

大分工業高等専門学校

紀 要

Memoirs of
National Institute of
Technology, Oita College

第 52 号

平成 27 年 11 月

NO. 52

November 2015

大分工業高等専門学校
National Institute of Technology, Oita College

大分工業高等専門学校紀要

Memoirs of National Institute of Technology, Oita College

第 52 号

平成 27 年 11 月

[表紙](#)

[目次](#)

[平成 26 年 \(2014\) 10 月～平成 27 年 \(2015\) 9 月本校教員による著書、他誌等論文目録](#)

〔研究論文〕

[授業前後における柔道に対するイメージの変化 -工業高等専門学校生を対象にして-](#) 1

川内谷 一志¹・佐野 博昭²・岡村 さやか³・射手矢 岬³

¹一般科理系, ²都市・環境工学科, ³東京学芸大学

[運動部に所属する本校学生の体力と学業成績](#) 7

大庭 恵一¹・川内谷 一志¹

¹一般科理系

[5軸マシニングセンタの加工性能を評価するための加工試験](#) 11

山本 通¹・才川 大地²・藤原 敏博³

¹機械工学科, ²株式会社カンセツ, ³オークマ株式会社

[電気回路における相反性と相反定理についての考察](#) 15

佐藤 秀則

電気電子工学科

[全教室設置型でWOLによって電源管理する電子掲示板の改良と更新](#) 21

木本 智幸¹・木村 健一²・衛藤 賢一²

¹電気電子工学科, ²技術部

[定常状態視覚誘発電位を用いたブレインコンピュータインタフェースの性能向上と測定システムに関する研究](#) 27

松井 大輔¹・鶴 浩二²

¹電気電子情報工学専攻, ²情報工学科

[GENERATION OF STONE-STRIPE-LIKE COLOR IMAGES BY BILATERAL MINIMUM AND MAXIMUM FILTERS FOR NON-PHOTOREALISTIC RENDERING](#) 37

Toru HIRAOKA

Dept. of Information Eng., National Institute of Technology, Oita College

〔教育研究報告〕

我が国の農業の将来を高専の工学教育で支える = Future of Japan' s Agriculture supported by Engineering Education in KOSEN 41

吉澤 宣之¹・高橋 徹²・松本 佳久³・小西 忠司³・軽部 周³・尾形 公一郎³・
中野 壽彦³・佐藤 秀則⁴・山口 貴之⁴・上野 崇寿⁴・田中 大輔⁴・
岡 茂八郎⁵・鶴 浩二⁵・プロハースカ ズデネク⁵・平岡 透⁵・一宮 一夫⁶・
田中 孝典⁶・高見 徹⁶・薬師寺 輝敏⁷・穴井 孝義⁸・佐藤 達郎¹・
古川 明德⁹

¹一般科理系, ²教務主事, ³機械工学科, ⁴電気電子工学科, ⁵情報工学科, ⁶都市・環境工学科,
⁷元専攻科長・寮務主事, ⁸一般科文系, ⁹校長

平成26年(2014)10月～平成27年(2015)9月本校教員による著書、他誌等論文目録

論 文 等 題 目	著 者	掲 載 誌 名 等 (年. 月)
フッサールの現象学的心理学の深化 (1925～1928)	堀 栄造	『筑波哲学』第23号, pp. 9-24 (2015. 3)
振動を利用した新しい歯車加工方法の開発	軽部 周	第10回生産加工・工作機械部門 講演会, pp. 3-4(2014. 11)
Bouncing Dynamics of a Ping-Pong Ball on a Periodic Oscillating Elastic Plate	K. Yuki • S. Karube	ISTS2014, Taipei, Taiwan, D5 Mechanical, No. 281(2014. 11)
Research on Appropriate Cutting Conditions for Direct Dry Hobbing	M. Sakoguchi • S. Karube	ISTS2014, Taipei, Taiwan, E5 Mechanical, No. 287(2014. 11)
モデルによる歯車加工メカニズムの検討	軽部 周	第13回評価診断に関するシンポ ジウム(2014. 12)
周期的に振動する弾性板上で跳ねるピン ポン球の挙動	幸 和範 • 軽部 周	日本機械学会九州学生会第46回 学生員卒業研究発表講演会, A38 (2015. 3)
振動歯切り加工法に関する実験的研究	江口 侑希 • 軽部 周	日本機械学会九州学生会第46回 学生員卒業研究発表講演会C34 (2015. 3)
歯車加工のシミュレーションおよび切削 力推定	窄口 昌大 • 軽部 周	日本機械学会九州学生会第46回 学生員卒業研究発表講演会, C35 (2015. 3)
Windowsを用いたパーソナルUNIX環境の構 築と授業への適用例	軽部 周	高専教育38号, pp. 537-542 (2015. 3)
電子制御系コンテストを通じた国際交流 の試み	本田 久平 • 軽部 周 賀川 経夫 • T. Ziemba	工学教育Vol. 63(2015) No. 4, p. 4_16-4_21(2015. 7)
振動歯切り加工装置の挙動解析	軽部 周 • 江口 侑希	日本機械学会[No. 15-7] Dynamics and Design Conference 2015プログラム・ア ブストラクト集, p. 13(2015. 8)
振動切削系に生じるびびり振動の発生メ カニズム	軽部 周 • 麻原 寛之 高坂 拓司	電子情報通信学会論文誌A, Vol. J98-A, No. 9, pp. 556-562 (2015. 9)
5軸マシニングセンタの簡易加工試験に 関する研究	山本 通	2015年度精密工学会春季大会学 術講演会講演論文集, pp. 385- 386(2015. 3)

