。天国の庭に招かれ、巨人は息を引きとる。

Popcorn ELT Readers

Level 1 Early Beginner（200語レベル）

① *Mr Bean: Royal Bean*

朝食を用意しているときに、エリザベス女王の肖像付マグカップを割ってしまったミスター・ビーン。お気に入りのカップの代わりを探し求めてバッキンガム宮殿にまぎれ込み、女王のもとに迷子の愛犬を届けて、新しいマグカップを授与される。本編とは別に、ミスター・ビーンへのインタビュー（週末の過ごし方、好きな動物）と、実際のバッキンガム宮殿の紹介（775部屋ある）がつく。

② *Madagascar*

ニューヨークの動物園で暮らすシマウマのマーティが野生にあこがれて脱走。ライオンのアレックス、キリンのメルマン、カバのグロリアが捜しに出て、一緒に街中で捕まってしまう。仲間たちは船に載せられるが、箱ごと海に逃れ、マダガスカル島にたどり着き、野生の生活を初めて体験する。腹をすかしたアレックスは、友達のマーティを食べようとして自己嫌悪に陥るが、凶暴なホッサから友を助け、魚を食べて満足し、動物園の友情を守り抜く。

③ *Ice Age*

氷河期の食糧難のさなか、母親と川ではぐれた人間の赤ん坊をめぐって、腹をすかし、食べようと狙うサーベルタイガーのディエゴと、赤ん坊を保護するマンモスのマニーとオオナマケモノのシッドのあいだに友情が芽生える。火山でマニーに助けてもらったディエゴは、赤ん坊とも仲よくなり、同類のタイガーたちと争ってまで、人間の子を守る。マニーとシッドは赤ん坊を父親のもとへ無事に届ける。その後、けがから回復したディエゴは友達として合流し、一緒に旅を始める。

Level 2 Mid-Beginner（250語レベル）

④ *Shrek*

オーガ（人食い鬼）のシュレックが暮らす沼地に、城から追放されたおとぎ話のキャラクターたちが集まり、騒々しい。シュレックはおしゃべりなロバと領主のもとへ抗議に出かけ、ファーカード卿から、竜に幽閉されている美しいフィオナ姫を救出してこいと交換条件を出される。竜はメスで、‘I like your eyes. They are beautiful.’とロバがおだてると、簡単におとなしくなり、シュレックは姫を無事救出。二人のあいだに恋が芽生えるが、言いだせないまま、小男のファーカード卿との結婚式が開かれる。シュレックはロバに励まされて愛を告白。領主は竜に食われ、二人はめでたく結婚する。フィオナ姫はシュレックと同じ醜いオーガで、夜になると変身し、似合いの夫婦となる。

⑤ *Ice Age: The Meltdown*

マンモスのマニーと仲間たちが暮らしている谷の氷が溶けはじめ、水没の危機にあることが判明。安全な箱船へ移動をはじめる中、マニーは、自分をマンモスと知らずにオポッサムの弟たち（クラッシュとエディー）と暮らしている雌のエリーと出会い、恋に落ちる。勇敢に彼女たちを助け、“I want to be with you. Do you want to be with me?”とプロポーズ。マニーの元の仲間であるサーベルタイガーのディエゴとオオナマケモノのシッドは親友との別れを覚悟するが、マンモスのカップルは、やっと見つけた同類の群れには加わらずに、オポッサムの弟たちを連れてディエゴとシッドに合流する。

⑥ *Mr Bean: Toothache*

大好きなポップコーンの食べすぎで、歯に痛みを感じたミスター・ビーン。抜けそうな歯をとりあえず氷で冷やすが、よく寝つけず、翌朝、自分で歯を抜こうと奮闘。糸で結びつけた引きだしを２階から落としたり、道路に糸を張って通る車に抜かせようとするが、事故が起こって慌てて逃げ出す。結局自然に抜け、代わりにおもちゃの恐竜の角をつけてみたが気にくわない。歯医者に行ってひと騒ぎ起こすも、義歯を入れてもらって帰宅。恐竜に角を返し、最後にまた痛い思いをする。

⑦ *Kung Fu Panda*

父のラーメン店で働く太ったパンダのポーは伝説の「竜の戦士」に任命され、カンフーの修行をはじめる。なまけものだが、空腹を感じてラーメンが食べたくなると強くなることがわかり、どんどん実力をつけていく。刑務所を脱走した悪者のタイ・ランは、雌トラ、ツル、カマキリ、サル、マムシら The Furious Five でも歯が立たない。ポーは、何も描いていない「竜の巻物」から自然体を学び、タイ・ランに勝ち、シーフー師から“you are a great Dragon Warrior!”と認められる。

⑧ *Madagascar 2: Escape Africa*

ライオンのアレックスは、シマウマのマーティ、キリンのメルマン、カバのグロリアとともにニューヨークの動物園に帰るつもりだったが、おんぼろ飛行機はアフリカに不時着。期せずして両親と再会を果たす。しかし、動物園育ちのためダンスはうまくても戦うことができず、ライオン集団の王座をマクンガに奪われ、王だった父と去るはめになる。その後、水不足が起こる。調べに行くと人間の造ったダムのせいだとわかり、仲間たちと飛行機に乗って上空から破壊。水が戻り、動物たち全員から大歓迎を受ける。

⑨ *Shrek 2*

昔むかし、美しいフィオナ姫は夜になるとオーガ（人食い鬼）に変身。王が妖精のゴッドマザーに相談すると、彼女の息子チャーミング王子がキスをすれば、元に治るとのこと。しかし、幽閉した城に王子がやって来たとき、すでにフィオナ姫の姿はなかった。彼女は、同じオーガのシュレックと結婚していた。父王は夫婦を招待して、フィオナは両親と再会を果たすが、それはシュレックと別れさせる罠だった。チャーミング王子がシュレックだと偽ってキスを迫る。シュレックは、刺客の「長靴をはいた猫」を味方につけ、相棒のロバと妻のもとへ。結局、王子のキスは効かず、真夜中の12時になって、魔法の薬でハンサムになっていたシュレックと美しいフィオナ姫は共に、醜いオーガの姿に戻る。フィオナは‘Now I am happy!’と夫にキスし、めでたしめでたし。

Level 3 High Beginner（300語レベル）

⑩ *Mr Bean: The Palace of Bean*

女王の大ファンであるミスター・ビーンは、取り寄せたビデオで女王が黄色と緑の壁紙を好んでいるのを見て、自分の部屋を女王の部屋に大改装する。訪れたアメリカ人観光客が写真を撮り、５ポンド紙幣を置いて満足して帰ると、以後、入場者が激増する。しかし、金欠の家主ウィキット夫人が「女王」として居座り、入場料は横取りされてしまう。ミスター・ビーンは、ビデオの続きで女王が結局、茶色の壁紙を選ぶのを見て、ゴミ箱に捨てた元の壁紙に戻す。やって来た見物客たちはがっかりして帰ってしまう。

⑪ *Kung Fu Panda 2*

クジャクのシェンは、オオカミの群れを従え、大砲を武器に、ゴンメン・シティー随一のカンフーの使い手であるマスター・サイを倒して、新しい支配者となる。中国全土を手中に収めようとたくらんでいるが、マスター・シーフーが阻止すべく、最強パンダのポーとThe Furious Five を派遣する。ポーはオオカミとの戦いで、赤ん坊の頃の記憶が甦る。ガチョウの父から実の父ではないと打ち明けられ、母親に捨てられたと思い込んで、平常心を失う。しかし、シェンが予言者から「パンダに野望をくじかれる」と聞いてパンダの大虐殺を行なったことが明らかになり、母が箱にかくして助けてくれたのだとわかる。水滴を壊さずに受けとめる師匠シーフーの技を会得して、シェンの大砲の弾を受けとめる。シェンは自ら放った砲弾に倒れる。

⑫ *Nanny McPhee and the Big Bang*

戦時中のイギリス。金持ちでいけすかない、いとこのシリルとセリアが空襲を避けてグリーン家の農場に疎開してくる。さっそく三きょうだいのノーマン、メグシー、ヴィンセントとけんかになるが、突如現われた魔法使いのナニー・マクフィーがステッキを一振りして止める。父親のグリーン氏は出征中で、弟のフィルが農場を売って楽をしようと画策。グリーン夫人が売ることにした子豚を隠したり、グリーン氏の偽の戦死通知をでっちあげたりするが、ナニー・マクフィーが子供たちを助ける。農場に落ちた爆弾の爆発も魔法のステッキでくい止め、父親が戦場から帰ると、あっさり去っていく。

⑬ *Ice Age 3: Dawn of the Dinosaurs*

マンモスのマニーとエリーに子供が生まれることを知ったシッドは、寂しさを感じ、見つけた３つの卵を育てる。しかし、それは恐竜の卵だった。生まれた赤ちゃんと共に恐竜の母にさらわれ、途中、落ちてしまう。仲間たちは捜しに出かけ、氷の洞穴を抜けて恐竜の谷を発見。恐竜たちと戦うなかで、エリーは赤ちゃんを出産する。シッドを救出すると、谷でいちばん大きい凶暴な恐竜ルーディが襲ってくる。助けてくれたのは、あの恐竜の母だった。ルーディは谷底に落ち、イタチのバックが見張り役に残る。冒頭、冒険を求めて出て行ったディエゴは、仲間と一緒に帰ることにする。

⑭ *Shrek the Third*

フィオナの父王が亡くなった。ファーファーアウェー国の次の王に指名されたシュレックは、王様という柄ではなく、正統の後継者であるアーサーを捜す船旅に出る。その間、チャーミング王子がおとぎ話の悪役たちを利用して王座を狙う。留守を任されたフィオナたちが危険な目にあうが、王子の野望はアーサー王の登場でついえる。国に平和が戻り、シュレックとフィオナは再び幸福に浸る。「アーサーは偉大な王になるぞ」と言うシュレックに「そして、あなたは偉大な父親になるわ」とフィオナが答える。

⑮ *Shrek: Forever After*

シュレックは、フィオナとの間に生まれた子供たちのパーティー中に、ふと独身時代を思い出し、過去の自分に戻りたいと思う。その心の隙をルンペルシュティルツキンがつく。過去の１日と交換に夢を叶えてやると契約を持ちかけ、シュレックはフィオナと子供たちを失う羽目になる。オーガたちが迫害され、ルンペルシュティルツキンがフィオナの父王に取って代わろうとしている別世界で、シュレックは親友のロバと改めて親交を結び、出会ったフィオナと共にオーガのために戦って、改めて彼女の心を射止める。二人は夜の12時までに愛のキスを交わし、契約を無効にする。シュレックは、元の世界（子供たちのパーティー）に戻ることができた。

Easy Story House versus Popcorn ELT Readers: Which Provides Better Picture Books?

Koichi YOKOYAMA

This paper is a guide to 25 Easy Story House books and 15 Popcorn ELT Readers, both of which are a kind of picture books for young learners of English in about the same levels, though they are from different publishers. The former collects a wide range of famous stories for children from legendary folk tales, mostly Grimm's Fairy Tales such as *Thumbelina*, *Rumpelstiltskin*, and *Rapunzel*, to modern creations like Oscar Wilde's *The Selfish Giant*, and Margery Williams' *The Velveteen Rabbit*. The latter gathers animated films, especially Hollywood's hit series like *Shrek*, *Ice Age*, *Madagascar*, and *Kung Fu Panda*.

In comparison, it is likely that Popcorn ELT Readers produced by the larger publishing firm Scholastic will attract more readers because of their much familiar, movie characters, which feature the front covers. It is surely fun to look at still pictures from the movies; yet, it is rather boring to read the outline of an animation movie just because it is stripped of its motions, voices, music, and special effects, all of which make the movie interesting. Easy Story House books are more enjoyable to read even if young readers are less interested in unfamiliar, old folk tales. Above all Grimm's Fairy Tales (I recommend *The Wonderful Musician* and *Henny Penny*) are immortal and definitely worth reading. WorldCom ELT decorates the series with unique illustrations by talented Korean artists.

メアリー・シェリーの*Frankenstein*
――グレイディッド・リーダーの解釈――

横山　孝一*

（2015年11月26日受理）

はじめに

メアリー・シェリーが書いたホラー小説の古典『フランケンシュタイン』*Frankenstein; or The Modern Prometheus*（1818 年、改訂第３版 1831 年）は、英語学習者向けにリライトされたグレイディッド・リーダーでも楽しむことができる。本稿では、コンパス・クラシック・リーダーズ、ペンギン・アクティヴ・リーディング、オックスフォード・ブックワームズ、マクミラン・リーダーズの計４つの版を紹介する。原作の初版は 1818 年に出たが、改訂第３版は、エリザベスを父の亡き妹の娘から母が旅先で見つけた孤児に変え、母親共々献身的な女性に変更した。マクミランは初版、それ以外は第３版を下敷きにしている。それぞれの特色と章ごとの展開は「付録」のあらすじにまとめた。本論では、８つの項目に分けて各版を比較してみた。同じレベル(/ステージ) ３に分類されているものの、英文や取り上げ方にさまざまな違いが見られる。原作をまとめる際の解釈の違いは、難解な問題作を読み解く上で参考になるだろう。

原作にもっとも忠実なのはコンパス版で、原作からもっとも離れているのはマクミラン版だとわかったが、これは出版社の方針ではなく、あくまでリライトした著者の好みだ。姉妹編となる拙論「*The Secret Garden*――グレイディッド・リーダーの作り方」『群馬高専レビュー』第 33 号を参照していただきたい。

１．出だし

メアリー・シェリーの『フランケンシュタイン』は、北極点をめざすロバート・ウォルトン隊長が姉に宛てた手紙の形をとっている。本稿で取り上げるグレイディッド・リーダー中、もっとも原作の雰囲気に近い出だしは、コンパス版だ。

> *Mrs. Saville, England*
> *St. Petersburg, Dec. 11th, 17―*
>
> *My dear Margaret,*
> *I arrived here yesterday, and everything is going to plan. All is well. You need not have worried. The weather is cold, but I am enjoying it. I am also greatly looking forward to the voyage.* (Compass, 5)

まずは平穏な報告から始まり、４通目の手紙でようやく *Something very strange has happened.(...)There was a very large man sitting on the sledge.* (Compass, 7)と怪物を目撃させる原作の展開を踏襲する。コンパス版は、愛するロシア人女性に好きな男がいると知り便宜を尽くして身を引いた船長(the master of the ship)の挿話まで残しているほどだ。

ペンギン版はもう少し急ぐ。

> My dear sister Margaret
> I am writing to you from my ship. We have travelled a long way, and we are now in the far north. (Penguin, 1)

と始め、同じ手紙の次の段落で、I have something interesting to tell you. A few days ago, we found a man in the sea. He was travelling across the ice, but his dogs died. He was alone. We were hundreds of miles from land, so we were very surprised. (Penguin, 1)と、フランケンシュタインを登場させ、氷に閉ざされた海でいったい何をしていたのか興味を引く。

しかし、読者を物語に引き込む点では、オックスフォード版のほうが上だ。

> 'Captain! Something is moving on the ice. Look over there!' (...)
> He put his telescope to his eye, and through it he could see the shapes of ten dogs pulling a sledge over the ice. He could also see the

*人文科学系・英米文学/比較文学

> driver of the sledge—a huge figure, much bigger than a man. (Oxford, 1)

原作とコンパス版が第４の手紙でようやく描いた核心の場面から始まっており、読者は冒頭から、犬橇を操る怪物に注目することになる。が、そのため、姉のマーガレット・サヴィル夫人に手紙を書く設定は放棄されている。乗船したフランケンシュタインが手記を書いてはウォルトン隊長に読んで聞かせ、最後に一般読者に向けて隊長が注釈をつける形に変更されている。その結果、姉の待つ故郷イングランドへの思いは感じられない。

だがこのオックスフォード版の変更は、マクミラン版ほど大胆なものではない。なにしろマクミラン版は、手紙どころかロバート・ウォルトン隊長すら省略している。極寒の地で怪物を追跡するフランケンシュタインが自ら手書きのメモで読者に向けて語りはじめるのだ。

> *I am the most unhappy man in the world. I have followed the Monster to this place of ice and snow. I know he is near. I must find him. I gave the Monster life, but now I must kill him. Then I will kill myself—I will die alone in this terrible place.* (Macmillan, 8)

なぜ彼は「世界でいちばん不幸な男」になったのだろう。なぜ「モンスターに命を与えた」のか、「殺さねばならない」事情とはどういうものなのか。読者の関心を引きつけるという点では、この出だしもなかなか魅力的だ。しかし、原作を知る者は「自殺する」という決意に違和感を持つにちがいない。死を看取るウォルトン隊長を省いて、語り手をフランケンシュタインだけにしてしまった結果、自分で自分の死とそのあとのことは語れないので、必然的に原作とはまるで異なる結末となる。

２．エリザベス

フランケンシュタインが造る怪物は、生まれてすぐ創造主に見捨てられ、何よりも愛する女性を欲し、その願いが叶わないことに怒りを爆発させる。対してフランケンシュタインは、両親の愛に恵まれ、生まれてすぐ妻となるエリザベス・ラヴェンツァを文字どおり与えられていた。娘を欲しがる母親が、コモ湖近くの貧しい家で５人の子の中に金髪で青い目のかわいい女の子を見つけ、孤児と聞いて養女にした。My mother said, “I am giving you Elizabeth as a present, Victor.” (Compass, 13)とコンパス版は第３版の原作に忠実だ。I grew to love her, and I knew that I would love her until I died. I believed that she was mine and only mine. (Compass, 13)という非常に恵まれた環境は、怪物の悲惨な境遇と際立った対照をなす。フランケンシュタインの幸福な家庭を強調するためなのか、コンパス版では、重要な母の死がカットされている。

ペンギン版ではエリザベスを養女にした経緯と共に、母の死の場面がきちんと描かれている。メアリー・シェリーが第３版で加筆したとおり、「重い病気」（原作では猩紅熱）にかかったエリザベスを日夜看病して死の危険から救ったのち、自分が病気になって亡くなる。二人を呼んで遺言するところが重要だ。

> ‘Children,’ she said, ‘I am putting all my hopes in the two of you. I want you to marry. I believe that your marriage will bring you future happiness.’ (Penguin, 6)

エリザベスはこの後に母代りも務め、母親すらいない怪物の孤独がさらに際立つのだ。オックスフォード版では、地名などを省いて、より簡潔に「私のために妹を見つけた」いきさつを語り、As I grew older, my love for Elizabeth became stronger all the time. (Oxford, 4)と自然に愛情が育っていく。母の死は人生初の不幸な出来事として回想されるが、なぜかオックスフォード版ではエリザベスの病気に感染する設定を変更し、単独で重病になった母が、‘My children, I am very happy because you love each other, and because one day you will get married.’ (Oxford, 6)と語ったことにしている。現代風に当事者の意思を尊重しているのだろうか。原作の母親の要望が薄れてしまっている。

‘My children,’ she said, ‘I hope that one day you will marry.’ (Macmillan, 9)とマクミラン版の母親は希望を述べているが、「12 歳のとき弟のウィリアムが生まれ、２年後、いとしいエリザベスが一緒に暮らすようになった。父の親友の娘で両親を亡くしたのだった」I loved her from that time. (Macmillan, 9)と、５歳ではなく 14 歳のときに家にやって来たことにしている。思春期で恋に落ちやすくなったが、出だし同様、マクミラン版の変更は大胆だ。

３．フランケンシュタインの関心と勉強

創造主となるフランケンシュタインはどんな関心を抱き、何を勉強してきたのか。コンパス版はここでも原作にいちばん忠実で、他の版が省略したコルネリウス・アグリッパ、パラケルスス、アルベルトゥス・マグヌスの名をあげて、中世の怪しげな錬金術師の本に熱を上げた少年時代を描いている。これらの本は結局役に立たないのだが、原作では、生命の秘密を手に入れるための熱意

の原点になっている。が、I was also very interested in ghosts and devils. (Compass, 14)は蛇足だ。

I wanted to know the secrets of life, and, most of all, I wanted to know how to make living things. I read all the books that I could find. (Oxford, 6)と、オックスフォード版は読んだ本を曖昧にしたが、最大の関心が生命の創造であることをはっきり述べている。ペンギン版では、I read a lot of books on science. The most interesting subject to me was chemistry. I was interested in the secrets of the sky and the earth, of the natural world. (Penguin, 4)と、より現実的な科学者のたまごであったことを印象づける。原作との違いが目立つマクミラン版では、I was always interested in science. I wanted to learn about human life. I wanted to learn more in order to help people. I wanted to make their lives better. (Macmillan, 9)と、自分の個人的関心よりも、人々を助けるためという公共の目的が強調されている。なるほど『フランケンシュタイン』は今日、人類のためと称して研究に邁進する科学者にも不審の目を向けさせる書物になっている。

15 歳の時に落雷を見た体験はマクミラン版を除く 3 冊がそろって取り上げている。ここでは、ペンギン版がもっとも原作に近い。As I stood by the door, I suddenly saw a stream of fire pour from an old and beautiful tree. It was about 60 feet from our house. When the lightning disappeared, only the bottom of the tree was left. The tree was completely destroyed. (Penguin, 5)　この体験こそが、怪物創造の鍵となるのである。映画でおなじみになっている怪物に命を吹き込む場面は、グレイディッド・リーダーではどのように描かれているのだろうか。

コンパス版では、雷の威力を見てから電気の勉強を始め、大学ではヴァルトマン教授の指導のもと化学と電気を研究し、日夜死体を調べ、生命の秘密を発見する。しかし、I know that you want me to share this secret with you, but I'm afraid that if I do so, it will make you unhappy. (Compass, 15)と言って、手順はあえて語らず、It was one o'clock in the morning when I at last succeeded in creating life. (Compass, 16)と、怪物の完成を簡単に述べている。

ペンギン版でも、落雷から電気に関心を持ち、an excellent teacher のヴァルトマン先生に学び、生命が死にいたる人体の変化の過程を研究。病院から死体のパーツを持ち帰って人造人間を完成するが、

> One cold night in November, I saw the first result of my hard work. The body of the man in front of me had no life in it. It was one o'clock in the morning, and rain was falling outside. Nervously, I used my tools to create life inside the body. Then I saw his yellow eyes open. (Penguin, 10)

と、生命を送り込む器具については曖昧だ。

おそらく読者はオックスフォード版の語りにいちばん満足するのではないか。世界的な科学者ヴァルトマン教授に激励され、病院と大学で臨終の人体をひたすら研究。Suddenly I was sure that I knew the secret of life. I knew that I could put life into a body that was not alive. (Oxford, 8-9)と悟る。大学が提供した住居兼実験室に 150 メートルのマストを立てて、落雷の電気を実験室の機械に送るようにした。There had been so much power in the electricity of that lightning. I believed I could use that electricity to give life to things that were dead. (Oxford, 9)と、マストに雷が落ちるのを待ち、機械からワイヤで体に電気を送る。The secret of my machine must die with me. (Oxford, 9)と機械の構造については語ることを拒否しているが、落雷を利用する場面は映画的で迫力がある。

マクミラン版はどうか。原作のインゴルシュタット大学を勝手にハイデルベルクに変え、ヴァルトマン教授も登場させないが、生命の秘密を発見しようと奮闘するのは同じだ。墓から死体を盗ませて実験室で切り刻み、血や脳も調べる。ひどい嵐の夜、Suddenly the lightning gave me an idea. (Macmillan, 14)と、遅ればせながら落雷がヒントになる。病院と墓地から集めたパーツをつなぎ合わせ、落雷を待つ。

> The lightning hit the wires on the roof. The sparks of light came down the wires. I looked at the huge body. The silver light reached the hands, the feet and the head. The body was covered with a blue and silver light. (Macmillan, 15)

ジェームズ・ホエール監督の 1931 年ハリウッド映画を思い出す印象的な場面は、そっけないコンパス版より、はるかにおもしろい。ところがである。肝心の原作に、命を生み出す過程は描かれていない。

> It was on a dreary night of November, that I beheld the accomplishment of my toils. With an anxiety that almost amounted to agony, I

> collected the instruments of life around me, that I might infuse a spark of being into the lifeless thing that lay at my feet. It was already one in the morning; the rain pattered dismally against the panes, and my candle was nearly burnt out, when, by the glimmer of the half-extinguished light, I saw the dull yellow eye of the creature open; it breathed hard, and a convulsive motion agitated its limbs.
>
> (Shelley, 60　以下頁数のみ記す)

ペンギン版とほぼ対応する。物足りないと感じるコンパス版も、原作に基づいていたのだ。しかし、常に原作に忠実だと、現代の読者は満足しない場合もある。原作から離れすぎるのは当然問題だが、部分的に改善するのは、グレイディッド・リーダーの特権なのかもしれない。

４．ウィリアムの死

フランケンシュタインは生命を誕生させたものの、恐ろしい怪物を造ってしまったと感じ、逃げ出してしまう。弟のウィリアムが殺され、怪物の仕業と直感するが、使用人のジュスティーヌが裁判にかけられて犯人として死刑になる。各版によって、主人公の態度に違いが見られる。

コンパス版では、フランケンシュタインは自責の念から自殺したくなるが、エリザベスが慰める。オックスフォード版は、判事の家に行って怪物の話をしたが、信じてもらえない。老いた父と家族を守るため、自殺を思いとどまる。ペンギン版は、死刑の判決が出て I felt very unhappy.(Penguin, 22)と責任を感じるが、自殺は考えない。むしろ、怪物を殺したいと思う。マクミラン版は、ジュスティーヌの名前を省略し、エリザベスも使用人が犯人と信じている。この版はまたも原作を逸脱し、死刑を止めに馬を走らせるが、一足違いで執行されてしまう劇的な場面を創り出している。こうした改変がどこまで認められるかは賛否の分かれるところだろう。いずれにせよ責任を感じ、自分も murderer だと思って涙を流すが、自殺は考えず、自分の秘密を家族から隠そうと腐心する。原作では「言葉では表せない地獄のような激しい責め苦」（86 小林章夫訳）を感じ、湖に身を投げたくなるが、エリザベスの存在に救われる。コンパス版が的確にまとめているといえよう。

５．怪物の言語習得

怪物はフランケンシュタインの前に姿を現わし、ウィリアムを殺害してジュスティーヌのせいにした理由を語る。聞き手を感動させるほど雄弁な語りは苦悩に満ちた体験に基づいているが、言葉自体はどのようにして獲得したのだろうか。

やはりコンパス版がいちばん原作に近い。トルコ人商人を監獄から救出してフランス政府から迫害されたド・ラセー家と、愛を貫くため長男のフェリックスの元へ来たトルコ人の娘サフィーをきちんと描いている。フェリックスと妹のアガサが自分たちの言葉をサフィーに教えるのを怪物が利用。さらに森の中で本を見つけ、読書で人間の歴史や神について知る。この学習によって初めて自分の悲惨な境遇を認識し、フランケンシュタインの名前を知って、復讐を思いつくことができたのだ。

オックスフォード版は、父親、フェリックス、アガサの３人家族を隣接する小屋から観察し、会話を聞いて言葉を学ぶ。サフィーを英語圏でなじみのあるソフィーに名前を変えてしまっているが、この外国人の恋人にフェリックスが世界史の本で言葉を教えるのを密かに利用。キリストや、アメリカの原住民の悲劇など宗教や人間の争いについて学んでいるのは原作どおりだ。

ペンギン版はサフィーを登場させず、ド・ラセー家の３人を観察して言語を習得し、留守中、家に忍びこんで自ら本を読んで知識を得たことにしている。原作では森で見つけたカバンの中の本を読むので、控えめな態度と矛盾する。なお、原作からいちばん遠いマクミラン版では、ド・ラセー家の人々に名前を与えていない。盲目の老人に若い娘が本を読んでいるのを聞いて言葉を学び、この盲人と友人になって知識を得たことにしている。

６．怪物の唯一の希望と復讐の誓い

原作ではド・ラセー家から愛と親切も学び、自分もその一員になりたいと願う。己の醜い姿を認識しているため、まずは盲目の老人に助けを求めるが、帰宅したフェリックスに棒で殴りかかられる。家族は去り、怪物は無人の家に火を放つ。コンパス版はそのとおりになっている。オックスフォード版もほぼ同じだが、一家が去った後に、家を燃やす場面はない。ペンギン版はサフィーを省いたので帰ってくるのはフェリックスとアガサの二人だけだが、空き家の周りで踊り狂って放火する原作の描写を採用し、迫力がある。ここでも驚かされるのは、マクミラン版だ。怪物は盲目の老人と意気投合して会話を楽しんでいる。ある日、帰ってきた娘に見つかり、その兄に銃で撃たれる。負傷して逃げたまま戻らないので、家を焼く暇はない。

コンパス版とオックスフォード版では、このあと、原作どおり、川に落ちた女の子を助け、父親に銃で撃たれ負傷する場面がある。マクミラン版はペンギン版と共にその場面を省略しているので、フェリックスが棒で殴る代わりに銃撃するのは２つの場面を１つにまとめたと

見なすことができる。しかし、ウィリアムを殺す前に、まだ善を行なうことができた重要な場面なのだ。善意を人間に理解してもらえず敵意で迎えられたために、陰惨な復讐に向かう。安易な省略は、原作のきめ細かい展開をわかりにくくする。

怪物は自分の相棒に育てようと考えたウィリアムに拒まれる。コンパス版は不覚にも省いてしまったが、絞め殺したのは、フランケンシュタインの名を聞いて逆上したからだ。無実のジュスティーヌに罪をかぶせながらも、創造主フランケンシュタインに愛憎を抱き、説得できると思っている。だから、伴侶を造るよう頼むのである。

“It is you who are in the wrong,” he said. “I do bad things because I am so unhappy. If I cannot have someone to love me, then I will make everyone afraid of me. Why can’t you understand this? Give me a female to love and be loved by me, and I shall be happy. I shall not kill again.” (Compass, 42)と、コンパス版では、怪物の孤独と創造主の無理解という問題の核心を怪物の言葉で伝えている。‘I am alone and miserable.’と、つらい立場を切実に訴えるオックスフォード版では、‘Only someone as ugly as I am could love me. You must make another creature like me, a woman monster to be my wife.’ (Oxford, 33)とつづけて、原作のグロテスクな要求をなぞり、‘Be kind to me now, and I will learn to love and be kind.’ (Oxford, 33)と要所をつかんでいる。

ペンギン版はコンパス版とほぼ同じ所をまとめている。‘You are wrong,’ answered the monster. ‘And I will explain. I am bad because I am unhappy. I am hated by everyone. There is no reason for me to like humans. They do not like me. If I cannot have love, I will create fear. I will take revenge on my enemy—you, Frankenstein.’(Penguin, 38)と、脅しながら愛を求める。マクミラン版は単純ながらも、‘I have brought unhappiness because I am unhappy,’ the Monster replied. ‘Now only you can help me. Only you can make my life happy.’ (Macmillan, 32)と、要点を押さえている。創造主フランケンシュタインが怪物の幸せの鍵を握っているのだ。

しかし、ここで幸せになってしまっては恐怖小説にならない。コンパス版のフランケンシュタインは、怪物の伴侶となる女を完成する直前に、彼女が怪物を嫌う可能性があることに気づく。オックスフォード版は、女の怪物はもっと邪悪な殺人者になるかも、二人は憎み合うかも、人間を殺しつづけるかも、と悩む。原作どおりの心配に加え、ペンギン版では、南米のジャングル行きを彼女が拒んだら、もっとハンサムな男を彼女が好きになってしまったら怪物はどうなると考え、女の怪物を完成前に破壊する。原作にある子供の心配をしているのは、マクミラン版だ。‘What if they have children? One day these terrible creatures may rule the world.’ (Macmillan, 38) ただし、これを親友のヘンリーに言わせているのが、いかにもマクミランらしい。原作では、約束を破り妻を破壊したことに怒った怪物が、ヘンリーを暗殺し、フランケンシュタインが容疑者として逮捕される一幕がある。グレイディッド・リーダー３冊が程度の差はあれ忠実にまとめているが、マクミラン版のヘンリーは、フランケンシュタインの目前で即座に殺されてしまう。怪物との約束よりも、人類と社会に対する科学者の責任を優先することにした原作の主人公の決意がこれでは感じられず、怪物の殺人も衝動的で、復讐の陰湿さが弱まってしまった。

７．エリザベスの死

最後の希望を文字どおり打ち砕かれた怪物の捨て台詞は有名だ。shall を will に、be を return に書きかえている版もあるが、グレイディッド・リーダーは４冊とも以下のように取り入れている。

> “I will go now, but I shall be with you on your wedding night.” (Compass, 47)
>
> ‘You will be sorry that you were ever born. Remember this: I shall be with you on your wedding night.’ (Oxford, 37)
>
> ‘I will leave. But remember this: I will be with you on your wedding night.’ (Penguin, 49)
>
> ‘I will return on your wedding-night, Victor Frankenstein. I will have my revenge.’(Macmillan, 40)

この予告どおり婚礼の夜に怪物は参上し、創造主の新妻エリザベスを絞め殺す。すでに見たように子供時代を同じ家で暮らしてきた最愛の女性である。怪物が犯した殺人でもっとも痛ましく、怪物の邪悪さを感じずにはいられない場面だが、フランケンシュタインには彼を熱愛する女性がいたという事実が、孤独な怪物のみじめさを今一度思い起こさせる。

エリザベスはヴィクターを熱愛し、その幸福を何よりも願っていた。*My love for you is such that I want you to be happy more than anything.* (Compass, 54)と、コンパス版では献身的な愛の言葉を手紙に記している。ペンギン版では、ヴィクターにもっと好きな人がいれば喜んで身を引く、*If you are happy, I will not be lonely or sad.* (Penguin, 57)とまで書いてい

る。オックスフォード版では、再会したときの様子を、She, too, was thinner because she had worried about me so much. But her gentleness and her love made her as beautiful as ever. (Oxford, 44)と語る。彼女は、亡くなったフランケンシュタインの母のように心配し、愛を捧げている。マクミラン版のみ原作と違い、手紙ではなく直接フランケンシュタインに‘If you love me, Victor, I will marry you. I will make you happy.’(Macmillan, 43)と告げる。最後の「あなたを幸せにします」という言葉は、エリザベスの役割を要約している。これほど愛に満ちた美しい女性に幸せを約束されていたヴィクター・フランケンシュタインに対して、怪物は、醜い妻すら手に入れることができない。この幸福と不幸の際立った対比は、『フランケンシュタイン』を読み解く鍵になっているように思われる。

８．フランケンシュタインの復讐

物語はここに来て、怪物の復讐からフランケンシュタインの復讐に切り替わる。ジュネーヴを去る前、犠牲になった家族の墓地で彼は復讐を誓う。“By the sacred earth on which I kneel, by the shades that wander near me, by the deep and eternal grief that I feel, I swear; and by thee, O Night, and the spirits that preside over thee, to pursue the demon, who caused this misery, until he or I shall perish in mortal conflict. (…)”(173) コンパス版は、墓地を訪れるのに肝心のせりふがない。オックスフォード版ではあっさり、I stood there and promised them that I would stay alive until I had killed the monster. (Oxford, 50)と要約。ペンギン版では、墓地には行かず、単に I had to continue living to destroy the monster. (Penguin, 67)と語る。意外にも、マクミラン版が復讐への強い思いをとらえている。天を仰ぎ、次のように神に誓う。

> ‘I, Victor Frankenstein, doctor of Geneva, say these words. I will spend the rest of my life looking for the Monster. Then I will kill him. I, Victor Frankenstein, created the Monster. I will kill him.’(Macmillan, 49)

大地その他に誓う原作とは対照的だが、反キリスト教的な怒りの情念はよく伝わってくる。

こうして物語は冒頭に戻り、氷上の追跡場面の謎が明らかになる。コンパス版では、You know the whole story. You know what he can and will do. He must be killed before he kills again. (Compass, 60)とウォルトンに復讐を託してフランケンシュタインは死ぬ。しかし、その死を悼みに来た怪物は*“There is nothing more for me to do,” he said. “I shall be a danger to no one in the future. Farewell.”* (Compass, 64)とあっさり去ることになる。ちぐはぐな印象を与えるが原作どおりだ。復讐に燃えるフランケンシュタインは、怪物の意図と行動を完全に見誤っていたのである。

オックスフォード版では ‘I ask you, Captain Walton, to chase the monster and kill him. (…) I want you to tell the world that the monster is a danger to everyone.’(Oxford, 52)と的外れなことを言わせて、あっさりフランケンシュタインを死なせている。しかし、改めて怪物の理不尽な体験を総括し、‘Do you think I enjoyed killing people? My heart was made for love, like a man’s heart.’(Oxford, 53)とか、‘I have done all those evil things, but am I the only person who has done wrong? I wanted love and friendship.’(Oxford, 54)と、怪物がウォルトンに語った言葉をうまく取り入れて、対立する二つの物語について読者に深く考えさせる。

ペンギン版は ‘If I die, Walton, will you look for him? I want revenge! He will come here after I am dead. Will you promise to destroy the evil monster?’(Penguin, 69)といったん頼むものの、ウォルトン隊長が北極よりも隊員たちの人命を重視してイングランドへ帰ることを決めると、ここにとどまると言い張ったが、結局は‘I am afraid that he will kill more people. But I cannot ask you to stay here, in the cold ice, and look for him. Goodbye, Walton. Do not try to find the secret of life! I failed…but perhaps another man will succeed.’(Penguin, 70)と言って死ぬ。フランケンシュタインの死の経緯を語り、最後の言葉を記しているのはペンギン版だけだ。しかし、復讐を終えて死を覚悟している怪物に、‘I must go and die in the ice, as far away as possible.’(Penguin, 71)と言わせているのは欠陥ではないか。原作では「氷」ではなく「火」で死ぬのだ。

Frankenstein; or the Modern Prometheus が原題である。天上の火を盗んで人間に与えて罰せられた「プロメテウス」は科学者のフランケンシュタインをさすのだろうが、原作で火のモチーフは怪物についても用いられていた。フランケンシュタインの前に初めて姿を現わしたとき、怪物は小屋に招き、火にあたって話をする。マクミラン版には誕生後いきなり実験室が火事になり、火から身を守るためにフランケンシュタインの上着を持って出る場面があるが、これは原作になく、やりすぎだ。生まれてから火を知り、使いこなして寒さをしのぐコン

パス版、食料目当てに他人の家に入って火にあたり、ド・ラセー家で真っ先に「火」という言葉を知るオックスフォード版が適切だ。ペンギン版では、ド・ラセー家で学ぶ言葉の中に「火」はない（30）。著者が重要視していなかったのだ。

怪物が死を覚悟して去る最後の場面は、オックスフォード版がもっとも原作の意図を汲み取っている。北に行って死ぬと怪物は語る。

> 'I shall build a great fire, and lie down on it to die. I shall welcome the pain of fire, because it will help me to forget the pain in my heart. I have felt more pain than Frankenstein. And when the fire has died down, I shall be at peace.'（Oxford, 54）

これまで寒さを暖めてくれた火によって死ぬのである。恐ろしい痛みをともなうが、最後には平安をもたらしてくれる。怪物は、船室の窓から外の小舟に移り、暗闇に消える。コンパス版では *a large piece of ice* (Compass, 64)、ペンギン版では the cold water (Penguin, 71)に飛び降りる。目的を果たすには the small boat (Oxford, 55)のほうがよかったのかもしれないが、これは原作と異なる。メアリー・シェリーは「氷の筏」the ice-raft（189）と書いている。

おわりに

マクミラン版はフランケンシュタインの最期を語るウォルトン隊長を省いたために、結末は原作とまったく異なる。何年も追跡して、ついに極寒の地で対決のときを迎える。銃があるので、I will be able to kill him before he kills me. (Macmillan, 50)と自信を持っていたが、まずは言い分を聞くよう怪物に言われる。

> 'You made me,' the Monster replied. 'You are guilty. I did not wish to be evil. I wanted to be your friend. But you made me ugly. You ran away from me. Those I tried to love were afraid of me. So, I killed them. I asked you to create a friend for me. But you destroyed her. I had no family to love, so I destroyed yours.(…) You are guilty, Frankenstein. You gave me this ugly body. You created me, you are a wicked man.'
>
> (Macmillan, 50-51)

驚くことに、マクミラン版のフランケンシュタインは、非難をまるごと受け入れる。'What you say is true,' I cried. 'I was the murderer of those I loved!' (Macmillan, 51) 復讐を忘れ、すっかり反省してしまう。怪物が許しを乞う原作とはあべこべだ。そして怪物は？

> 'Now you have said these words my life of misery and unhappiness is complete,' said the Monster sadly. 'You are the guilty one, not me. Now I shall go far away from here. (…)' (Macmillan, 51)

フランケンシュタインが罪を認めたことに満足する。「火を焚いてその中に身を投げて死ぬつもりだ」と去っていくのは原作どおりだが、このふてぶてしい怪物像はメアリー・シェリーのものではない。マクミラン版は、原作にはないフランケンシュタインの短い遺書で締め括られている。

> *I have decided to die in this terrible place. The story of my life has ended. Perhaps no one will ever read these words. It does not matter. Here I will stay until my body is hard and cold. Goodbye—and may God forgive me. These are the last words of the unhappy Victor Frankenstein.*
>
> (Macmillan, 53)

マーガレット・ターナーがリライトしたマクミラン版は、メアリー・シェリー『フランケンシュタイン』と題したグレイディッド・リーダー中、特筆すべき異色作といえる。原作を知らずに読めば、意外に楽しめるかもしれない。しかし、原作と別物であることは読者にきちんと知らせるべきではあるまいか。

参考文献

Mellor, Anne K. "Choosing a Text of *Frankenstein* to Teach." J. Paul Hunter, ed. *Mary Shelley, Frankenstein: The 1818 Text, Contexts, Nineteen-century Responses, Modern Criticism.* New York: W.W. Norton, 1996.