論文等題目	著者	掲載誌名等(年.月)
単語音声認識の試作とその評価	福田 和哉 ・ 佐藤 秀則	電子情報系高専フォーラム第13回, pp. 97-100(2014. 11)
“Spiral Dislocation構造を有する光波の不均質誘電体での伝搬解析”	宇都宮 光拓 ・ 高橋 徹	第23回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-07, (2015. 9)
“フーリエ振幅からの物体回復に用いられるフーリエ反復法の改善”	上本 竜郎 ・ 高橋 徹	第23回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-13, (2015. 9)
“大学1年生のための電気数学(第2版)”	高木 浩一 佐藤 秀則 向川 政治	・ 猪原 哲 ・ 高橋 徹 森北出版, (2014. 12)
Correspondence between Phase Oscillator Network and Classical XY Model with the Same Infinite-Range Interaction in Statics	T. Uezu S. Kiyokawa	・ T. Kimoto ・ M. Okada Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 84 No. 3, pp. 033001-1~pp. 033001-5 (2015. 2)
相関を持つ記憶パターンを学習した連想記憶モデルの安定解に反学習が及ぼす影響	木本 智幸 岡田 真人	・ 上江洌 達也 日本物理学会講演概要集, 第70巻第1号, 第70回年次大会, 22aBL-3(2015. 3)
連想記憶型相互作用を有する古典XYモデルの連続解の安定性解析	吉田 梨紗 岡田 真人	・ 木本 智幸 ・ 上江洌 達也 日本物理学会講演概要集, 第70巻第1号, 第70回年次大会, 22pPSB-34(2015. 3)
Evaluation of Fatigue Damage Induced by Pulsating Tension Stress and Plane Bending Stress Using the Remnant Magnetization Method	M. Oka T. Yakushiji	・ Y. Sato ・ M. Enokizono Short Papers Proceedings of 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics ISEM(2015), CD, PS2-29, 2015(9).
励磁用内挿コアを用いた製造工程の誘導機固定子鉄損への影響評価	岡 茂八郎	・ 榎園 正人 平成27年産業応用部門大会(大分大会) 概要集(USB), pp. 193-198, 2015
ステータ巻線励磁法による製造工程が誘導機用ステータコアの磁気特性に及ぼす影響評価	岡 茂八郎 榎園 正人	・ 小笠原 崇人 日本AEM学会誌, Vol. 23, No. 1, pp. 193-198, 2015
励磁用内挿コアを用いた誘導機ステータコアの鉄損の応力依存性の評価	岡 茂八郎	・ 榎園 正人 第23回MAGDAコンファレンス in 高松 電磁現象および電磁力に関するコンファレンス講演論文集, pp. 329-332, 2014
Estimation of Suppressed Iron Loss by Stress-Relief Annealing in an Actual Induction Motor Stator Core Using the Excitation Inner Core Method	M. Oka N. Kawano	・ T. Ogasawara ・ M. Enokizono IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 50, No. 11, 8202904, 2014

論文等題目	著者	掲載誌名等(年.月)
高精度化する個人認証技術—身体的、行動的認証からシステム開発、事例、国際標準化まで—	靄 浩二 (共著)	出版社：エヌティーエス 担当ページ：pp.265-270 ISBN：978-4-86043-413-7 発行日：2014.11.18
Proposal on Brain Wave Personal Authentication with Wireless Neuroheadset	K. Tsuru ・ M. Nagaki	6th International Brain-Computer Interface Conference Proceedings, pp.344-347 (2014)
Classification Characteristics of a Four-Class SSVEP with a Single Rectangular Visual Stimulus by Rear Projection	K. Tsuru D. Matsui ・ K. Fujiwara	The 29th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications Proceedings, pp.346-349 (2014)
無線脳波測定器を用いた脳波個人認証	長生 まゆみ ・ 靄 浩二	電子情報通信学会 2014年総合大会 講演論文集, 情報・システム講演論文集1, p.69(2014)
リバーstechャッカーパターンによる定常状態視覚誘発電位の特性と評価	松井 大輔 ・ 靄 浩二	第22回 電子情報通信学会 九州支部学生会講演会 講演論文, D-42(2014)
光トポグラフィを用いたWeb学習時における集中度の計測	堀 将道 ・ 靄 浩二	火の国情報シンポジウム2015, 講演論文集 2C-1(2015.3)
スマートグラスを用いた視覚刺激による定常状態視覚誘発電位	三浦 晴成 靄 浩二 ・ 松井 大輔	電子情報通信学会 2015年総合大会 講演論文集, 情報・システム講演論文集1, p.92(2015.3)
無線脳波計によるオンラインモバイル脳波認証	田中 徹 靄 浩二 ・ 清松 天樹	第23回 電子情報通信学会 九州支部学生会講演会 講演論文, D-36(2015.9)
スマートグラスSSVEPを用いたブレインコンピュータインタフェイス	清松 天樹 靄 浩二 ・ 田中 徹	第23回 電子情報通信学会 九州支部学生会講演会 講演論文, D-35(2015.9)
4分木分割と係数シフトカラーバイラテラルフィルタによるイスラム模様風画像の生成	平岡 透 ・ 浦浜 喜一	画像電子学会誌, Vol.44, No.4, pp.671-674 (2015.9)
バイラテラル最小値/最大値フィルタによるストーン縞模様画像の生成	平岡 透 ・ 浦浜 喜一	画像電子学会誌, Vol.44, No.4, pp.665-670 (2015.9)
逆アイリスフィルタによるチェッカー模様画像の生成	平岡 透 浦浜 喜一 ・ 熊野 稔	芸術科学会論文誌, Vol.14, No.4, pp.165-169(2015.9)

論文等題目	著者	掲載誌名等(年・月)
逆ラプラシアンフィルタによるエッジハッチングオブアートの生成	平岡 透 浦浜 喜一	・熊野 稔 芸術科学会論文誌, Vol. 14, No. 4, pp. 160-164(2015. 9)
バイラテラル下/上包絡フィルタを用いた航空機搭載レーザスキャナデータからの地面抽出	平岡 透	・力丸 厚 写真測量とリモートセンシング, Vol. 44, No. 4, pp. 194-198 (2015. 9)
曲線延伸セル分割による貼り絵画像の生成	沖野 弘基 浦浜 喜一	・平岡 透 画像電子学会誌, Vol. 54, No. 3, pp. 457-461(2015. 8)
点群データのための可逆な電子透かし	河野 誠也 野中 尋史	・平岡 透 ・安高 尚毅 写真測量とリモートセンシング, Vol. 44, No. 3, pp. 141-145 (2015. 7)
地域防災における民間企業支援型共助の可能性	亀野 辰三	・平岡 透 日本都市学会年報, Vol. 48, pp. 87-94 (2015. 5)
画像のブロック分割とバイラテラルフィルタによるモザイク風画像の生成	平岡 透	・野中 尋史 日本高専学会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 65-70(2015. 4)
バイラテラルフィルタによる水彩画風画像の生成	平岡 透	・熊野 稔 日本高専学会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 59-63(2015. 4)
JR出雲横田駅について 山陰木造駅舎に関する研究その3	安高 尚毅	・平岡 透 産業考古学, Vol. 152, pp. 50-56 (2015. 3)
JR御来屋駅について 山陰木造駅舎に関する研究その2	安高 尚毅	・平岡 透 産業考古学, Vol. 152, pp. 43-49 (2015. 3)
逆ソーベルフィルタによる波紋風画像の生成	平岡 透	・浦浜 喜一 画像電子学会誌, Vol. 44, No. 2, pp. 349-352(2015. 3)
反復強調バイラテラルフィルタによる砂絵風画像の生成	平岡 透 浦浜 喜一	・熊野 稔 芸術科学会論文誌, Vol. 14, No. 1, pp. 20-25(2015. 3)
係数シフト逆バイラテラルフィルタを用いたカラー砂絵風画像の生成	平岡 透	・熊野 稔 日本高専学会誌, Vol. 20, No. 1, pp. 59-62(2015. 1)
津波防災のための地理情報システムとアンケート調査を用いた民間企業の共助の評価	佐藤 龍治 亀野 辰三	・平岡 透 ・安高 尚毅 写真測量とリモートセンシング, Vol. 53, No. 6, pp. 257-261 (2015. 1)

論文等題目	著者	掲載誌名等(年.月)
Generating Striped Color Images by Inverse Line Convergence Index Filter	T. Hiraoka ・ K. Urahama	IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 2, No. 2, pp. 190-194 (2014. 12)
大腸菌群数と用途別の建物データの相関分析	平岡 透 安高 尚毅 ・ 野中 尋史	写真測量とリモートセンシング, Vol. 53, No. 5, pp. 219-223 (2014. 10)
モルフォロジカルフィルタを用いたラピリス風画像の生成	平岡 透 浦浜 喜一 ・ 熊野 稔	映像情報メディア学会誌, Vol. 68, No. 11, pp. J492-J494 (2014. 10)
Generating Stone-Stripe-like Color Images by Bilateral Minimum and Maximum Filters	R. Sato K. Urahama ・ T. Hiraoka	The 1st International Conference on Advanced Imaging, pp. 251-253 (2015. 6)
係数シフトバイラテラルフィルタと非等方ショックフィルタによるゼブラパターン画像	平岡 透 ・ 浦浜 喜一	画像ラボ, Vol. 26, No. 3, pp. 21-25 (2015. 4)
航空機搭載レーザスキャナデータからのバイラテラル下/上包絡フィルタによる地面抽出	岡田 和夏 ・ 平岡 透	平成27年度電子情報通信学会九州支部第23回学生講演会, D-8 (2015. 9)
細菌マップ作成のための大腸菌群数と建物用途の相関分析	和田 佳樹 ・ 平岡 透	平成27年度電子情報通信学会九州支部第23回学生講演会, D-9 (2015. 9)
地域イノベーション評価のための技術集積動向分析法の検討	河野 誠也 野中 尋史 ・ 平岡 透	平成27年度電子情報通信学会九州支部第23回学生講演会, D-10 (2015. 9)
逆線集中度平均フィルタを用いた鱗模様風画像の生成	西本 雅也 ・ 平岡 透	平成27年度電子情報通信学会九州支部第23回学生講演会, D-32 (2015. 9)
アダプトプログラムに基づく災害対応情報システムの開発	梶原 悠吾 亀野 辰三 高見 徹 ・ 野中 尋史 ・ 平岡 透 ・ 古川 隼士	2015年電子情報通信学会総合大会ISS学生ポスターセッション, ISS-SP-202 (2015. 3)
空間統計学と引用リンク解析を用いた特許評価と地域イノベーション評価への応用	河野 誠也 平岡 透 増山 繁 ・ 野中 尋史 ・ 太田 貴久	2015年電子情報通信学会総合大会ISS学生ポスターセッション, ISS-SP-204 (2015. 3)
コンパクトシティを目指す地方都市の動向と評価に関する研究 富山市と青森市を事例として	鷺永 司 平岡 透 ・ 熊野 稔	平成26年度日本建築学会中国支部研究発表会, 714 (2015. 3)
低炭素まちづくり計画策定都市の動向と自治体評価及び方向性に関する研究	熊野 稔 平岡 透 ・ 鷺永 司	平成26年度日本建築学会中国支部研究発表会, 715 (2015. 3)