Shelley, Mary. *Frankenstein* (the third edition of 1831), *Case Studies in Contemporary Criticism.* Johanna. M. Smith, ed. Boston: Bedford / St. Martin's, 2000.

臼田昭「異文」M・W・シェリー『フランケンシュタイン』臼田昭訳、国書刊行会、1979年。

シェリー『フランケンシュタイン』小林章夫訳、光文社古典新訳文庫、2010年。

鈴木ふさ子「二つの『フランケンシュタイン』――一八一八年版と一八三一年版について」久守和子・中川僚子編『もっと知りたい名作の世界⑦ フランケンシュタイン』ミネルヴァ書房、2006 年。

付録

1) Compass Classic Readers (2009)

Ken Methold, *Frankenstein* (Level 3)

カラーの挿絵入りで約 60 頁。物語の外枠であるウォルトン隊長の手紙を省略せずに、フランケンシュタインと怪物それぞれの語りをうまくまとめている。サフィーを登場させているところにも原作に忠実であろうとする書き手の意図が感じとれる。ただし、そのために劇的な描写が減り、全体的に平板なあらすじ調になっているので、読み物としては物足りなさを感じるかもしれない。

○ Prologue

ウォルトン隊長から姉マーガレットに宛てた６通の手紙。成功を夢見て北極点をめざす船旅を開始。氷に閉ざされた海で、犬橇を操る大男を目撃。追跡する疲労した男を助け、不幸な過去の物語を聞く。

① Frankenstein's Childhood

私フランケンシュタインはジュネーヴに生まれ、母がコモ湖近くの農家から引き取ったエリザベスと学友ヘンリーと幸福な子供時代を過ごした。錬金術に関心を持ち、木を木端微塵にする電気の力を知った。

② The Monster

ヴァルトマン教授に学び、研究と実験を重ね、生と死の原因を突きとめた。自ら人間創造にとりかかるが、怪物を造ってしまい、逃げだす。宿でヘンリーと再会。気絶して寝込むと看病してくれた。

③ The Murder of William

弟ウィリアムが殺されたと父から手紙が届き帰省。稲妻で犯人を見る。母親の絵を持っていたことから使用人のジュスティーヌが逮捕されたと、弟アーネストから聞く。

④ The Trial

エリザベスが弁護するが、ジュスティーヌは自白し、死刑となる。私は怪物の仕業と思うが、証拠はない。

⑤ The Monster Tells His Story

自殺したくなったが、エリザベスが慰めてくれた。一人でモンブランに登ったあと怪物が出現。創造主である私に洞穴で体験を語りはじめる。――俺は感覚が芽生え、火の使用法を知り、寒さをしのいだ。村で人々から迫害され、ある家の裏小屋に隠れた。

⑥ The Monster Learns

俺はド・ラセー家を観察し、物に名前があることを知った。サフィーが加わり、彼女の語学学習を利用し、人間の歴史を学び、自分には家族がいないことを知る。サフィーは、フランス人一家が政府の迫害から救ったトルコ人商人の娘だった。

⑦ The Monster Tries to Make Friends

森で見つけた本で字を学ぶ。コートのポケットに入っていた手記から自分の誕生の経緯を知る。盲目のド・ラセー氏に助けを求めるが、帰宅したフェリックスに殴打され逃げだす。一家は去り、俺は家に火を放つ。川に落ちた女の子を助けると、父親に銃で撃たれ負傷。偶然出会った男の子を手なずけようとするが拒まれ（フランケンシュタインの弟とは知らぬまま）首に手をかけてしまう。

⑧ The Monster Wants a Wife

首にかけていた絵を小屋で寝ている女の服に入れた。南米のジャングルで暮らすから伴侶を造ってくれ、と怪物は頼む。私は聞き入れ、ヘンリーと英国へ行って研究し、単身、オークニー諸島に渡る。

⑨ A Promise is Broken

自問の末、製作を中断。「おまえの婚礼の夜に参上する」怪物は去る。舟が風に流され、アイルランドへ。カーウィン判事の元へ連行されヘンリーの遺体と対面し気絶。父が呼ばれ、無罪を証明して自由に。

⑩ Going Home

父とパリ滞在。自分のせいで３人が死んだと思い悩むが、エリザベスの手紙に慰められ結婚。美しい湖畔に宿泊。銃とナイフで怪物の襲撃に備える。

⑪ The Monster's Revenge

悲鳴。駆けつけるとベッドでエリザベスが殺されていた。怪物は湖へ飛び込む。自分を幸せにしてくれる唯一の人を失ってしまった。父もひと月後に死去。治安判事の協力は得られず、復讐を誓って追跡の旅に出たが、あなたに助けられた。奴を殺してくれ。

⑫ The Monster Returns

８月 26 日から９月 12 日までのウォルトン隊長の手紙。北極点をめざす船旅は中止し、イングランドへ帰ることに決める。フランケンシュタイン死去。怪物が船室に現われて、創造主の死を悲しみ、許しを乞う。もう二度と人に危害は加えないと誓い、海の氷の上に飛び降りて、闇に消えた。

2) Penguin Active Reading (2008)

Deborah Tempest, *Frankenstein* (Level 3)

ウォルトン隊長の手紙の最も重要な部分を冒頭と最後に据えて、原作の外枠を保持。登場人物はサフィーを省いたものの、ジュスティーヌは姓まで載せ、地名も多く記す。火の重要性を見落としたが、展開はわかりやすい。

○ The First Letter

北極をめざすロバート・ウォルトン隊長から姉マーガレット宛の手紙。衰弱している不幸な男を助け、教訓になる話を聞いて書きとめる。

① Young Frankenstein

私の名はヴィクター・フランケンシュタイン。ジュネーヴ出身だ。母がコモ湖近くの農家から引き取った孤児エリザベスが妹に、ヘンリー・クラーヴァルが親友になる。両親のおかげで子供時代は幸せだった。科学に関心を持ち、15 歳のとき落雷で木が破壊されるのを見て電気の力を知る。エリザベスを熱心に看病した母が、彼女にあとを頼み急死。インゴルシュタットの大学に進学し、ヴァルトマン先生から最先端の学問である化学を学ぶ。

② Frankenstein Creates Life

研究に没頭し、生命の秘密を発見。怪物を造ってしまう。エリザベスがキスのあと死体になる悪夢を見る。ベッドに来た怪物から逃げ、ホテルの外で大学生になったヘンリーと再会。怪物の幻を見て倒れる。看病されて元気を取り戻し、一緒に外国語を学ぶ。

③ William Is Dead

父から手紙で、弟ウィリアムが散策中に行方不明になり、ポケットに入れていた母の絵が原因で殺されたと知らされる。帰省。稲妻で怪物の姿を見て犯人と直感。お手伝いのジュスティーヌ・モーリッツが逮捕されたと弟アーネストから聞く。私たちは裁判で弁護したが、死刑。私は自分のせいと悩む。

④ Frankenstein Finds the Monster

シャモニーへ旅行してモンタンヴェールに登ると、怪物が出現。人間に嫌われ殺人を犯すまでの自己弁護をさせてくれと頼む。

⑤ The Monster's Story

責任を感じ、山小屋で話を聞く。――俺は、逃げ出した老人の家で朝食を食った。村人から迫害され小屋に避難。隣家の会話から言葉を学び、本から知識を得た。貧しいと知り盗みをやめ、薪を取ってきてやる。盲人のド・ラセー氏に助けを乞うが、アガサと戻ったフェリックスに殴打され、小屋へ逃げ帰る。

⑥ The Monster Wants a Wife

夜の森で泣き、人間を憎む。無人になったド・ラセー家の周りで踊り、放火。持っていた紙から知った、自分を造ったフランケンシュタインに復讐しようと決め、ジュネーヴへ。さらって友人にしようと考えた子供が敵の名前を名のったため絞殺。ポケットの美人の絵を小屋で寝ている女のポケットに入れて罪をかぶせた。妻として醜い怪物を造ってくれれば、南米の森に去る。――私は同意した。

⑦ Frankenstein in England

私はジュネーヴに帰り、父からエリザベスとの結婚を勧められるが、その前に約束を果たすことにする。ヘンリーと英国へ旅行し、研究。オークニーの孤島で女の怪物を造りはじめる。

⑧ Another Murder

彼女が怪物を好きになる保証はない。子供ができたら大変だ。怪物の邪悪な顔を見て、破壊した。一旦去って何時間もたって戻ってきた怪物は、責め立て「おまえの婚礼の夜に参上する」と言って姿を消す。女の残骸を海に捨てに行き、舟で寝て漂流。上陸したアイルランドで、殺人犯として逮捕されてしまう。

⑨ Frankenstein in Prison

治安判事のカーウィン氏にヘンリー・クラーヴァルの遺体を見せられ、私は寝込んでしまう。その様子から犯人ではないと判断され、連絡を受けた父が駆けつける。裁判で無実が証明され、自由の身となる。

⑩ Back in Switzerland

父とスイスへ帰る途中、パリで休む。結婚を望むエリザベスの熱烈な愛の手紙を読み、「結婚しよう」と返事を書く。再会し、結婚後に秘密を話すと約束。

⑪ Elizabeth

結婚式のあと新婚旅行の途中、湖畔のホテルに宿泊。嵐になる。殺されるのは自分と思い込んで銃を所持し、怪物を捜す。悲鳴が聞こえ、エリザベスが部屋のベッドで殺害されているのを見る。キスして、死んでいることを実感。邪悪な笑みを浮かべる怪物に向けて銃を撃つが、湖に飛び込んで逃げてしまう。私は史上もっとも不幸な男になった。帰宅。知らせを聞いた父は、数日後に私の腕の中で亡くなる。

⑫ The End of the Monster

気が狂ったと思われ何か月も入院したあと、警察にすべてを告白。協力を求めるが信じてもらえず、自分の手で怪物を殺そうと決心する。怪物がときどき残してゆくメッセージを頼りに、氷河を北へ北へ追跡したが、とうとう力尽きてしまった。死んだら、代わりに怪物を殺してほしい、とウォルトンに頼む。

○ The Last Letter

ウォルトン隊長は姉に後日譚を書き送る。――北極点到達よりも船員の命のほうが大切と判断し、帰国することに決めた。フランケンシュタインは残るつもりだったが、最後の言葉を残して死去。友のために泣いた。物音がして戻ると、醜い怪物が遺体に許しを乞うている。「もう悪さはしない。友もなく嫌われたから邪悪になったのだ。俺も、氷の中で死ぬつもりだ」怪物は、冷たい海に飛び込み、闇に消えた。

3) Oxford Bookworms (2008)

Patrick Nobes, *Frankenstein* (Stage 3)

出だしは、ウォルトン隊長の原作の手紙でもっとも核心的な場面から始まっている。手紙の体裁は取らず、姉への言及はない。小説全体が手紙という設定を不自然と思ったのか、乗船したフランケンシュタインが手記を書いては隊長に読んで聞かせたという形に外枠を変更している。本編はジュスティーヌの死の覚悟やサフィー（ソフィーに改名）のエピソードを残すなど、原作にかなり忠実なところもある。ウォルトンはフランケンシュタインの死を看取り、船室に現われた怪物の最後の目撃者となるが、自身の北極探検については何も語らず、主人公との関係性は薄れている。

STORY INTRODUCTION

① 「隊長、何か見えます！」10 匹の犬に橇を引かせる巨人。そのあとを追いかける人間。橇が壊れ衰弱している彼を、ロバート・ウォルトン隊長が助ける。ヴィクター・フランケンシュタインと名のった男は、船で以下の手記を書き、朗読する。

VICTOR FRANKENSTEIN'S STORY

② ジュネーヴに生まれた私は、両親の愛に恵まれ、母が養女にした金髪のエリザベスと育ち、彼女への思いも大きくなっていった。弟たちの面倒を見るジュスティーヌはみなに好かれている。学校ではヘンリー・クラーヴァルと親しくなる。生命の秘密に関心を持ち、15 歳のとき、木を木端微塵にした雷の電気の力に感銘を受けた。

③ 母が病死したのは初めての不幸だった。大学へ進学し、世界的科学者ヴァルトマン教授のもとで電気と生命を研究。死を観察し、電気で死体に命を吹き込む機械を発明した。その構造については明かせぬ。

④ 落雷を待ち、身長が 2.5 メートルもある怪物に命を与えた。後悔し、自室に逃げ込んで眠った。ベッドのそばに来た怪物を見て、外に飛び出し、夜を明かす。駅で、大学生として故郷から出て来たヘンリーと再会。フラットに連れて行くと、怪物はいなかったが、幻を見て「助けて！」と気を失う。２か月もの間、ヘンリーが看病してくれた。

⑤ 父から手紙が来る。散策に出て行方不明になった弟のウィリアムが絞殺死体で発見された。首にかけていた金の鎖付きの母の絵が盗まれていた。帰省途中、現場に寄り、稲妻で怪物の姿を目撃し、犯人と確信。

⑥ 妹のようなジュスティーヌが逮捕され、無罪を信じるわれわれの反対にもかかわらず、裁判で死刑判決が出る。私は判事に怪物の一件を告白するが、信じてもらえない。獄中でジュスティーヌは死を受け入れた。みな私のせいだ。自殺しなかったのは家族を守るためだ。出かけたアルプスに怪物が出現。「造ったものを愛せ」と山小屋で体験を語る。

THE MONSTER'S STORY

⑦ 実験室を出た俺は食料を探した。目と耳が機能しはじめる。逃げ出た老人の家で火に当たり、朝食を食べた。別の家では子供が悲鳴を上げ、母親が気絶。村人たちから石を投げられた。美しいきょうだい（フェリックスとアガサ）と盲人の父が暮らす家を、隣接する小屋の穴から覗いて言葉を知る。盗みはやめ、薪を届ける。水面を見て自分の醜さを痛感した。

⑧ トルコ人のソフィーが馬でやって来る。フェリックスが言葉を教えるのを一緒に学習。古代ギリシャ・ローマ時代、キリスト、インディアンの悲劇など、人類史を本の朗読を聞いて学んだ。一家はソフィーの父親を助けたためにフランスを追放され、フェリックスを好きになったソフィーが単身、合流したのだった。俺は盲人の父親に助けを乞うが、帰ってきた３人に見つかってしまう。フェリックスに滅多打ちにされ、抵抗せず、小屋へ逃げた。

⑨ 朝戻ると一家はもういなかった。実験室から持ってでた鞄の中の本から、自分を造ったのはフランケンシュタインと知り、ジュネーヴをめざす。川に落ちた女の子を助けたが、父親に銃で撃たれ、憎しみが募る。手なずけようとした男の子が悲鳴を上げ敵の名を口にしたため絞殺。首にかけていた絵を、小屋で寝ていたきれいな娘のポケットに入れた。

VICTOR FRANKENSTEIN'S STORY

⑩ 私は女の怪物を妻として造るよう頼まれ、同情し、家族を守るため承諾してしまう。父からエリザベスへの思いを訊かれ、帰ってから結婚すると答えた。英国で研究し、同行したヘンリーとエディンバラで別れ、住民が５人しかいない島へ。製作を準備。

⑪ 完成間近、自問し、怪物の顔を見て、造ったものを破壊。希望を失った怪物は「おまえの婚礼の夜に参上する」と言って去る。私は、海に女の残骸を捨てる。居眠りして嵐で舟が流され、岸につくとすぐ、カーウィン判事の元に連れて行かれる。

⑫ 首に指の跡があるヘンリー・クラーヴァルの遺体を見せられ、私は２か月間病気で寝込んだ。父が来る。警察がアリバイの証人を見つけ自由に。パリ滞在中に、エリザベスから結婚の意思を訊くラブレターが届き、結婚を決意。帰宅後、エリザベスを抱きしめる。私を心配してやせていたが、相変わらず美しい。結婚を 10 日後に控え、私は銃とナイフを携帯する。

⑬ 結婚式の後、ハネムーンに出かけ、湖畔のホテルに宿泊。嵐になり、怪物を捜している間にエリザベスの悲鳴を聞く。部屋で絞殺されていた。邪悪な怪物

に向けて銃を撃つが、湖に飛び込んで逃げてしまう。残った父とアーネストが危ないと思い、実家に帰る。父は病床に就き、数日後に死去。私は、精神錯乱で何か月も隔離された。

⑭　家族の墓で復讐を誓う。邪悪な笑い声で怪物が挑発する。ジュネーヴを永遠に去り、メッセージを残す怪物を追って北へ。犬橇で追跡し姿が見えるまで近づくが、大嵐になる。氷が砕け、橇が壊れ犬を失い、あなたの船に助けられた。奴を追って殺してくれ。

CAPTAIN WALTON'S NOTE

⑮　ロバート・ウォルトン隊長のノート。ヴィクター・フランケンシュタインは語り終えた数時間後に亡くなった。いつのまにかやって来たフランケンシュタインの怪物が「許してくれ」と死を悼んでいる。自己嫌悪に陥っており、火で自殺すると言って窓から外の小舟に降り、闇に消えた。

4) Macmillan Readers (2005)

Margaret Tarner, *Frankenstein* (Level 3)

ウォルトンは登場せず、手紙の外枠はきれいに省かれ、怪物を追跡中のフランケンシュタイン（1810年生まれ）が自ら回想する体裁をとる。ジュスティーヌの名前は出てこないが、彼女の死刑を止めようとする緊迫した場面を追加するなど多くの点で原作を変更。ヘンリー・クラーヴァルは目の前で殺され、怪物は、醜い顔で造られたことをとりわけ恨んでいる。フランケンシュタイン自身が怪物と向き合って非を認める最後の場面まで来ると、もはやメアリー・シェリーの『フランケンシュタイン』ではない。

○ 追跡中の主人公が語る。「私は世界一不幸な男だ。奴を殺してから、自殺するつもりだ」

① I Go to University

私の名はヴィクター・フランケンシュタイン。ジュネーヴ生まれだ。12 歳のとき弟ウィリアムが生まれ、２年後、父の亡き親友の娘エリザベスが来た。私が 18 のとき亡くなった母は将来を期待。人の役に立ちたいと、ドイツのハイデルベルク大学へ進学する。

② The Secret of Life

生命の秘密を研究。稲妻を見て名案を思いつく。つなぎ合わせた人体にワイヤで落雷を送り、命を与えることに成功。しかし、開いた黄色い目を見て、怪物を造ってしまったと悔やむ。逃げだすときに火事が起こり、私は気絶した。

③ The First Death

大学生になった親友のヘンリーに看病される。一緒に言語を勉強。火事で怪物は死んだと思った。父からの手紙でウィリアムが殺されたと知り４年ぶりに帰省。稲妻で怪物を目撃し、奴が殺したのだと知る。

④ Home Again

エリザベスと父は、首にかけていた母の絵を奪うため子守りが殺したと信じていた。私は絞首刑を止めようと馬で駆けつけるが間に合わず、自分のせいと思う。一人で登ったスイスの最高峰に怪物が現われ、「醜く造られたので邪悪になった」と語りだす。

⑤ The Monster's Story

火事から逃れたあと、男が俺を見て悲鳴を上げた。水面に映った自分の醜い顔を見て納得する。上着のポケットに入っていた本からフランケンシュタインという敵の名を知り、復讐を誓った。貧しいが愛し合って幸せに暮らす一家を観察。兄妹の留守中、盲目の老人と友人になり、この「教師」から多くの知識を得る。しかし、帰ってきた女が悲鳴を上げ、兄が銃を撃ったので、逃げた。さらって一緒に暮らそうと思った男の子も悲鳴を上げ、敵の名前を名のったため殺し、木の下で寝ている女に罪をかぶせた。

⑥ The Monster's Request

「俺と暮らす醜い女を造ってくれ」と私は怪物から頼まれた。父からエリザベスとの結婚を勧められるが、彼女を待たせて、ヘンリーが大学の教員をしているシュトラースブルクへ向かう。

⑦ I Begin My Work

郊外で女の怪物を造りはじめるが、ヘンリーに見つかってしまう。すべてを告白すると、「子供ができたら世界を征服されるぞ」と、完成寸前の女を破壊。激怒した怪物に殺される。「よくも俺の花嫁を殺したな。おまえの婚礼の夜に戻ってくるぞ」と言って怪物はランプを蹴り、私を連れて走り去る。

⑧ My Wedding-night

うなされて目を覚ますと、父が助けに来てくれていた。ジュネーヴに帰り、まだ愛してくれているエリザベスと結婚。湖畔のホテルで悲鳴。彼女は絞殺され、怪物は林に逃げる。私は自分が殺されると思っていた。２、３週間後、父も急死。みんなの墓の前で私は復讐を誓った。「できるものなら追いかけて、俺を見つけてみろ」と怪物が挑発する。

⑨ Revenge at Last

何年も追跡の末、（冒頭の）氷と雪に覆われた地で、私は怪物と対面した。「おまえが俺を造った。悪いのはおまえで、俺は悪くない」と責められ、殺人者は私自身だったと認める。すると怪物は満足し、火を焚いて自殺すると言ってあっさり去っていった。

○　私は凍死するつもりだ。私の人生の物語はこれで終わる。この手記は人目に触れなくてもかまわない。神よ、許し賜え。不幸なるフランケンシュタイン。

Mary Shelley's *Frankenstein*: Different Interpretations in Graded Readers

Koichi YOKOYAMA

This paper is a comparative study on four graded reader versions of Mary Shelley's *Frankenstein* (1818, revised 1831) in order to show how the original (all the readers except Macmillan are based on the 1831 book in which Frankenstein's mother finds and adopts Elizabeth) is changed into simplified books depending on each writer's interpretations. Eight important elements, which seem to make up the plot, are closely examined: 1) the beginning of the book, 2) Frankenstein's relationship with Elizabeth, 3) Frankenstein's interest and study, 4) the death of William, 5) the monster's language acquisition, 6) the monster's hope and despair, 7) the death of Elizabeth, and 8) Frankenstein's revenge.

On the whole Compass Classic Readers is the truest to Mary Shelley's 1831 original story, keeping Captain Walton's letters to his sister as the framework of this novel, as well as the Turkish lady Safie (Oxford changes to Sophie, and the other two ignore) whose lessons of the French language make it possible for the monster to learn how to speak and read. Although the Compass writer, Ken Methold, forgets to mention the death of Frankenstein's loving mother, he manages the conflicting views of Frankenstein and the monster. Penguin Active Reading also retains the atmosphere of the original, keeping Walton's letters, which are much shortened though. Penguin is the only book which includes Frankenstein's last words. The adapter Deborah Tempest, however, apparently fails to grasp the importance of the fire motif: The monster does not learn the word "fire" at the de Lacey's and says that he will die in the ice, not flames. In Oxford Bookworms, Patrick Nobes removes the letter frame but makes use of Walton as a witness: He happens to catch a glimpse of the monster from his ship, which makes the first page most exciting among the five books including the original. Yet, Nobes misses writing about Walton's expedition to the North Pole, so Frankenstein's story does not become a lesson to him. Contrary to Mary Shelley's text, the Oxford writer describes how Frankenstein uses the electricity of lightning to create the monster, which is obviously influenced by Hollywood movies like James Whale's 1931 *Frankenstein*. This addition may satisfy the readers' curiosity since Mrs. Shelly herself did not clear the way to give life.

The most unique adaptation of *Frankenstein* (seemingly the first 1818 edition, as Frankenstein's father takes in Elizabeth) is Macmillan Readers. Margaret Tarner is bold enough to omit Captain Walton and to let Frankenstein tell his own story directly to the readers of her adapted book. Accordingly the change leads to a completely different ending: Instead of Walton, Frankenstein himself meets and talks with the monster at the end; in striking contrast to Mrs. Shelly's original ending, it is Frankenstein who apologizes; after the monster leaves to kill himself, Frankenstein also decides to die in the cold. It cannot be denied that the Macmillan version has become a powerful story on its own, but it is doubtful that this graded reader deserves the name of Mary Shelley on its front cover.

第 10 回高校化学グランドコンテストに参加して

中島　敏*

（2015 年 11 月 26 日受理）

1. はじめに

2013 年 4 月、物質工学科 3 年の担任となった筆者に、太田学科長より「第 10 回高校化学グランドコンテスト」というものがあるのだが、クラスの学生に希望者がいれば参加してみませんかというお話があった。この年は工華祭が実施されたため、そのクラス企画も平行して進めなければいけないという条件ではあったが、クラスから小野塚洸太、狩野航輝、近藤宏、田村真和、春野颯、増田雄貴（名簿番号順）の 6 名が、有志として立候補してくれた。準備にかけることのできる時間が限られている中、放課後のあいた時間や夏休み中を利用して実験を進めた。学校および後援会からの理解と支援もあり、大阪市立大学にて行われた最終選考会（2013.11.3-4）において、ポスター発表を行うことができた。

図 1　最終選考会に臨む参加学生。
発表ポスターの前で。2013.11.03

化学部などの課外活動を通して、1 年間またはそれ以上をかけて実験を行い準備してきたチームに比べると、時間的には不利であったのだが、今回参加した学生たちは、残念ながら表彰こそ逃したものの、短い時間の中で集中し、精一杯健闘したと思う。また、3 年生という低学年で、自分の手で研究を進め、それを発表しあうことで、全国の志ある高校生、高専生たちと切磋琢磨し、同年代の将来の研究者たちと意見を交換することのできる場に連れて行くことができたのは、当時も強く感じたのはもちろんであるが、今回総括してみて、あらためて非常に有意義なことであったと考える。

このレビューでは、今後、自分たちも是非参加してみたいという後輩がでてくれることを願いながら、高校化学グランドコンテストという催しについて概観し、次いで、参加した学生たちからの反応をまとめる。また、続報にて、最終選考会において発表した実験内容を再整理し、新たな考察を加えて報告する。

2. 高校化学グランドコンテスト

2.1 概要

高校化学グランドコンテストとは、高校生および工業高等専門学校生（3 年生以下）が行っている学習研究活動を支援し、高校生自らが自主的な研究活動を楽しみながら科学的な想像力を培い、将来、科学分野で活躍できる人材の育成を念頭に置いて行っている教育支援プログラム（ウェブサイト [1] からの引用）である。

主催は、大阪市立大学、大阪府立大学、ならびに読売新聞大阪本社であるが、日本化学会、日本化学工業協会、近畿化学協会の各学会の他、大手企業が協賛している。また、文部科学省と各都道府県の教育委員会（群馬県教育委員会もふくまれる）等が後援に名を連ねている。

このコンテストの第 1 回は、2004 年に遡り、主に関西圏の高校を中心に 8 件の口頭発表と 25 件のポスター発表が行われている。その後、規模も大きくなり、参加校も全国に広がり、第 10 回の時点で教育委員会が後援に名を連ねる都道府県は、北は北海道から南は長崎まで、計 27 に上る。

更に、我々の参加した第 10 回のコンテストでは、海外から 3 高校（シンガポール 1 校、台湾 2 校）が特別招

* 物質工学科

聘され、英語で研究発表を行っている。文部科学大臣賞を受賞した発表チームは、National Taiwan Science Education Center 主催の Taiwan International Science Fair (TISF) 2014 に招待された。コンテストで優秀な成績をおさめたチームの国際会議への招待は、拡大して引き継がれており、第 11 回（2014 年 10 月実施）では TISF 2015 の他に、シンガポールで開催された 7th International Science Youth Forum 2015 (ISYF 2015) が加わった。このように、高校生、ならびに高専の低学年までの学生にとって、貴重な国際交流の機会でもある。

コンテストの日程は、その年ごとに若干異なるので運営からの発表をウェブページ等で参照する必要があるが、およそ 7 月から 9 月初頭がエントリー期間で、9 月上〜中旬あたりまでに一次審査資料を運営本部に送付することになる。そのため、エントリーするためには、夏休みの終わりごろまでに一通りの実験結果が出揃っていることが必要となる。

その後、一次審査の結果、発表の可否が決定、通知される。選考に残ったチームは、10 月下旬から 11 月上旬に行われる最終選考会にて発表を行うことができる。発表の形式には、口頭発表とポスター発表があるが、主要な賞は、口頭発表に対して与えられているようである。また、ポスター発表に対しても、ポスター賞およびシュプリンガー賞（学会誌やジャーナルを発行している出版社の名を冠した賞）等が用意されている。

また、今回我々は特に必要としなかったのであるが、事前に運営に申請することで、大学教員から研究テーマの相談と指導のサポートが受けられる仕組みもある。

2.2 参加校の分布、研究発表のテーマ

第 10 回のグランドコンテストでは、海外からの招聘校 3 校の他、口頭発表 10 件、ポスター発表 56 件であった。同じ学校から複数件の発表を行っている場合もあり、46 校からの参加であった。そのうち高専からの参加は 5 校（口頭発表 2 件、ポスター発表 4 件）であった。

今回、我々はクラス有志として参加したが、最も多かったのは、やはり化学部などが参加母体となっているケースであった。また、自然科学分野の探究授業の一環としてチームに分かれて研究テーマを決めて実験を行い、その成果発表を行っている学校もあった。[2)]

実際に参加して他校の発表を聴講して感じたことであるが、化学の名を冠するコンテストではあるものの、研究発表のテーマは狭義の化学にとらわれず、広く理科の自由研究という言葉で括られるような範囲（物理、生物、地学、環境などの多分野までにわたり、基礎的なことから応用的なことまで）、および、卒業研究などで行われてもおかしくないような専門的な研究テーマまでの中から自由に選ばれており、まさに運営が掲げる理念である「高校生自らが自主的な研究活動を楽しみながら科学的な想像力を培う」に相応しいものであった。

2.3 参加のためのスケジュールの概要

冒頭に述べたとおり、今回は、3 年生に進級して 4 月になってから、クラスから参加者を募った。担任としての記録を見ると、はじめにクラスに呼びかけを行ったのが 4 月 24 日の HR の時間であった。有志が参加を決めたあと、翌週の 5 月 1 日の HR 後に有志を集め、実験テーマの決定を目指し、何を調べたいのか、どのような実験をして発表を行いたいのか、情報収集をはじめさせた。その後途中に中間試験を挟み、数回にわけて話し合いを行い、アイディアを出し合い、研究テーマの検討を行った。テーマの設定をゼロから自分たちの手で行ったためであるが、最終的にテーマが決定して予備実験を始めることができたのが、7 月下旬、夏休み直前となってしまった。有志学生は、夏休み前の放課後のみならず、夏休み期間にも登校し、実験を重ね、なんとか資料をまとめ、9 月 10 日のエントリーに間に合わせることができた。

3 参加した学生の反応

高校化学グランドコンテストへの参加がもつ教育的な効果を検証するため、3 年生でコンテストに参加した学生に、現在 5 年生となり、今後の進路を決め、卒業研究を進めている立場からアンケート調査に答えてもらったので、その回答をここにまとめておく。

3.1 アンケートの対象と実施時期

アンケートは、コンテストに参加した 6 名全員に、無記名で記入してもらった。実施時期は、卒業研究で自分の研究が見えてきており、進路も決まってくる頃を狙い、前期期末試験の終了を待ち、2015 年 9 月とした。

3.2 設問

以下の内容でアンケートを実施した。一部の設問を除き、複数回答可の自由記述式とした。

- 参加の動機
- テーマ決定、実験、発表準備、発表への貢献度
- 実験内容や結果を今でも覚えているか
- 時間と機会があれば、当時の研究を続けてみたいか
- 進路選択や研究分野の決定などに影響があったか
- 編入試験、就職試験などの面接でアピール材料として使用したか
- 参加したことが自分のためになったか
- 当時、苦労したこと
- 学校側の体制への改善要望
- 後輩へのアドバイス
- その他

3.3 回答

回答者と回答内容の対応付けができてしまうことを避け、また、文法等の修正のため、一部については、論旨の変わらない範囲で、学生からの回答の表現を改変して掲載していることをお断りする。また、回答内容の記述順に関しても、順不同とした。

（参加の動機）
- 研究活動（自主的な実験）を体験してみたかった。
- せっかく高専に入ったのだから、卒業研究の他に、早い段階で研究っぽいことをしてみたかったから。
- 5年生の卒業研究の前に自主的に実験計画をたてて実験を行い、発表活動をしてみたかった。
- 高専生活にも慣れ、なにか新しいことにチャレンジしてみたかったから。
- カリキュラムで与えられた実験を言われたとおりに行うだけでは物足りなかった。もっと自分たちで考えたテーマで、答えのない実験をしてみたかった。
- 高専入学からグランドコンテストまでの間に、どれだけの専門的技術力が上がったのかを試してみたかった。中学の夏休みの自由研究とは違う、もっと本格的な研究ができるはずだと思った。
- 友人の誘いを受けて、興味をもった。
- 友人に誘われたから。夏休みには他の予定がなかったので、その友人が一緒ならと思って参加しました。
- 友人に誘われて興味をもち、面白そうだと思った。また、自分のためになるだろうと思ったから。

（貢献度）
それぞれ次の3つの選択肢より最も近いものを選択。
A. 他人まかせだったと思う。
B. ある程度貢献できたと思う。
C. 自分の考えも述べながら積極的に貢献できた。
- 実験テーマの決定（A = 0, B = 1, C = 5）
- 実験の遂行（A = 0, B = 1, C = 5）
- 発表準備（A = 2, B = 1, C = 3）
- コンテスト発表(※)（A = 2, B = 4, C = 0）

※ 発表当日の予定により、1名は欠席した。

（実験内容や結果を覚えているか）
3つの選択肢より最も近いものを選択。
A．テーマは覚えているが、内容は覚えていない。
B．およそのところは覚えており、少々の予習をすれば、もう一度研究内容の説明ができる。
C．当時のポスターがあれば、今でも自信をもって実験の内容や結果を説明できる。
（A = 0, B = 5, C =1）

（時間と機会があれば、当時の研究を続けたいか）
Yes.（2）
どちらかというとYes.（2）
どちらかというとNo.（2）
No.（0）

Yes、または、どちらかというとYes の理由
- 1年の学生実験でおこなったアルギン酸ナトリウムの人工カプセルで感動したので、今回の実験で行ったような細い繊維としての利用よりも、もっと別の形状、もっと太いものを作ったほうが利用価値があると思う。予備実験的にやってみたが、全体の流れの中で、最終的に発表する内容に盛り込めなかったので、もういちど試してみたい。
- 色々な人の意見を聞くこと、発想を知ることに面白みを感じた。今回の参加メンバーは特に知的好奇心があり、それぞれ意見を言い合うことができて面白かった。
- はじめに期待したような結果がでなかったので、実験方法や評価法をもっと改善したい。4・5年で学んだ内容、分析方法等がもっと活かせると思う。
- 当時は、まだ知識や経験が浅く、実験方法や評価方法の検討が足りなかったことに加え、実験時間も少なかった。もう少し時間をかければ繊維の作製条件と構造のコントロールの関係を解明できると思う。