論文等題目	著者	掲載誌名等(年.月)
高校生レストラン「まごの店」による学校まちづくり活動の動向と効果, 方向性に関する研究 その1 三重県立相可高校を事例として	西俣 颯斗 平岡 透	・熊野 稔 平成26年度日本建築学会中国支部研究発表会, 725(2015.3)
高校生レストラン「まごの店」による学校まちづくり活動の動向と効果, 方向性に関する研究 その1 三重県立相可高校の調理部へのアンケート調査による自己評価	熊野 稔 平岡 透	・西俣 颯斗 平成26年度日本建築学会中国支部研究発表会, 726(2015.3)
バイラテラル最小値/最大値フィルタによるストーン縞模様風画像の生成法	宮下 啓	・平岡 透 第20回高専シンポジウム in 函館, A-1(2015.1)
大腸菌群数と建物用途の相関関係	和田 佳樹	・平岡 透 第20回高専シンポジウム in 函館, A-1(2015.1)
大腸菌群数と降雨量の相関関係	久保田 健太	・平岡 透 第20回高専シンポジウム in 函館, H-11(2015.1)
地理情報システムとアンケート調査による津波防災における民間企業の共助の評価	佐藤 龍治	・平岡 透 第20回高専シンポジウム in 函館, H-12(2015.1)
逆フィルタを用いたノンフォトリアリスティックレンダリングに関する研究	平岡 透 浅野 純一郎	・和田 佳樹 豊橋技術科学大学平成26年度高専連携教育研究プロジェクト進捗状況報告会, 5-2(2014.12)
引用情報を利用した企業の技術力評価指標の開発と財務データとの相関分析	野中 尋史 増山 繁 久保 大輝 南 直人	・太田 貴久 ・平岡 透 ・木村 誠 ・那須 勇弥 日本知財学会第12回年次学術研究発表会, 2H4(2014.11)
地域防災における民間企業支援型共助の可能性	亀野 辰三	・平岡 透 日本都市学会第61回大会, 1202(2014.10)
Experimental and Numerical Investigations on Performances of Darrieus-type Hydro-turbine with Inlet Nozzle	D. Matsushita S. Watanabe A. Furukawa	・K. Tanaka ・K. Okuma International Journal of Fluid Machinery and Systems, Vol. 7, No. 3, pp.152-158(2014.10)
自然エネルギー用流体機械の最適な動・静翼形状(その1) (ナノ/ピコ水力エネルギー(2))	瀬戸口 俊明 松下 大介 渡邊 聡 金元 敏明	・高尾 学 ・大熊 九州男 ・古川 明德 ・飯尾 昭一郎 ターボ機械, 第43巻3号, pp.185-189, (2015.3)
Numerical Investigation of Influence of Rotor-Rotor Gap on Performances of Contra-Rotating Axial Flow Pump	L. Cao A. Furukawa	・S. Watanabe ・D. Wu Proc. ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference, Paper No.140053, pp.1-8(2015.7)
Numerical Investigation on Performance of Contra-rotating Axial Flow Pump with Defferent Rear Rotor Design	H. Honda S. Watanabe A. Furukawa	・L. Cao ・S. Tsuda Proc. ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference, Paper No.140490, pp.1-8(2015.7)

論文等題目	著者	掲載誌名等(年.月)
Effect of Inlet Nozzle Shape on Performance of Darrieus-type Hydro-turbine Operated in Small Open Water Channel	K. Nakashima D. Matsushita S. Tsuda	• R. Moriyama • S. Watanabe • A. Furukawa
Proc. ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference, Paper No.140491, pp.1-8(2015.7)		
障害板付設による3枚翼インデューサに生じるキャビテーションサージの抑制の検証	山本 航平 渡邊 聡 古川 明德	• 石坂 公一 • 津田 伸一
ターボ機械, 第43巻7号, pp.425-432(2015.7)		
Performance Evaluation of Portable Darrieus-type Hydro-turbine in Sloped Rectangular Channels	W. Iwamoto S. Watanabe A. Furukawa	• D. Matsushita • S. Tsuda
Proc. 13th Asian International Conference on Fluid Machinery, paper No. AICFM13-058, pp.1-6(2015.9)		

授業前後における柔道に対するイメージの変化

—工業高等専門学校を対象にして—

川内谷 一志¹・佐野 博昭²・岡村 さやか³・射手矢 岬³

¹一般科理系, ²都市・環境工学科, ³東京学芸大学

高専生の授業前後の柔道に対するイメージの変化をみるために質問紙を用いてアンケート調査を行った。得られた結果より、授業後に8つの質問項目中男子7項目、女子6項目において有意な変化がみられた。男女ともに柔道の授業を経験することによって、「楽しい」「面白い」と柔道に好感を持つ者が増え、「痛い」「怖い」と恐怖を感じる者が減った。「激しい」の項目には有意差がみられず、柔道の授業経験後も激しいというイメージは変化していなかった。

キーワード：柔道, 授業, イメージ, アンケート調査

1. はじめに

日本の伝統文化の一つとして位置づけられる武道が、2012年度から中学校の体育において必修化された。学習指導要領では、武道を通して伝統文化を理解し、相手を尊重する態度を養うことなどが期待されている。

これまで柔道に対するイメージについて調査した研究をみとめる。尾形(2009)は、小学生を対象にアンケート調査を行った。「柔道の授業は楽しかったか」の質問に対して85%の児童が「楽しかった」「大変楽しかった」と答えたと報告している。これは、初めは恐怖心や難しそうだというイメージをもって敬遠していた児童も、いざ柔道に取り組んでみると、発達段階を踏まえた動きや技、柔道の特性を考えたストレッチなどを楽しみながらできるようになった満足感が得られたものと考察している。

尾形ら(1978)は、中学生を対象にアンケート調査を行った。中学生は、柔道は地味で、非近代的で、苦しく、怪我の多いスポーツであると捉えている傾向にあるが、柔道の身体面、精神面に及ぼす好影響を否定する者はそれほど多くなく、身体面では特に筋力、柔軟性、持久力の発達に効果があり、また精神面では、根気強さ、礼儀正しさ、忍耐力の養成に効果があると認識している者が多い傾向にあると報告している。

生田ら(2003)は、高校生を対象に柔道授業を20単位時間行い、授業前後にアンケート調査を行った。授業を体験して「おもしろさがある」「心身の鍛錬に効果がある」といった肯定的イメージが増したと報告しており、これは授業の中で生徒はまさにスポーツとしての柔道のおもしろ

ろさを味わいながら、武道としての精神的価値をも感じているのではないかと考察している。

石川ら(2011)は、大学生を対象に柔道授業を年間30回行い、授業期間中にアンケート調査を行った。彼らは柔道に対して「楽しい」「面白い」「親しみやすい」といったイメージが増したと報告しており、これは授業回数を重ねていく中で、多くの相手と関わり、練習をして技を学習したことにより苦痛因子が低減し、一方で、伝統因子には差がみられなかったと報告した。

これは実際に柔道を体験したことがない学生でも、知識として形成された伝統精神イメージをもともと強く抱いており、授業で実際に柔道を学ぶ体験を通して、大きく変化することがなかったと考察している。

以上のことから、柔道のイメージは授業を経験することで、おもしろい、心身の発達に役立つなどの良いイメージが増すが、反面暗い、苦しいなどの悪いイメージもあることがわかる。

そこで、本研究は、上述した研究対象とは異なる工業高等専門学校(16~20歳)の学生を対象に、授業前後の柔道に対するイメージをアンケート調査により明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 対象

調査の対象は、柔道の授業を受講した学生747名とした。表-1は、調査対象者を示す。内訳は男子645名、女子は

表-1 調査対象者

性別	学科				合計
	機械工学科	電気電子工学科	情報工学科	都市・環境工学科	
男子	180	178	143	144	645
女子	3	9	43	47	102
合計	183	187	186	191	747

表-2 柔道の授業内容

学年	時間	授業内容
1年生	1時間目	オリエンテーション
	2時間目	礼法, 柔道衣の着方, 受け身 (後ろ受け身と横受け身)
	3時間目	受身 (前回り受け身), 抑え技 (袈裟固め)
	4時間目	抑え技 (横四方固め, 上四方固め) / 立ち技 (膝車)
2年生	5時間目	抑え技の復習/立技 (大腰, 大外刈り)
	6時間目	抑え技の自由練習 (1分×3本) / 立技の復習
	7時間目	抑え技の自由練習/立技の復習
	8時間目	抑え技の自由練習/立技自由練習 (1分30秒×3本)
3年生	9時間目	抑え技の自由練習/立技自由練習 (1分30秒×3本)
	10時間目	抑え技の自由練習/立技自由練習 (1分30秒×3本)
	11時間目	抑え技の自由練習/立技自由練習 (1分30秒×3本)

102名で、各学科の人数は、機械工学科男子180名、女子3名、電気電子工学科男子178名、女子9名、情報工学科男子143名、女子43名、都市・環境工学科男子144名、女子47名であった。

(2) アンケート調査項目と手順

調査項目は、柔道に対するイメージについて、以下の8項目 (1. 柔道は危険なスポーツと思う, 柔道は怖いスポーツと思う, 3. 柔道は痛いスポーツと思う, 4. 柔道は怪我が多いスポーツと思う, 5. 柔道は苦しいスポーツと思う, 6. 柔道は激しいスポーツと思う, 7. 柔道は楽しいスポーツと思う, 8. 柔道は面白いスポーツと思う) とした。

それぞれの項目の応答は5段階評定尺度 (1 思う, 2 まあ思う, 3 どちらでもない, 4 あまり思わない, 5 思わない) で回答させた。

表-2は、柔道の授業内容を示す。1コマ90分授業を1~3年次までに合計11コマ実施する。前期に実施するのは、1年生は1~4時間目まで、2年生は5~8時目まで、3年生は9~12時間目までであった。前期終了時にアンケート調査を行った。また4, 5年次生は過去の授業をふり返りアンケート調査に回答した。

アンケート調査は2012年度の前期柔道授業終了後に受講生に対して行った。

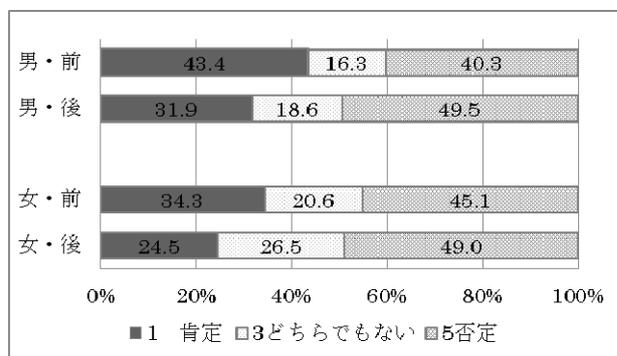


図-1 柔道は危険

3. 結果

(1) 柔道のイメージについての回答

図-1は、「柔道は危険なスポーツと思う」についての回答の割合を示す。男子は授業前に危険であると感じている者が43.4%、危険でないと感じている者が40.3%であったが、授業後には危険と感じている者が31.9%に減り、危険でないと感じる者が49.5%に増えた。女子においても授業前に危険であると感じている者が34.3%、危険でないと感じている者が45.1%であったが、授業後には危険と感じている者が24.5%に減り、危険でないと感じている者が49.0%に増えた。