どちらかというとNoの理由
- 当時の研究は、繊維の評価法などに改善の余地があることや、データのばらつきが大きかったことから、それを改善するような研究をやってみたいと思う反面、時間がかかるなどの点から、もし時間と機会があるなら、同じメンバーで、今度は別の内容の研究をしてみたい。
- 私は、当時行った研究について今考えると、メンバーにも恵まれていたし、時間も十分にあったと思いますが、研究テーマにだけは心残りがあります。当時は、研究の進め方やノウハウがわからなかった部分もあったと思いますが、最初に選んだテーマによって研究の広がりが少なかったように感じました。私は、もし時間と機会があれば、同じメンバーでテーマ選択からやり直したいと思います。

（進路や研究分野の選択に影響があったか）
- 分野は違うが、将来研究者になりたいという気持ちが強くなった。
- 実験系の仕事につきたいと思った。
- 夜遅くまでかかることもあり大変だったが、楽しかった。将来研究に携わりたいと考えるようになった。

- 他の学校（からの参加グループ）が、1年間、2年間といった長いスパンで研究に取り組んで、しっかりと理論立った結果を出しているのを見て、小手先だけでは通用しないのだと実感し、自分も長く1つのテーマに携わってみたいと感じたことが、専攻科への進学の理由の一つとなった。

（面接等でアピール材料として使用したか）
- ふんだんに使いました。面接官は、その内容について深くつっこんできました。
- 使いました。面接官からは自分から参加したのかと問われ、自分からと答えました。積極性をアピールできて、良い印象を与えられたと思います。
- 面接で自己アピールについて聞かれたら使うつもりでいたのですが、聞かれませんでした。
- 使いました。自分は、他にもサイエンスキャンプや語学研修などにも参加しているので、沢山参加した中のひとつとして積極性をアピールするのに使いました。そのためか、面接官から詳しくは聞かれませんでした。
- とくに使っていません。
- 無回答

（自分のためになったと思うか。）
- 早い段階から「研究」というものを知り、取り組むことができたのは、強い刺激になりました。
- 一番自分にとってためになったのは、「チームとして」取り組んだことです。1人で自分の考えのみで進めることはできないという状況の中で、意見を言い合い、合わせることの大変さがわかり、とてもよい経験になりました。
- ためになりました。答えのないテーマの研究は、思った以上に難しいことを知ることができました。しかし、新しい発見をできた喜びは、学生実験より、はるかに大きかった。
- データのまとめ方について学べてよかった。
- もともと仲良しグループではない人ともコミュニケーションができたのでよかった。
- 3年生という他の学生よりも早く、自ら考え、実験することを体験することは、とてもためになったと思う。そのため、5年生の卒業研究にも、スムーズに取りかかることができた。また、一度体験しているので、（卒業研究の中間発表や学会での）ポスター発表のイメージも掴みやすかった。
- 高専という枠を超えて、高校生とも交流し、刺激を受けられたことが良かった。部活動を通しての交流とは別に、学習、研究という面から他高専の学生と交流でき、進学率、校則、制服など、学校の様子も聞くことができました。関西地方や九州などの遠隔地の人とも交流できたのがよかったです。
- ポスター発表や口頭発表（を聞くこと）を体験できたのがよかったです。口頭発表では、質疑応答の時間に、質問をすることができました。
- 研究というものがどういうものなのか、そのスタート地点を知ることができ、とてもよい経験になった。また、未知のことに取り組み、結果を考察する訓練にもなった。ポスター製作も、わかりやすく実験結果を伝えるにはどうすればよいか、構成や説明を考えるのが難しく、よい経験になった。
- 公式の場で自分の研究した結果を発表したことは、緊張したが、自信になった。また、他の学校の発表を聞き、色々な発想があることを知り、視野が広がった。
- ためになったと思う。研究の難しさを知った。
- 全国の高校生、高専生の意識の高さを知ることができた。
- コンテストに取り組んでからは、私は「こうすればよかった」「こうしておけばもう少し良くなったかもしれない」と悔やむばかりでした。しかし、それは、「次はこうしよう」ということに繋げることができるので、結果的に自分のためになったと思います。また、自分の取り組んできたことについて纏めたり、人前で発表したりするのは、ほとんど初めてで、データや結果の纏め方や、ポスターの作り方など、学んだことも多く、良い経験になりました。
- コンテストに参加して、記念のボールペンがもらえたのが嬉しかった。また、他人の発表や先生の講義が聞けてよかった。あと、自分は発表がとっても下手だということを痛感した。

（苦労したこと）
- テーマ決定が難航したこと。
- テーマ選びに苦労した。短時間ででき、かつ興味深い結果が得られるようなものを考えていたが、なかなか具体的に決まらなかった。もう少し早い段階で決められていれば、実験時間が長くとれてよかったかもしれない。
- 意見の衝突があったとき、自分は口を出せなかった。
- 実験方法、評価法を手さぐりで考えたこと。
- 実験結果にばらつきが大きく、悩みました。
- 繊維の耐加重テストのための装置を、プラスチックの部品を用いて自作したのだが、これを用いた結果が、同じ試料に対してでも人によってばらつきが大きく、安定しなかったこと。
- 知識がなかったので、今ならできるだろうこともできなかった。機器分析など。

- 強度測定（耐加重テスト）の実験で、おもりを用いたが、手でつけたため実験者によって結果が変わってしまい、ばらつきが大きかった。機械を用いる他の方法を考えるなど、工夫すればよかった。
- 繊維の強度の評価法を、自分たちで考え出したこと。試行錯誤して、最終的には、クリップを使って、その重量を測定した。
- 作製した繊維の乾燥に予定より時間がかかったので、遅くまでかかってしまったこと。
- 夜遅くまでかかり、休日も準備が大変だった。
- 作製した繊維がすぐに切れてしまい、改善案を考えるのに苦労しました。
- 実験では、アルギン酸ナトリウムの溶液を射出するのに、手が痛くなりました。
- 発表練習の時間が取れず、当日も緊張しており、余裕を持てなかった。
- 工華祭や部活など、他の事と平行して取り組んでいたのは大変だったかもしれませんが、今考えると、もっと努力すべきだったかなと思うこともあります。メンバーも6人と、十分な人数であり、一人一人が「コンテストに参加する」という意気込みを持ち、また、高い能力を持っていたように思われ、皆でフォローし合えたので乗り越えることができたと思います。

（学校側の体制に改善を期待する点）

- 本来、グラコンは学生が自らテーマを決め、実験も発表ポスターの作成も、学生が主として行うべきものだが、実際には、他高校や高専の参加者は、学校の先生にテーマをもらっているとしか思えないものも多かった。本来の目的からは外れてしまうかもしれないが、もしコンテストで良い成績を残すことを重視するのであれば、学校の先生からの協力があった方が有利だと思います。
- 学内でいちど中間発表を行い、いろいろな先生方からの指摘をいただいておけば良かったと思う。
- グランドコンテストは1年生から参加できるので、1年生の頃からもう少し大々的に参加を募ってもよいと思う。
- ミニ化学部のような感じで指導をつけて行ったり、毎週○曜に活動するようにしてもよいと思う。
- 毎年なるべく参加者を募り、1～3年生で代々引き継いで参加としてもよいと思う。
- 3年生はやる気はあるが、とにかく知識がなく、テーマきめと実験の方法で苦労したので、手助けができる5年生の紹介をしたらどうか。5年生の前期の物質工学演習で、エンジニアリングデザインの授業があるので、その授業と協力し合えると思う。そこから更に化学部のような形に発展していけば、なお良いと思う。
- 特にはありませんが、3年生の春、つまり2年生までの知識しかない段階では力不足な場面が多いので、できる限り積極的にサポートして欲しいです。

（後輩へのアドバイス）

- 卒研は個人で進められるが、実際の研究者になったら、チームで行うことが多いようであり、それが体験できます。僕は、自分の協調性がないことに気づくことができ、良かったと思う。このように、自分にとっての新しい視点が得られるかもしれない。だからやるに越したことはないと思う。まずは挑戦！
- 調べたいテーマがある学生は、学校の設備を堂々と使って実験できる、先生のアドバイスももらえる、複数人で行える、等のメリットがあるので、参加すべき。あと、人前での発表を経験してみたい人も。
- テーマを決めるところが一番大切であると思う。大変ではあるが、得るものも大きいと思うので、チャレンジしてほしい。
- テーマ選びがとても重要、できれば色々な方面に枝を伸ばせるテーマにするべきだが、それを実験前に考えるのはなかなか難しい。
- 実験に対し、どのような方法で評価するのか、その実験で何が知りたいのかをしっかり決めてから実験する。ただ何となくやってみた、は良くない。
- チーム内での意見交換、情報共有を必ず行う。できれば、毎回の実験ごとに。
- テーマ決めが重要であるということ。自分たちのコンテストでの目標、目的（楽しく研究する、賞を狙う、など）を定めてからテーマを決めると良いと思う。
- サポートしてくれる人を見つける。
- とりあえずやってみると、色々勉強になるし、楽しいと思う。
- 夏休みの予定がないのであれば、人数を集めて是非参加してほしいです。また頑張って表彰されてほしいです。

（その他）

- 休日や夜おそくまで学校にいることに抵抗がなくなりました。SSS *の手伝いや、高専シンポジウムでの発表などとあわせて、自分にとって高専生活の中でも最も大切な思い出です。
- 時間をとるのが大変だけど、参加すれば絶対に良い経験ができる。実験が好きな人は絶対参加するべき。
- 仲間と一緒に協力して実験したり、発表しに行くのは本当に楽しかった。

* SSS ： スマート・サイエンス・スクール http://www.chem.gunma-ct.ac.jp/sss.html

- 工華祭と重なってしまったのは、残念。
- 実は、先日、クラス内でグループに分かれ、各グループで研究テーマを決めて進めるという機会がありましたが、研究テーマを決める際、多くのアイディアが出ました。3年生の当時は、研究テーマをなかなか決めることができませんでした。これは、3年生の段階では知識が足りなかったということもありますが、今思えば、もっと考える余地もあったんじゃないかと思いました。

3.4 分析と総括

参加動機を見ると、本校の学生は、機会さえあれば、積極的な研究活動にチャレンジしてみたいという気概を持っていることが読み取れる。また、貢献度の項を見る限り、実験テーマの決定、実験の遂行にあたり、ほぼ全員が自分の考えを述べながら、積極的に参加してくれたことがわかる。

もういちど同じ研究の続きをやり直してみたいかという問いに対して、どちらかというとNoと答えた学生が2人いたものの、その理由を読んでみると、研究そのものの面白さはわかってくれており、その上で新しいものに挑戦してみたいという積極的な理由からのNoであったのは、非常に嬉しいことであった。

3年という段階での研究体験が、彼らの進路選択や、その後の意識に良い結果を与えたのは、上のアンケートの回答を読んでいただくだけで一目瞭然だろうと思う。

特に、ほとんど全員が共通して述べているのは、実験のテーマを選びとることの難しさを痛感し、色々と考えたことが後ほど彼ら自身にとって何がしかの役にたったということである。実は、非常に短い期間の中で、発表できるだけの形を作らなければいけないということもあり、教員とすると、天下り的にこうしなさいと言ってしまいたくなる場面もあったが、なるべく学生からの意見を尊重したつもりである。とはいえ限られた時間の中でゴールめいたものにつながるように誘導を行った部分もある。これが学生から見ると、自由度が制限されてしまったと感じた原因になっているようでもあるのは、指導側の反省点である。

参加した学生たちも、放課後や夏休みの自由時間が制約されるなど、当時、しんどい思いもしたことだろうが、彼らがこの催しに参加したことは、今後の彼らの将来にとって非常に有益であったことと信じている。

アンケートの結果を見て欲しい。設問も若干多かったとは言え、6人からの自由記述としてこれだけの量の回答があった。自分たちの経験したことを、後輩たちにも機会さえあれば是非体験して欲しいという熱望のあらわれであろうと推察されるところである。

4. 謝辞

幸いなことに、3年生当時、呼びかけに応えて高校化学グランドコンテストにむけて研究を行う学生が6名も居た。もし手を挙げてくれる学生が1人か2人しか居なかったら、最後まで辿り着くことができなかったかもしれない。コンテストの最終選考会には、都合により1名は欠席したが、6名全員で、直前まで研究結果をまとめ上げた。この6名の健闘を大きく称えたいと思う。

また、コンテストへの参加を提案してくださった物質工学科学科長の太田先生、顕微鏡写真の撮影でご協力をいただいた藤重先生をはじめ、研究上の相談にのっていただいた諸先生方、コンテスト日程が工華祭と重なる中、最終選考会のために抜け出すことを快く応援してくれたクラスメートの皆様、副担任の長井先生、そして、学生旅費の一部を補助していただいた後援会をはじめ、多くの方々にご支援いただいたことにも、深く感謝したい。

5. 参照先　（検索日 2015.11.25）

1）第10回高校化学グランドコンテスト
http://www.gracon.jp/gracon2013/wordpress/
2）常翔学園高等学校 ： What's New「第10回高校化学グランドコンテストでポスター発表をしました」
http://www.highs.josho.ac.jp/high/news/2013/004254.html

Participation in the 10th Grand Contest on Chemistry for High School Students.

Satoshi NAKAJIMA

Six students in the twelfth grade had made an research and attended at the “10th Grand Contest on Chemistry for High School Students”, held on November, 2013, and gave a poster presentation.　This review shows the outline of the contest first, and then, presents the results of questionnaire surveying the educational effect on participation in the contest.

From the results of the survey, it is manifested that the students had decided the theme of the research and had executed experiments with great enthusiasm.　It is manifested also that the research they had made for the participation in the contest was the good chance for them to experience and feel the difficulty by their own body, and roused their deep curiosity.

アルギン酸カルシウム繊維の調製と物性評価

中島　敏*・小野塚　洸太*・狩野　航輝*・
近藤　宏*・田村　真和*・春野　颯*・増田　雄貴*

（2015 年 11 月 26 日受理）

1. はじめに

このレビューは、2013 年に物質工学科３年（当時）の学生有志６名（小野塚洸太、狩野航輝、近藤宏、田村真和、春野颯、増田雄貴（名簿番号順））が実験テーマについてアイディアを出し合い、情報を収集し、実験し、第 10 回高校化学グランドコンテストの最終選考会において発表した内容を、このたび整理しなおし、新たな考察を加えたものである。

2. 背景

物質工学科の学生実験のテーマの一つに、アルギン酸カルシウムのゲルからなる人工カプセルを作成するものがある。[1] これは、塩化カルシウム水溶液中に滴下されたアルギン酸ナトリウムの粘性の高い液滴が、その表面でイオン交換することにより、多糖類であるアルギン酸の長い鎖状の構造が２価のカルシウムイオンによって架橋され、ゲル化する現象を利用している。

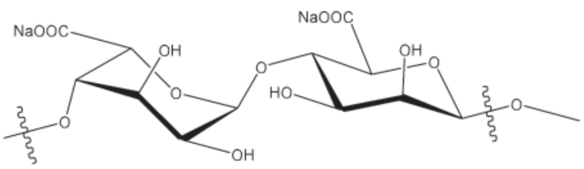


図１　アルギン酸ナトリウムの構造
（左が L−グルロン酸 Na，右がマンヌロン酸 Na）

アルギン酸は、昆布などの褐藻に含まれる、いわゆるぬめり成分で、カルボキシ基をもつ２種類の単糖（ß-D-マンヌロン酸と、その C-5 エピマーである α-L-グルロン酸）が 1-4 結合した直線状のポリマーである。この２つのウロン酸の量比や配列の仕方は、海藻の種類や部位、さらには生育場所や季節変動などの影響を受ける。カルボキシ基が酸型（-CO_2H）となった構造のままでは水に不溶であるが、これをアルカリで中和し、ナトリウム塩にすると水溶性となる。塩化カルシウム溶液によるイオン交換で生じるカルシウム塩は水に不溶である。[2]

工業分野では、染料に粘性を与える糊料として利用されたり、紙の表面処理に用いられたりする。また、魚の餌をペレット状に成形したり、栽培用培土を固めて加工するためのバインダーとして用いられる。また、医療分野でも、アルギン酸の繊維状ゲルが手術糸として利用されたり、アルギン酸塩が創傷被覆材に用いられたりする。

さらに、アルギン酸のナトリウム塩、カルシウム塩、カリウム塩、アンモニウム塩は、食品衛生法に基づき食品添加物として指定されており、増粘剤、安定剤、ゲル化剤として利用されている。人工イクラや人工フカヒレの成型用に用いられたり、海藻麺などの名称でノンカロリー食材として売られたりしている。このように、安全かつ広範囲に利用される物質である。

今回、原料が安価かつ安全であり、すでに広い分野に応用されていることから、アルギン酸カルシウムのもつ可能性に着目し、汎用的な方法で繊維状に加工する条件を検討し、出来上がった繊維の形状の観察と強度の評価を行うことを目的とした。

3. 実験方法

典型的には、適宜調製したアルギン酸ナトリウム水溶液を、先端のフラットな針（孔の直径 0.60 mm；顕微鏡による拡大写真から実測した値）をつけた注射筒を用いて塩化カルシウム水溶液の中に絞り出すことにより、カルシウム塩のゲルを得て、これを乾燥させることにより繊維とした。この時、以下に示す条件検討を行った。

3.1 乾燥の方法

1.0 ％アルギン酸ナトリウム水溶液を調製し、7.0 ％塩化カルシウム溶液内に射出して作製したアルギン酸カルシウムゲルを、水でゆすいでから次の４つの方法で乾燥させ、得られた繊維について、顕微鏡による形状の比較を行った。

1）実験用ウエスペーパー(大王製紙、プロワイプ)で繊維をはさんで手で軽く押さえて水分を吸い取り、そのまま室温で一昼夜放置し、自然乾燥させた。
2）ガラス棒に巻き取り、そのまま室温で一昼夜放置し、自然乾燥させた。
3）洗濯ばさみで上端を固定し、室内の風のないところに吊るして風乾した。
4）洗濯ばさみで上端を固定し、繊維の下端におもりと

＊ 物質工学科

して、洗濯ばさみ（約 5 g）をつけて、室内の風のないところに吊るして風乾した。ただし、アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度 1.0 % では、風乾時に伸びてしまったり、ちぎれてしまったりしたため、アルギン酸ナトリウムの溶液濃度を 4.0 % で調製した繊維で、他の乾燥方法との比較を行った。

3. 2 アルギン酸ナトリウム溶液の濃度

1.0，2.0，3.0，4.0，5.0，6.0，7.0，8.0，9.0，10 %アルギン酸ナトリウム溶液を、7.0 %塩化カルシウム溶液中に射出した。条件をそろえるため、3 分後にゲルを取り出し、水道水を入れたビーカー中でゆすぎ、乾燥させた。乾燥時には、下端におもりとして、約 5 g の洗濯ばさみをつけた。各濃度ごとに 3 回ずつ独立に繊維を調製し、荷重テストを行った。

3. 3 尿素の添加

尿素を添加したアルギン酸ナトリウムの水溶液を調製した。アルギン酸ナトリウムの濃度 6.0 %、尿素濃度 0，0.5，1.0，2.0，2.5，3.0，3.5，4.0，5.0，6.0，10 % とした。これらを用い、3.2 で示したのと同じ条件で、繊維を調製し、荷重テストを行った。

3. 4 繊維の着色

アルギン酸ナトリウムの 6.0 %溶液に着色剤を適量加えた。加えた基準は、目視によりはっきりとした着色が認められる程度とした。3.2 で示したのと同じ条件で繊維を調製し、観察を行った。また、荷重テストと水への浸漬実験を行った。着色剤には、ターナー色彩株式会社のポスターカラー(カーマイン) [3] 、大創産業株式会社の水彩絵の具（青色）、ZEBRA 株式会社の蛍光ペン（SPARKY-2、蛍光ピンク）[4] のインクを用いた。

【繊維の太さの評価】 繊維の形状を観察したところ、乾燥方法等の条件によっては、一様の太さをもつわけではないことが確認された。また、条件により断面が円形ではない繊維も調製できることを示した。そのため、顕微鏡観察で得られた画像における繊維の幅を太さとして測定する方法は適切ではないと考えた。そこで、同じ組成をもつ繊維同士であれば、単位長さあたり重量が繊維断面積（円形を仮定する場合には、平均径の 2 乗）に比例するはずであるから、繊維の長さと重量を計測し、これをもとに、1000 m あたりのグラム数 [単位 tex] [5] として算出した値を太さの指標とすることにした。

まず、乾燥した繊維を 20 センチ程度の長さに切り分け、それぞれの重さと長さを電子天秤と定規を用いて計測した。電子天秤は小数点以下第 5 位（0.01 mg）まで表示されるものを、定規は最小目盛が 1 mm のものを用いた。

【荷重テスト】 ネジによって固定できる、縁を丸めた 2 枚のプラスチックの平板（自作）を固定具として用い、切り出した繊維（約 20 cm）の上下を、挟むようにして固定した。一方の固定具をスタンドにつるし、もう一方は繊維を下に垂らした後、その固定具にクリップ（株式会社日本クリノス、狭口 19 mm ダブルクリップ）を付け、荷重とした。新たな荷重を追加してから 10 秒以内に繊維が切れることをエンドポイントとし、繊維が切れるまで、荷重の追加を行った。荷重を追加する際には、余分な加速度を生じないよう、なるべくそっと追加するよう気をつけた。繊維が切れる直前のクリップの重さ（下方固定具の重さをふくむ）を電子天秤で測定し、繊維が 10 秒以上耐えることのできた最大耐荷重とし、これに重力加速度（9.8 m/s^2）を乗じて力の単位（N）に換算したものを評価の指標とした。また、クリップでは荷重量が不足する場合は、空のペットボトルをつるし、その中に水を加えていく方法をとった。

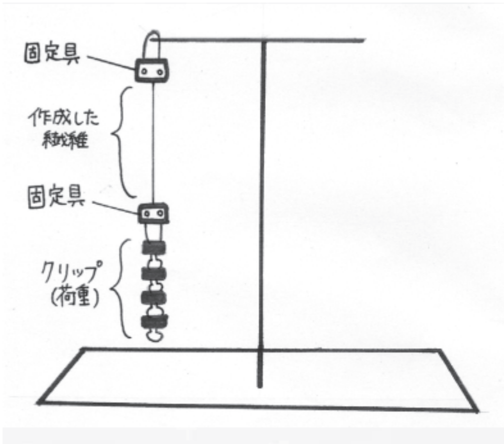


図 2　自作した荷重テストのための器具

4. 実験結果と考察

4. 1 乾燥の方法による繊維形状の比較

それぞれの方法で乾燥させた繊維の形状を比較した。顕微鏡写真を、図 3 から図 6 に示す。ただし、写真中のスケールは、いずれも 500 μm である。

1) ウエスペーパーではさんで水分をとってから自然乾燥させた繊維は、全体的に不規則に丸まっていた。これは、乾燥時にゲルを置いたときの形状を反映しているが、はじめより縮んだように見えた。繊維を顕微鏡で観察したところ、シリンジの針の孔の直径が 0.60 mm であったのに対し、繊維の太さは一定ではなく、およそ 0.15 から 0.5 mm の範囲で、かなりばらついており、特徴的な構造として、図 3 の顕微鏡写真に示すように、竹の節のようになっている部分が見られた。ただしこの節の位置は、等間隔というわけではなかった。

この節のような構造は、樹脂などの素材を小さい孔から射出したり、引き伸ばしたりしただけでは作成することの困難な構造である。まだ条件検討は十分ではないが、比表面積の大きく、かつ、滑りにくい繊維としての応用が期待できると考えられる。

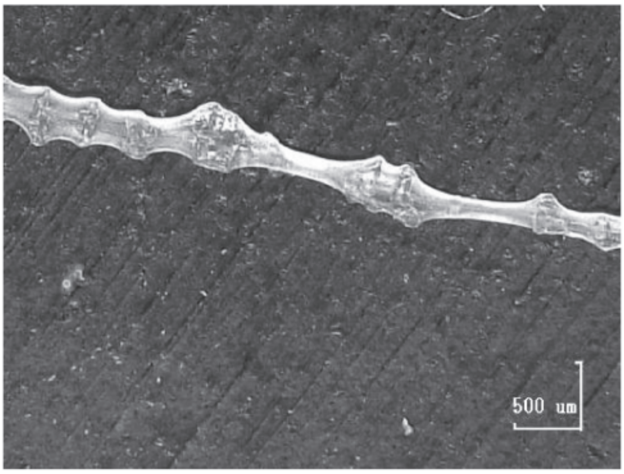


図３ 乾燥方法 1）で得た繊維の顕微鏡写真

この構造は、次のように出来上がったと考えられる。すなわち、塩化カルシウム溶液から引き上げて水でゆすいだゲルを自然乾燥させる際、まず、ゲルの表面全体から一様に乾燥が進んだと考えられる。その後に、内部から水が失われて体積が収縮する際には、繊維が水平に置かれていたため、繊維の縦方向に重力による引っ張り力が加わっておらず、ウエスペーパーのように起伏のある表面上にあったため、床面からの摩擦を受けることなく繊維の長さ方向にも収縮することができた。このことにより、はじめに乾燥の進んだ表面部分が、軸方向に圧縮されて節状の起伏を生じたと考えられる。図３の写真にも見られるように、節のような構造の間隔が長い部分では繊維が細くなっている。この部分では、表面に節状の起伏を生じながら長さ方向に収縮する代わりに、動径方向のみに縮んだ結果であると考えると、節の構造が生じる機構とも矛盾なく説明できる。

上に述べたような機構を仮定すると、アルギン酸ナトリウムの濃度、および、はじめに調製する未乾燥のゲル状繊維の太さ、乾燥させる速度、繊維をおくウエスペーパーの表面の構造などが、節状の構造の出来方に影響があると考えられるので、さらなる条件検討が必要である。

2）ガラス棒に巻きつけて乾燥させた繊維は、ガラス棒から外した後も、乾燥時の螺旋の形状を保っていた。また、顕微鏡で観察したところ、繊維断面が円ではなく、図４のようにテープ状をとることがわかった。

これは、乾燥時に体積が収縮する際、ガラス棒にまきつけられていたため、長さ方向ではほとんど縮むことができず、ガラス棒の中心に向かって押し付けられるように繊維断面の動径の一方向に縮んだだめであると考えられる。得られたテープの幅は、顕微鏡写真より、およそ 0.3 から 0.4 mm であった。

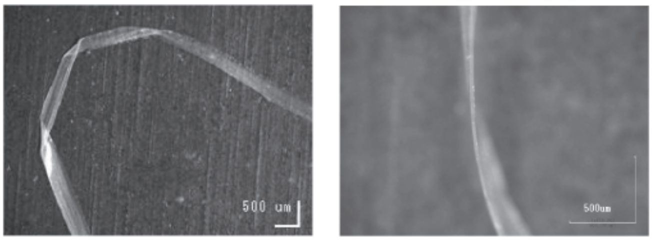


図４ 乾燥方法 2）で得た繊維の顕微鏡写真

3), 4）洗濯ばさみで上端を固定し、自重でつるして乾燥させたもの、および、下端におもりをつけてつるしたものは、断面が円形で、ほぼ太さがそろった繊維を与えた。おもりのない場合には、全体的に見ると、カールしたり縮れたりしているようであったが、下端におもりをつけることで真っ直ぐな繊維とすることができた。

顕微鏡写真を図５、および図６に示す。ただし、アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が 1.0 %であった場合、塩化カルシウム溶液から引き上げ、水ですすいだ未乾燥のゲルの下端に約５gの洗濯ばさみをつるした時点で切れてしまったので、図６の顕微鏡写真はアルギン酸ナトリウム溶液の濃度が ４ ％ の条件で調製したものである。

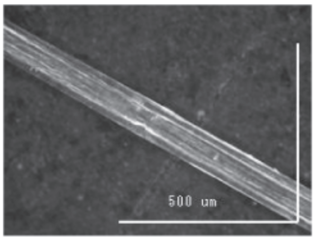


図５ 乾燥方法 3）

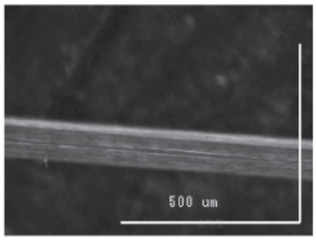


図６ 乾燥方法 4）

得られた繊維の太さは、自重のみでつるした場合でも約 0.1 mm であり、ウェスペーパー上で乾燥させたものの最も細い部分よりもさらに細かった。アルギン酸ナトリウム４%から調製したものも、未乾燥のゲルの下端におもりをつけてつるすことで引っ張られたことにより伸びが見られ、ほぼ同じ約 0.1 mm の太さが得られた。

いずれの繊維も、顕微鏡写真では繊維表面に繊維方向にのびた細かい溝のような構造が見られている。これは、シリンジからの射出時についたものである可能性もあるが、表面部分が乾燥した後に、内部から水を失って収縮する際に、表面に生じたしわである可能性が高い。

4. 2 アルギン酸ナトリウム溶液の濃度の影響

図７に、異なるアルギン酸ナトリウム濃度ごとに調製

した繊維の太さを示した。やや相関は見られるものの、アルギン酸ナトリウム溶液 1.0 % の 3 点を除いてしまうと、ばらつきが大きく、アルギン酸ナトリウム溶液濃度と繊維太さの間には、ほとんど相関が無いように見える。そのため、図 8 に、この 30 試料の太さの分布をヒストグラムで示した。太さの分布は、区分 10 ~ 12 tex を中心とした山の形になっており、正規分布曲線に近い形となった。30 試料の単純平均は、12.6 tex であり、その標本標準偏差は 3.1 tex であった。

このような分布となったのは、アルギン酸ナトリウム溶液の濃度は、繊維の太さに対しての主要因とはなっていないことを示していると考えられる。すなわち、試料調製にあたっては、アルギン酸ナトリウム溶液を塩化カルシウム水溶液中に射出する際、同じ針をつけたシリンジを用いたため、アルギン酸ナトリウムの溶液濃度によらず、ばらつきの範囲内でほぼ同じ値になっているものと解釈できる。また、アルギン酸ナトリウムの濃度が 1.0 % の試料では、乾燥時につるしたおもりが相対的に重かったため、乾燥中に伸びてしまい繊維が細くなったと考えられる。その他の濃度では、試料作成時、シリンジを手で押しながら射出しているため、その速度などの条件が一定になっていなかったことが、繊維の太さにばらつきを与えた可能性がある。

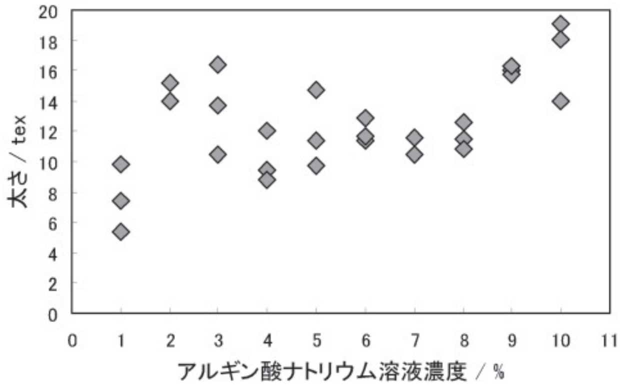


図７　繊維調製に用いたアルギン酸ナトリウム溶液の濃度ごとの繊維の太さの分布

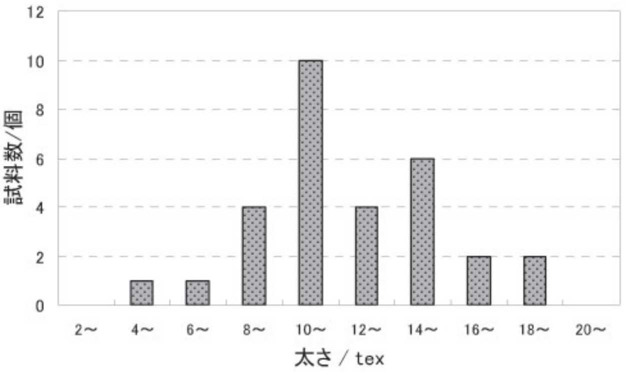


図８　調製した繊維の太さの分布

次に、繊維の強度について調べた。まず、図 9 に繊維の耐久荷重を、その繊維の太さに対してプロットした図を示す。縦軸の耐久荷重は、実験方法に示した繊維の切れる直前の荷重重量に、重力加速度をかけて力の単位にしたもので表している。最も細い２点および最も太い２点の試料を除けば、繊維の太さと耐久荷重の間には、ほとんど相関が見られなかった。

図１０には繊維調製に用いたアルギン酸ナトリウム溶液の濃度と耐久荷重の関係を示した。比較的良い相関を示しており、耐久荷重の大きな繊維を調製するためには、濃度の高いアルギン酸ナトリウムを用いる方がよいことがわかる。

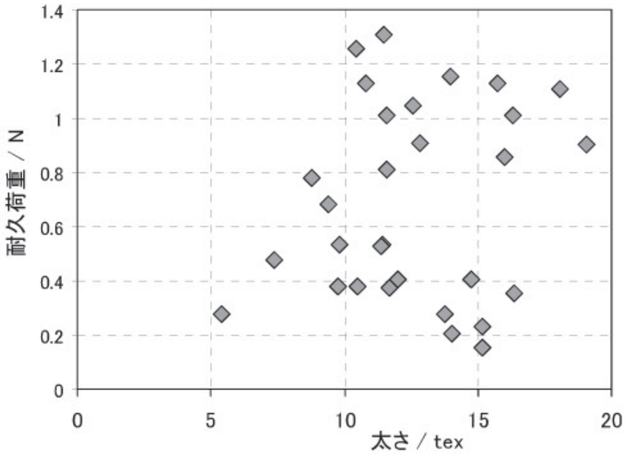


図９　調製した繊維の太さと耐久荷重の関係

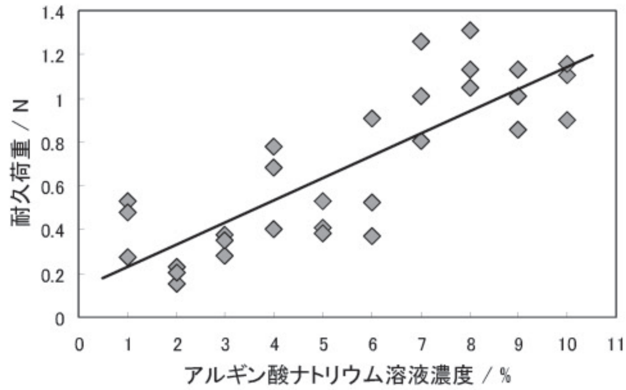


図１０　繊維調製に用いたアルギン酸ナトリウム溶液の濃度と耐久荷重の関係

4.3 尿素の添加

図１１、および、図１２に、濃度を変えて尿素を加えたときの繊維の太さを示した。尿素濃度 5.0 % のときの値を除くと、すべて、尿素を添加していないときの繊維の太さの典型値である 12.6 ± 3.1 tex を上限とし、4 〜 16 tex の範囲におさまっていた。しかしながら、図 8 と比較してわかるように、正規分布のようにはなっておらず、4 ~ 8 tex の区分の細い繊維が増えている。

このことは、射出により得られた未乾燥の繊維状ゲルを風乾する際、下端に付けたおもりによって顕著に引き伸ばされてしまっていたことと対応していると考えられる。このような乾燥時の顕著な伸びは、尿素を添加したときに特徴的に見られた現象である。

また、数値的な評価はできていないが、尿素を加えないで調製した繊維は、乾燥後に強い曲げの力を加えた時に折れてしまうことがあったのに対し、尿素を加えた繊維は折れにくくなっており、しなやかさが増したように感じられた。

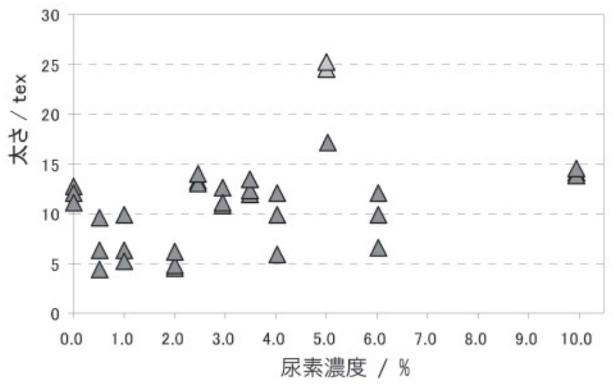


図１１　尿素濃度ごとの繊維の太さの分布

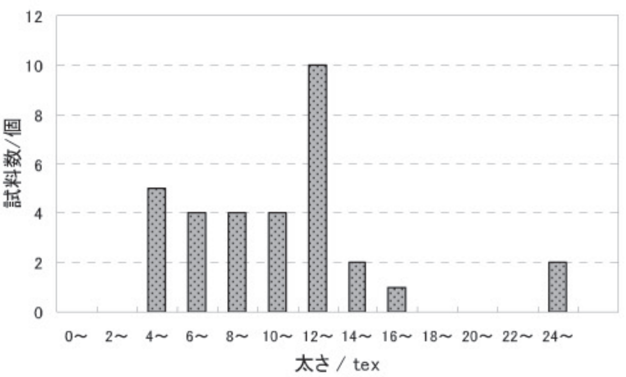


図１２　尿素添加による繊維の太さの分布

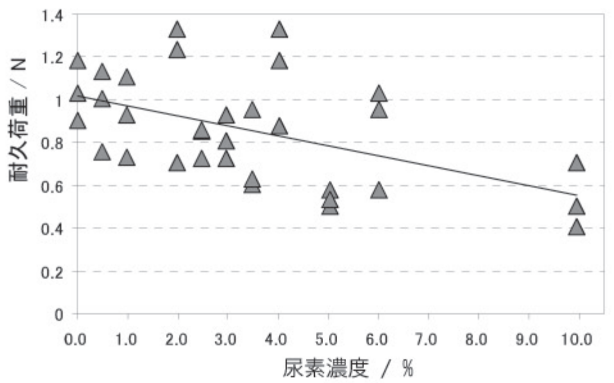


図１３　尿素濃度と耐久荷重の関係

これらの試料を用いて荷重テストを行った結果を、図１３に示す。尿素の添加濃度の上昇に伴い、耐久荷重が下がっていることが示唆された。

耐久荷重の値が尿素の添加によって下がっていく傾向が見られているにも関わらず、太さには尿素濃度に対する依存性があまり見られなかったのは、太さの指標に単位長さあたりの重量（1 tex = 1 g/km）を用いているためである可能性がある。尿素の量が増えたときに、しなやかさが増しているように感じられた理由として、繊維中の水分が失われにくくなっているのであるならば、乾燥の程度に差がでていることが太さの値に影響している可能性がある。

4.4 繊維の着色

3 種類の着色剤を用いたが、いずれも均一に繊維全体に着色することができた。また、繊維の形状は着色剤を含まないものと変化がなかった。繊維断面の光学顕微鏡像を観察したところ、繊維の表面や中央付近だけでなく、断面全体に均一に着色されていることが分かった。また、繊維を拡大して観察したとき、ポスターカラー、水彩絵の具を用いたものは、全体的に不透明であったが、蛍光色ピンクのインクを用いたものは透明なつやのある繊維となっていた。蛍光色ピンクのインクを用いた繊維については、365 nm の波長の紫外線の照射により、蛍光インクに特徴的な発光を観察することができた。

赤と青の繊維の耐久荷重を測定したところ、0.58 N、0.98 N という値が得られた。これは着色剤を用いてないもの（0.91 N, 0.53 N, 0.37 N）と比較して、ばらつきの範囲内で差がないとみなせる値である。

また、いったん乾燥させて得られた着色繊維を、再び水に浸漬する実験を行った。水に浸漬して 24 時間以上経過しても、周囲の水が着色するようなことは見られなかった。さらに、水に浸漬した繊維を観察したところ、見た目では浸漬前とほとんど変化していなかった。ポスターカラーや水彩絵の具に含まれているアラビアゴムなどの添加剤 [3] が色素の溶出を妨げている可能性も考慮する必要があるが、いったん乾燥させた繊維が、水への浸漬によってもほとんど膨潤しなかったために色素の溶出を妨げていることが考えられる。

5. まとめ

アルギン酸カルシウムの繊維状のゲルを乾燥させるときの条件で、様々な形状の繊維を調製できることを示した。特に、ウェスペーパー上で乾燥させたものが竹の節のような構造を繰り返し持つことは、表面積の大きく滑りにくい繊維としての応用に期待が持てる。

繊維の太さは、調製条件により、ばらつきが非常に大きかったものの、アルギン酸ナトリウム溶液を塩化カル

シウム水溶液中に射出するときのシリンジの針孔の径が主に支配しており、アルギン酸ナトリウムの濃度には依存しないことが示唆された。これとは対照的に、繊維の耐久荷重は、繊維の太さよりも、アルギン酸ナトリウム溶液の濃度で決まることがわかった。

さらに、尿素や色素などを含有させた繊維も調製することができた。尿素を加えて繊維を調製すると、若干耐久荷重は下がるものの、しなやかさの増した繊維を得ることができた。繊維の乾燥など、条件検討や評価に改善すべき点が残った。また、色素を加えた繊維について、浸漬試験を行ったが、試験を行った時間範囲内では溶出が認められなかった。これらの実験結果は、様々な添加物を加えることで、繊維の性状を調整できることを示唆しており、繊維としての応用に、今後、広い展開がありうることを示すことができた。

6. 謝辞

顕微鏡写真を撮影いただきました物質工学科の藤重先生をはじめ、グランドコンテストのための発表テーマの決定や、研究の遂行にあたり、暖かいご支援とご助言をいただきました物質工学科の教職員の皆様に、深く感謝いたします。

7. 参考文献

1）群馬高専 物質工学実験Ⅰ テキスト(2011).
2）https://ja.wikipedia.org/wiki/アルギン酸ナトリウム（検索日 2013.8.30），
http://www.kimica.jp/alginate/structure/
（検索日 2015.11.25）.
3）http://www.turner.co.jp/art/poster/ （検索日 2013.8.30）.
4）http://www.zebra.co.jp/pro/sparky/ （検索日 2013.8.30）.
5）http://gomupro.com/fiber_and_gomu/kikaku/kiji_33.html 「糸の太さ（繊維径）の単位(1)」（検索日 2013.8.30）.