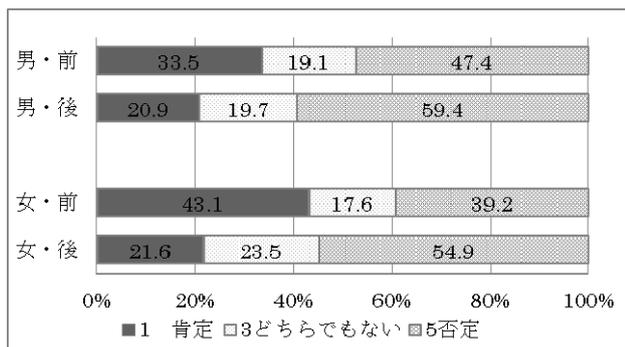


図-2 柔道は怖い

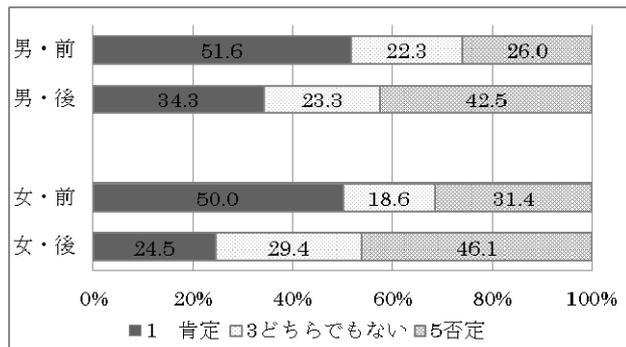


図-4 柔道は怪我が多い

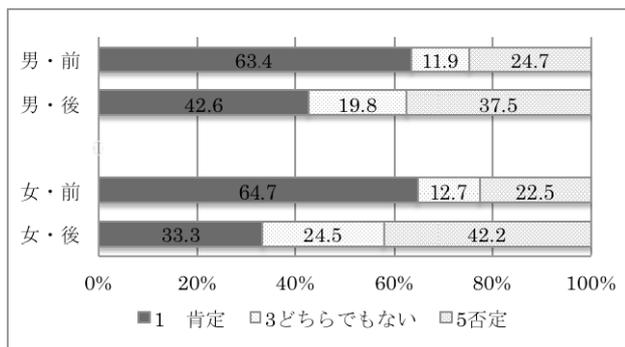


図-3 柔道は痛い

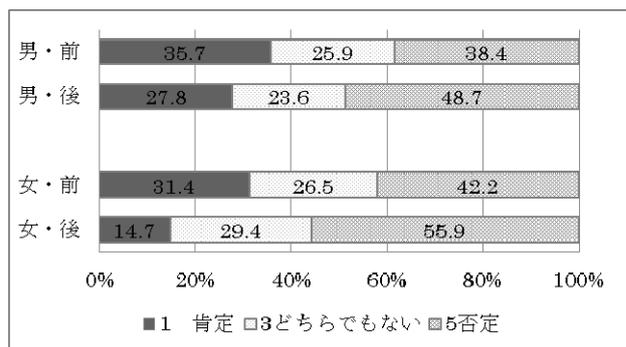


図-5 柔道は苦しい

図-2は、「柔道は怖いスポーツと思う」についての回答の割合を示す。男子は授業前に怖いと感じている者が33.5%、怖いと感じている者が47.4%であったが、授業後には怖いと感じている者が20.9%に減り、怖いと感じていない者は59.4%に増えた。女子においても授業前に怖いと感じている者が43.1%、怖くないと感じている者が39.2%であったが授業後には怖いと感じている者が21.6%に減り、怖いと感じていないものは54.9%に増えた。

図-3は、「柔道は痛いスポーツと思う」についての回答の割合を示す。男子は授業前に痛いと感じている者が63.4%、痛くないと感じている者が24.7%であったが、授業後には痛いと感じている者は42.6%に減り、痛くないと感じている者は37.5%に増えた。女子においても授業前に痛いと感じている者が64.7%、痛くないと感じている者が22.5%であったが、授業後には痛いと感じている者は33.3%減り、痛くないと感じている者は42.2%に増えた。

図-4は、「柔道は怪我が多いスポーツと思う」について回答の割合を示す。男子は授業前に怪我が多いと感じている者が51.6%、怪我が多くないと感じている者が26.0%であったが、授業後には怪我が多いと感じている者は34.3%に減り、怪我が多くないと感じている者が42.5%に増えた。女子においても授業前に怪我が多いと感じている者は50.0%、怪我が多くないと感じている者が31.4%であったが、授業後には怪我が多いと感じている者は24.5%に減り、怪我が多くないと感じている者が46.1%に増えた。

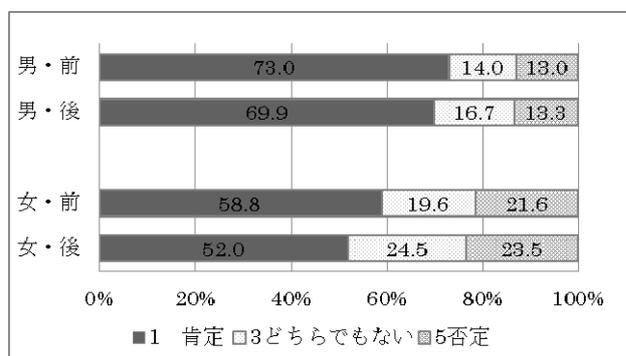


図-6 柔道は激しい

図-5は、「柔道は苦しいスポーツと思う」についての回答の割合を示す。男子は授業前に苦しいと感じている者が35.7%、苦しくないと感じている者が38.4%であったが、授業後には苦しいと感じている者は27.8%に減り、苦しくないと感じている者が48.7%に増えた。女子においても授業前に苦しいと感じている者が31.4%、苦しくないと感じている者が42.2%であったが、授業後には苦しいと感じている者は14.7%に減り、苦しくないと感じている者が55.9%に増えた。

図-6は、「柔道は激しいスポーツと思う」についての回答の割合を示す。男子は授業前に激しいと感じている者が73.0%、激しくないと感じている者が13.0%であったが、授業後には激しいと感じている者は69.9%に減り、激しく

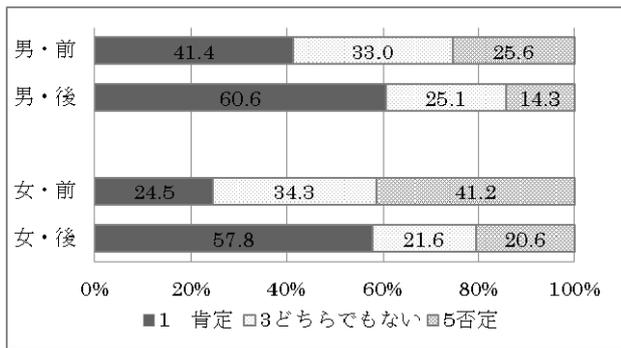


図-7 柔道は楽しい

ないと感じている者は13.3%に増えた。女子は授業前に激しいと感じている者が58.8%、激しくないと感じている者が21.6%であったが、授業後には激しいと感じている者は52.0%に減り、激しくないと感じている者は23.5%に増えた。

図-7は、「柔道は楽しいスポーツと思う」についての回答の割合を示す。男子は授業前楽しいと感じている者が41.4%、楽しくないと感じている者が、25.6%であったが、授業後に楽しいと感じている者は60.6%に増え、楽しくないと感じている者は14.3%に減った。女子は授業前に楽しいと感じている者が24.5%、楽しくないと感じている者が、41.2%であったが、授業後に楽しいと感じている者は57.8%に増え、楽しくないと感じている者は20.6%に減った。

図-8は、「柔道は面白いスポーツと思う」についての回答の割合を示す。男子は授業前面白いと感じている者が42.9%、面白くないと感じている者が25.0%であったが、授業後に面白く感じる者は60.5%に増え、面白くないと感じている者は14.1%に減った。女子は授業前面白く感じる者が27.5%、面白くないと感じている者が37.3%であったが、授業後に面白く感じる者は52.9%に増え、面白くないと感じている者は21.6%に減った。

(2) 授業前後のイメージの比較

表-3に授業前後の柔道イメージについての質問に対する回答を得点化し、その平均値と標準偏差を示した。授業前後の得点に差があるかを比較するためにt検定を行い、その結果も示した。

Q1～Q6は身体的な苦痛、恐怖的感情に関する項目であった。この項目に対しての回答の平均点が高くなると否定的な反応となる。例えば柔道は危険であるという質問項目で高くなると授業後に危険でないというイメージが変わったことを示す。

Q7とQ8は好感的感情に関する項目であった。この項目に対しての回答の平均点が低くなると肯定的な反応となり、より好感的になったことを示す。

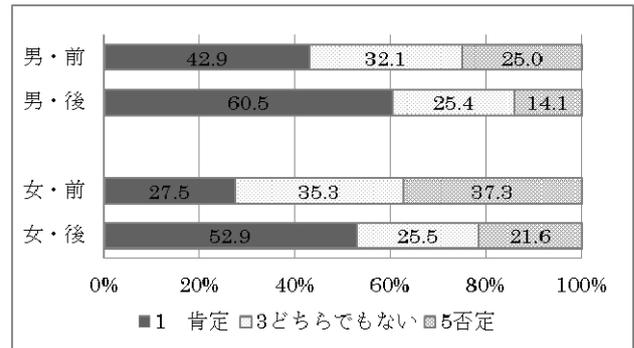


図-8 柔道は面白い

a) Q1 柔道は危険なスポーツと思うについて

男子は、授業前平均 3.0 ± 1.32 で授業後平均 3.3 ± 1.33 で授業後に 5%で有意に高い得点であった ($t = -6.16, p < 0.05$)。女子では、授業前平均 3.1 ± 1.25 で授業後平均 3.4 ± 1.23 で授業後に高い傾向がみられた ($t = -1.72, p < 0.10$)。

以上のことから男女ともに授業後に危なくないというイメージに変化した。

b) Q2 柔道は怖いスポーツと思うについて

男子は、授業前は平均 3.2 ± 1.32 で授業後平均 3.6 ± 1.32 ($t = -8.31, p < 0.05$)、女子では、授業前平均 2.9 ± 1.40 で授業後平均 3.5 ± 1.21 ($t = -3.96, p < 0.05$)、男女ともに授業後に有意に高い得点であった。

以上のことから、授業後に男女ともに怖くないというイメージに変化した。

c) Q3 柔道は痛いスポーツと思うについて

男子は、授業前平均 2.5 ± 1.29 で授業後平均 2.9 ± 1.30 ($t = -9.77, p < 0.05$)、女子では、授業前平均 2.5 ± 1.29 で授業後平均 3.2 ± 1.21 ($t = -6.31, p < 0.05$)、男女ともに授業後に有意に高い得点であった。

以上のことから、授業後に男女ともに痛くないというイメージに変化した。

d) Q4 柔道は怪我が多いスポーツと思うについて

男子は、授業前平均 2.6 ± 1.25 で授業後平均 3.1 ± 1.27 ($t = -10.43, p < 0.05$)、女子では、授業前平均 2.8 ± 1.25 で授業後平均 3.4 ± 1.12 ($t = -4.72, p < 0.05$)、男女ともに授業後に有意に高い得点であった。

以上のことから、授業後に男女ともに怪我が多くないというイメージに変化した。

e) Q5 柔道は苦しいスポーツと思うについて

男子は、授業前平均 3.1 ± 1.29 で授業後平均 3.4 ± 1.26 ($t = -6.37, p < 0.05$)、女子では、授業前平均 3.2 ± 1.20 で授業後平均 3.6 ± 1.12 ($t = -4.04, p < 0.05$)、男女ともに授業後に有意に高い得点であった。

以上のことから、授業後に男女ともに苦しくないというイメージに変化した。

f) Q6 柔道は激しいスポーツと思うについて

表-3 授業前後の柔道のイメージ点の比較

No.	質問項目	性別	n	授業前	授業後	t 値	p 値	
Q1	柔道は「危険」	男子	645	3.0±1.32	3.3±1.33	-6.16	0.000	*
		女子	102	3.1±1.25	3.4±1.23	-1.72	0.089	†
Q2	柔道は「怖い」	男子	645	3.2±1.32	3.6±1.32	-8.31	0.000	*
		女子	102	2.9±1.40	3.5±1.21	-3.96	0.000	*
Q3	柔道は「痛い」	男子	645	2.5±1.29	2.9±1.30	-9.77	0.000	*
		女子	102	2.5±1.29	3.2±1.21	-6.31	0.000	*
Q4	柔道は「怪我が多い」	男子	645	2.6±1.25	3.1±1.27	-10.43	0.000	*
		女子	102	2.8±1.25	3.4±1.12	-4.72	0.000	*
Q5	柔道は「苦しい」	男子	645	3.1±1.29	3.4±1.26	-6.37	0.000	*
		女子	102	3.2±1.20	3.6±1.12	-4.04	0.000	*
Q6	柔道は「激しい」	男子	645	2.1±1.15	2.2±1.15	-0.93	0.352	n.s.
		女子	102	2.4±1.23	2.6±1.26	-1.10	0.272	n.s.
Q7	柔道は「楽しい」	男子	645	2.8±1.17	2.3±1.13	11.88	0.000	*
		女子	102	3.2±1.11	2.5±1.21	5.96	0.000	*
Q8	柔道は「面白い」	男子	645	2.8±1.20	2.3±1.12	11.09	0.000	*
		女子	102	3.1±1.15	2.6±1.22	4.96	0.000	*