Preparation and Evaluation of Physical Properties of Calcium Alginate Fibers.

Satoshi NAKAJIMA, Kota ONOZUKA, Koki KANO, Hiro KONDO,
Mawa Tamura, Hayate HARUNO, and Yuki MASUDA

Calcium alginate fibers were prepared by drying the fibroid gel made by ejecting the sodium alginate solution from a needle of a syringe to calcium chloride solution. The shapes of the fibers were observed, and physical properties such as the thickness and the tensile strength were evaluated. It was shown that according to the conditions of drying the fibroid gel, the shapes of the fibers were altered. For example, the structure like the joint of bamboo was formed by drying the gel put levelly on the waste paper. Concentration of the sodium alginate solution influenced the tensile strength of the fibers, but the thickness.

粒子群最適化法(PSO)フラクタル符号化の実装とGPUによる高速化

（平成27年11月26日改訂）

鶴見　智*，石橋　諒馬**

（2015年11月26日受理）

１．はじめに

近年のパーソナルコンピュータやスマートフォン，高速インターネットの普及により，画像や映像，音声といったマルチメディアデータを扱う機会は大幅に増加している．しかし，これらのディジタルコンテンツの情報量は一般的に膨大なものとなるため，実際に利用する際には情報量の削減が不可欠となる．そうした背景から，JPEG や MPEG に代表される画像情報圧縮技術の研究は現在も盛んに行われている．

Barnsley による反復関数系に基づく画像圧縮法[1]（以後フラクタル符号化と呼ぶ）の提案を機に，実用的な符号化法としてフラクタルブロック符号化アルゴリズム[2]，四分木分割アルゴリズム[3]が提案された．フラクタル符号化は，画像の持つ自己相似性を利用して圧縮を行うユニークな方法で，JPEG などに比べて非常に圧縮率が高いことで知られる一方，符号化時間が劣るといった問題点がある．このため，これまでのフラクタル符号化の研究は高速化を中心とするものが多い．

一方，フラクタル符号化の高速化の問題に対する解決策として近年注目されているものに，並列計算による方法[4]，メタヒューリスティクスアルゴリズム[5]の適用などがある．

本研究ではメタヒューリスティクスアルゴリズムの一種である粒子群最適化法（Particle Swarm Optimization：PSO）[6] に着目して四分木分割フラクタル符号化の高速化を検討する．粒子群最適化法は粒子の群行動を用いて解探索を行う手法であり，並列計算に適したアルゴリズムであることから，GPU(Graphical Processing Unit)を用いた実装を行い，さらに高速な符号化を実現する．関連研究としてはブロック符号化アルゴリズムに PSO を適用した[7]-[9]がある．

本論文の構成を示す．2 章ではまず基本知識としてフラクタルブロック符号化及び四分木分割アルゴリズムの概要説明を行う．続く 3 章で PSO 及び提案法の詳細を述べる．そして 4 章では，複数の画像を用いてパラメータ決定を行い，従来法との評価実験で提案法の有用性を示す．また，提案法の欠点を改良しその結果符号化時間がさらに短縮されたことを示す．5 章において GPU への実装結果について述べ，最後に 6 章で本論文をまとめ，今後の課題を述べる．

２．フラクタル符号化

２．１ フラクタルブロック符号化

フラクタル符号化は，画像に存在する自己相似性を利用して，自身の近似画像を生成することにより行われる．これは反復関数系（Iterated Function System：IFS）によって実現される．IFS を用いたブロック符号化アルゴリズムを図 1 に示し，以下で符号化手順を説明する．

(1)　原画像を互いに重複しない $N \times N$ 画素のレンジブロック（range）に分割する．また，同様に原画像から $2N \times 2N$ 画素のドメインブロック（domain）を取り出す．

(2)　それぞれのドメインブロックに対し，対象のレンジブロックと同じブロックサイズになるよう縮小変換を施す．2×2 画素ごとに平均化することによってサイズを縮小する．さらに輝度スケーリング，輝度シフト，対称変換を行う．輝度スケーリングはブロックの画素値を全て a 倍すること，輝度シフトはブロック内の全画素値に対し b を加算する変換である．対称変換は，ブロックを 0 度，90 度，180 度，270 度回転させた後，対角線に対する反転を行ったもので，各回転に対し 8 種類存在する．8 種類の反転を図 2 に示す．点線で示した対角線に対し反転を行う

(3)　(2)で変換されたドメインブロックと対象のレンジブロックとの距離の 2 乗和誤差を比較する．全てのドメインブロックについて探索し，値が最小となる変換を決定する．

(4)　全レンジブロックに対し同様の処理を行う．

(5)　誤差が最小となった変換係数を符号とし，圧縮

*電子情報工学科 **筑波大学大学院システム情報工学研究科

を行う．

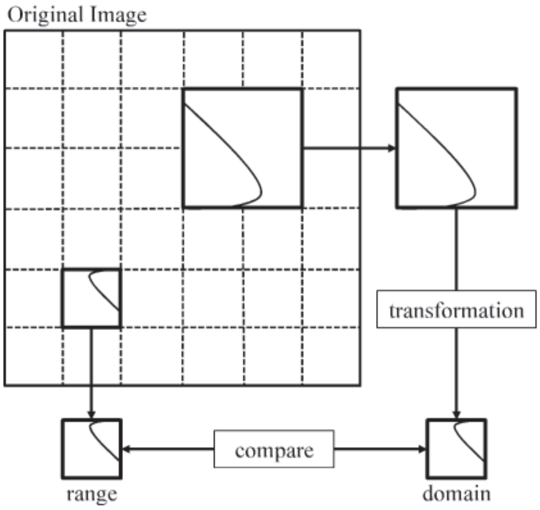


図１　ブロック符号化

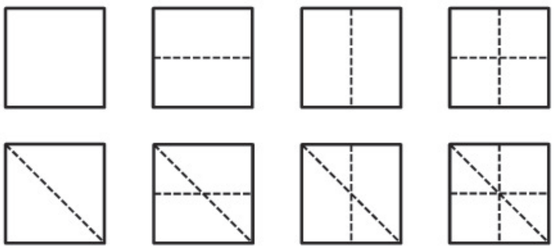


図２　対称変換

2 乗和誤差の計算には以下の式を用いる．

$$\sum_{i}\sum_{j}(s\bullet d_{ij}+o-r_{ij})^{2} \qquad (1)$$

ここで，i,j は原画像上の位置を表す．d_{ij} は位置 (i,j) でのドメインブロックの画素値，r_{ij} は位置 (i,j) でのレンジブロックの画素値である．また，s は輝度スケーリング，o は輝度シフトを表しており，変換後のドメインブロックとレンジブロックの差をとって，2 乗したものとなっている．

ブロック符号化は，レンジブロックとドメインブロックに対し，存在する全ての組み合わせについて探索を行うため，膨大な符号化時間がかかる．また，符号化時間は指定するレンジブロックサイズに依存するが，高速化の為にサイズを大きくすると画質が悪くなるという問題点があり，画質を保ったまま高速化を行うのは困難である．

２．２ 四分木分割アルゴリズム

四分木分割アルゴリズム[3]は，画質向上のために考案されたアルゴリズムである．ブロック符号化に閾値の概念を導入することによってこれを実現した．基本的な処理手順はブロック符号化と同様だが，レンジブロックとドメインブロックの 2 乗和誤差が最小となる組み合わせを探索する過程で閾値を設ける．閾値は任意に設定可能であり，これを満たさない場合は当該レンジブロックのサイズを 4 分割（再分割と呼ぶ）し，その全てに対して再び探索を行う．再分割処理の過程を図 3 に示す．図 3(a)から(b)のように再分割処理が行われる．再分割が行われるごとにレンジブロック，ドメインブロックのサイズは半分になる．閾値を満たすか，指定したブロックサイズになるまで反復する．

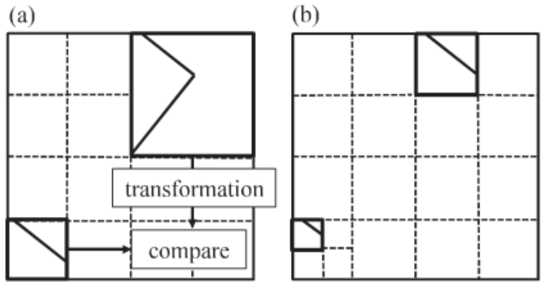


図３　再分割処理

以上の処理を行うことで，画像内に自己相似性の弱い部分（エッジ部分など）が存在した場合でも，再分割を行うことにより，さらに小さなブロックサイズで比較を行うことが可能となる．また，自己相似性の高い部分に関しては比較をほとんど行わずに済み，効率よく符号化処理が行える．実際に四分木分割アルゴリズムによって作成されたブロック画像を図 4(a)に，原画像を(b)に示す．エッジ部分については小さく分割され，輪郭がわかるようになっている．また，それ以外の部分についてはエッジ部と同様，もしくは大きいブロックサイズで分割されている．

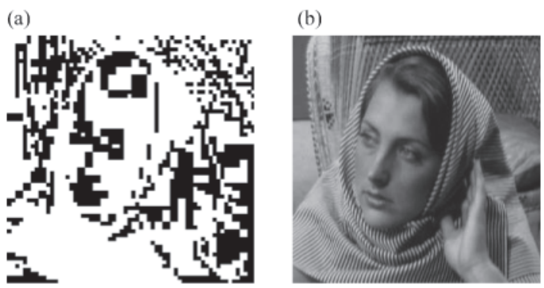


図４　(a)四分木ブロック画像（b)原画像

３．粒子群最適化法（PSO）の実装

３．１　粒子群最適化法（PSO）

PSO は，生物の適合性を模倣して解探索を行う最適化手法のひとつである．同様の考え方を用いた手法に遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm : GA）や蟻コロニ

一最適化法（Ant Colony Optimization：ACO）などがある[10]，[11]．GA は生物の進化，ACO は蟻の行動，PSO は粒子群の行動を元にした手法である[6].

PSOでは問題空間に存在する個々の粒子は位置と速度，その場所の価値（最適化問題に対する解）を持って行動しているとし，その情報は相互に共有が可能である．共有によって得た情報と自らの情報を比較し，最良の価値を持つ粒子に追従した行動を行う．図5に粒子の行動例を示す．問題空間上で最も高い価値の場所を旗で表し，最良の価値を持つ粒子（旗に最も近い粒子）を白抜きで示した．試行を反復するごとに粒子は最適解に近づくように移動する．反復回数は任意に設定できる．

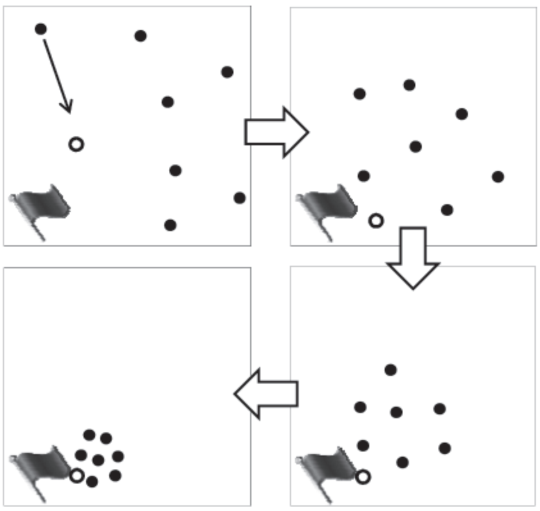


図５　粒子の移動

粒子の行動は定式化されており，現在の位置 p 及び速度 v は，更新後を p'，v' として次のように表される．

$$v' = \omega \bullet v + r_1(pbest - p) + r_2(gbest - p) \qquad (2)$$

$$p' = p + v' \qquad (3)$$

ここで，$pbest$(personal best)は現在の施行で最良の価値を持った位置を表し，$gbest$(global best)は繰り返した全ての施行の中で最良の価値を持った位置を表す．ω（慣性重み）は現在の速度を重視する割合であり，1.0以下の任意数を設定可能である．r_1 及び r_2 は 1.0 以下の乱数であり，これは，速度が $pbest$，$gbest$ に依存する割合となっている．

３．２　四分木分割アルゴリズムへの適用

フラクタル符号化は画像全体を問題空間として，レンジブロックとドメインブロック間の 2 乗和誤差が最小となる組み合わせを見つける最適化問題と考えることができる．このため，解法の一種である PSO を用いて最適化を行うことが可能である．

提案法では，四分木分割アルゴリズムに対しこれを適用する．粒子にドメインブロックをそれぞれ割り当て，複数ブロックの比較を同時に行う．また，粒子数，反復回数といった複数のパラメータにより施行回数を削減することで高速化を行う．以下にその処理手順を示す．

(1)　$pbest$，$gbest$ を初期化する．

(2)　ブロック符号化の場合と同様に $N \times N$ 画素のレンジブロックを生成する．

(3)　原画像上に粒子を生成する．ここで，粒子位置は (p_x, p_y)，粒子速度は (v_x, v_y) とする．それぞれの粒子の位置をドメインブロックの左下部に割り当て，ランダムな位置，速度を持つように初期化を行う．このとき，ドメインブロックが画像領域内に収まるように位置が決定される．速度は原画像の画素数以下の値をとる．また，移動時に画像領域から飛び出すことが無いよう，制限速度を設ける．図 6 に初期化したドメインブロックの例を示す．

(4)　式(2)に従ってそれぞれの粒子（ドメインブロック）速度を計算する．

(5)　ドメインブロックに縮小や輝度スケーリングなどの変換を加え，式(1)を用いてレンジブロックとの 2 乗和誤差を比較する．粒子は，その誤差を「価値」として保持する．

(6)　$pbest$ 及び $gbest$ を更新する．

(7)　(3)から(6)の処理を任意の反復回数試行する．

(8)　指定されたサイズまで分割されるか，閾値を満たせばその変換係数を符号とし，満たさない場合は再分割処理を行う．

(9)　式(3)に従って粒子位置の更新を行う．

(10)　以上を全てのレンジブロックに対して行う．

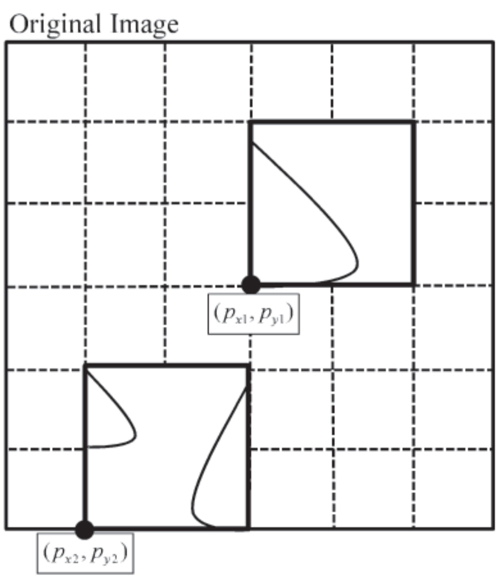


図６　初期化したドメインブロック

４．実験

４．１ 予備実験

提案法には，探索回数やドメインブロックサイズなどを制御するパラメータが存在する．そのため，予備実験として汎用的なパラメータの決定を行った．通常の四分木分割アルゴリズムとの性能比較によりパラメータを決定した．

図７　原画像

実験には SIDBA の標準画像（512×512画素，8bpp）を用いた．原画像を図 7 に示す．人物画像として Lena，背景画像として Boat，エッジ部分の多い画像として Mandrill を使用した．最分割処理を行う際の閾値は 2.0，探索を行う際の四分木分割数は最小 3，最大 7 とした．表 1 に分割数ごとのブロックの大きさを示す．また，使用した実験環境を表 2 に示す．

各画像において，通常の総当たり四分木分割アルゴリズム（通常法）及び PSO を用いた提案法を適用して得られたパラメータの選定結果を表 3 に示す．実験の際の初期値は[8]を参考とした．

表１　分割数とブロックサイズ

分割数	3	4	5	6	7
レンジブロック	32×32	16×16	8×8	4×4	2×2
ドメインブロック	64×64	32×32	16×16	8×8	4×4

表２　実験環境

OS	windows7 Professional
CPU	Intel Core i5-2400 3.10[GHz]
Memory	16[GB]
Compiler	gcc ver.4.3.3

表３　パラメータ

パラメータ	決定値
粒子数	30
慣性重み	0.7
制限速度	32
反復回数	15

４．２ 評価実験

4.1 において決定したパラメータを用いて評価実験を行った．図 7(a)から(f)の 6 種類のグレースケール画像（512×512画素，8bpp）を用いて提案法の性能を評価した．実験条件は 4.1 に示すものと同様である．画質の評価指標には，以下に示す PSNR（Peak Signal-to-Noise Ratio）を用いた．ここで MSE は，原画像と符号化画像との二乗和誤差である．

$$PSNR[dB] = 10\log_{10}\left(\frac{255^2}{MSE}\right) \tag{4}$$

表 4 に実験結果を示す．提案法では，通常法に比べ符号化時間が大幅に短縮されていることがわかる．平均で約 70%の高速化を実現している．通常法での PSNR が高いほど，提案法での短縮率は高くなる傾向がある．これは，自己相似性が高く近似しやすい画像ほど，粒子が最適解に収束するのも高速であることを示している．また，提案法の PSNR は通常法での結果に比べて平均 1.1[dB]劣るとの結果を示している．特に，自己相似性の高い部分と低い部分を併せ持つ Barbara のような画像は，通常法に比べて 1.6[dB]低くなっており，提案法が複合的な自己相似性を持った画像に対して弱い事を表している．4.1 節で決定したパラメータは高速化に重点をおいており，粒子数と反復回数のパラメータを低めに設定したのが劣化原因と考えられる．

表４　実験結果

画像	通常法		提案法	
	PSNR[dB]	時間[s]	PSNR[dB]	時間[s]
Lenna	36.9	50.0	35.7	**11.0**
Mandrill	25.1	59.0	23.8	**14.4**
Boat	35.1	42.0	33.8	**10.0**
Peppers	36.2	56.0	34.8	**12.7**
Goldhill	34.9	56.0	33.6	**13.1**
Barbara	30.0	51.0	28.4	**11.4**

４．３　提案法の問題点

提案法は符号化時間の改善において一定の成果を上げ，高速化に対する有用性を示した．一方で，画質が低下してしまう問題がある．これは，分割ごとに探索回数が固定されているのが原因だと考えられる．分割数ごとの２乗和誤差の値を表５に示した．この表から，分割数が多くなるに連れて，２乗和誤差が少なくなっていることがわかる．これは分割数に画像の近似精度が依存することを示している．分割数が少ない場合，近似精度は低いため粒子数や反復回数を大きくするメリットは少ない．しかし，分割数が多い場合は反復を行うことでより高精度な近似を行うことが可能である．

表５　分割数と２乗和誤差

分割数	3	4	5	6	7
２乗和誤差	14.8	7.43	3.73	2.11	1.65

４．４　改良法の適用

4.3 節の問題点を踏まえると，分割数によって粒子数と反復回数を制御することで，さらなる画質と符号化時間の向上を見込むことができる．そこで，提案法に対し問題点の改善を行った改良法を実装した．

表６に改良法のパラメータを示す．これは 4.1 と同様の予備実験により決定したパラメータである．粒子数は分割数の増加に従って５ずつ線形で増加させ，反復回数は２の累乗で増加させた．

表６　パラメータ（改良法）

分割数	粒子数	慣性重み	制限速度	反復回数
3	10			2
4	15			4
5	20	0.7	32	8
6	25			16
7	30			32

このパラメータを適用した改良法により，図 7(a)から(f)の６種類の画像を符号化した結果を表７に示す．比較のために，通常法で符号化を行った結果も示した．通常法と比較すると，符号化時間は提案法より約 1%増であったが PSNR は 0.6[dB]に改善され，画質の向上が見られた．

一方で，Lena 以外の画像では提案法よりも改良法が劣るという結果であった．特に Mandrill や Bridge などの PSNR が低い画像の場合に顕著である．フラクタル符号化で PSNR が悪いということは，その画像における自己相似性が低いことを示している．自己相似性が低い画像では，二乗和誤差における閾値で PSO の反復処理を終了させることが出来ず，設定された反復回数の探索を行ってしまったため，結果として符号化時間が長くなってしまったのだと考えられる．

表７　実験結果（改良法）

画像	通常法		改良法	
	PSNR[dB]	時間[s]	PSNR[dB]	時間[s]
Lena	36.9	50.0	36.2	**10.9**
Mandrill	25.1	59.0	24.1	**18.0**
Boat	35.1	42.0	34.2	**10.6**
Peppers	36.2	56.0	35.2	**13.7**
Goldhill	34.9	56.0	34.0	**15.0**
Barbara	30.0	51.0	28.8	**11.9**

５．PSOフラクタル符号化のGPU実装

５．１ GPUへのPSO割り当て

GPU は，PC 等で主に映像・画像処理を行うハードウェアであり，その処理特性から並列度が高い計算を得意とする．大量の演算ユニット（コア）を備え，同時に実行することで並列処理を可能にしている[12].

本研究では，PSO の粒子を各コアに割り当てて並列実行することでより高速な符号化を実現する．図８に提案法を GPU に実装した場合におけるアルゴリズムの流れ図を示す．初期化及び比較作業は CPU 側で行い，PSO の計算と符号化を GPU 側で制御する．図中 Fitness は式(1)における二乗和誤差を表している．

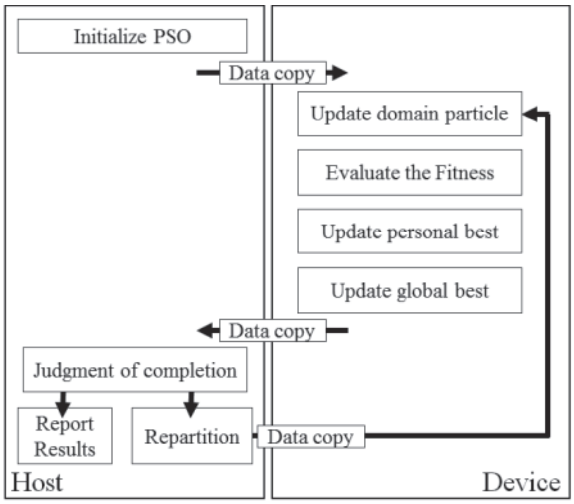


図８　アルゴリズムの流れ

５．２　実験結果

図８に示した GPU-PSO アルゴリズムを用いて評価実験を行った．各パラメータは表３と同様である．実験環境を表８に示す．表９に実験結果を示す．比較のために同じ処理を CPU のみで実装した結果を CPU-PSO として示した．ただし，時間[s]には初期化及び比較時間は含まない．

結果より，GPU-PSO ではすべての画像において CPU-PSO よりも符号化時間が高速化されていることがわか

る．平均で約 60%の符号化速度向上が見られた．また，PSNR の変化はほとんどなかった．GPU-PSO では，PSNR が高いほど高速化の割合も高くなっている．これは，閾値処理に加えて並列化も行ったことにより，探索と分割が高速に行われたからだと考えられる．

表８　GPU実験環境

OS	windows7 Professional
CPU	Intel Core i5-2400 3.10[GHz]
GPU	GeForce GT 545
Memory	8[GB]
Compiler	gcc ver.4.3.3
CUDA	ver. 4.2

表９　実験結果（GPU）

画像	CPU-PSO		GPU-PSO	
	PSNR[dB]	時間[s]	PSNR[dB]	時間[s]
Lena	35.7	11.0	35.5	**3.7**
Mandrill	23.7	12.0	23.6	**4.1**
Boat	33.7	10.0	33.6	**3.1**
Peppers	34.7	11.0	34.6	**3.6**
Goldhill	33.6	11.0	33.5	**4.0**
Barbara	28.4	8.0	28.0	**2.4**

６．まとめ

本研究では，フラクタル符号化の高速化のために，メタヒューリスティクスアルゴリズムの一種である粒子群最適化法（PSO）を四分木分割符号化アルゴリズムに適用する手法を提案した．実験結果より符号化時間が通常の総当たり法より約 70%高速化されることがわかった．さらに，PSO を GPU によって並列化することで粒子の移動を効率化し，高速化する手法についても検討・実装した．実験結果より符号化時間が CPU のみの PSO より約 60%高速化されることがわかった．以上の結果は四分木分割アルゴリズムを MPI で実装した先の報告[4]と比較しても十分評価できるレベルの速度を達成できていると考えられる．

さらに，提案法の問題点となっていた画質の劣化（PSNR の低下）を，改良法を導入することで改善した．提案法では，分割回数に関わらず，粒子数や反復回数を固定していることが原因で PSNR が低下していた．フラクタル符号化では，分割回数が多くなるにつれて，二乗和誤差も小さくなるという傾向がある．そのため，分割回数が多い場合に多くの探索を行うことで画質の向上を見込むことができる．従って改良法では，粒子数と反復回数を可変にすることでこれを改善した．その結果，符号化時間をさほど犠牲にせず画質を向上させることができた．

今後の課題としては，高 PSNR を維持したままで高速符号化をはかるための GPU-PSO アルゴリズムの改良がある．

参考文献

1) M.F. Barnsley, Fractal Everywhere, Academic Press, 1989.
2) A.E. Jacquin, “Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations,” IEEE Trans. Signal Processing, vol.1, no.1, pp.18-30, Jan. 1992.
3) Y. Fisher (ed.), Fractal Image Compression :Theory and Application, Springer-Verlag, 1994.
4) 鶴見智, フラクタル符号化における並列計算の検討－GPU,MPI による実装と評価－, 群馬高専レビュー, No.32,pp.49-53, 2013.
5) J.H. Jeng, C.C. Tseng, and J.G. Hsieh, “Study on Huber Fractal Image Compression,“ IEEE Trans. on Image Processing, vol.18, no.5, pp. 995-1003, May. 2009.
6) 古川正志他，メタヒューリスティクスとナチュラルコンピューティング，コロナ社，東京，2012.
7) J. Kennedy and R.C. Eberhart, “Particle Swarm Optimization,” Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, vol.4, pp.1942-1948, Perth, Australia, 1995.
8) C.C. Tseng, J.G. Hsieh, and J.H. Jeng, “Fractal image compression using visual-based particle swarm optimization,” Image and Vision Computing, vol.26, no.8, pp.1154-1162, 2008.
9) H.W. Tin, S.W. Leu, and S.H. Chang, “An PSO-based Approach to Speed up the Fractal Encoding,” International Journal of Mathematical models and Methods in Applied Sciences, vol.6, no.3, pp.499-506, 2008.
10) 北野宏明，遺伝的アルゴリズム，産業図書，東京，1993.
11) M. Dorigo, G.D. Caro, and L.M. Gambardella, “Ant Algorithms for Discrete Optimization,” Artificial Life, vol.5, no.2, pp.137-172, Apr. 1999.
12) Jason Sanders and Edward Kandrot, CUDA by Exsample 汎用 GPU プログラミング入門，インプレスジャパン，2011.

Implementation of PSO-Fractal Image Compression and Speeding Up Using GPU

Satoshi TSURUMI and Ryoma Ishibashi

Fractal image compression is a unique image compression method based on self-similarity in images. The main disadvantage of this, however, is the high computational cost. Meanwhile, the particle swarm optimization (PSO) which is one of the techniques of biogeography based optimization attracts much attention in various computer science problems. In this study, we apply the PSO technique for the fractal image compression. Experimental results show that the PSO is about 70% faster than the traditional exhausted method. Furthermore, PSO algorithm is suitable for parallel computing, thus we also implement this program on Graphics Processors Unit (GPU) for more speedup. Finally the GPU-PSO mthod is about 60% faster than CPU-PSO method.

家庭用電子レンジを用いたセラミックス合成

平　靖之*

（2015年11月26日受理）

1．はじめに

平成25年度より本校教員らによって，中学生を対象とした「スマート・サイエンス・スクール（以下「SSS」という。）」を実施している[1),2)]。理科系科目について，中学校では学習しない領域のテーマを設定し，ある程度長期間にわたり学習・実験を行っている。周辺の中学校や地域企業と連携を取りながら，理工系高等教育機関としての「高専ブランド力」を高めつつ，理工学人材・技術者の育成と高専入学志願者増を目的としている。SSSは単発のイベントではなく，中学生が群馬高専を会場として，長期的に学習・実験できることを目指している。夏休み中，土曜日，日曜日等を利用して，複数回分の講義内容を準備した。中学生には実際に群馬高専に足を運んでもらい，高専で利用している研究設備や測定機器を使用させ，中学校や普通科高等学校では体験できない内容を目指している。

著者はSSSにて，平成25年から27年の3年度にわたり中学生らと共に無機材料合成を行っている。身近なアルミニウム源である，アルミ缶とアルミホイルからルビー結晶を得ることに成功している[3)]。一般に無機化合物の合成には高い反応温度と長い反応時間が必要である。ルビーは，酸化アルミニウム（Al_2O_3）に，0.1～1％程度のクロム（Cr）が混ざった結晶である。酸化アルミニウムは融点が2072°Cと非常に高く，単結晶育成のためにフラックス法を用いた。酸化モリブデン（MoO_3）をフラックスに用いると，比較的低温の1100°Cでルビー単結晶が得られると報告があったため，その報告を参考にした[4),5)]。ルビーの単結晶合成は，酸化モリブデンMoO_3フラックスを用いることで，比較的低温で単結晶を得ることが出来るが，それでも1100°Cで100時間以上の加熱が必要である。SSSは複数回にわたるイベントであるため，この様な長い時間をかけた物質合成が可能になっている。

一方でSSSにおいて，短時間での無機材料合成を行うために，家庭用電子レンジを利用している。電子レンジを用いたマイクロ波加熱を行うことで，10分程度という短時間で赤色に発光する蛍光体の$YVO_4:Eu^{3+}$の合成が可能になる。図-1に示す様に発表者にパワーポイント成果を発表させている。しかしながら，特に家庭用電子レンジを使用した場合，試料の温度制御などが難しく，目的のセラミックスが得られないことが度々あった。そこで本稿では，家庭用電子レンジを用いた蛍光体セラミックス合成における加熱条件の検討を行ったので報告する。

*物質工学科

2．電子レンジを用いた合成

セラミックスの様な無機固体化合物は融点が高いため，抵抗発熱体を使用した電気炉を用いて加熱するのが一般的な合成手法である。家庭用の電子レンジを用いたマイクロ波加熱を利用したセラミックス合成が報告されている。

本校物質工学科2年次の物質工学実験IIにおいてもテーマとして扱っている銅系高温超伝導酸化物$YBa_2Cu_3O_7$は，酸化イットリウム（Y_2O_3），炭酸バリウム（$BaCO_3$），酸化銅（CuO）を出発物質として，電気炉にて750°Cで1 h，さらに930°Cで5 h加熱し徐冷することにより得られる。ところが電子レンジを用いたマイクロ波加熱では，25分間加熱することで目的の試料が合成できることが報告されている[6)]。このようにマイクロ波加熱により反応時間を極端に短くすることが出来るのは，CuOがマイクロ波を効率良く吸収するためである。マイクロ波を吸収する酸化物は酸化亜鉛（ZnO），酸化バナジウム（V_2O_5），酸化マンガン（MnO_2），酸化鉛（PbO_2），酸化タングステン（WO_3）などに限られており，全ての酸化物を出発物質として利用できるわけではない[7)]。

また，V_2O_5がマイクロ波を吸収することを利用して，バナジウム系蛍光体の合成が報告されている[8)-10)]。

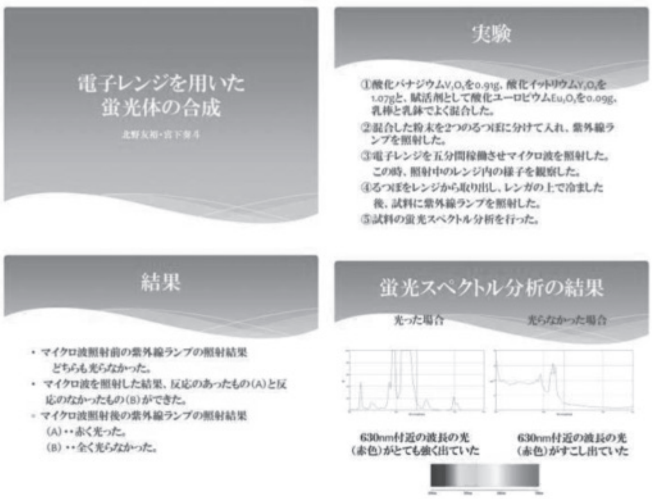


図-1　平成25年度SSS参加者による「電子レンジを用いた蛍光体の合成」の発表（抜粋）

$YVO_4:Eu^{3+}$は紫外線を照射することにより，赤色発光を示す蛍光体として知られている。この$YVO_4:Eu^{3+}$を出力500 Wのマイクロ波を900秒照射することにより単相で得られている。また，黄色蛍光体として知られる$RbVO_3$についても，同様のマイクロ波を200秒照射することで得ている。

３．SSSにおける実施状況

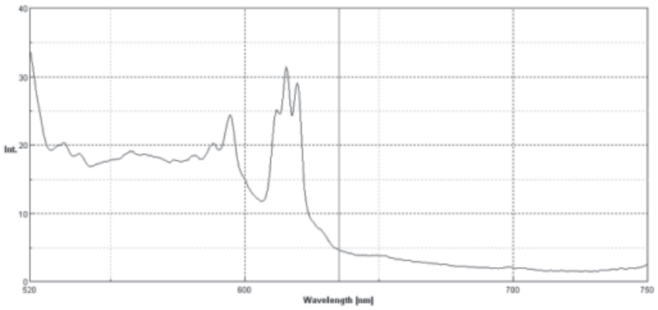


図-2　平成25年度実施における光らなかった$YVO_4:Eu^{3+}$試料の発光スペクトル（励起波長 254 nm）

SSSでは，電子レンジから発生するマイクロ波を水が吸収して，食品などが温まることを理解してもらい，マイクロ波が物質合成に利用できることを確かめた。通常のセラミックス合成は，1000°C以上の高温で，数時間から数日間の加熱が必要になる。一方でV_2O_5など，マイクロ波を吸収する物質を用いると，10分以内で蛍光体セラミックスが合成できる。参加者を２グループに分け，出発物質としてV_2O_5，Y_2O_3，Eu_2O_3を秤量し，乳棒・乳鉢を用いて30分程度混合させた。得られた混合物をアルミナるつぼに移し，電子レンジの中にセットした。平成25年度のSSSでは，１つの班は５分も経たないうちにるつぼが光り，温度が高くなっている様子が観測できた。もう一方の班は１０分以上加熱しても，るつぼには変化が見えなかった。両試料に波長254 nmの紫外線を照射したところ，電子レンジ中で変化が見られた試料については，赤色の発光が見られ，もう一つの試料については発光が観測できなかった。さらに，蛍光光度分光光度計を用いて発光スペクトルを調べたところ，両試料の結果に違いが見られた。発光しなかった試料の発光スペクトルを図-2に示す。波長620 nm付近にピークが見られるが，このピーク強度は非常に低く目的の蛍光体が得られていないと考えられる。

４．加熱条件の検討

元々は同じ試料を用いながら，異なった結果が得られたことから，その原因を明らかにするため加熱条件の検討を行った。加熱時の形状をペレット状および粉末状にしてルツボに入れた。また，加熱時の試料の質量を1~5gと変化させた。出発物質をしてY_2O_3，Eu_2O_3，V_2O_5を用いた。試料を$Y_2O_3 : Eu_2O_3 : V_2O_5 = 0.95 : 0.05 :1$の比で秤量後，乳鉢と乳棒を用いて混合した。出力730 Wの家庭用電子レンジを用いて，試料にマイクロ波を10分間照射した。生成相の同定には粉末エックス線回折測定を行い，発光を確かめるために試料に紫外線ランプを照射した。蛍光特性については蛍光分光光度計を用いて発光スペクトルを測定した。

表-1　10 分間マイクロ波照射後の試料の発光

試料の質量	ルツボ	ペレット
1 g	×	△
2 g	×	○
3 g	△	○
4 g	○	○
5 g	○	○

○全体が発光した，△一部が発光した，×発光しなかった

マイクロ波照射を行った後の試料の発光について表-1にまとめた。試料を粉末のままルツボに入れ加熱した試料について，1 g～2 gの時は試料に紫外線を照射しても発光しなかった。図-3に2 g試料のマイクロ波照射前のエックス線回折パターンを，図-4に2 g試料のマイクロ波照射後のエックス線回折パターンを示す。マイクロ波を10分間照射したにもかかわらず，両者の回折パターンはほぼ一致していた。このことから，試料2 gではほとんど未反応であることが分かる。また，試料の量が3 g程度に多くなると，紫外線を照射することで発光した。一方，ペレット状に加圧成形すると全ての試料が発光を示した。図-5にペレット状に加圧成形した2 g試料のエックス線回折パターンを示す。(a)がマイクロ

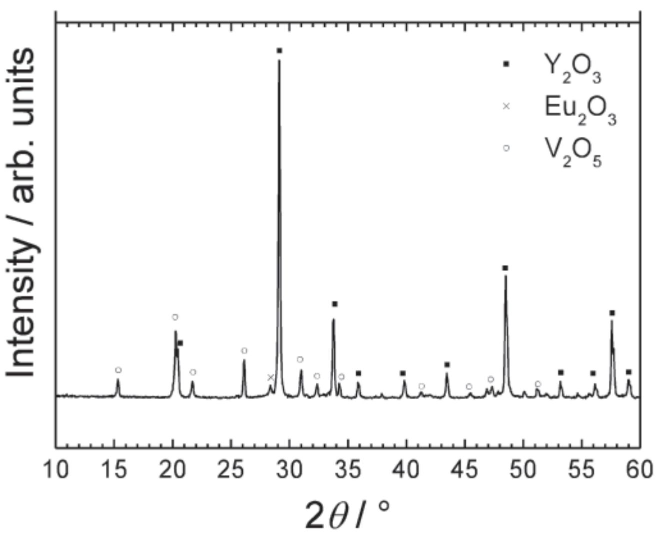


図-3　マイクロ波照射前のエックス線回折パターン（2g試料）

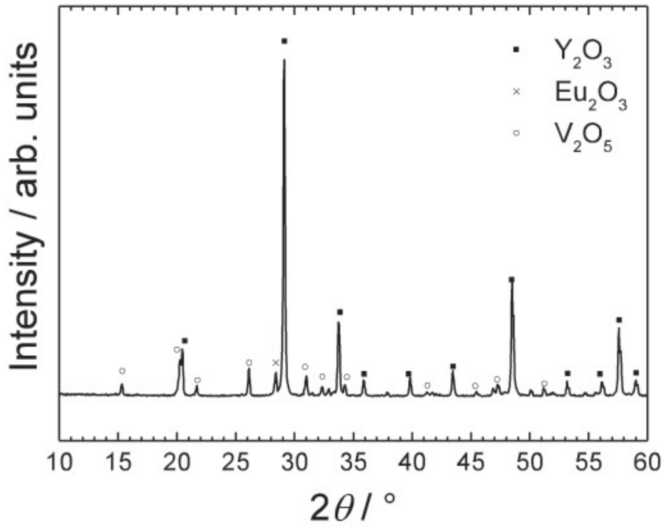


図-4　10分間マイクロ波照射後のエックス線回折パターン（ルツボ2g試料）

波を10分間照射した試料のパターンであり，(b)がデータベースにある過去の報告である[11]。過去の報告と一致していることから，目的の$YVO_4:Eu^{3+}$を単相で合成することが出来たと言える。図-6にペレット状に加圧成形した2 g試料の発光スペクトルを示す。発光スペクトルはEu^{3+}の$^5D_0 \rightarrow {}^7F_1$および$^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$遷移によるものであり，図-2と比較しても，高い発光強度を示すことが分かった。

粉末試料とペレット試料とで発光と回折パターンが異なる。このことは固体粉末の反応性に関係していると考えられる。固体の拡散距離は液体や気体に比べるとかなり短く，粉末のままであると反応が進みにくい。また，マイクロ波照射により反応が進むのは，V_2O_5がマイクロ波を吸収して発熱するためである。試料の質量が小さいと，発熱源のV_2O_5量が少ないため反応が進まないのではないかと考えている。以上のことから，家庭用の電子レンジを用いて，蛍光体セラミックス$YVO_4:Eu^{3+}$を合成するには，2 g以上の試料を用いてペレット状に加圧成形するのがよいと考えられる。

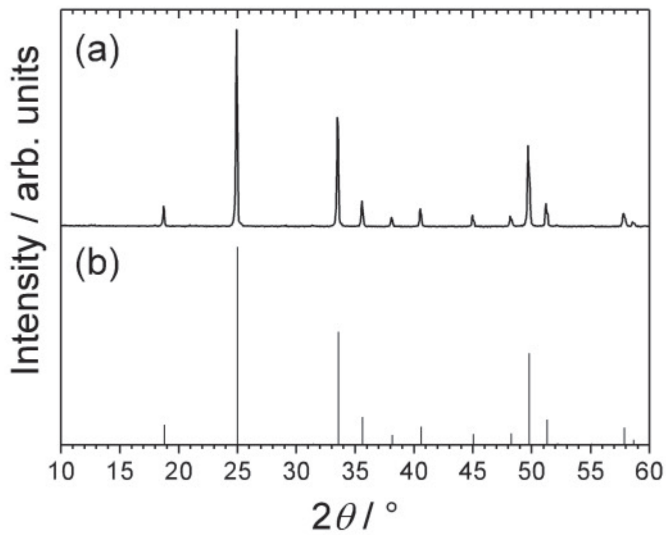


図-5　(a)10分間マイクロ波照射後のエックス線回折パターン（ペレット2g試料）(b)過去の報告

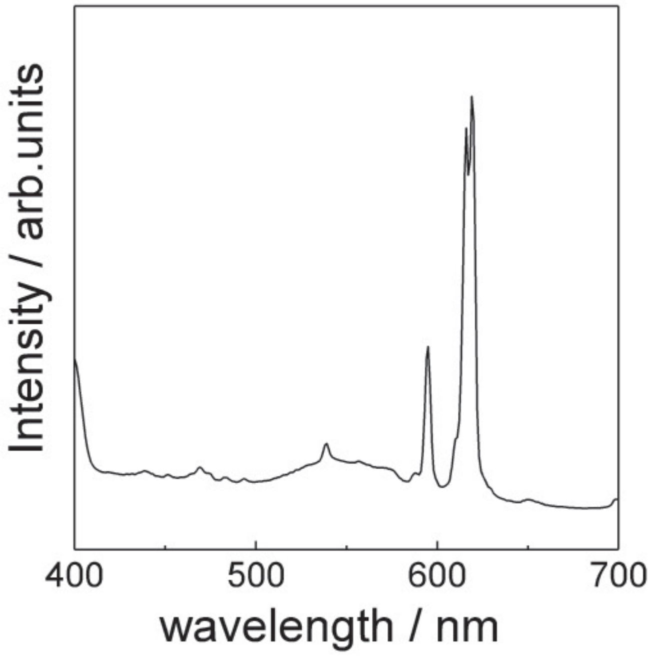


図-6　10分間マイクロ波照射後の発光スペクトル（ペレット2g試料，励起波長254nm）

５．今後の検討課題

小中学生向けの教材として考えると，必須ではない工程は出来る限り省略したい。詳細は述べていないが，粉末を乳棒・乳鉢で混合する工程は省略することが出来る。粉末を参加者に秤量させて，小瓶に入れて数分振り混ぜることで混合させる。単相の試料を得るためには，確実な混合が必要になるが，発光を確認する程度であれば混合は十分でなくても構わない。家庭用の電子レンジを用いて，蛍光体セラミックス$YVO_4:Eu^{3+}$を合成するには，ペレット状に加圧成形するのがよいと結論づけたが，可能であれば加圧成形せずに行いたい。加圧成形しないとなると，大量の試料が必要になるが，Eu_2O_3は希土類元素の一つであり高価なため，あまり多くは使用したくない。少量で，短時間に，確実に蛍光体を合成できる方法を検討している。

参考文献

1） 平靖之，出口米和，大岡久子，太田道也，*群馬高専レビュー*，**32**, 55-59 (2014).
2） 平靖之，出口米和，大岡久子，太田道也，*論文集「高専教育」*，**38**, 478-483 (2015).
3） 平靖之，*群馬高専レビュー*，**33**, 57-60 (2015).
4） 手嶋勝弥，近藤人資，鈴木孝臣，大石修治，*J. Ceram.*

Soc. Jpn., **113**, 733-735, (2005).
5) 大石修治，手嶋勝弥，宮本亮，宮坂晃，鈴木孝臣，*化学と教育*，**54**, 356-358, (2006).
6) 加藤雅恒，榊原健二，小池洋二，表面科学, **20** 737-741, (1999).
7) D. R. Baghurst and D. M. P. Mingos, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 829-830 (1988).
8) K. Uematsu, A. Ochiai, K. Toda, and M. Sato, *J. Alloys Compd.*, **408-412**, 860-863 (2006).
9) 上松和義，*新潟大工技術部技術発表会報告集*，**4**，12-21 (2002).
10) 上松和義，*新潟大工技術部技術発表会報告集*，**5**，13-20 (2003).
11) B. C. Chakoumakos, M. M. Abraham, and L. A. Boatner, *J. Solid State Chem.*, **109,** 197-202 (1994).

Synthesis of Fluorescent Ceramics Using a Domestic Microwave Oven

Nobuyuki TAIRA

The author reports the activities and issues on the Smart Science School (SSS) for junior high students. The junior high school students have learned at National Institute of Technology, Gunma College and carried out several experiments. In this paper, synthesis of fluorescent ceramics using a domestic microwave oven is reported. The participants learned the synthesis and characterization of the fluorescent ceramics. $YVO_4:Eu^{3+}$ fluorescent ceramics were prepared using a domestic microwave operated with 730 W. When the mixture of starting materials is a pellet form or the mass of them is larger, the desired phosphors were obtained after the irradiation of microwave. The X-ray diffraction patterns are in good agreement with those reported by other workers and the desired $YVO_4:Eu^{3+}$ phosphors could be prepared as single-phase materials.

機械工学科における設計製図教育の取組み

樫本　弘*　　黒瀬　雅詞*　　山内　啓*

(2015 年 11 月 26 日受理)

1.　はじめに

設計製図は機械工学科における中心的な科目であり，他の座学や実技科目と連携しながら１年生から４年生まで継続して開講している科目である．学生は４年間で次のような知識や能力の習得を目標にしている．

(1)　図学の基礎知識と JIS 規格に則った製図法の学習
(2)　設計を行うための基礎知識
(3)　必要な設計計算を行うプログラミング能力
(4)　加工方法を考慮した設計能力

筆者らは今までも設計製図の概要について発表[1][2]してきたが，本報では現在４年生で行っている２段歯車減速機の設計を中心に，機械工学科の設計製図における取組みについて紹介する．

2.　設計製図カリキュラムの移り変わり

2.1.　１～４年での設計製図のカリキュラム

現行の設計製図のカリキュラムは以下の通りである．

１年　Ｔ定規やコンパスなどを用いた手書き製図
２年（前期）　手書き製図の続き
　〃（後期）　2D-CAD ソフト JW-CAD を用いた製図
３年　3D-CAD ソフト SolidWorks の学習と練習
４年　設計演習　２段歯車減速機，手巻きウインチ

なお，３年次の科目名は「設計製図」から「3D-CAD」に変更している．

2.2.　手書き製図

数十年前までは設計製図といっても図面を書く技術の習得が中心であった．筆者よりかなり年齢が上の世代になるが，烏口を用いて 1mm の幅の中に何本線を引けるかを競っていたという話を聞いたことがある．墨入れ（インキング）は製図における清書であり，当然仕上がりの美しさが求められるが，それ以前の設計にかける時間が十分確保できないと設計図面としての完成度が不十分のままである．

その後，墨入れは行わず鉛筆やシャープペンシルで方眼紙に直接製図するようになった．しかし，鉛筆で図面を書くとどうしても擦れて汚れてしまう．設計の内容ではなく図面の汚れ具合が全体の評価に影響してしまう傾向があった．また，設計計算でも複雑な計算は行うことができず，電卓やポケットコンピュータによる計算に留まっていた．

2.3.　2D-CAD による製図へ

長く手書き製図が続いたが，パソコンの普及にともなって 2D-CAD を導入した.使用するソフトウェアは商品ではなく無償で教育に使用できる JW-CAD を採用した.もともと建築用に開発されたソフトであるが，機械製図にも十分使用できるほど高機能であった．また無償ソフトのため，学生は自宅の個人パソコンにもこのソフトをインストールでき，家庭での自習も容易になった．ただし，手書きをやめて全てを CAD で作図するのではなく，現在でも２年生の前期までは導入教育として手書き製図を残している．

CAD ソフトの導入により作図効率は向上するが，２次元 CAD なので各面（例えば正面図と側面図）で形状に対応付けがなされていない．矛盾を含んでいたり，加工できない図面も簡単に描いてしまう問題がある．

2.4.　3D-CAD の導入

平成 18 年 3 月には設計演習室（製図室）にパソコンが導入され，一人１台の環境が整備されたことに伴い有償の 3D-CAD SolidWorks を導入した．100 ライセンスを有し，ライセンスサーバ方式による管理のため，研究室や教員室など製図室以外のパソコンにもインストールと使用が可能であり，製図室が授業で使用中でも５年生が研究室で SolidWorks を用いて卒研研究を進めることが可能となった．

この導入により２次元 CAD に比べてもさらに短時間で仕上げることが可能になり，自動寸法などを活用すれば製造現場で必要となる２次元の図面との整合性が取れて

＊機械工学科

いる．また部品を組み合わせるアセンブリ機能により，はめあいや干渉の確認なども容易に（拡大表示して）目視で確認可能になった．また単なるモデリング以外にも有限要素法による解析が可能である．歯車や軸などは強度計算のための計算式は比較的容易であり，表計算アプリケーションを用いるか既に学習したＣ言語でプログラミングして計算結果を得ることが可能である．一方，自由曲面で構成されるハウジングの強度計算にはCAEを用いて解析し，十分な安全率が得られるのを確認している．図１にハウジングのCAE解析の結果の例を示す．

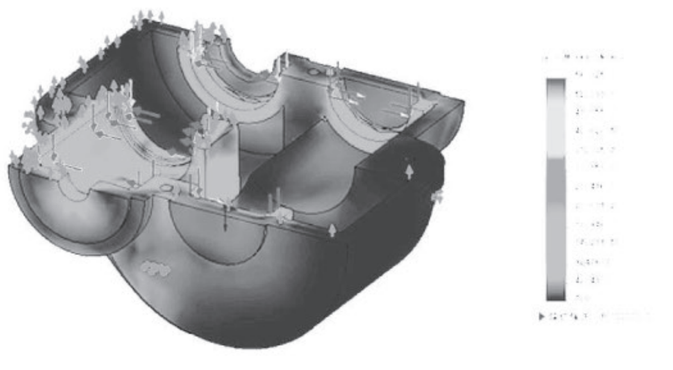


図１　ハウジング下部のCAE解析

さらにCAMソフトウェアとしてMasterCAMを導入した．残念ながらライセンス数は限られるため，１クラス全体で一斉に使用することはできないが，グループ分けとなる２～３年生の「工作実習」や５年生の選択科目である「機械工学特論Ⅱ」で使用方法を学習している．

2.5.　３次元造形機による造形

平成22年度に石こう基材用３次元造形機（３Ｄプリンタ）を導入し，初めて設計した歯車減速機を製作（造形）した．ただし時間と費用の問題があり実際に製作したのは班の中で１台（一班は原則４人）であった．その後，平成24年度からは樹脂用３Ｄプリンタも導入し，台数も３台体制になったことから平成 26 年度には学生全員の減速機を製作した．図２に石こう基材用３Ｄプリンタ，図３に樹脂用３Ｄプリンタを示す．

図２　石こう基材用３Ｄプリンタ（Z350）

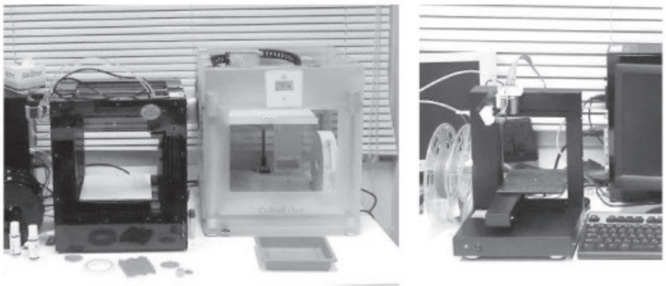


図３　樹脂用３Ｄプリンタ（bellulo，Cube X Duo，UP!）

2.6.　現在の４年生のカリキュラム

今年度の４年生が設計製図で行う内容を時系列で示すと次の通りである．

(1)　歯車減速機の構造理解とフリーハンドでの構想図作成
(2)　設計計算（Ｃ言語でプログラミング）
- 減速比を満足するための４枚の歯車の歯数計算
- 歯車の強度計算，安全率の確認
- 軸の強度計算，安全率の確認

(3)　2D-CADによる基本構成図の作成
(4)　3D-CADによる各部品のモデル作成とCAEによる強度計算，安全率の確認
(5)　歯車，軸，キー，カラー，軸受（簡易モデル）など3D-CAD によるアセンブリと歯車の回転シミュレーション
(6)　3D-CADによるハウジングの設計とCAEによる強度計算と安全率の確認
(7)　３Ｄプリンタへの出力と歯車減速機の組立て
(8)　設計報告書の作成
(9)　班別のプレゼンテーション　パワーポイントと紹介動画を作成し，発表会を実施

図4は授業中の様子であり，設計は最終段階に入っている．図5は発表会でのプレゼンテーションである．また図6は3D-CADよるモデリング,図7は過去に製作した歯車減速機と手巻きウインチの作品例である．

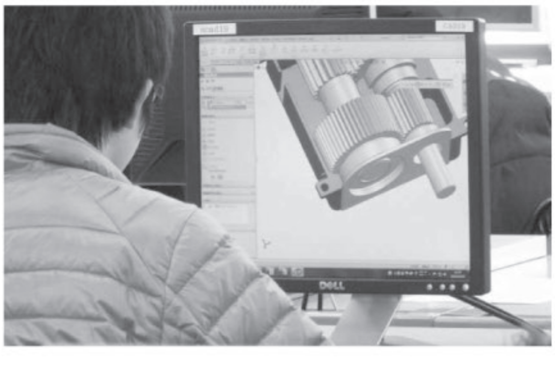


図４　授業中の様子

図５　プレゼンテーション中の様子

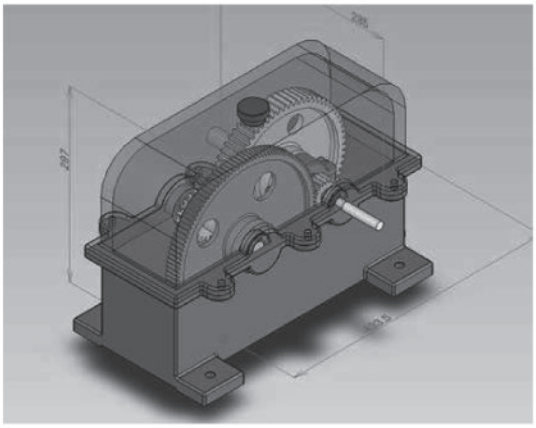


図６　3D-CADよるモデリング

3.　他の科目等との連携

3.1.　工作実習

物づくりの基本となる旋盤やフライス盤による機械加工，溶接，仕上げ，マシンニングセンター，レーザー加工機など加工の基礎と方法を学習するために１～３年生で開講している実技科目である．コンピューター支援による設計はCADソフトの多機能化により短時間で図面やモデルが作成できるようになったが，優れた設計を行うには実際の加工法の理解と経験が不可欠である．

物づくりにおいて図面を書いて終了になることはなく，仕上がった図面をもとに部品を加工しなくてはならない．実際の加工方法の経験や理解がなければ，図面に書けても製作できないもしくは非常に加工困難な設計になる恐れがある．工作実習で行った経験を設計製図に活かすことが重要である．

3.2.　機構学と機械設計法

機構学は３年生，機械設計法は４年生で履修する座学科目である．ともに歯車について時間を割いており，機構学では歯車の歯形形状について，機械設計法においては機構と強度について学習している．歯車減速機の設計においては両科目で学習した知識が不可欠である．

3.3.　情報処理Ⅰ

Ｃ言語のブログラミンを２年生通年と３年生半期で学習する．３年生の最後には応用プログラミング演習として機械設計計算に関するプログラムを作成する．具体的には減速比を満足する歯車の歯数計算のためのプログラムを作成し，４年生の設計製図の授業で実際に使用する．

3.4.　知的財産権概論

５年生で開講している科目である．知的財産権の種類の理解，特許権の申請から取得まで，さらに特許情報検索サイトを用いた検索など就職後に技術者として必要となる知的財産権の知識の習得を目的としている．

４年生の設計製図では，これら知的財産に関する学習を先取りする形で，弁理士会による特許意匠の初心者向け講習会を受講しており，設計段階で特許や意匠をデザインに活用させている．

3.5.　機械工学特論Ⅱ

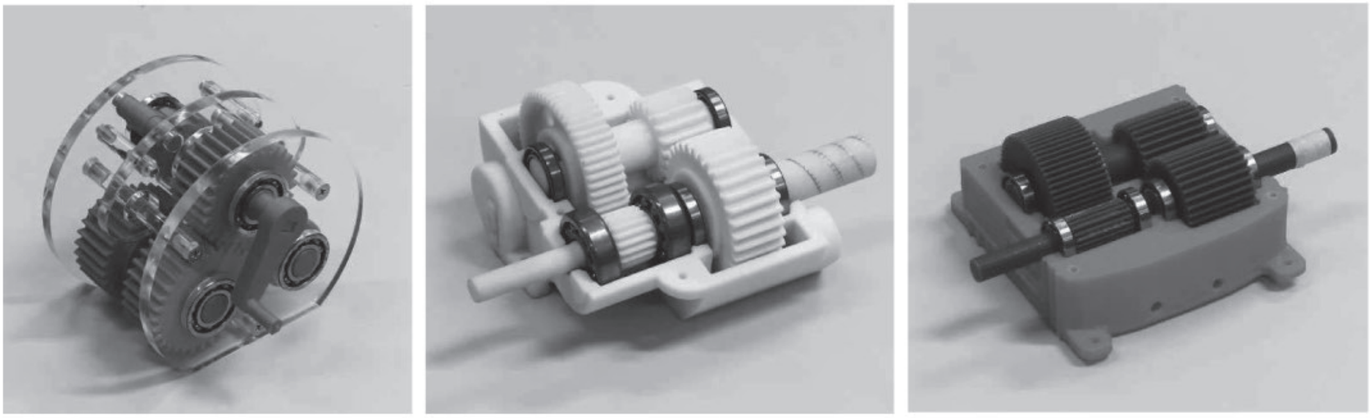


図７　過去の製作例　　手巻きウインチ，歯車減速機（石こう基材），歯車減速機（樹脂）

平成 24 年度に導入された５マシニングセンターを用いた加工を想定し，実際の３次元モデルから加工にいたるプロセスを理解する．また加工条件を状況に合わせ設定・調整できる能力を養うとともに，それが適切であったかの評価まで行うことを目標としている．４年生での設計製図の延長線にあり，複雑な形状をした部品を加工し，卒業研究で用いる高精度・高性能な試験装置の製作を可能にしている．

4. デザイン教育への対応

JABEE 認定のためエンジニアリング．デザイン教育の取組みが必要となり，機械工学科では設計製図を通して対応することになった．本来の設計能力の習得に加えて次のような内容が不可欠となった．

(1) 実践的な問題対応能力を養う
(2) 課題に対してチームワークを構築
(3) 想像力を活用する設計力を修得

4.1. グループ学習

原則４人で１班を構成しリーダー，サブリーダー，製作，進行の各担当を学生の互選で決めている．最初に与えられる設計条件は各人で異なっており，設計計算は各人で進めることになるが，班としてのコンセプトも求めており，相談，協力と調整を行いながら進めている．なお班は３年次の科目評点から教員がグループ分けを行っている．特に得意分野を班内で分散させ，班全体では順調に進行できるように工夫している．

4.2. 問題対応能力

歯車減速機の設計は準備して用意された課題であり，設計条件も比較的無難で実現可能な範囲内で設定している．しかし，現実の設計ではその様な保障は一切なく，しばしば設計途中において条件や仕様の変更に迫られるのが常である．そこで授業においても歯車や軸の強度計算とモデリングが終了し，CAE で安全率の確認が終了した後になるが，設計変更を強制的に行っている．さらに短時間のうちに再設計するように指示している．学生は班内で協力して問題解決にあたっている．過去の行った設計変更の例は次の通りである．

(1) 使用できる歯車の歯数を制限（当初は歯数の上限と下限のみ指定）
(2) 使用する材料の一部を変更
(3) IPDL 検索を用いて減速機のデザインに特許と意匠の適用を強要

5. 卒業研究

総合設計として４年間に渡って進めてきた「設計製図」であるが，最終学年での卒業研究や専攻科の特別研究に活かさなくてはカリキュラムとしての連続性を欠くことになる．3.4 に示した「機械工学特論Ⅱ」は平成 25 年度から企業で実際に設計に携わっている方を講師としてお願いしており，CAM の実習を通して研究に活かせるようにしている．

6. まとめ

かつて手書きもしくは 2D-CAD ソフトを用いていた授業では，図面と設計報告書の提出が設計製図のゴールであった．熱心に取り組む学生がいる一方で，「どうせ製作するわけではないから... それなりに...」という学生の感想を耳にすることがあった．今から思うと「実際に製作してみたい」という気持ちの表れであったのかもしれない．

現在ではＣ言語による設計計算に加えて，3D-CAD ソフトを用いたモデリング，動作シミュレーション，CAE 解析そして３Ｄプリンタによる部品の造形と組立てまで行う事が可能になり，最後は発表会を実施し，プレゼンテーション能力を求めている．評価には学生の相互評価もあり，各班ともリーダーが中心となり全員が協力して発表の準備を行っている．このように授業内容はかなりの充実できたと自負しているが，授業の時間数は手書きの頃より減少している．いろいろなツールを十分に活用できる環境が整った事が大きい．さらにこの授業が４年生で終了した後に５年生で卒業研究に進む事になり，習得した知識を研究に活かしている．(手書き製図のころは５年生で履修する科目であった.)

現有の３Ｄプリンタから造形した部品の加工精度は一般の機械加工と比較すれば非常に悪く，誤差が 0.2㎜ 以上になることも多い．また造形ごとに形状がバラつくこともある．３Ｄプリンタの造形方法からして仕方ないところもあるが，丸棒の断面が楕円になっているようなものである．そのため組立ての際にヤスリやサンドペーパで形状の修正が必要であった．

平成 24 年度には補正予算により実習工場の工作機械の更新があり，最新の設備も導入されている．今年度は精度の要求される歯車について，３Ｄプリンタの造形から NC ホブ盤による切削加工と変更することを計画している．ただし予算と時間(歯車１枚の加工に約 30 分必要)のため全ての歯車をホブ盤で加工するのは現実的ではない．残念ながら一部の歯車のみホブ盤による加工になる予定である．

以上のように毎年設計製図の授業内容を更新しているが，これからも現状に合わせ発展できるようカリキュラムの向上を図っていきたいと考えている．

参考文献

［1］黒瀬雅司ほか２名：群馬高専における３次元プリンタを用いた設計実習，型技術，Vol. 29，No. 7，(2014)，PP. 12-13
［2］樫本弘ほか４名：群馬高専 機械工学科の「設計製図」における取組みについて，平成 25 年度高専フォーラム，ポスター発表資料

Efforts of Design and Drawing Education in Department of Mechanical Engineering

Hiroshi KASHIMOTO, Masashi KUROSE and Akira YAMAUCHI

Design and drawing is a core courses in mechanical engineering. Fourth grade student designs a two-stage gear reducer for 1 year. Performing design calculations using C language. It's modeled by 3D-CAD and the safety factor is confirmed using a CAE analysis. Then shaped it using three-dimensional printers. Finally the students have a presentation using the PowerPoint and video for each group. In this paper, based on the curriculum of courses that they are exercises, we will introduce our efforts in the lecture.

素数変数の微分方程式について

谷口 正 [*]　　平野　大樹 [†]

(2015 年 11 月 26 日受理)

1　はじめに

絶対数学と呼ばれている全く新しい数学的思想が黒川氏によって提唱されている (cf. [4]). 絶対数学には, 絶対ゼータ関数 ([3]), 絶対スキーム ([1], [2]), 絶対変形量子化 ([5]) などがある. この論文では絶対数学の中の絶対微分について考える. 2 節で説明するように絶対微分の最大の特徴は「非線形性」である. [5] で議論しているように絶対微分を扱っていると如何に我々は通常の数学において線形性に守られているかが分かる. 高層ビルの建築工事（数学研究）には命綱（線形性）をつけて行うが, この命綱がない状態（非線形性）で数学をやることはいつ落っこちてしまうか分からないくらい不安定で恐怖が伴うであろう. しかし真に新しい数学はこのような恐怖に打ち勝つ勇気が必要であろう. 黒川氏も言っている. 「他人の目や定説を気にしていてはできません. 先を行くのは孤独なものです」

我々の研究で何が新しいのかを簡単に説明する. 通常の幾何学における空間概念である微分可能多様体は実数体または複素数体上で展開される. 例えば, 普通の球面は実数点から成り立っている. この球面を構成している「実数点」を「有理数点」や「整数点」に置き換える. ここまでであれば代数幾何におけるスキーム論の範疇であるが, さらに「非線形な微分構造を入れる」. これに伴い「非線形数学」になる. なぜこのようなことを考えるかというと「実数点中心の幾何学からの脱却」「実数の連続性の否定」更なる先には, 「量子化とは何か」「新しい空間概念の模索」がある.

この論文は, それらの大きな目標に対する些細な実験結果である. 絶対微分を使って幾何学を展開するには, 幾何学者であれば接続と曲率を考えたい. 「絶対接続」なるものを考えるには「絶対微分方程式」を考えておく必要があろう. そもそも絶対微分方程式といっても本来の微分方程式の意味はない. この絶対微分方程式は現段階では何を表しているかは分からない. ただし, [5] で考えているように何か量子的な世界の対象物のような気はしている. とにかく絶対微分方程式の例とその解を求めておき, そこから接続と曲率の例を構成してみたのがこの論文の結論である.

2　黒川による絶対微分

一般に環 R 上の微分 $\mathcal{D}$ とは写像 $\mathcal{D}: R \to R$ で次の (1) と (2) を満たすものである. $f, g \in R$ に対して

$$\mathcal{D}(f+g) = \mathcal{D}(f) + \mathcal{D}(g) : \text{線型性} \tag{1}$$

$$\mathcal{D}(f \cdot g) = \mathcal{D}(f) \cdot g + f \cdot \mathcal{D}(g) : \text{ライプニッツ則} \tag{2}$$

環の重要な例である整数環 $\mathbb{Z}$ の微分はすべて 0 となることがわかる. よって $\mathbb{Z}$ 上ではこの環の微分の概念が使えない. そこで (1) の線型性を取り去る. こうすると $\mathbb{Z}$ 上の素数 p による非自明な微分が次のように定義できることが知られている ([3], [4]).

定義 1. 素数 p に対して, p についての微分 $\dfrac{\partial}{\partial p} : \mathbb{Z} \to \mathbb{Z}$ を次のように定義する.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x) = \begin{cases} 0 & (p \nmid x) \\ l p^{l-1} \cdot m & (x = p^l \cdot m \ (l \geq 1, p \nmid m)) \end{cases}$$

$l \in \mathbb{Z}_+, m \in \mathbb{Z}$. また $\dfrac{\partial}{\partial p}(0) = 0$ と定義する.

このとき $\dfrac{\partial}{\partial p}$ はライプニッツ則を満たすが線型性は満たさない. すなわち

$$\frac{\partial}{\partial p}(xy) = \frac{\partial}{\partial p}(x) y + x \frac{\partial}{\partial p}(y) \tag{3}$$

* 一般教科 (自然科学)
† 電子メディア工学科 5 年

$$\frac{\partial}{\partial p}(x+y) \neq \frac{\partial}{\partial p}(x) + \frac{\partial}{\partial p}(y) \tag{4}$$

これを $\mathbb{Z}$ 上の絶対微分という.

$$\frac{\partial}{\partial p}(xy) = \frac{\partial}{\partial p}(x)y + x\frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明.}$$

$x = p^l \cdot m, y = p^{l'} \cdot m', l > l', l, l' \geq 1, p \nmid m, m'$とすると

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(mm' \cdot p^{l+l'}) \\
&= mm' \cdot (l+l') \cdot p^{l+l'-1} \\
\text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(p^l \cdot m)p^{l'} \cdot m' + p^l \cdot m\frac{\partial}{\partial p}(p^{l'} \cdot m') \\
&= m \cdot lp^{l-1} \cdot p^{l'} \cdot m' + p^l \cdot m \cdot m' \cdot l'p^{l'-1} \\
&= mm'l \cdot p^{l+l'-1} + mm'l' \cdot p^{l+l'-1} \\
&= mm' \cdot (l+l') \cdot p^{l+l'-1}
\end{aligned}$$

よって右辺 $=$ 左辺となりライプニッツ則は満たす.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x+y) \neq \frac{\partial}{\partial p}(x) + \frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明}$$

$$\text{左辺} = \frac{\partial}{\partial p}(p^l \cdot m + p^{l'} \cdot m')$$

$l > l'$より $l = l' + k$ (ただし $k \in \mathbb{Z}_+$) とすると

$$\begin{aligned}
&= \frac{\partial}{\partial p}(p^{l'+k} \cdot m + p^{l'} \cdot m') \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(p^{l'}p^k \cdot m + p^{l'} \cdot m') \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(p^{l'} \cdot (mp^k + m')) \\
&= l'p^{l'-1} \cdot (mp^k + m') \\
&= ml'p^{l'+k-1} + m'l'p^{l'-1} \\
&= ml'p^{l-1} + m'l'p^{l'-1} \\
\text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(p^l \cdot m) + \frac{\partial}{\partial p}(p^{l'} \cdot m') \\
&= mlp^{l-1} + m'l'p^{l'-1}
\end{aligned}$$

よって左辺 $\neq$ 右辺となり線型性は満たさない.

p, q を素数としたとき微分が非線形であることともう一つ重要な性質に

$$[\frac{\partial}{\partial p}, \frac{\partial}{\partial q}] \neq 0$$

がある. この性質は 8 節で特徴づける.

3 整数環 $\mathbb{Z}$ 上絶対微分方程式の解

次のような $\mathbb{Z}$ 上絶対微分方程式の例を得る.

命題 1.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x) = x \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial p^2}(x) - (a+b)\frac{\partial}{\partial p}(x) + abx = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial p^2}(x) - \frac{\partial^2}{\partial q^2}(x) = 0 \tag{7}$$

(5) の解は $x = m \cdot p^p$ である. (6) の解は $x = m \cdot p^{ap}$ 及び $x = m \cdot p^{bp}$ である. (7) の解は $x = p^{kp}q^{kq}$ である. ただし, $p \nmid a, b$, $k \nmid p, q$ 及び $a, b, k \in \mathbb{Z}_+$ である.

それぞれの式に対して解が満たしているかを示す.

(5) について :

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(mp^p) \\
&= mpp^{p-1} \\
&= mp^p \\
\text{右辺} &= mp^p
\end{aligned}$$

よって左辺 $=$ 右辺

(6) について :

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial^2}{\partial p^2}(mp^{ap}) - (a+b)\frac{\partial}{\partial p}(mp^{ap}) + ab(mp^{ap}) \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(mapp^{ap-1}) - (a+b)mapp^{ap-1} + abmp^{ap} \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(map^{ap}) - (a+b)map^{ap} + abmp^{ap} \\
&= maapp^{ap-1} - (a+b)map^{ap} + abmp^{ap} \\
&= ma^2p^{ap} - (a+b)map^{ap} + abmp^{ap} \\
&= mp^{ap}(a^2 - a^2 - ba + ab) \\
&= mp^{ap} \cdot 0 \\
&= 0 \\
\text{右辺} &= 0
\end{aligned}$$

よって左辺 $=$ 右辺.また $x = m \cdot p^{bp}$でも同様になる.

(7) について :

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial^2}{\partial p^2}(p^{kp}q^{kq}) - \frac{\partial^2}{\partial q^2}(p^{kp}q^{kq}) \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(kpp^{kp-1}q^{kq}) - \frac{\partial}{\partial q}(p^{kp}kqq^{kq-1}) \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(kp^{kp}q^{kq}) - \frac{\partial}{\partial q}(p^{kp}kq^{kq}) \\
&= k^2pp^{kp-1}q^{kq} - p^{kp}k^2qq^{kq-1} \\
&= k^2p^{kp}q^{kq} - k^2p^{kp}q^{kq} \\
&= 0 \\
\text{右辺} &= 0
\end{aligned}$$

よって左辺 $=$ 右辺

4 有理数体 $\mathbb{Q}$ 上絶対微分の定義

以下 l は $l \in \mathbb{Z}$ とする.

定義 2. 素数 p についての有理数の微分 $\frac{\partial}{\partial p} : \mathbb{Q} \to \mathbb{Q}$ を次のように定義する.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x) = \begin{cases} 0 & (p \nmid x) \\ lp^{l-1} \cdot \frac{v}{u} & (x = p^l \cdot \frac{v}{u} \ (p \nmid v, u)) \end{cases}$$

このとき (3), (4) をみたす.

$$\frac{\partial}{\partial p}(xy) = \frac{\partial}{\partial p}(x)y + x\frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明}$$

$x = p^l \cdot \frac{v}{u}, y = p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'}, l > l', p \nmid v, v', u, u'$とすると

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial}{\partial p}\left(\frac{vv'}{uu'} \cdot p^{l+l'}\right) \\
&= \frac{vv'}{uu'} \cdot (l+l') \cdot p^{l+l'-1} \\
\text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial p}\left(p^l \cdot \frac{v}{u}\right)p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'} + p^l \cdot \frac{v}{u}\frac{\partial}{\partial p}\left(p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'}\right) \\
&= \frac{v}{u} \cdot lp^{l-1} \cdot p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'} + p^l \cdot \frac{v}{u} \cdot \frac{v'}{u'} \cdot l'p^{l'-1} \\
&= \frac{vv'}{uu'}l \cdot p^{l+l'-1} + \frac{vv'}{uu'}l' \cdot p^{l+l'-1} \\
&= \frac{vv'}{uu'} \cdot (l+l') \cdot p^{l+l'-1}
\end{aligned}$$

よって右辺 $=$ 左辺となりライプニッツ則は満たす.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x+y) \neq \frac{\partial}{\partial p}(x) + \frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明}$$

左辺 $= \frac{\partial}{\partial p}\left(p^l \cdot \frac{v}{u} + p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'}\right)$

$l > l'$より $l = l' + k$ (ただし $k \in \mathbb{Z}_+$) とすると

$$\begin{aligned}
&= \frac{\partial}{\partial p}\left(p^{l'+k} \cdot \frac{v}{u} + p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'}\right) \\
&= \frac{\partial}{\partial p}\left(p^{l'}p^k \cdot \frac{v}{u} + p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'}\right) \\
&= \frac{\partial}{\partial p}\left(p^{l'} \cdot \left(\frac{v}{u}p^k + \frac{v'}{u'}\right)\right) \\
&= l'p^{l'-1} \cdot \left(\frac{v}{u}p^k + \frac{v'}{u'}\right) \\
&= \frac{v}{u}l'p^{l'+k-1} + \frac{v'}{u'}l'p^{l'-1} \\
&= \frac{v}{u}l'p^{l-1} + \frac{v'}{u'}l'p^{l'-1} \\
\text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial p}\left(p^l \cdot \frac{v}{u}\right) + \frac{\partial}{\partial p}\left(p^{l'} \cdot \frac{v'}{u'}\right) \\
&= \frac{v}{u}lp^{l-1} + \frac{v'}{u'}l'p^{l'-1}
\end{aligned}$$

よって左辺 $\neq$ 右辺となり線型性は満たさない.　この $\mathbb{Q}$ 上絶対微分方程式の解は $\mathbb{Z}$ 上絶対微分方程式と同様の形になることがわかる.

5　無理数集合 $\mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}$ 上絶対微分の定義

定義 3. 素数 p についての無理数の微分 $\frac{\partial}{\partial p} : \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q} \to \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}$ を次のように定義する.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x) = xp^{-1}\log_p x \ (x = p^{\log_p x}(x > 0,\ x \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}))$$

このとき (3), (4) をみたす.

$$\frac{\partial}{\partial p}(xy) = \frac{\partial}{\partial p}(x)y + x\frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明}$$

$x = p^{\log_p x}, y = p^{\log_p y}, x, y > 0,\ x, y \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}$ とすると

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(p^{\log_p x + \log_p y}) \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(p^{\log_p xy}) \\
&= xyp^{-1}\log_p xy \\
\text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(p^{\log_p x})p^{\log_p y} + p^{\log_p x}\frac{\partial}{\partial p}(p^{\log_p y}) \\
&= xp^{-1}\log_p x \cdot p^{\log_p y} + p^{\log_p x} \cdot yp^{-1}\log_p y \\
&= y \cdot xp^{-1}\log_p x + x \cdot yp^{-1}\log_p y \\
&= xyp^{-1}(\log_p x + \log_p y) \\
&= xyp^{-1}\log_p xy
\end{aligned}$$

よって左辺 $=$ 右辺よりライプニッツ則を満たす.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x+y) \neq \frac{\partial}{\partial p}(x) + \frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明}$$

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(x+y) \\
&= \frac{\partial}{\partial p}(p^{\log_p(x+y)}) \\
&= (x+y)p^{-1}\log_p(x+y) \\
\text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(p^{\log_p x}) + \frac{\partial}{\partial p}(p^{\log_p y}) \\
&= xp^{-1}\log_p x + yp^{-1}\log_p y \\
&= p^{-1}(\log_p x^x + \log_p y^y) \\
&= p^{-1}\log_p(x^x + y^y)
\end{aligned}$$

よって左辺 $\neq$ 右辺より線型性は満たさない.

6　複素数体 $\mathbb{C}$ 上絶対微分の定義

定義 4. 素数 p についての複素数の微分 $\frac{\partial}{\partial p} : \mathbb{C} \to \mathbb{C}$ を次のように定義する. ただし, $i = \sqrt{-1}$ である.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x) = \begin{cases} 0 & (p \nmid x) \\ ilp^{il-1} \cdot m & (x = p^{il} \cdot m\ (m, l \in \mathbb{Z})) \end{cases}$$

このとき (3), (4) をみたす.

$$\frac{\partial}{\partial p}(xy) = \frac{\partial}{\partial p}(x)y + x\frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明}$$

$x = p^{il} \cdot m, y = p^{il'} \cdot m', l > l', p \nmid m, m'$とすると

$$\begin{aligned}
\text{左辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(mm' \cdot p^{i(l+l')}) \\
&= mm' \cdot i(l+l') \cdot p^{i(l+l')-1} \\
\text{右辺} &= \frac{\partial}{\partial p}(p^{il} \cdot m)p^{il'} \cdot m' + p^{il} \cdot m\frac{\partial}{\partial p}(p^{il'} \cdot m') \\
&= m \cdot ilp^{il-1} \cdot p^{il'} \cdot m' + p^{il} \cdot m \cdot m' \cdot il'p^{il'-1} \\
&= mm'il \cdot p^{i(l+l')-1} + mm'il' \cdot p^{i(l+l')-1} \\
&= mm' \cdot i(l+l') \cdot p^{i(l+l')-1}
\end{aligned}$$

よって右辺 $=$ 左辺となりライプニッツ則は満たす.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x+y) \neq \frac{\partial}{\partial p}(x) + \frac{\partial}{\partial p}(y) \text{ の証明}$$

左辺 $= \dfrac{\partial}{\partial p}(p^{il} \cdot m + p^{il'} \cdot m')$
$l > l'$ より $l = l' + k$ (ただし $k \in \mathbb{Z}_+$) とすると
$= \dfrac{\partial}{\partial p}(p^{i(l'+k)} \cdot m + p^{il'} \cdot m')$
$= \dfrac{\partial}{\partial p}(p^{il'} p^{ik} \cdot m + p^{il'} \cdot m')$
$= \dfrac{\partial}{\partial p}(p^{il'} \cdot (mp^{ik} + m'))$
$= il' p^{il'-1} \cdot (mp^{ik} + m')$
$= mil' p^{i(l'+k)-1} + m'il'p^{il'-1}$
$= mil' p^{il-1} + m'il'p^{il'-1}$
右辺 $= \dfrac{\partial}{\partial p}(p^{il} \cdot m) + \dfrac{\partial}{\partial p}(p^{il'} \cdot m')$
$= mlip^{il-1} + m'il'p^{il'-1}$
よって左辺 $\neq$ 右辺となり線型性は満たさない.

7 絶対複素微分方程式の解

次のような $\mathbb{C}$ 上絶対微分方程式の例を得る.

命題 2.

$$\frac{\partial}{\partial p}(x) = ix \tag{8}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial p^2}(x) - i(a+b)\frac{\partial}{\partial p}(x) - abx = 0 \tag{9}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial p^2}(x) + \frac{\partial^2}{\partial q^2}(x) = 0 \tag{10}$$

(8) の解は $x = m \cdot p^{ip}$ である.(9) の解は $x = m \cdot p^{iap}$ 及び $x = m \cdot p^{ibp}$ である. (10) の解は $x = p^{ikp}q^{kq}$ 及び $x = p^{kp}q^{ikq}$. ただし, $p \nmid a, b$, $k \nmid p, q$ である.

それぞれの式に対して解が満たしているかを示す.
(8) について:
左辺 $= \dfrac{\partial}{\partial p}(mp^{ip})$
$= mipp^{ip-1}$
$= mip^{ip}$
右辺 $= mip^{ip}$
よって左辺 $=$ 右辺
(9) について:
左辺 $= \dfrac{\partial^2}{\partial p^2}(mp^{iap}) - i(a+b)\dfrac{\partial}{\partial p}(mp^{iap}) - ab(mp^{iap})$
$= \dfrac{\partial}{\partial p}(miapp^{iap-1}) + (a+b)mapp^{iap-1} - abmp^{iap}$
$= \dfrac{\partial}{\partial p}(miap^{iap}) + (a+b)map^{ap} - abmp^{iap}$
$= -maapp^{iap-1} + (a+b)map^{iap} - abmp^{iap}$
$= -ma^2p^{iap} + (a+b)map^{iap} - abmp^{iap}$
$= mp^{iap}(-a^2 + a^2 + ba - ab)$
$= mp^{iap} \cdot 0$
$= 0$
右辺 $= 0$
よって左辺 $=$ 右辺.また $x = m \cdot p^{ibp}$ でも同様になる.
(10) について:
左辺 $= \dfrac{\partial^2}{\partial p^2}(p^{ikp}q^{kq}) + \dfrac{\partial^2}{\partial q^2}(p^{ikp}q^{kq})$
$= \dfrac{\partial}{\partial p}(ikpp^{ikp-1}q^{kq}) + \dfrac{\partial}{\partial q}(p^{ikp}kqq^{kq-1})$
$= \dfrac{\partial}{\partial p}(ikp^{ikp}q^{kq}) + \dfrac{\partial}{\partial q}(p^{ikp}kq^{kq})$
$= -k^2pp^{ikp-1}q^{kq} + p^{ikp}k^2qq^{kq-1}$
$= -k^2p^{ikp}q^{kq} + k^2p^{ikp}q^{kq}$
$= 0$
右辺 $= 0$
よって左辺 $=$ 右辺.また $p^{kp}q^{ikq}$ でも同様になる.

8 絶対接続と絶対曲率

次のような連立微分方程式を考える.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y}{\partial x_1} + a_1 y = 0 \\ \dfrac{\partial y}{\partial x_2} + a_2 y = 0 \end{cases} \tag{11}$$

$$y = y(x_1, x_2) = \begin{pmatrix} y^1(x_1, x_2) \\ y^2(x_1, x_2) \end{pmatrix} \in \mathbb{Q}^2$$

x_1 と x_2 は素数である.

$a_1 = a_1(x_1, x_2)$ と $a_2 = a_2(x_1, x_2)$ は有理数係数の 2×2 行列でこの連立方程式 (11) の 2 つの解を y_1, y_2 とする. 2×2 行列 $Y = (y_1\ y_2)$ に対して (11) は

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial x_1} Y + a_1 Y = 0 \\ \dfrac{\partial}{\partial x_2} Y + a_2 Y = 0 \end{cases} \tag{12}$$

となる. この連立方程式のそれぞれの第 2 項と右辺に移項して両辺を x_2, x_1 で微分すると

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_1} Y + \dfrac{\partial a_1}{\partial x_2} Y + a_1 \dfrac{\partial}{\partial x_2} Y = 0 & (13) \\ \dfrac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} Y + \dfrac{\partial a_2}{\partial x_1} Y + a_2 \dfrac{\partial}{\partial x_1} Y = 0 & (14) \end{cases}$$

を得る. (14) − (13) と (12) を使って

$$\left(\frac{\partial a_2}{\partial x_1} - \frac{\partial a_1}{\partial x_2} + [a_1, a_2] + \frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} - \frac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_1}\right) Y = 0$$

となり

$$\hat{F}_{12} = \frac{\partial a_2}{\partial x_1} - \frac{\partial a_1}{\partial x_2} + [a_1, a_2] + \frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} - \frac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_1}$$

とおくと

$$\hat{F}_{12} \equiv 0$$

を意味する.

$$\hat{F} = \hat{F}_{12} dx_1 \wedge dx_2$$

とおきてこれを絶対曲率と定義する.

一方 (11) の第 1 式に dx_1, 第 2 式に dx_2 をかけて

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + a_1 dx_1 y = 0 \\ \dfrac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + a_2 dx_2 y = 0 \end{cases}$$

を得る. この 2 式を加えてまとめると

$$\nabla y = 0$$

と表現できる. ここで微分作用素 ∇ は

$$\nabla = d + A, \qquad A = a_1 dx_1 + a_2 dx_2$$

によって定義される. この ∇ を絶対接続と呼ぶ.

(12) をまとめて

$$\frac{\partial}{\partial x_i} Y + a_i Y = 0, \quad (i = 1, 2)$$

と書く. $Y = gY_1$ によって変数 Y を Y_1 に変数変換する. g は有理数係数の 2×2 行列である. そのとき

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(gY_1) + a_i(gY_1) = 0.$$

これは次のように計算できる.

$$\frac{\partial g}{\partial x_i} Y_1 + g\frac{\partial Y_1}{\partial x_i} + a_i g Y_1 = 0.$$

この式に左から g^{-1} をかけて

$$\frac{\partial Y_1}{\partial x_i} + (g^{-1} a_i g + g^{-1}\frac{\partial g}{\partial x_i}) Y_1 = 0.$$

よって (12) 式は次のように書き換えられる.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Y_1}{\partial x_i} + b_i Y_1 = 0 \\ b_i = g^{-1} a_i g + g^{-1}\dfrac{\partial g}{\partial x_i} \end{cases}$$

$A_1 = b_1 dx_1 + b_2 dx_2$ とおくと $A = a_1 dx_1 + a_2 dx_2$ と合わせて

$$A_1 = g^{-1} A g + g^{-1} dg \tag{15}$$

を満たすことが分かる. これは絶対接続が座標変換に耐えていることである.

またこの ∇ から絶対曲率は次のように導ける.

$\nabla_i = \nabla_{\frac{\partial}{\partial x_i}}$ とおくと $\nabla_i = \dfrac{\partial}{\partial x_i} + a_i$ $(i = 1, 2)$ とおける. 絶対曲率はこの ∇_i の非可換性を測るものと考えると

$$[\nabla_i, \nabla_j] = \frac{\partial a_j}{\partial x_i} - \frac{\partial a_i}{\partial x_j} + [a_i, a_j] + \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_i}$$

となり $\hat{F}_{12}$ と一致する.

今の場合 $\hat{F}_{12} \equiv 0$ でこのような ∇ は絶対平坦接続という.

命題 3. 連立微分方程式 (11) が解をもつための必要条件は $\hat{F}_{12} \equiv 0$ である.

十分条件を示すには解の存在定理を証明しなければならない. これは今後の問題である. また

$$F_{12} = \frac{\partial a_2}{\partial x_1} - \frac{\partial a_1}{\partial x_2} + [a_1, a_2]$$

とおいてこれを相対曲率と呼ぶことにする. すると

$$(\frac{\partial a_2}{\partial x_1} - \frac{\partial a_1}{\partial x_2} + [a_1, a_2])Y = (\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} - \frac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_1})Y$$

より次の結果を得る.

命題 4. $F_{12} \equiv 0$ であるための必要十分条件は

$$[\frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2}] = 0.$$

絶対微分の特徴の一つは, 一般に $[\dfrac{\partial}{\partial x_1}, \dfrac{\partial}{\partial x_2}] \neq 0$ であるがこの性質が相対曲率で測ることができるということである. 相対曲率の型を見てもらえばわかるがこれは通常の曲率の型になっている. 絶対数学においてはこのように絶対曲率と相対曲率の二つが考えられる. 幾何学を議論するのであれば座標変換に耐えることを示さなくてはならない. 絶対接続は (15) より座標変換に耐えることが分かったが, 絶対曲率は座標変換に耐えるかどうかは今のところ分からない. これも今後の問題である.

参考文献

[1] A. Connes, C. Consani, On the Notion of Geometry over $\mathbb{F}_1$, arXiv:math/0809296.

[2] A. Deitmar, Schemes over $\mathbb{F}_1$, arXiv:math/0404185.

[3] N. Kurokawa, H. Ochiai, M. Wakayama, Absolute Derivations and Zeta Functions, Documenta Math. Extra volume Kato, 565-584, 2003.

[4] 黒川, 若山, 絶対カシミール元 , 岩波書店, 2002.

[5] T. Taniguchi, Absolute Differential Forms and Absolute Deformation Quantization on Prime Set, in preparation.

Absolute Differential Equations of Prime Variable

Daiki HIRANO and Tadashi TANIGUCHI

The purpose of this paper is to give the absolute mathematics for the differential equations. Absolute mathematics was introduced by N. Kurokawa in order to solve the Riemann conjecture. One of the idea for absolute mathematics is the prime differential on the rational integer. We obtain a solution of absolute differential equations on rational integer, rational number, irrational number and complex number respectively. We also define the connection and curvature using the simultaneous equations of two variables.

どうすれば実習中の事故を未然に防げるか
－ＫＹＴ活動、ヒヤリ・ハット事例から見えてきた事－

浅見　博*

（2015年11月26日受理）

１．はじめに

工作機械、特に工具や材料を高速で回転させる機械に初めて触れる学生にはよくこんな話をしている。

工場に設置されている多くの機械は硬くて強い金属を加工するために作られている。そのため人力よりはるかに強力なモーターを高速で回して加工しているから、もし回転部に服や髪の毛が絡み取られたら、あっという間に引きずり込まれて大惨事になる。また機械には硬い金属を削るため、さらにそれより硬い刃物が取り付けられているが、それらは脆く割れやすい性質を持っており、誤って無理な力をかけるとあっという間に砕けて飛散し、その破片が目を直撃したらこれも大変な事故になってしまう。

工作機械は手作業ではできない作業を早く精確にこなしてくれる金属加工には欠かせないものだが、その分危険もはらんでいる事を忘れないでほしい。

そして、これらの危険から身を守るために必要なのは、正しい知識と、他人任せにしない君たち自身の安全意識である。

****

私たち工場に勤務する職員は、学生が作業中に事故や災害に遭わぬよう、怠りなく配慮している。特に機械工学科学生の工作実習時には、口酸っぱく安全注意を繰り返している。その甲斐もあってか、近年工場内では大きな事故・災害は発生していない。

しかし、安全対策にもうこれでいいということはない。H26年度からさらに体系的な安全教育活動としてＫＹＴを導入、並行してヒヤリ・ハット事例の収集・活用を開始した。

本稿ではH26・27年度に本校機械工学科生に対して実施したＫＹＴについての方法、具体的内容、評価、及びヒヤリ・ハット事例とその情報共有の取り組みについて報告する。

*教育研究支援センター

２．ＫＹＴ活動

２．１　ＫＹＴとは

ＫＹＴは、現場や日々の作業にひそむ危険を、原因とそれが引き起こす事故・災害に分けて分析、予想し、解決を導く訓練である。ヒューマンエラー事故防止のための安全先取り手法として発展確立してきた。

ＫＹＴとは危険（Kiken）、予知（Yochi）、トレーニング（Training）の各頭文字をとったもので、危険予知訓練の略称である。ＫＹＴは職場や作業における災害・事故を未然防止するための訓練・活動として、多くの企業、団体で取り入れられている。一般的に、小集団で話し合いながら、作業の状況を描いたイラストシート等を使って、危険のポイントや対処・対策を考え、最も重要な項目を絞込み指差唱和・指差呼称で確認、といった手順で行われる。次節でＫＹＴのより具体的な方法を説明する。

表-1　基礎４ラウンド法の概要

段階	進め方
準備	５～６人のチームでリーダー、書記を決める。具体的な作業の状況を説明するイラストシート、記録用紙、できれば模造紙ホワイトボード等みなで見やすいものを用意する。
導入	挨拶、健康確認等、KYTに入る雰囲気づくり。
第1R 現状把握	イラストシートの中に「どんな危険がひそんでいるか」を発見し、危険要因とその要因が引き起こす現象を想定して出し合い、共有する。
第2R 本質追究	発見した危険のうち、「これが危険のポイントだ」と思われる項目に○印、さらにみなの合意で絞り込み◎印とアンダーラインを引き、危険のポイントとして確認する。
第3R 対策樹立	◎印をつけた危険のポイントを解決するには「あなたならどうする」かを考え、具体的な対策案を出し合う。
第4R 目標設定	対策案の中からみんなの合意で「私たちはこうする」ものを絞り込み、※印をつけ重点実施項目とする。それを実践するためのチーム行動目標を設定し指差し唱和で確認する。
確認	簡潔化した指差し呼称項目を決め、全員で指差し唱和する。

２．２　ＫＹＴの進め方

ＫＹＴの一般的な進め方について、最も基本的な基礎4ラウンド（R）法を例に説明する。表-1に基礎4ラウンド法の概要を記す。

以下に各ステップのポイントを述べる。

・準備

初めて行う場合には、メンバーに訓練の趣旨を詳しく説明しておく。またリーダーは必要に応じて各ラウンドの時間配分、何項目ぐらい出すか等もあらかじめ決めて連絡しておく。

・第1R：現状把握

リーダーはイラストシートを見せ、そこに「どんな危険がひそんでいるか」をメンバーに問いかける。メンバーは気付いた危険を危険要因とその要因が引き起こす現象を想定して「～なので～して～なる」の形で発言する。

発言に当たっては「批判禁止」、「自由奔放」、「大量生産」、「便乗加工」（他人のアイディアに便乗発展させてもよい）を心がけ、活発な意見交換に努める。書記は発言を記録する。一般的に７項目以上の危険が挙げられたら第2Rに進む。

例：「チェックハンドルを取り付けたまま主軸をまわしたので、ハンドルが高速で飛び、作業者に当たって、けがをする」

・第2R：本質追究

発見した危険のうちから、質の高い重要だと思われる危険を合意し危険のポイントとする。○印は何個になってもよい。この中から事故の可能性・頻度、事故が起こったときの重大性を鑑みて１～２項目に絞込み、その項目を◎にする。絞り込み項目を全員で指差し唱和する。

・第3R：対策樹立

リーダーは第2Rで◎をつけた項目について、対策をメンバーに問いかける。全員が発言できるように心がける。メンバーは具体的かつ実行可能な対策を発言する。その際「～しない」のような否定的、禁止的な表現は避け、「～する」の形で。各ポイントに対して3項目程度出されたら第4Rへ進む。

例：「主軸を回転する時は、チャックハンドルの取り外しを確認する」

・第4R：目標設定

リーダーは全員の合意で、第3Rで提案された対策から重点実施項目をひとつ絞り込む。さらに重点実施項目をズバリとらえた、具体的なチーム行動目標を設定する。チーム行動目標を指差し唱和で確認して最終段階へ。

例：「主軸を回転する時は、まずチャックハンドルの取り外しを確認しよう　ヨシ！」

・確認：指差し呼称項目設定・唱和

重点実施項目を、実際に現場で指差し呼称して確認できるように、簡潔かつ鋭く切り込む指差し呼称項目を設定する。最後にリーダーのリードでこの呼称を全員で3回唱和する。最後にタッチアンドコール等でＫＹＴを締めくくる。

例：「チャックハンドル脱着　ヨシ！」（3回唱和）

　　「ゼロ災でいこう　ヨシ！」

２．３　ＫＹＴ実施

本校でH27年4月までに実施したＫＹＴを表-2に記す。

表-2　本校でH27年４月までに実施したＫＹＴ

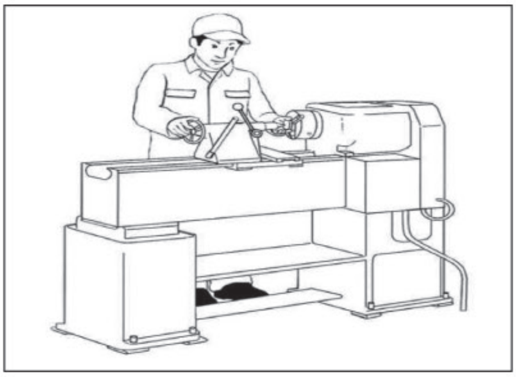
対象	実施日	備考
機械工学科 ２年生 45 名	H26-11-05	ホームルーム時に実施（約 90 分）
機械工学科 ２年生 44 名	H27-04-14	工作実習オリエンテーション時（約 70 分）
機械工学科 ５年生 20 名	H27-04-08	機械工学特論Ⅱ（選択科目）時（約 90 分）

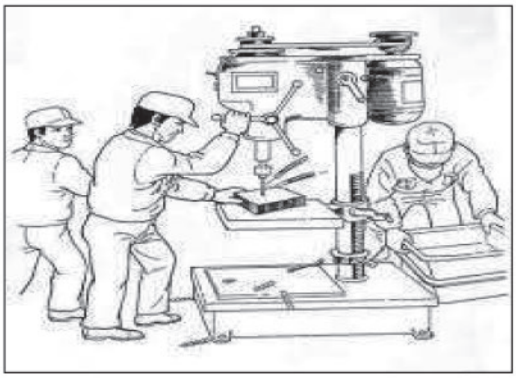
各回とも、特に工場内の作業における、学生一人ひとりの危険に対する感受性を高め、安全意識を向上させることを目的として設定した。

具体的なＫＹＴの手順説明は時間がかかるため、まずトレーニングDVDを視聴し、ＫＹＴの概要、進め方、要点などを全員が理解してから本番を実施した。DVDは市販品（（株）映像研　「どんな危険がひそんでいるか」徹底訓練　～ＫＹＴ基礎４ラウンド法の進め方～）を使用した。

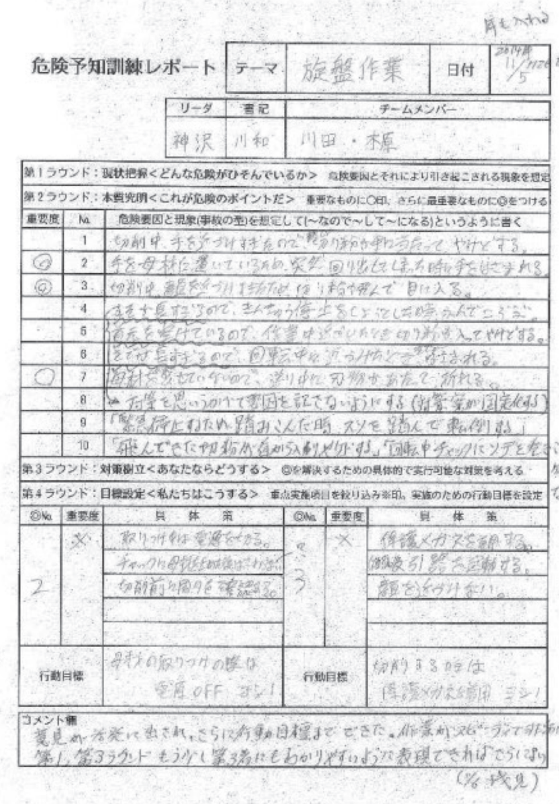
各チーム4、5名の構成とし、イラストシートは工作実習で経験している旋盤とボール盤作業から一つを選択することにした（図-1,2　参照）。また模造紙、ホワイトボードなど、現場で見やすい大きなものに書いて進行する方法が一般的だが、今回は教室で実施するため、A4の専用レポート用紙に書記係が直接記入することにした。

初めのうちは、各チームともとまどいがあり提案も渋りがちだったが、巡回しながら少しずつアドバイスを繰返すとコツを掴んだようで、どのチームも積極的に提案されるようになった。初回時（機械工学科　2年生）のＫＹＴの様子と提出レポートを写真-1、2、3、図-3に紹介する。準備する側も受ける側も初めてのＫＹＴだったにもかかわらず、全般的に理解され、レポートも良くまとまっているとの印象を受けた。





上から図-1,2　写真1,2,3



月も入れる

危険予知訓練レポート

テーマ	旋盤作業	日付	2014年 11/5 （11/26 など）

リーダ	書記	チームメンバー
神沢	川和	川田・木原

第1ラウンド：現状把握＜どんな危険がひそんでいるか＞　危険要因とそれにより引き起こされる現象を想定

第2ラウンド：本質究明＜これが危険のポイントだ＞　重要なものに○印、さらに最重要なものに◎をつける

重要度	No.	危険要因と現象(事故の型)を想定して(～なので～して～になる)というように書く
	1	切削中、手を近づけすぎたので、切り粉が手に当たってやけどする。
◎	2	手を母材に置いているため、突然回り出してしまった時に手をはさまれる。
◎	3	切削中、顔を近づけすぎたため、切り粉が飛んで目に入る。
	4	[illegible]
	5	首元を空けているので、作業中近づいた時切り粉が入ってやけどする。
	6	そでが長すぎるので、回転中に近づけた時そでが[illegible]される。
○	7	母材を固定していないので、途中に刃物があたって折れる。
	8	対策を思いうかべて要因を記さないようにする（対策案が固定化する）
	9	「緊急停止するため踏みこんだ時、スソを踏んで転倒する」
	10	「飛んできた切粉が目から入りやけどする」「回転中チャックにソデを巻きこまれ[illegible]」

第3ラウンド：対策樹立＜あなたならどうする＞　◎を解決するための具体的で実行可能な対策を考える

第4ラウンド：目標設定＜私たちはこうする＞　重点実施項目を絞り込み※印、実施のための行動目標を設定

◎No.	重要度	具体策	◎No.	重要度	具体策
2	※	取りつけ時は電源を切る。	3	※	保護メガネを着用する。
		チャックに母材を[illegible]			[illegible]する。
		切削前に周りを確認する。			顔を近づけない。
行動目標		母材の取りつけの際は 電源OFF ヨシ！	行動目標		切削する時は 保護メガネ着用 ヨシ！

コメント欄
意見が活発に出され、さらに行動目標までできた。作業がスムーズ[illegible]
第1、第3ラウンド もう少し第3者にもわかりやすいような表現できればさらに良い
（11/6 [illegible]）

図-3KYTレポート-

２．４　ＫＹＴの評価

ＫＹＴの効果について当初の目的を達成したか否かを確認するため、ＫＹＴ実施後にアンケート調査をした。以下、質問と結果を記す。（全回答者数　109名）

①　ＫＹＴの目的について、この訓練は“作業をする上での危険を察知する危険感受性を高めるもの”とありましたが、この意義は理解できましたか？

- *理解できた　100％*
- *理解できなかった　0％*
- *その他　(具体的に記入してください)　0％*

②　ＫＹＴを実施した事によって安全意識は向上しましたか？

- *向上した　98％*
- *変化なし　1％*
- *その他　(具体的に記入してください)　1％*

③　その他、今回のＫＹＴの感想、今後ＫＹＴを継続していく上での改善提案等ありましたら、自由に記述してください。（目立った回答を記す）

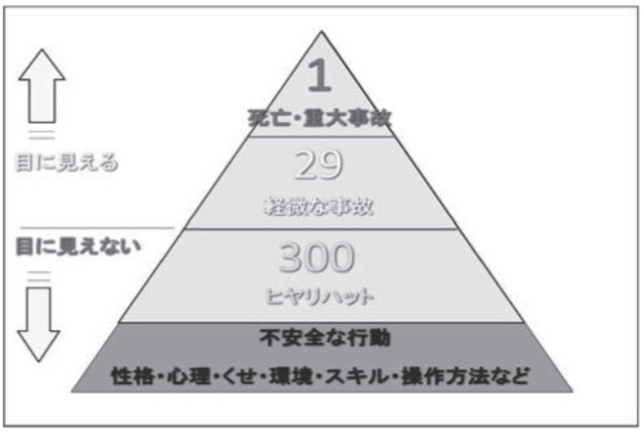
- *今回のKTYを受けて、安全意識を実習の時、常に心がけたいと思った。*
- *危険について認識はしていたものの、限定的だった。*

今まで気付かなかった危険が認識されて良かった。改めて気を引き締めることができた。
- *ＫＹＴ実習では他の意見を聞き自分では気付かなかった危険をたくさん認識できた。*
- *危険は一人ではなくみなで解決していくものだと感じた。*
- *高専でほとんど話し合うということをしなかったので、改めてコミュニケーションの大切さを知った。*
- *危険予知訓練はそんなに重要ではないことだと思っていましたが、この体験をしてとても安全面に気をつけようと思った。*
- *客観的に考えることは意外に難しかった。*

②の結果を見る限り、ＫＹＴの実施に当たり当初掲げた「一人ひとりの危険に対する感受性を高め、安全意識を向上させる」という目的は十分に達せられたと考えられる。また、③の回答でも安全意識の向上を裏打ちする意見が多く見られた。

その他の所感として、ＫＹＴのような、グループでブレーンストーミングをして共同でひとつの結論を導くような授業は、特に2年生の段階ではあまり経験がないためか非常に新鮮に感じられたようである。はじめは若干「やらされている感」もみられたが、進めていくにつれて積極的に参加していく変化も確認できた。ＫＹＴは安全教育としてだけでなく、共同作業のトレーニング、コミュニケーション力の向上の手法としても効果が期待できるのではないかと考えている。

３．ヒヤリ・ハット



図−4-ハインリッヒの法則

1929年11月19日に出版されたH.W.ハインリッヒの論文によれば、重大事故は1:29:300の比率で発生する。（図-4ハインリッヒの法則参照）「重傷」以上の災害が1件あったら、その背後には、29件の「軽傷」を伴う災害が起こり、300件もの「ヒヤリ・ハット」した（あやうく大惨事になる）傷害のない災害が起きていることになる。更に、その背景には幾千件もの「不安全行動」と「不安全状態」が存在しており、そのうち予防可能であるものは労働災害全体の98%を占める、とも述べている。

重大災害の防止のためには、事故や災害の発生が予測されたヒヤリ・ハットの段階で対処していくことが必要になる。

３．１　ヒヤリ・ハットアンケート

このことから、主に実習作業時間に発生するヒヤリ・ハットは災害防止につながる貴重なデータとなりうるため、まずこれを「見える化」する必要があると考え、ＫＹＴ実施後のアンケートで、ヒヤリ・ハット経験の有無とその発生状況について調査した。

以下、質問と結果を記す。（全回答者数　109名）

幸いにして重大な災害や事故には至らなかったものの、直結してもおかしくない一歩手前の事象をヒヤリ・ハットといいます。1年生から現在までの工作実習中に遭遇した、工作実習中のヒヤリ・ハット事例について、教えてください。

・ヒヤリ・ハットの経験はない　　47％
・ヒヤリ・ハットの経験をした　　53％

各自が経験したヒヤリ・ハットは今後の重大事故未然防止のための貴重なデータになります。みなの安全向上のため、なるべく詳しく教えてください

回答のあったヒヤリ・ハット事例　68件

内訳

旋盤作業中	*31件*
フライス盤作業中	*22件*
ボール盤作業中	*8件*
溶接作業中	*5件*
その他	*2件*

さらに具体的なヒヤリ・ハットの内容を見てみると同じような事例が繰り返しおきていることがわかる。以下主な事例を挙げる。

旋盤
- チャックハンドルしたまま主軸回転　10件
- 自動送りのミス（逆送、解除忘）　6件
- 加工中の工具の緩み　3件

フライス盤
- 早送り自動送りのミス　6件
- 材料の固定緩み　5件

ボール盤
- 材料の固定ミス（加工中回る、飛ぶ）　3件

３．２　ヒヤリ・ハット情報の共有・活用

アンケートで回答のあったヒヤリ・ハット事例については担当教職員で分担してコメントを添え、工場内で掲示を始めた。（写真-4参照）なるべく多くの目に触れるよう出口近くの手洗い設備近くに掲示板（ホワイトボード）を設置した。

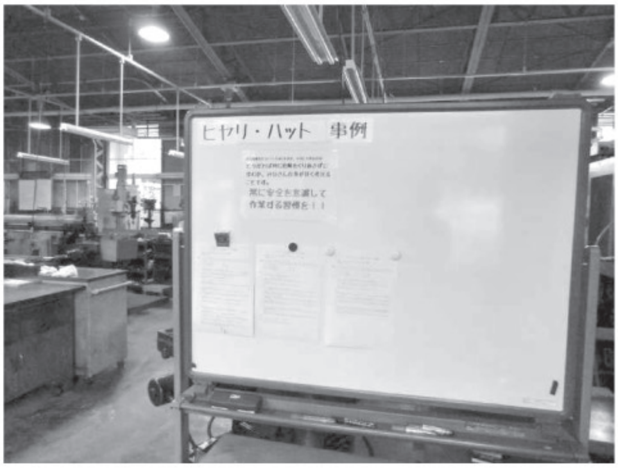
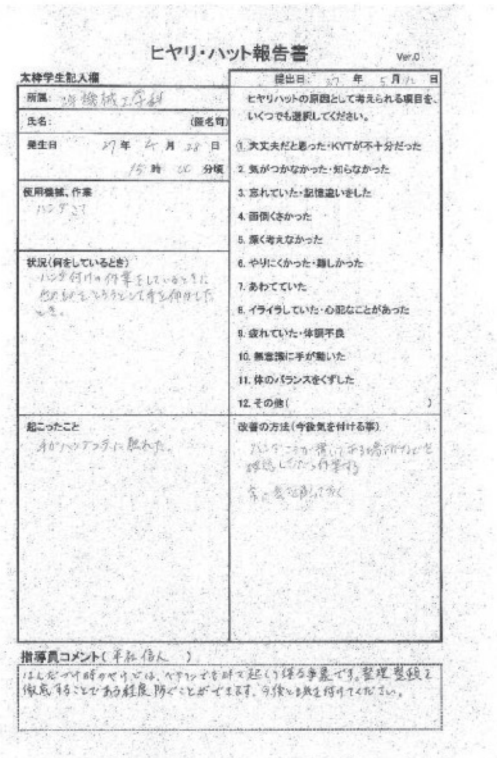


写真-4-ヒヤリ・ハット掲示板



ヒヤリ・ハット報告書　Ver.0

太枠学生記入欄

提出日：27年 5月 日

所属：機械工学科

氏名：　（匿名可）

発生日　27年 4月 28日　15時 　分頃

使用機械、作業　ハンダごて

状況（何をしているとき）

ヒヤリハットの原因として考えられる項目を、いくつでも選択してください。

1. 大丈夫だと思った・KYTが不十分だった
2. 気がつかなかった・知らなかった
3. 忘れていた・記憶違いをした
4. 面倒くさかった
5. 深く考えなかった
6. やりにくかった・難しかった
7. あわてていた
8. イライラしていた・心配なことがあった
9. 疲れていた・体調不良
10. 無意識に手が動いた
11. 体のバランスをくずした
12. その他（　　）

起こったこと

改善の方法（今後気を付ける事）

指導員コメント（　）

さらに、H27年度の新学期から機械工学科の工作実習の時間にヒヤリ・ハットがあった場合には、速やかにヒヤリ・ハット報告書を提出するよう指導している。図-5に一例を示す。

報告書の記載内容については、書くこと自体が負担にならぬよう、できるだけ簡潔にすることを心がけた。こちらも準備が整いしだい、担当のコメントをつけて公開の予定である。

また、ＫＹＴのイラストシートの題材として、従来の一般的な旋盤・ボール盤作業だけでなく、ヒヤリ・ハットで実際にあった事例を参考にイラストシート・写真を作成することで、どうすれば同じ危険を回避できるかをテーマに、リアリティの感じられるＫＹＴに発展させることも検討中である。

４．まとめ

以上、H26年度から機械工学科の学生向けに取組を始めたＫＹＴとヒヤリ・ハット事例の収集・活用について述べてきた。未だ試行錯誤の段階ではあるが、特にＫＹＴについては、アンケートの結果からも「学生一人ひとりの危険に対する感受性を高め、安全意識を向上させる」との目的は達せられたと考えている。今後とも、愚直に災害０の永続をめざし、安全意識を高める活動を進めてゆきたい。

そのために、グループによる基礎4R法を中心に、機会ある毎にＫＹＴを実施していこうと考えている。

最後に今後の展望を記す。

・ＫＹＴは一回でおしまいではなく学生に対してはなるべく継続的に実施したい。
・安全に対する意識を全校レベルで高めていくためには教職員へのＫＹＴも必要。
・ヒヤリ・ハット報告とその情報共有はさらに見やすくより浸透性のある掲示方法を検討する。

最後になってしまいましたが、このたびのKYTをはじめとする安全教育の充実については、富山高専伊藤様・小澤様、小山高専出川様・生井様はじめ内外の多くの方々のご指導、励ましがあって実現しました。

具体的なKYTの実施にあたっては機械工学科金子忠夫教授・櫻井文仁教授・矢口久雄講師をはじめ多くの方々のご協力を賜りました。

ヒヤリ・ハット報告書のフォームの作成については、機械工学科平社信人准教授に監修していただきました。

この場をお借りして厚く感謝申し上げます。

ありがとうございました。

参考文献・ＵＲＬ

1) 中央労働災害防止協会：危険予知活動トレーナー必携
平成 26 年 6 月 27 日　中央労働災害防止協会編
2) フリー百科事典ウィキペディア「ハインリッヒの法則」
3) http://blogs.yahoo.co.jp/oira_wa_oiler/54676602.
セルフ GS のバイトのブログ 2015/1/9 「命あっての物種」.
4)https://www.jniosh.go.jp/icpro/jicosh-old/japanese/topics/safety/zeroaccident/zero-sai/index.html
国際安全衛生センターHP 外国語による危険予知活動（KYT）資料.

Practice of KYT and apply the near miss accidents cases

ASAMI Hiroshi

We started the KYT as safety education for students .（KYT (K: kiken (hazard), Y: yochi (prediction), T:(training)))）Using illustrations showing the workplace and work conditions, or while supervising or demonstrating work in real situations on site, discuss in small groups hazardous factors in the workplace and in work conditions (unsafe conditions and unsafe behavior that may lead to industrial accidents or accidents). Discuss, think about, and understand (or ask yourself about) the phenomena (type of accidents) that may arise from such factors, and determine the danger points and the kind of action to take, confirming these with pointing and calling, and pointing and saying out louder together. Conduct this training so that you can take steps on preemptive action for safety before you act.
Although we were conducted three times KYT until April of this year from last year , it has a good reputation in the students , and it has helped very much to the safety awareness of students .

At the same time, we started a collection of the near miss accidents cases . These are also , is expected to be utilized for safety education in the future.

17 世紀前半イギリス枢密院の活動
——ペスト対策を中心に——

宮川　剛*

（2015年11月26日受理）

１．はじめに

14 世紀中頃のいわゆる黒死病の大流行以来、ペストは 18 世紀に至るまでヨーロッパ諸国を断続的に見舞って甚大な被害をもたらし、各国は効果的なペスト対策を迫られていた。

イギリスの場合、政府によるペスト対策は、1518 年の勅令が最初であり、その内容は、感染家屋はそれとわかるように印（わらの束）を 40 日間表示すること、感染家屋の住人が外出する時には、目印の白い杖を携行すること、などであった [1)]。

その後、1578 年に、枢密院は疫病関連法令集 Plague Orders を出したが、これは、1666 年に根本的に改訂されるまで、イギリスのペスト対策を規定することになる。この法令集の 2 つの大きな柱を成すものは、①都市におけるペスト感染者隔離の厳格な実施、及び ②ペスト感染者を救済するための課税、である。すなわち、ペスト感染の拡大によるさらなる被害を防ぐために感染者の出た家は閉鎖され、健康な者も含めて家族全員が家の中に隔離された。閉鎖家屋は監視人により厳重に監視され、隔離期間中（最低 6 週間）は家の中の家族へ食料をはじめとした必需品の供給がおこなわれる、という厳しいものであった。また、このような監視人の給料など、隔離に伴う費用を捻出するため感染地域への課税が命じられた [2)]。

もちろん、ペストの流行と言っても、地域によって流行の実態は多様であり、また、ペストの流行の際には想定外の事態も起こりうるわけで、実際のペスト対策は法令集の規定以上に複雑であった。本稿では、当時、全国的なペスト対策を担当できた唯一の機関である枢密院に焦点をあて、1630 年のペスト流行に対する対応を、①ロンドン、②その周辺諸州、③その他の地方、の 3 つのタイプに分けて詳しく検討する。考察の対象とするのは、ペスト流行の開始期である 1630 年の 3 月から 5 月までとする。6 月以降の時期については稿を改めて論じることとしたい。

1630 年のペスト流行については、この年の 4 月に疫病関連法令集の改訂版が発行されたことに注目が集まりがちであるが、実際に枢密院が各都市の市長や州の治安判事らに出した書簡を詳しく見てみると、法令集の内容には収まりきれない多様な問題が生じていたことがわかる。枢密院は、それらの諸問題に対して、状況に応じた多様な対応を取ることを求められていたのである [3)]。

２．ロンドン市とウエストミンスター市

枢密院は、膨大な人口を抱えるロンドン市と隣接するウエストミンスター市に対しては、特に綿密に対応していた。これら首都圏に対して枢密院が採用した対策を詳しく見てみよう。

２．１　ペストに感染した家屋の閉鎖

1630 年 3 月 12 日に枢密院からロンドン市長と市参事会員にあてて書かれた書簡によると、ロンドン市の郊外のセント・ジャイルズ・イン・ザ・フィールズ St Giles in the Fields 教区、ショアディッチ Shoreditch、ホワイトチャペル White Chapel などでペスト感染者が出現していたという。枢密院は、ロンドン市長らに対して、感染拡大を防ぐため、感染者のいる家屋を閉鎖し、隔離すべきことを命じた。さらに、閉鎖された家屋に対しては、食糧などを差し入れ、監視人をおいて、その家に出入りする者のないよう注意すること、地元の教区が援助すべきこと、なども命じられた [4)]。

その後、3 月 18 日の書簡では、ロンドン市長らに対して追加の命令が伝えられ、感染者の出た家屋の住民をペスト病院 Pest house へ収容することが命じられた [5)]。同様の命令は、同じ 3 月 18 日のウエストミンスター市への書簡にも見られる [6)]。

しかし、このような枢密院の命令は忠実に遵守されなかった。特に感染者の出た家屋の閉鎖には問題があったようで、4 月 10 日のロンドン市長あての書簡では、感染のため閉鎖された家屋に監視人が付けられていないこと、

*人文科学系・西洋史学

ペスト患者が出た家であることを表示する「Lord have mercy upon us」の文字や赤十字の印も付けられていないこと、などが指摘され、早急にそれらの対策を実施するよう求められている[7]。

ただし、この命令もあまり効果を発揮しなかったことは、約1か月後の命令から窺える。5月18日のロンドン市長への書簡では、ペスト感染者と健康な者との接触を禁じる命令を発しているにもかかわらず、多くの人々が感染者の出た家屋などに出入りしていることが指摘されている。枢密院は市長に対して、各区の市参事会員を通じて、このような悪弊をただちに改めさせることを命じた。さらに、違反者には、自宅の閉鎖や、ペスト病院への収容などの罰を加えること、感染のため閉鎖された家屋には、家への出入りを防ぐため、監視人を配置するなど特別な対応をとること、などが命じられた[8]。

このように、感染家屋の閉鎖や隔離は、その対象の数の多さもあって、枢密院の命令を忠実に実行することは困難であったようである。ロンドン市内の現場でこれらの仕事を担当したのは約100ほどあった教区であるため、枢密院の命令はロンドン市を通じて、いわば間接的に現場に伝えられたにすぎなかったのである[9]。

２．２　感染原因の除去

枢密院は、ペスト感染の原因を取り除くことにも尽力しており、この点を詳しく見ることで、当時、何がペストの原因とみなされていたかを知ることができる。たとえば、3月18日のロンドン市長あての書簡では、感染の諸原因を除去することが命じられているのだが、まず、貧しいアイルランド人や浮浪者がそこらをうろついていることが指摘され、感染を広めるおそれがあるため、彼らをロンドン市から追い払うことが命じられた。また、街路からのごみの撤去や、排水溝の清掃なども命じられているが、これには環境を美化して、「瘴気」の発生を防ぐ狙いがあった。さらに市内には貧しい下宿人が住む家屋や居酒屋 alehouse が非常に多いことが指摘され、ペスト感染を悪化させないためにもそれらを法に則って取り締まることが命じられた[10]。

4月14日には、ロンドン市とウエストミンスター市に対して、二つの命令が出された。まず、ペストの感染拡大防止のため、群衆が集まる機会をなくそうと、芝居や熊いじめなど、あらゆる見世物が禁じられた[11]。二つ目の命令は、ペスト感染を媒介すると考えられた動物の管理にかかわるもので、ロンドン市とウエストミンスター市およびその郊外では、路上をうろつく豚や犬をすべて殺すことが命じられ、所有者にはこれらの動物を家屋などに収容しておくことが求められた[12]。

大勢の群衆、犬などの動物に加えて、既にみたように、浮浪者や物乞いも感染拡大の一因とみなされていた。4月14日に法務長官 Attorney General に対して発せられた命令では、ロンドン市とその隣接諸州で浮浪者や物乞いが多く見られることが指摘され、彼らを処罰するための国王布告の作成が要請された[13]。

さらに5月31日のウエストミンスター市あての書簡では、感染拡大の原因とみなされる事柄が列挙され、網羅的な対策が指示されている。その内容は以下の通り[14]。

・世帯主が不法な下宿人を受け入れることを禁じる。違反者には、法に則り、投獄と罰金が科される。
・ウエストミンスター市とその郊外の住民は、住居の排水溝を清掃しておくこと。
・タバコ売りの人数を減らすこと。
・現在、治安判事により閉鎖されている居酒屋は、そのまま継続して閉鎖されること。居酒屋に足繁く通う者を処罰すること。
・日曜日に、飲酒、賭け事、喫煙、その他の不必要で不法な目的のために集まることを禁止する。
・貧民が住み着くことにより、火災とペスト感染の両面で危険であるため、急ごしらえの小屋を取り壊してもよい。
・豚や犬が、路上をうろつくことを禁じる。
・ウエストミンスターとその郊外の不必要な池や水たまりをせき止めること。それらは瘴気を発し、ペスト感染や伝染病を生み出すため。

以上のことから、枢密院がペストの発生源や感染拡大の経路をいかに認識していたかが理解できるだろう。貧しい下宿人や浮浪者など、社会の治安を脅かす存在がペスト感染の媒介者とみなされ、彼らが住み着くことを防ぐ手立てがとられている。排水溝や水たまりなど、「瘴気の発生源」とみなされた場所の清掃が重視され、結果的に都市環境の美化につながったであろうことが予想される。さらに、居酒屋や見世物を禁じることで、感染経路を断つとともに、市民の道徳改善をも促進したのである。

２．３　個別の事例

ロンドン市やウエストミンスター市全体を対象とした対策のほかに、個別の事例に対しても枢密院は対応していた。この種の事例は、ペスト流行時の市民の行動の詳細を伝えるものも多く、興味深い情報を与えてくれる。そのうちのいくつかを以下で見てみよう。

4月11日のロンドン市長への書簡は、郊外のセント・ボトルフス・オールドゲイト St Botolphs without Aldgate 教区の感染家屋についてのエピソードを伝えている。同教区内の肉屋トマス某の家族がペストに感染した。彼の家には16歳の少年がおり、彼も感染したが、トマスは彼

に 1 グロート銀貨（4 ペンス）を与え、ホワイト・チャペルの John Weekes なる人物の家へ移らせた。Weekes は少年を自宅へ泊めるのを拒み、少年はその隣人である貧しい寡婦の住居で引き取られ、その夜のうちに亡くなったという。

感染者の出た家屋を閉鎖せず、感染者に勝手に市内をうろつかせたことにより、感染拡大につながるおそれがあったわけで、肉屋トマスの対応には大いに問題があった。枢密院はロンドン市長に対して、一種の見せしめとして、トマスとその妻子をただちにペスト病院へ収容することを命じている[15]。

また、4 月 16 日のロンドン市長への書簡は、市内中央部の Lothbury における感染者の事例について伝えている。その患者は、郊外の Finsbury にある東屋へ移されたという。枢密院は、そのような処置によりペスト感染が拡大することを憂慮し、ロンドン市長に対し次のように命じた。ロンドン市内とその周辺でペストに感染した者は、東屋などに移されるのではなく、ペストハウスや感染者用の施設に収容されること。また、感染者の出た家屋は閉鎖し、監視人を配置し、ドアには「Lord have mercy upon us」の印を貼ること。また、1604 年に制定されたペスト対策の議会制定法を印刷し、ロンドンの役人や牧師らに配布し、また、市内及びその周辺各所に貼り出すこと[16]。

4 月 27 日の、ウエストミンスター市あての手紙によると、ストランド街の the Crosse Keyes なる居酒屋付近で、ある家屋が閉鎖されていたが、そこの患者 1 名が死亡したという。その家屋は国王宮殿のごく近くであるため、枢密院は警戒を強め、その家屋の住民すべてをペスト病院へ収容することを命じた[17]。

３．ロンドン周辺の諸州

ミドルセックスやサリーなど、ロンドン周辺の諸州の場合、その地域におけるペスト感染者への対策も重要であるが、それに加えて、ロンドンからの、あるいはロンドンへの人の往来や商品の移動の経路にあたるため、交通の管理も重要であった。特に、国王夫妻がグリニッジへ避難する予定であったため、グリニッジとその周辺への感染防止は重視されていた。

３．１　周辺諸州での感染対策

3 月 12 日のミドルセックスの治安判事あての書簡では、感染者の出た家屋の閉鎖が命じられていた[18]。3 月 17 日の書簡では、状況が悪化したことを受けて、さらなる対策が求められている。まず、家屋の閉鎖だけでは不十分として、治安判事は、直ちに会合を開き、ペスト患者収容のための施設を用意するよう要請された。次に、感染拡大の原因とみなされた浮浪者やアイルランド人が同州に多く存在することが指摘され、法に従い、適切な対策がとられることが命じられた。また、州内の教区ごとに居酒屋の数をカウントしておくことも命じられており、感染拡大の温床の規模を把握することが重視されている。ロンドンと同様、街路や排水溝の清掃も命じられ、「瘴気」の発生を未然に防ぐことが意図されている。これらの対策をより効率的に実施するため、同州をいくつかの区域に分割し、治安判事ごとの担当地域を明確化することも指示されており、さらに、枢密院への報告を最低でも 10 日に一回は行うよう命じられている[19]。

この 3 月 17 日の書簡で命じられた事柄のうち、ペスト患者収容のための施設の設置については、約 1 か月後の 4 月 13 日のミドルセックスの治安判事あての書簡の中で再び言及されている。これによると、枢密院は、治安判事から収容施設をまだ準備できていないとの報告を受けたという。施設建設にふさわしい、街道や集落から離れた共有地や荒蕪地などが見つからないのがその理由だという。枢密院は、そのような土地が見つからない場合、個人の私有地でもよいので、収容所設置に適した場所を探し出すよう命じている。また、同時に、所有者には十分な補償を行うことも指示されている[20]。

ロンドン周辺諸州における浮浪者の取り締まりについては、4 月 9 日のミドルセックスの治安判事らへの書簡で指示が出されている。この書簡は、前半で、他のロンドン周辺の街道と同様に、チェルシーChelsey 行きの街道が通行できないほどに汚く、修復が行われていない現状が指摘されている。この街道は、王室のための食糧が通過する経路にあたっており、治安判事らは直ちに街道の修復を命じられた。それに続けてロンドンとウエストミンスター周辺の街路から物乞いや浮浪者を一掃することが命じられる。その理由は、もちろん、彼らへの処罰を怠ることは、感染拡大を招くおそれがあるからである[21]。

さらに、4 月 20 日付の、エセックス、サリーなど、4 州の州長官と治安判事への書簡では、ロンドン周辺の諸州に多くいる浮浪者や物乞いがペスト感染拡大の一因になっているとの見方が示され、彼らを処罰するための議会制定法の執行を厳重にするよう命じられている。そのさい、浮浪者らを収容して、労働を強制するなどして、彼らの道徳や規律を改善する矯正院 house of correction の利用が推奨されている。また、浮浪者らへの処罰の実施状況の記録と毎月の報告も義務付けられている[22]。

周辺諸州におけるペスト対策の事例のなかには、次のようなものもある。サリーの治安判事らにあてて出された 4 月 9 日の書簡によると、同州の Thames Ditton 教区内に Whitehorse と名付けられた古木があり、そこが何年も前から地元の物乞いたちの住処になっていたという。最

近住みついた物乞いの一人がペストに感染し、死亡したとの報告を受け、枢密院はその古木に他の人々が接近せぬよう、治安判事らに注意を促している。また、場合によっては、物乞いが住むことのないように、古木を切り倒してしまうことも検討するよう伝えている[23)]。

３．２ ロンドン周辺における交通の管理

国王チャールズ1世と王妃アンリエッタ・マリアは、この夏、ペスト流行を避けるため、ロンドンからテムズ川を下ったグリニッジ Greenwich に滞在する予定であった。そのため、グリニッジとその周辺にはペスト感染が及ばぬよう、枢密院は特に注意を払っていた。

4月10日のグリニッジ周辺の治安判事たちへの書簡によると、ロンドンとその周辺でペスト感染が蔓延している現状をふまえて、国王夫妻がグリニッジへ移るまで、ロンドン住民がグリニッジへ移住することを禁じるよう、治安判事らに命じている[24)]。

4月22日には、グリニッジ近辺の地主 Mr. Blunt of Riklesmarsh なる人物にあてて、枢密院から書簡が出された。その中で、ペスト対策には、町から離れた場所に患者を収容して隔離するための施設を用意するのが最適である、という枢密院側の見解が述べられている。Blunt 氏は、グリニッジ近辺の Black Heath に最近建てられた家屋を所有しており、枢密院は、それを患者隔離のための施設として引き渡すよう、彼に要請した[25)]。

しかし、4月30日のロンドン市長への書簡によると、枢密院が特別の注意を払っていたにもかかわらず、グリニッジでペスト感染者が現れ、しかもその数は増えているという。枢密院は市長に命じ、しばらくの間、ロンドン市とグリニッジの間の人の往来を禁止させた[26)]。

その後も同様の命令は繰り返され、たとえば、5月17日には、枢密院は、ロンドンの船舶検査官 water bailiff に対して次のような内容の書簡を書くことになる。ペスト感染中のロンドンとグリニッジとの川の渡し守 watermen の行き来を禁じたにもかかわらず、最近、グリニッジから来たある渡し守が、テムズ川南岸のバンクサイドにおいて、ペストにより死亡した。枢密院は、船舶検査官の配慮と勤勉さが足りないことを責めたうえで、再度、ロンドンとグリニッジ間の船の行き来を禁じている[27)]。

他方で、この人の往来の禁止が現実に効果を上げていたことを窺わせる史料もある。5月30日の枢密院からロンドン市長へあてた書簡によると、宮廷の楽団長の Nicholas Lanier 氏とその家族が、ロンドン市の役人たちにより、グリニッジ近くのデッドフォード Deptford で足止めを食わされ、宮廷へ戻ることができないでいるという。枢密院はロンドン市が命令を忠実に実施していることを称賛しつつも、デッドフォード近辺ではペスト感染者が出ていないことや、Lanier 氏が宮廷で国王に近侍する必要があることなどを述べて、Lanier 氏とその家族がロンドンに戻ることを許可するよう、ロンドン市側に求めている[28)]。

しかし、グリニッジは、別のルートからもペスト感染の危険にさらされていた。5月14日に枢密院が受け取った報告には次の事柄が述べられていた。グリニッジ近くのテムズ川に、2隻のフランス船が停泊しているのだが、その乗組員のなかにはペスト感染者が出ている。しかも、そのフランス船はイギリス人を船まで呼び寄せて商品の取引をしているばかりか、ペストによる死者の遺体を川に投げ入れたりもしているという。

この事態を重くみた枢密院は、海軍判事の Sir Henry Martin に命令し、ただちにそのフランス船に対して、出航可能であるならば、すぐ出航するよう伝えさせた。まだ出航できない場合は、フランス船は可能な限りテムズ川の河口へと移動して、岸から離れて停泊するよう命じられ、また、停泊中に、イギリス人と取引したり、感染者を健康なイギリス人に面会させたり、患者の死体を川に遺棄したりすることも厳しく禁じられた[29)]。

４．地方への対策の指示

ペストの流行はロンドン近辺だけでなく、地方にも及んでいた。特に1630年の場合、ケンブリッジにおける流行がひどかったことが知られている。枢密院は、これらの感染地域に対して指示を出すとともに、全国的な視野に立って、感染拡大防止のために対策を講じていた。また、ペストの感染拡大の一因とみなされていた浮浪者、特にアイルランド人の物乞いに対しても、アイルランドへの送還を含む対応をとっていた。

４．１ ケンブリッジ市に対する指示

ケンブリッジ市がペスト流行に見舞われ、大きな被害を出したことは、枢密院にも報告された。枢密院は、5月14日にケンブリッジ市周辺の治安判事らに書簡を送っている。そこで命じられたのは、周辺農村がケンブリッジ市に対して食料などの必要な物資を提供することであった。ケンブリッジ市と外部との接触を必要最小限にとどめることにより、感染拡大のリスクをコントロールしようという狙いが見て取れる。また、それらの物資の調達資金を得るために、周辺5マイル以内の農村の住民に課税することも命じられた[30)]。

しかし、周辺農村から支援を受けるケンブリッジ市側の対応は、感染拡大を抑え込もうとする枢密院の狙いを裏切るものであった。つまり、同市は市民が必要とする物資の搬入のさい、農村の人々を市内に立ち入らせているというのである。この措置は、周辺農村部にまでペス

ト感染を拡大する危険性を伴うものであった。そこで、枢密院は、5月17日のケンブリッジ市長への書簡で、ケンブリッジ市から離れた地域に市場を設け、そこに農村部からの物資を搬入させるように命じている[31)]。5月26日のケントの治安判事あての枢密院の書簡で、市外に市場を設置することを勧めるさいに、実施済みの成功例として、ケンブリッジ市の事例が挙げられており、このことからも、5月17日の命令が遵守されたであろうことが窺える[32)]。また、この5月17日の書簡では、ペストの流行期間中は、人や荷物をケンブリッジからロンドンへ運ぶことも禁じられている[33)]。

ところで、ケンブリッジ市に対して物資を提供するにあたり、枢密院は周辺部への課税を命じていたが、実際には現場では先に動いていた。課税のかわりに、周辺の住民たちから自発的に寄付が集められ、物資の購入などにあてられていたのである。5月28日付のケンブリッジシャーの治安判事あての書簡の中で、枢密院は、寄付が集まっている事実を確認したうえで、課税の中止を告げるとともに、同州の人々の慈善精神を称え、このことを国王に報告すると約束している[34)]。

４．２　その他の地方への指示

ペスト対策に関して、全国的な視野に立って対策を指示できる機関は枢密院を措いて他になかった。この時期の枢密院の書簡からもその活動の一端を垣間見ることができる。

イングランド南東部の主要都市ノリッジ Norwich は、当時ペストに感染していたが、ロンドンなどで実施されていた対策、すなわち感染者の出た家屋の閉鎖や、群衆が集まる行事の禁止などは全く実施されていなかったという。5月26日のノリッジ市長への書簡において、枢密院はそのような不手際を咎めると同時に、他の地域や都市に感染を拡大してしまう危険性についても配慮するよう促している。ペストの問題は、一都市、一地域のことだけを考慮していたのでは不十分である、というわけである。とくに、ノリッジのような規模の地方都市の場合、他の地域への波及効果も相当なものが予想された[35)]。

また、ケント北部の都市グレーブセンド Gravesend もペスト感染に見舞われたが、その周辺地域の治安判事にあてた5月26日の書簡のなかで、枢密院は詳細な指示を出している。まず、グレーブセンドとその周辺地域の治安判事と治安官 constable を集め、連携を取っておくこと。次に、市場の開催方法についても指示が出された。都市という、人口が密集した閉ざされた空間で普段と同様に市場を開催するのは不適切であるため、ケンブリッジの場合のように、都市から少し離れた、開放的な場所で開催するよう命じられた。これにより、周辺農村部への感染拡大を防ぐことができるというのである[36)]。

興味深いのは、同じ5月26日に出された、グレーブセンドから南東に数キロ離れたロチェスターRochester の市長あての書簡である。その中で枢密院は、グレーブセンドへの命令の内容を繰り返したうえで、この二つの都市のように相互に関係の深い地域間では、十分に連携を取り合うことが必須であると述べて、両市の協力体制の構築を促している[37)]。

ロチェスター市の場合、ペスト感染に特に神経質になるべき理由もあった。海軍の艦船が付近に停泊し、乗組員が同市を訪れていたのである。枢密院は、5月26日に、感染家屋の閉鎖、感染者と健常者の隔離、特に必要なければ人々の集まりを禁止すること、などお決まりの対策を命じている[38)]。

最後に、イングランド、ウェールズ、アイルランドにまたがる問題に対して、枢密院が対応した例を見ておこう。5月18日付の、ウェールズの4つの州（ペンブルックシャー、カーマーゼンシャー、カーディガンシャー、ブレコンシア）の治安判事にあてた書簡では、アイルランドからウェールズやイングランドに渡って来る物乞いたちへの対策が命じられている。物乞いたちは、ペンブルックシャーの沿岸に続々と上陸し、イングランドへと向かうことが予想され、至急対策が必要であった。とりわけ、当時、彼らがペスト感染の一因とみなされていたため、物乞い対策は、ペスト対策の一環でもあったのだ。枢密院が命じた対策は、前年1629年5月の国王布告の内容に則り、上陸した物乞いや上陸を手助けした者を厳しく罰するというものであった。すなわち、物乞いは、矯正院に収容して厳しく処罰したうえで、出身地に送還する。送還の費用は、ペンブルックシャーとその周辺諸州が負担するものとされた[39)]。

５．おわりに

以上、検討してきたように、1630年のペスト流行において、少なくとも3月から5月までの流行の初期段階においては、枢密院は、ロンドンという大都市における流行の鎮静化、ロンドン周辺の人と商品の移動の管理、地域間の連携の促進といった課題に取り組む姿勢を見せていたことがわかる。もちろん、ペストに感染した家屋の閉鎖の命令が繰り返し発せられていることからも窺えるように、現実には、特にペスト流行のような非常事態においては、統治の末端のレベルにまで政府の意志を伝え、命令を実施していくことは困難であった。また、枢密院の重視した対策も、現実には当時の水準から見ても、やや時代遅れの感があったことも否定できない。感染家屋閉鎖の有効性については、既に当時の内科医らから疑問の声も出されていたのである[40)]。枢密院が指導する体制

が抱える、このような欠点が、ペスト流行がより深刻化する夏においてどのような問題を引き起こすのか。これについては、稿を改めて論じたい。

注

1) Slack (1985), pp. 201-203.
2) Slack (1985), pp. 207-211; Wilson (1927), pp. 14-15.
3) Slack (1980), pp. 7-11.
4) *APC*, p.306
5) *APC*, pp. 313-314.
6) *APC*, p. 314.
7) *APC*, pp. 345-346.
8) *APC*, p. 387.
9) ロンドン市教区のペスト対策については、宮川（1997）を参照。
10) *APC*, pp. 313-314.
11) *APC*, p. 349.
12) *APC*, p. 349.
13) *APC*, p. 349.
14) *APC*, pp.410-411.
15) *APC*, p. 346.　また、この手紙は、別の教区の John Fraunces なる者の住居が感染し、そこの住人すべてがその家から立ち去り、行方が知れないことも伝えている。枢密院は、ロンドン市長に対し、かれらの所在をつきとめ、報告するよう命じている。
16) *APC*, p. 352.
17) *APC*, p. 364.
18) *APC*, p. 306.
19) *APC*, pp. 312-313.　ほぼ同じ内容の命令が、翌3月18日のサリー州の治安判事あての書簡にも見られる。*APC*, pp. 314-315.
20) *APC*, p. 347.
21) *APC*, p. 344.
22) *APC*, p. 357.
23) *APC*, p. 344.
24) *APC*, pp. 344-345.
25) *APC*, p. 356.
26) *APC*, p. 365.
27) *APC*, p. 385.
28) *APC*, p. 408.
29) *APC*, p. 382.
30) *APC*, p. 383.
31) *APC*, p. 386.
32) *APC*, p. 399.
33) *APC*, p. 386.　同じ5月17日付のロンドン市長への書簡で、ケンブリッジ市から来た荷馬車、荷車、乗客や荷物などがロンドン市内に入らぬよう警戒を促している。*APC*, p. 385.
34) *APC*, p. 407.
35) *APC*, p. 398.
36) *APC*, p. 399.　この書簡ではさらに、感染者の隔離についても指示があり、町から離れた適切な場所に、板で小屋を建てて、そこへ感染者を移し、厳重に監視して外部との接触を断つよう命じられている。
37) *APC*, p. 402.
38) *APC*, p. 402.
39) *APC*, p. 389.
40) Trevor-Roper (2006), pp. 303-314.

参考文献

Primary Sources

Acts of the Privy Council of England 1629-1630 (London, 1960).（*APC* と略記）

Stuart Royal Proclamations: vol. 2, Charles I, ed. J. F. Larkin (Oxford, 1983).

Secondary Sources

Slack, P., ‘Books of Orders: the Making of English Social Policy, 1577-1631’, *Transactions of the Royal Historical Society*, 5th series, vol. 30 (1980).

Slack, P., *The Impact of Plague in Tudor and Stuart England* (Oxford, 1985).

Slack, P., *From Reformation to Improvement: Public Welfare in Early Modern England* (Oxford, 1998).

Trevor-Roper, H., *Europe’s Physician: the Various Life of Sir Theodore de Mayerne* (New Haven, 2006).

Wilson, F. P., *The Plague in Shakespeare’s London* (Oxford, 1927).

宮川　剛 (1997).「近世ロンドンの教区——いわゆる「ロンドン安定論」をめぐって」、『史林』（京都大学文学部史学研究会）、第80巻　第4号、1997年7月、34－66ページ。

The Privy Council's Policy of Suppressing the Infection of Plague in 1630.

Tsuyoshi MIYAGAWA

After the Black Death of the fourteenth century, England was repeatedly attacked by plague. The Privy Council, the headquarters of the central government in the seventeenth century, bore the responsibility of dealing with plague and gave directions to local officers. The Council was concerned about infection among persons and gave orders to segregate infected patients and their family from the rest by shutting up the infected houses. And the Council was also concerned about supposed sources of infectious miasma and gave orders to clean the streets and ditches in time of sickness. The unruly base sort of people and especially Irish vagrants were supposed to transmit the disease and the Council commanded that they should be savagely punished and expelled from towns. The Council endeavoured to prevent the transmission of the disease from town to town, or county to county, by controlling human movements. Through an intensive research on the letters issued by the Privy Council to the local officers in 1630, this article tries to show how the Privy Council tackled the problem of plague infection and how it enforced its policy on the local government.

熱溶解積層型3Dプリンタを用いた機械工学総合設計作品の造形性

関口　宏治*　大野　佳代子*　黒瀬　雅詞**

（2015年11月26日受理）

１．はじめに

3Dプリンタは、デジタルデータから色々な造形物を作製できる製造装置として、近年、注目を集めている。各教育機関でも教材としての導入が検討・開始されており[1]、高等専門学校（以下「高専」と略称する。）においても、関連する研究が報告されている[2-4]。

群馬高専の機械工学科では、平成21年度より4年の設計製図の授業にて学生が3D-CADソフトを使って設計した歯車減速機のデータをもとに3次元造形機を用いて実体化している。平成25年度からは、熱溶解積層型3Dプリンタを導入し、ABS（Acrylonitrile Butadiene Styrene）樹脂やPLA（Polylactic Acid）樹脂を使った作品を作製している。学生の設計した球形などの複雑な製図図面に対し、短時間で精度の良い造形物を印刷するためには、造形機の設定値の調整が必須である。今回、3Dプリンタの印刷設定値や材料の違いによる造形品の寸法精度や強度特性などについて調査したので、以下に報告する。

２．研究目的

4年機械工学科の通年授業である設計製図は、1年次から3年次の専門科目で学んだ機械設計法や材料力学などの知識を、学生が各自で総合的に活用するとともに、グループ学習でお互いの解決方法を評価し合いながら3次元造形機を用いて[5,6]、チームワーク力で作品を完成させていく（授業シラバスより[7]）。実践的な問題対応能力を養うために、設計変更などの課題を含め、知的財産権や創造力を活用できる設計力が習得できる科目である。各自が設計した3Dデータを3次元造形機で実体化し、規定寸法を満たしていることなどを確認後、グループごとにその成果をまとめ、年度末に行われる「設計製図発表会」にて教職員を招いてプレゼンテーションを行う。課題は2段歯車減速機であり、4つの歯車と軸、そのハウジングの作製に3次元造形機を用いる。1年間の授業期間のうち、実際に造形物を作製する期間は、12月末から翌年1月末までの約1ヶ月間である。平成23年度の作品は、石膏パウダータイプの3Dプリンタで作製しており、例えば1辺が200㎜の立方体のハウジングとその中に納まる4つの歯車や部品などを印刷して装置から取り出す作業には、2日以上の工数が必要であった。このため、学生約40名が個々に設計したデータの全てを印刷することができず、グループ単位（4人／班）で１つの作品を造形していた。平成25年度は、材料力学研究室（指導教員：黒瀬）に導入された、ABS樹脂対応の熱溶解積層型3Dプリンタ：UP Plus[8]（TierTime Technology社）（図-1参照）を用いて、歯車部分を造形した。

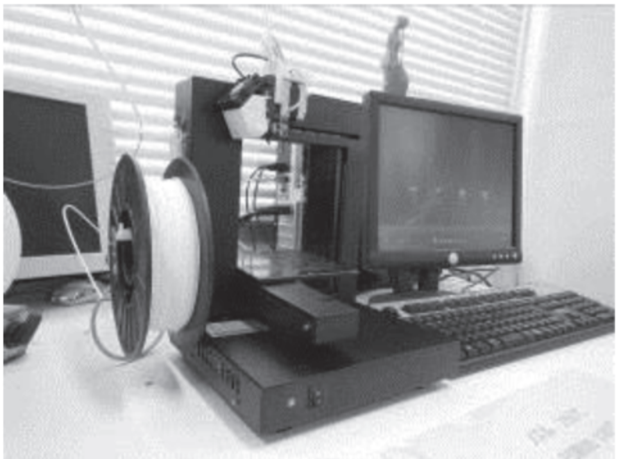


図-1　3Dプリンタ：UP Plus

これにより、1グループで2セットを実体化することが可能となった。平成26年度は、本体の1辺が50㎜程度の立方体内に収まるサイズとなるように制限を設け、ハウジングを含む全ての部品をABS樹脂で印刷することにより、学生約40名全員の作品を実体化することができた。

ここで問題となるのはABS樹脂造形物の寸法精度である。造形物が作図寸法よりも大きく作製された場合には、歯車と軸の組み立て作業時に、軸が歯車内径に収まらなくなり、太く印刷された軸を切削する加工処理が必要となる。ただし、印刷時の設定値、配置方向、材料や色の違いなどにより、寸法精度や強度特性の異なることが考

*教育研究支援センター　**機械工学科

えられる。

以上のような背景から、本研究では、ABS樹脂を使った熱溶解積層型3Dプリンタの造形性を調査することを目的とした。

３．実験方法

本研究では、3Dプリンタで作製する造形物の寸法精度と強度特性を、使用する材料や印刷時の設定値および配置方向などの違いから調査する。以下にその実験方法を示す。

３．１　造形装置

使用する装置は前述の3Dプリンタ：UP Plusである。現有の3Dプリンタ3種類(他に3D Systems社製CubeX[9]、システムクリエイト社製Bellulo[10])の中で、著者らが長期間操作しており、最も安定して造形物が作製可能な装置を選択した。

３．２　試験片形状

試験片形状は、プラスチック物性測定の試験規格であるJIS K7139[11]を参照して決定した。その形状を図-2に示す。

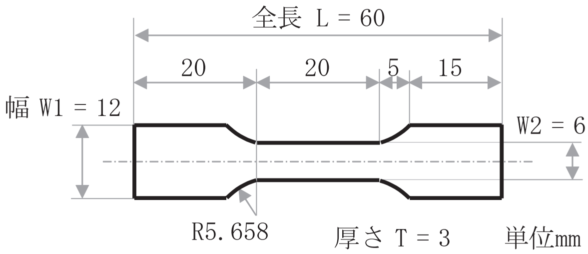


図-2　試験片の形状

この試験片形状の作図には、3D-CADソフトのSolid Works 2014を使用した。STLファイル形式で出力後、パソコンにUSBケーブルで接続された3Dプリンタを制御するソフトウェア UP!(Ver2.13) を用いて造形を行う。

３．３　供試材

実験に使用する材料は、次に示す3社のABS樹脂とした。それぞれの色の違いによる特性についても調査を行う。

(1) PP3DPオリジナルフィラメント ABS φ1.75mm
　　色：緑、白、赤

(2) Winbo社フィラメント ABS φ1.75mm
　　色：緑、ピンク、水色

(3) ムトーエンジニアリング社フィラメント
　　MAGIX ABS φ1.75mm　色：緑、透明

３．４　造形設定

以下に示す造形設定項目の値や配置について、条件を変えて実験を行う。その値を以下に示す。

(1) 積層ピッチ

積層ピッチは0.05mmの間隔で、0.15mmから0.40mmまで指定することができる。今回は、0.15mm、0.25mm、0.40mmの3種類とする。

(2) 密度

内部密度の設定値は4種類ある。今回は密度の最も高い設定(Max)と、最も低い設定(Min)の2種類とする（図-3）。

図-3　印刷密度

(3) 外観品質

Fine(細)、 Normal(普通)、 Fast(粗)の3種類とする。

(4) 配置方向

試験片の長辺(L=60mm)をX方向(装置正面から前後方向)に配置したものと、Y方向(装置正面から左右方向)に配置したものの2種類とする（図-4）。Z方向(高さ方向)の造形は、単純な溶解のみの積層構造となる[12]ため、今回の調査では対象外とする。

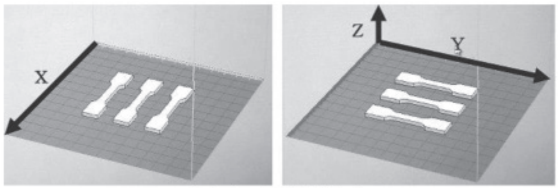
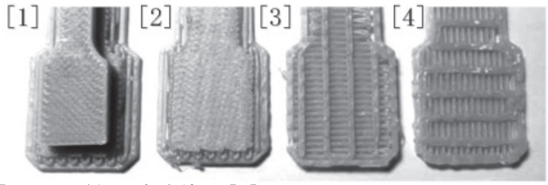


図-4　印刷方向

(5) ラフト

ラフトとは、目的の造形物と印刷テーブルの間に作られる土台（図-5）である。ラフトの有る場合と、無い場合の2種類を設定する。



[1]ラフト付き試験片，[2]ラフトのみ
[3]ラフト底面 配置Y方向，[4]ラフト底面 配置X方向

図-5　ラフト

３．５　実験項目

材料と造形設定の組み合わせは、表-1 に示す22通りの条件を設定した。これらについて各3個、合計66個の試験片を作製し、24時間以上室温にて静置後、次に示す実験項目を実施する。実験結果は、各条件の試験片3個の平均値を使用する。

(1) 寸法精度

はじめに、図-2 に示す試験片の全長Lと幅W1、W2、厚さTを、電子ノギス（ミツトヨ製CD-15AX）を用いて測定し、設計値と実測値の差を計算する。

(2) 重量測定

試験片の重量を、電子天秤（A&D社F2000i (Max=2200g、d=0.01g)）を使って測定する。

(3) 引張試験

島津製作所の材料試験機（EZ-S(500N), AG-IS

(50kN))を使って、試験片の引張強度を測定する。測定条件は、室温、クロスヘッド速度を10mm/minとする。試験片が破断するまでを自動で測定し、試験力とストロークを記録する。併せて、縦弾性係数(N/mm²)と破断伸び(%)、最大引張応力(N/mm²)を求める。ただし、ひずみは平行部長さGLとチャック間距離を同一にして、GLひずみから求めた。

(4) 外観検査

造形物の外観について調査する。

表-1　試験条件の組み合わせ表

No.	材料	ピッチ	密度	色	品質	ラフト	方向
No.01	(1)	0.15mm	Max	緑	Fine	有	Y
No.02	(1)	0.15mm	Min	緑	Fine	有	X
No.03	(1)	0.15mm	Max	緑	Normal	有	X
No.04	(1)	0.15mm	Min	緑	Normal	有	Y
No.05	(1)	0.15mm	Max	緑	Fast	有	Y
No.06	(1)	0.15mm	Min	緑	Fast	有	Y
No.07	(1)	0.25mm	Max	緑	Fast	有	X
No.08	(1)	0.25mm	Min	緑	Fast	有	Y
No.09	(1)	0.40mm	Max	緑	Fast	有	Y
No.10	(1)	0.40mm	Min	緑	Fast	無	Y
No.11	(1)	0.15mm	Max	白	Fine	有	Y
No.12	(1)	0.15mm	Min	白	Fast	有	Y
No.13	(1)	0.15mm	Max	赤	Fine	無	Y
No.14	(1)	0.40mm	Min	赤	Fast	無	Y
No.15	(2)	0.15mm	Max	緑	Fine	有	Y
No.16	(2)	0.15mm	Max	ピンク	Fine	有	Y
No.17	(2)	0.40mm	Min	ピンク	Fast	有	Y
No.18	(2)	0.40mm	Min	ピンク	Fast	有	X
No.19	(2)	0.40mm	Min	水色	Fast	無	Y
No.20	(3)	0.15mm	Max	緑	Fine	有	Y
No.21	(3)	0.15mm	Max	透明	Fine	有	Y
No.22	(3)	0.40mm	Min	透明	Fast	無	Y

４．実験結果

４．１　寸法精度

試験片66個（試験条件22通り×3個）の全長、幅、厚さの寸法を計測した。はじめに、試験片の全長L=60mmに対する寸法誤差を図-6 に示す。試験片の長辺の配置をY方向とした試験条件では、一部を除き、誤差が-0.07mmから0.07mmと非常に小さい値で造形できている。先行研究では、ABS材料は造形する形状や条件によって反り易いという問題が指摘されており[13]、収縮が大きいものの造形精度に大きな問題は無いことを確認した。ただし、No.13の材料(1)赤色とNo.20の材料(3)緑色は、積層がずれて斜めに造形されていたため、値が大きくなった。

一方、試験条件のNo.02、03、07、18の4種類は、造形物の長辺をX方向に配置した場合であり、誤差が大きくなっている。つまり今回の設定では、X方向は積層ピッチのサイズに依存して造形が大きくなる傾向となった。

図-7 に幅W1=12mmとW2=6mmに対する寸法誤差を示す。グラフ内の数値はそれぞれのMax値を表示した。この場合も全ての試験条件において、作図した寸法よりも大きく造形されている。また、図-6 の全長の場合とは逆に、配置がY方向の場合は積層ピッチや外観品質に依存して誤差が大きくなり、X方向の場合では誤差が小さくなる傾向であった。

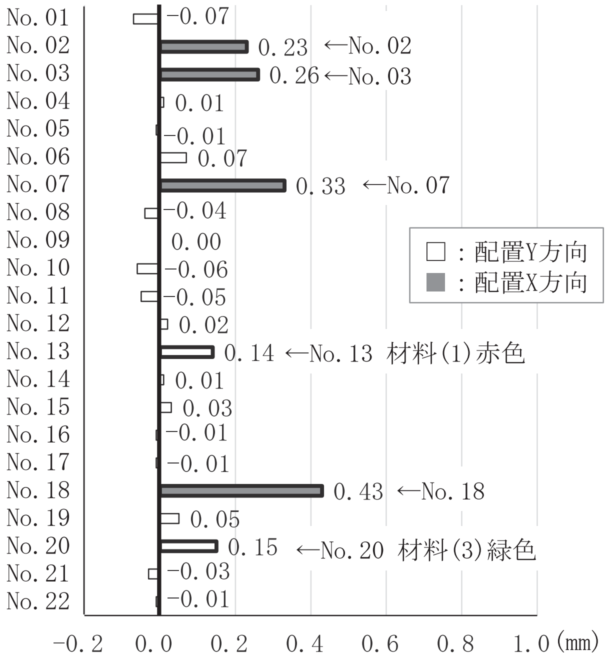


図-6　全長 L=60mm の寸法誤差

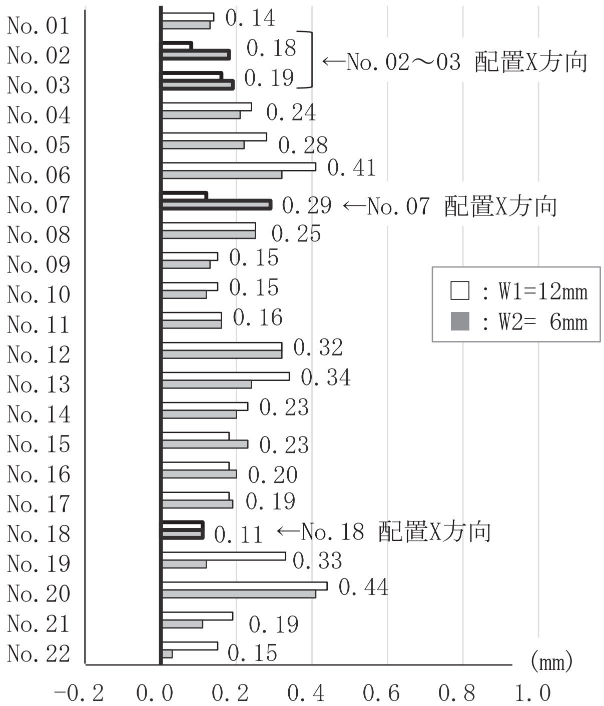


図-7　幅 W1=12mm,W2=6mm の寸法誤差

次に、厚さT=3mmに対する寸法誤差を図-8 に示す。ここでラフト無しの場合と積層ピッチを最大の0.40mmにした場合をハッチングで示すと、寸法誤差が0.32mmから0.77mmと大きくなっている。その他の条件では、0.00mmから0.26mmと少ない誤差で造形され、ラフトを設けた方が精度が良くなり、積層ピッチをノズル径0.4mmと同じ値にすると精度が大きくなる傾向となった。ノズルの先端形状は平面にされており、樹脂を吐出時にはフラットにならしながら成形しているため、積層ピッチと１：１にした方がより良い精度が得られると考えられたが、径を大きくする結果となり、樹脂の吐出量を調整すべきであることが分かった。

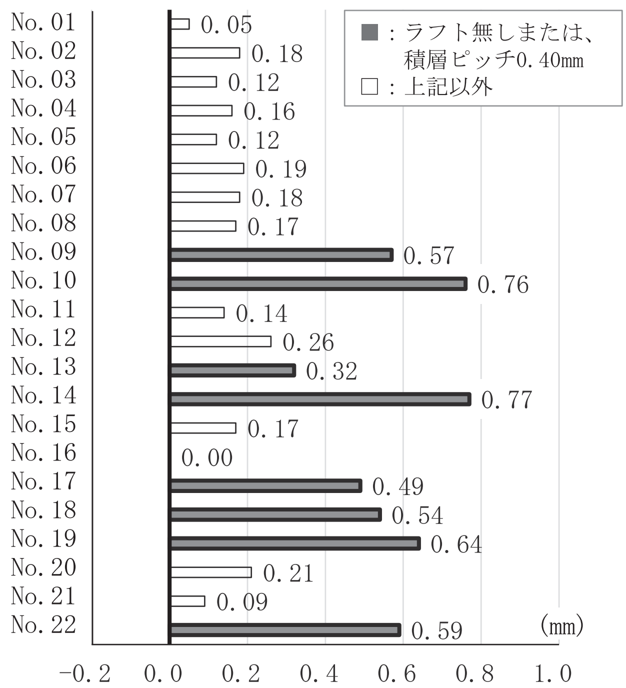


図-8　厚さ T=3mm の寸法誤差

４．２　重量測定

図-9 に重量の測定結果を示す。積層ピッチ0.15mmでは密度が低いものは重量が少なくなるが、外観品質に条件の違いは影響しなかった。また、ラフト無しの場合には、設計値よりも厚く造形されるため重量が重くなっている。それ以外の条件では、寸法誤差や材料の違いもあるが、平均値は1.57gであった。

４．３　引張試験

図-10 は、AG-IS(50kN)での引張強度試験の写真である。試験片は、おおむね中央で破断した。

次に、測定した試験力とストロークから求めた縦弾性係数と破断伸びの関係を図-11 に示す。縦弾性係数は、密度には影響されず、材料と積層ピッチの組み合わせにより異なる傾向が見られた。一方、破断伸びは、密度が高いものが大きい値を示した。また、材料と色の違いが結果に影響しており、外観品質の設定値には相関が見られなかった。

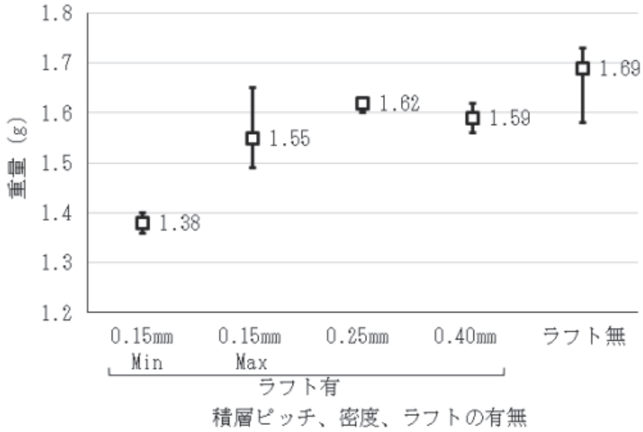


図-9　重量測定結果

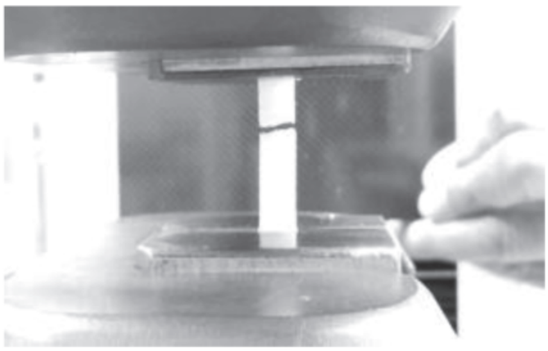


図-10　引張強度試験（AG-IS）

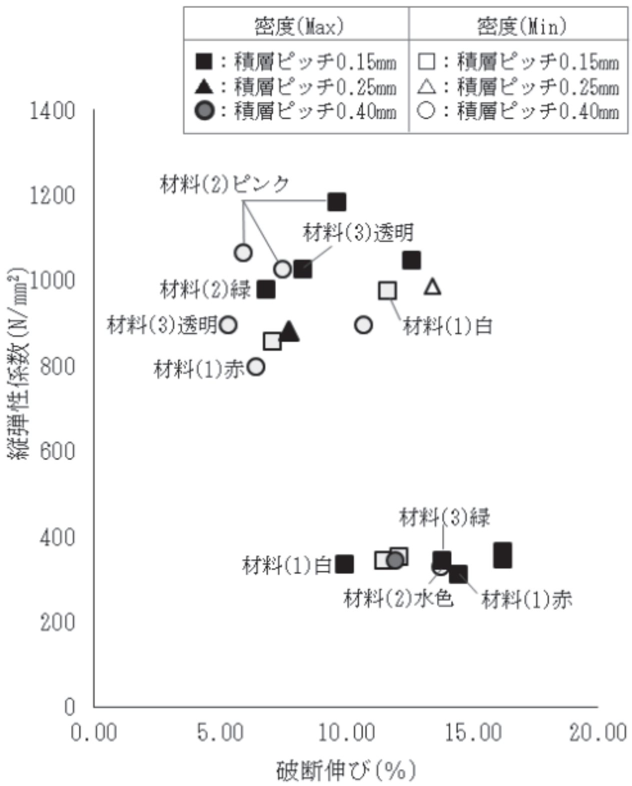


図-11　縦弾性係数(N/mm²)と破断伸び(%)

図-12 に、最大引張応力(N/mm²)と重量(g)の関係を示す。試験条件の積層ピッチと密度によって、グラフのマークを変えて表した。この中で、最も引張応力が高い樹脂は、材料(2)のピンク色であった。この材料を使い、印刷ピッチを最大の0.40mmとしたNo.17、18の場合が、今回の試験片の中で最大値を示した。また、材料(3)透明色は、No.21のピッチ0.15mmの結果よりも、No.22のピッチ0.40mmの数値がかなり小さくなっている。引張応力の最小値は、No.14の材料(1)赤色の積層ピッチ0.40mmの試験片であった。このように強度は密度と積層ピッチに影響する重量に最も依存していることが分かる。

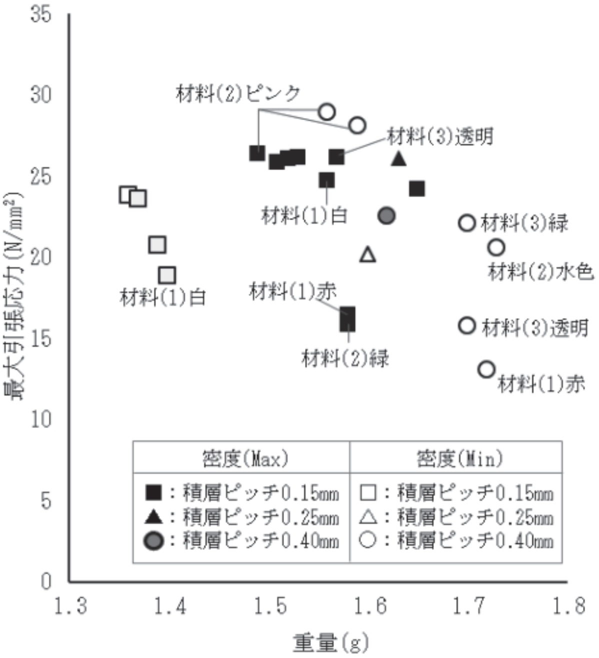


図-12　最大引張応力(N/mm²)と重量(g)

４．４　外観検査

最後に、造形物の外観についての調査結果を示す。今回作製した試験片では、異なる造形条件の場合でも目視による外観は変わらなかった。しかし、図-13 に示すように材料や印刷ピッチによりラフトが付く面の外観が荒れる場合が見られた。写真上側の下部がラフトであり、写真下側は裏返した試験片のラフト面である。表面が荒れて窪んでいるのが見て取れる。この現象は、試験条件No.17、18で発生した。材料(2)ピンク色の積層ピッチ0.40mmで造形し、引張応力の値が最も高かったものである。

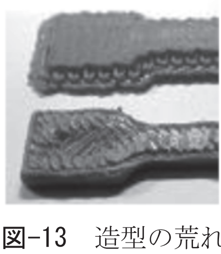
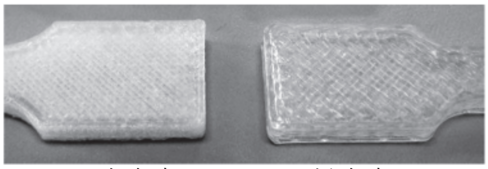


図-13　造型の荒れ

一方、引張強さが低い材料(3)の透明色には、この造形の荒れは見られなかった。その材料(3)透明色の異なる密度の外観は図-14 である。写真左側が高密度であり、右側は低密度である。高密度を指定した場合は、その透明性が失われていた。材料の透明感を優先する場合や、強度を優先する場合など、それぞれの目的に合わせて設定する必要のあることを改めて認識した。



高密度　　　低密度

図-14　密度の異なる透明マテリアル

５．まとめ

今回の調査により、熱溶解積層型3Dプリンタの印刷時の設定値や配置方向、材料や色の違いによる、寸法精度と強度の差異を明らかにした。また、印刷時に密度を粗い設定にすることや、印刷の外観品質をFastと指定することで、印刷精度が若干悪くなるものの、材料と時間が短縮できることが分かった。

本成果をもとに、限られた作業期間中に短時間で精度よく実体化できる印刷条件を最適化し、今後の授業支援に役立てて行きたいと考える。

参考文献

1)　竹澤聡，高谷宜世，高島昭彦，長松昌男，中村香恵子，白濱芳朗：大学教育における 3D プリンターの教材利用に関する現状と課題，工学教育 62-4，pp.45-51(2014).

2)　佐藤一志，角田 圭佑，石川信幸：3D プリンタ造形物の寸法精度と強度，仙台高専名取キャンパス研究紀要 第51号，pp.5-9(2015).

3)　勝野幸司，田中裕一，宮嶋久幸：3D プリンタによる建築模型の制作，熊本高等専門学校研究紀要 (5)，pp.69-74(2014).

4)　渡邊孝一，栗本育三郎：ものづくりにおけるアジャイルシステム開発の実践，工学教育 62(4)，pp.27-32(2014).

5)　室伏春樹：ICT 機器を活用して玩具を製作する情報科と家庭科の協同題材の提案，静岡大学教育実践総合センター紀要 23，pp.61-68(2015).

6)　大髙敏男：設計・開発で価値を生み出す最新 3D プリンター活用実践ガイド 総論 2 工学教育における 3D プリンター利用の現状と可能性，機械設計 59巻7号，pp16-19(2015).

7)　群馬高専：平成 27 年度シラバス 4 年機械工学科 科目名　設計製図，http://www.gunma-ct.ac.jp/Gakusei/syllabus/2015/pdf/8100920004mm.pdf 2015/11 /19 参照.

8)　TierTime Technology 社：TierTime，http://www.tiertime.com/en 2015/11/22 参照.

9)　3D Systems corporation：Rapid Prototyping，Advance Digital Manufacturing http://www.3dsystems.com 2015/11/23 参照.

10) (株)システムクリエイト：国産プリンタ Bellulo, http://www.systemcreate-inc.co.jp/products/3prr/bellulo.html 2015/11/23 参照.
11) 日本工業標準調査会：データベース JIS K7139 プラスチック―試験片, http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=823646 2015/11/19 参照.
12) 竹澤聡, 他：大学教育における 3D プリンターの教材利用に関する現状と課題, 工学教育 62-4, p.48(2014).
13) 古川慈之, 寺岡啓：ハサミの 3D プリンティング, 2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論集, pp.577-578(2014).

Moldability and Shape-holding Property on Using FDM 3D printer as Teaching Works in Total Design Education

Koji SEKIGUCHI, Kayoko OHNO and Masashi KUROSE

In this study, we research moldability and shape-holding property by FDM (Fused Deposition Modeling) type 3D printer as teaching works by students in total design education. Its lecture has learned at department of mechanical engineering in fourth grade of National Institute of Technology, Gunma College. Though 3D printer is easy and fast for make objects, it is important for strength and shaping to make design.

The test specimens printed with several direction by FDM 3D printer and made by several color ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene resin). The evaluation examined the correlation between the density, dimensional precision and Stress–strain curves. Elastic modulus measured by general gauge length method. These results valuated dimension errors and tensile strength data of the 3D objects by various materials and conditions of the printer.

群馬高専レビュー要項

（平成20年７月15日改訂）

１．名称について

本誌の名称を，群馬高専レビュー（THE GUNMA-KOHSEN REVIEW）と定める（通称「レビュー」と言う）。

「レビュー」の発行は，年１回年度末までに行う。

２．編集発行事務について

「レビュー」の編集発行は，教育研究委員会がこれを行う。

教育研究委員会には，常任編集委員若干名をおき，教育研究委員会委員長がこれを総括する。

事務は，総務課総務・広報・評価係においてこれを処理する。

３．内容と目的について

「レビュー」は，高専教育の向上と本校教職員の研究成果を公表することを主目的とし，オリジナリティーのある未発表の論文を原則とする。

４．投稿資格について

投稿者は，原則として本校の専任教職員に限る。ただし，共同発表に関しては本校の専任教職員が代表者である場合に限り，外部の研究・教育及びそれに相当する機関に所属する者についてのみ許される。

また，論文の投稿者名は，事前に提出する申込書に記された投稿者と同一であることとする。

５．体裁について

(1) 印刷上の体裁

Ａ４判，本文10ptフォント，ヨコ２段組とする。なお，特別のタテ書き原稿はタテ２段組とし巻末からおこす。

(2) 掲載順について

論文は，理工系・人文系に大別し，その掲載は受理日の順とする。ただし関連論文はなるべくまとめる。

(3) 体裁の統一について

執筆要領の詳細は別に定めるが，論文提出について，体裁の統一上必要な修正を編集委員から依頼することがある。

６．その他

(1) 原稿の執筆・投稿・受理に関しては，別に定める「群馬高専レビュー執筆・投稿要領」による。

(2) 別刷の作成は，原則として，自己の研究費負担とする。

群馬高専レビュー執筆・投稿要領

（平成22年6月10日改訂）

群馬　太郎* 高専　花子**

（20××年11月27日受理）

１．原稿形式について

A4判の白上質紙を用い，和文ヨコ書き・和文タテ書き・欧文原稿のすべてにおいて，タイトルページは2つの部分で構成されます．

タイトル部分：1段組（題目，著者，受理年月日）

本文部分　　：2段組

１．１　タイトル部分のレイアウトとフォント

全てのページのマージンはこのサンプルのように上辺25mm，下辺30 mm，左右ともに14 mmに設定して下さい．

そして，以下次の順にタイトル部分の構成要素を書いて下さい．

タイトル：ゴシック体20pt フォント，センタリング

（約 10 mm のスペース）

著者名：明朝体 14 pt フォント，センタリング

（約 5 mm のスペース）

受理年月日：明朝体 12pt フォント，センタリング

著者と所属（フッタ）とは*印で対応づけて下さい．

１．２　本文部分のレイアウトとフォント

本文と受理年月日の間に約 10 mm のスペースを設けて下さい．

本文は2段組で，左右のマージンは 14mm ずつ，段と段との間のスペースは約 6 mm とします．

和文ヨコ書き：25文字×48行程度

和文タテ書き：35文字×33行程度

欧文原稿　　：25文字×48行程度

本文には明朝体 10 pt フォントを用いて下さい．

１．３　フッタ

著者に対応する所属を記入して下さい．なお，群馬高専に所属している場合には，学科名のみ記入して下さい．

１．４　原稿枚数について

原稿枚数は，12ページ以内として下さい．

*○○工学科　**○○センター

２．見出し（見出しが1行以上に長くなるときはこの例のようにインデントし折り返す）

２．１　見出しのレベル

見出しのレベルは**章**，**節**の2段階までとします．**章**の見出しはゴシック体とし，**２．**などの数字に続けて書きます．また，見出しの上下に1行程度のスペースを設けて下さい．ただしページや段が切り替わる部分は章の見出しが最上部に来るよう調整して下さい．

２．２　節の見出し

節の見出しもゴシック体で，**２．１**などの数字に続けて書きます．見出しの上だけに1行程度のスペースを空けて下さい．

表-1　表のキャプションは表の上に置く．このように長いときはインデントして折り返す．

資料番号	高さ h (m)	幅 w(m)
1	1.45	0.25
2	1.75	0.40
3	1.90	0.65

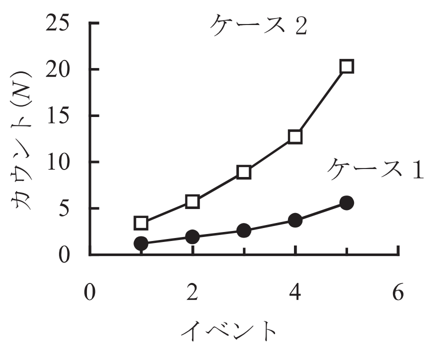


図-2　図のキャプションは図の下に置く

３．図表および注

３．１　図表の位置

図表はそれらを最初に引用する文章と同じページに置くことを原則とします．図表の横幅は，「2段ぶち抜き」あるいはこのサンプルの**表-1** や**図-2** のように「1段の幅いっぱい」のいずれかとします．

３．２　図表中の文字およびキャプション

図表のキャプションは，図の場合は下方に**図−1**，**図−2**のごとく，表の場合は，表の上方に**表−1**，**表−2**のごとく付記して下さい．欧文原稿の場合は，Fig.1やTable 1として下さい．長いキャプションは**表-1** のようにインデントして折り返します．

３．３　注

注は脚注・章末注の２本だてとして下さい．引用文献の注記やその他くわしい注記は章末注にまとめ，脚注は最小限にとどめることとします．脚注番号は，＊印で＊，＊＊のごとく，章末記号は，片バーレーンで１），２）のごとく記して下さい．

４．最終ページおよび英文要旨

原稿が和文の場合，または英語以外の外国語で書かれた場合には，英文による論文題目，著者名及び400語程度の論文要旨が必要となります．

最終ページに，英文のタイトル，著者名および要旨を横1段組で書きます．　タイトルは，Times New RomanのBold(太字)で20pt，著者名は，Times New Romanで14pt，要旨は，Times New Romanで10ptとします．

なお，和文タテ書きの場合は，英語要旨は別ページにして下さい．

５．原稿の提出・受理について

投稿希望者は，７月末までに「群馬高専レビュー投稿申込書」を総務・広報・評価係担当者に提出して下さい．

原稿は，締切日までに総務・広報・評価係担当者に提出して下さい．提出日を以て論文受理日付とします．その際，本論文にコピー１部を添付すると共に，電子ファイルを担当者に送付して下さい．

申込書や原稿が期日に遅れた場合，投稿要領に著しく反している場合は受理されないことがあります．また，原稿締切日以降の原稿内容の変更は認めません．

６．著作権

「群馬高専レビュー」に掲載された論文の著作権*のうち，複製権および公衆送信権は，群馬工業高等専門学校に帰属するものとします．

なお，営利を目的とせず，著作者自身が論文の複製および公衆送信を行う場合，群馬工業高等専門学校は，著作者からの申し出がなくてもこれを許諾します．その際，著作者は，出典（誌名・巻号・ページ・掲載年）を明記することとします．

*著作権法第21条から第28条に規定する権利

参考文献

1) 群馬太郎，高専花子：高等教育の展望，教育研究センター，第 40 巻，pp. 40-46，2006.
2) 日本研究協会：高等教育・研究機関における最先端研究戦略、工学部門編，pp.110-120，2007.
3) Gunma，T. and Kousen，H. : A Study on the Evolution of Education and Research in the Natinal College of Technology, Journal of Education Research Center， pp.110-120, 2007.

Print Sample for Japanese Manuscript for the GUNMA-KOUSEN REVIEW

Taro GUNMA and Hanako KOUSEN

The present paper has been made as a print sample of the Japanese manuscripts for the GUNMA-KOUSEN REVIEW. Its text describes instructions to prepare the manuscripts: the layout; the font styles and sizes; and others. If you replace the text or the figures of the present file by your own ones, using CUT & PASTE procedures, you can easily make your own manuscripts.

This English ABSTRACT has narrower width than the main text by 10 mm from the left and the right margins of the main text, respectively. Font used here is Times-Roman 10pt. The length should be within 7 lines. It is preceded by the title and the authors; both are centered and the font size is 12pt.

Print Sample for Japanese Manuscript for the GUNMA-KOUSEN REVIEW

Taro GUNMA and Hanako KOUSEN

The present paper has been made as a print sample of the Japanese manuscripts for the GUNMA-KOUSEN REVIEW. Its text describes instructions to prepare the manuscripts: the layout; the font styles and sizes; and others. If you replace the text or the figures of the present file by your own ones, using CUT & PASTE procedures, you can easily make your own manuscripts.

This English ABSTRACT has narrower width than the main text by 10 mm from the left and the right margins of the main text, respectively. Font used here is Times-Roman 10pt. The length should be within 7 lines. It is preceded by the title and the authors; both are centered and the font size is 12p.

広報・評価係担当者に提出して下さい。

原稿は、締切日までに総務・広報・評価係担当者に提出して下さい。提出日を以て論文受理日付とします。その際、本論文にコピー一部を添付すると共に、電子ファイルを担当者に送付してください。

申込書や原稿が期日に遅れた場合、投稿要領に著しく反している場合は受理されないことがあります。また、原稿締切日以降の原稿内容の変更は認めません。

六、著作権

「群馬高専レビュー」に掲載された論文の著作権*のうち、複製権及び公衆送信権は、群馬工業高等専門学校に帰属するものとします。

なお、営利を目的とせず、著作者自身が論文の複製および公衆送信を行う場合、群馬工業高等専門学校は、著作者からの申し出がなくてもこれを許諾します。その際、著作者は、出典（誌名・巻号・ページ・掲載年）を明記することとします。

*著作権法第二一条から第二八条に規定する権利

参考文献

(一) 群馬太郎、高専花子：高等教育の展望、教育研究センター、第四〇巻、四〇頁—四六頁、二〇〇六

(二) 日本研究協会：高等教育・研究機関における最先端研究戦略、工学部門編、一一〇頁—一二〇頁、二〇〇七

見出しのレベルは**章**、**節**の二段階までとします。**章**の見出しはゴシック体とし、一、二、などの数字に続けて書きます。また、見出しの左右に一行程度のスペースを設けて下さい。ただしページや段が切り替わる部分は章の見出しが最右部に来るよう調整して下さい。

二、二　節の見出し

節の見出しもゴシック体で、「二、一」などの数字に続けて書きます。見出しの右だけに一行程度のスペースを空けて下さい。

三、図表および注

三、一　図表の位置

図表はそれらを最初に引用する文章と同じページに置くことを原則とします。図表の横幅は、「二段ぶち抜き」あるいはこのサンプルの**表**や**図**のように「一段の幅いっぱい」のいずれかとします。

三、二　図表中の文字およびキャプション

表及び図のキャプションは、左におき、長くなる場合はインデントして折り返してください。

三、三　注

注は脚注・章末注の二本だてとして下さい。引用文献の注記やその他くわしい注記は論文本文の最後にまとめるか、章末注にまとめ、脚注は最小限にとどめることとします。脚注番号は、＊印で＊、＊＊のごとく、章末記号は(一)、(二)のごとく記して下さい。

資料番号	高さ h (m)	幅 w(m)
1	1.45	0.25
2	1.75	0.40
3	1.90	0.65
4	1.45	0.25
5	1.75	0.40
6	1.90	0.65
7	1.45	0.25
8	1.75	0.40
9	1.90	0.65
10	1.45	0.25
11	1.75	0.40
12	1.90	0.65
13	1.45	0.25
14	1.75	0.40
15	1.90	0.65
16	1.90	0.65

表1　表および図のキャプションは表の左に置く。このように長いときはインデントして折り返す。

四、最終ページおよび英文要旨

原稿が和文の場合、または英語以外の外国語で書かれた場合には、英文による論文題目、著者名及び四百語程度の論文要旨が必要となります。別ページに、英文のタイトル、著者名および要旨を横一段組で書きます。タイトルは、Times New RomanのBold(太字)で20ポイント、著者名は、Times New Romanで14ポイント、要旨は、Times New Romanで10ポイントとします。

五、原稿の提出・受理について

投稿希望者は、七月末までに「群馬高専レビュー投稿申込書」を総務・

群馬高専レビュー執筆・投稿要領（タテ書き）

群馬　太郎＊　高専　花子＊＊

（二〇××年一一月二七日受理）

本文と受理年月日の間に約10ミリのスペースを設けて下さい。

本文は二段組で、左右のマージンは14ミリずつ、段と段との間のスペースは約6ミリとします．

和文ヨコ書き：二五文字× 四八行程度

和文タテ書き：三五文字× 三三行程度

欧文原稿　　：二五文字× 四八行程度

本文には明朝体10ポイントフォントを用いて下さい。

一、原稿形式について

Ａ４判の白上質紙を使用してください。

全てのページのマージンはこのサンプルのように上辺25ミリ、下辺30ミリ、左右ともに14ミリ、に設定して下さい。

一、一　タイトル部分のレイアウトとフォント

タイトル部分は一段組にして下さい。

以下次の順にタイトル部分の構成要素を書いて下さい。

タイトル：ゴシック体20ポイントフォント、センタリング

（約10ミリのスペース）

著者名：明朝体14ポイントフォント、センタリング

（約５ミリのスペース）

受理年月日：明朝体12ポイントフォント、センタリング

著者と所属（テキストボックス内）とは＊印で対応づけて下さい。

一、二　本文部分のレイアウトとフォント

本文部分は二段組にして下さい。

一、三　テキストボックス内

著者に対応する所属を記入して下さい。なお、群馬高専に所属している場合には、学科名のみを記入して下さい。

一、四　原稿枚数について

原稿枚数は、一二ページ以内として下さい。

二、見出し（見出しが一行以上に長くなるときはこの例のようにインデントし折り返す）

二、一　見出しのレベル

＊○○学科　＊＊○○センター

群馬高専レビュー　第34号（2015）

発　行	平成28年3月15日
編集者	群馬工業高等専門学校教育研究委員会
発行者	群馬工業高等専門学校
	群馬県前橋市鳥羽町580
	電話（027）254-9000(代)
印刷所	上武印刷株式会社
	群馬県高崎市島野町890-25
	電話（027）352-7445(代)

ISSN 0288 - 6936

THE GUNMA-KOHSEN REVIEW

2015 No. 34

CONTENTS

Published by GUNMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOROGY
(580 TORIBA-MACHI, MAEBASHI, GUNMA 371-8530, JAPAN)