男子は、授業前平均 2.1±1.15 で授業後平均 2.2±1.15 ($t=-0.93$, $p>0.05$), 女子では、授業前平均 2.4±1.23 で授業後平均 2.6±1.26 ($t=-1.10$, $p>0.05$), 男女ともに授業後に有意な差はみられなかった。

以上のことから、授業後に男女ともに激しいというイメージは変化しなかった。

g) Q7 柔道は楽しいスポーツと思うについて

男子は、授業前平均 2.8±1.17 で授業後平均 2.3±1.13 ($t=11.88$, $p<0.05$), 女子では、授業前平均 3.2±1.11 で授業後平均 2.5±1.21 ($t=5.96$, $p<0.05$), 男女ともに授業後に有意に低い得点であった。

以上のことから、授業後に男女ともに楽しいというイメージに変化した。

h) Q8 柔道は面白いスポーツと思うについて

男子は、授業前平均 2.8±1.20 で授業後平均 2.3±1.12 ($t=11.09$, $p<0.05$), 女子では、授業前平均 3.1±1.15 で授業後平均 2.6±1.22 ($t=4.96$, $p<0.05$), 男女ともに授業後に有意に低い得点であった。

以上のことから、授業後に男女ともに面白いというイメージに変化した。

4. 考察

本研究では授業前に柔道は、「痛い」「怪我が多い」といったマイナスイメージに対して、それぞれ「痛い」が男子 63.4%, 女子 64.7%, 「怪我が多い」が男子 51.6%, 女子 50.6%で多くみられた。

生田ら (2003) の研究でも授業前アンケートで柔道のイメージに「痛い」という回答があり、石川ら (2011) の研究でも「苦痛」「危険」といったマイナスイメージが多くみられたと報告されている。本研究と同様に痛いといったマイナスのイメージが強いことがわかった。

授業後では「痛い」の回答が男子 63.4%から 42.6%, 女子 64.7%から 33.3%に減少した。柔道の授業を重ねていくことで面白さ、楽しさの項目が高くなり、痛さの項目が低減したことがみとれる。これは生田ら (2003) の報告でも「授業を受けたことで柔道は面白いというイメージが大きくなった。」とある。

本研究では、「面白い」「楽しい」の項目に対して、「面白い」が男子 42.9%から 60.5%, 女子 27.5%から 52.9%, 「楽しい」が男子 41.4%から 60.6%, 女子 24.5%から 57.8%へ授業後に高くなり、これは授業が進むにつれて柔道衣の着方、礼法、受け身といった基本動作から立技、投技、寝技、自由練習といった柔道の楽しさや特性を感じることができたことがうかがえる。自由練習を重ねていくことで投げられるの攻防に次第に慣れていったことから恐怖心が薄れ、危険なイメージが減少したと考えられる。

石川ら (2011) は、乱取りが出来るようになり、相手を投げたり、抑えたりするといった柔道の面白さを十分に感じられるような動きを経験できるようになったことによって、肯定的なイメージの変化がもたらされたと報告している。

また、「激しい」の項目では大きな変化がみられなかった。授業前のイメージでは柔道は激しいと感じている割合が男子 73.0%, 女子 58.8%と高かったが、授業後でも激し

いイメージの割合は男子 69.9%, 女子 52.0%で大きな変化はなかった。授業前は、柔道の攻防の中で組み合い、相手の身体を直接攻撃していくような状況や、不安定な状態で技をかけ、投げられた際に宙に舞い、畳に落ち、衝撃を受けるといったイメージからの影響もあると思われる。授業後も、自由練習を行うことで技の多様性や相手との攻防の難しさから激しい項目の変化がみられなかったと思われる。

笠谷 (2013) は柔道について明るく楽しそうなイメージもあるが専門的に取り組めば当然厳しさというものがあることも高専生は認識しているのではないかと報告している。

本研究における柔道のイメージは、楽しい、面白いといった好感的なイメージを持ちながらも、激しいというイメージを持ち合わせていることがうかがえる。

石川ら (2011) の研究でも、柔道は楽しいけれども難しく、そして苦痛な側面もあるが、精神的な価値を持つものとしてイメージされていると報告がある。中学、高校、大学生を対象とした研究では、授業後に激しい面をもちながらも、一方で、楽しく、面白いイメージを持ち合わせているとの報告がされているが、本研究でも高専生の柔道のイメージは、楽しい、面白いといったイメージと激しいというイメージをもっており、類似していた結果であった。授業後には好感的に感じる者が増加し、恐ろしく感じる者は減少した。すなわち、授業後に柔道に対して好意的になったといえる。

しかしながら、柔道は激しいスポーツであるということの認識は持っているようである。このように高専生の柔道のイメージを明らかにすることは、今後の体育授業をより良いものにするための一助となるだろう。

5. まとめ

高専生の授業前後の柔道に対するイメージの変化をみるために質問紙を用いてアンケート調査を行った。

授業後に8つの質問項目中男子7項目、女子6項目において有意な変化がみられた。男女ともに柔道の授業を経験することによって、「楽しい」「面白い」と柔道に好感を持つ者が増え、「痛い」「怖い」と恐怖を感じる者が減った。「激しい」の項目には有意差がみられず、柔道の授業経験後も激しいというイメージは変化していなかった。

参考文献

- 濱田初幸, 前阪茂樹, 川西正志, 安道太軌, 北村尚浩 (2011): 体育専攻学生が期待する中学校における武道必修化による教育効果: 武道を専門とする学生に着目して, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 43, 1-9
- 石川美久, 遠藤知里, 小田 梓, 坂本道人, 鍋山隆弘, 小俣幸嗣 (2011): 共通体育柔道における大学生の武道に対するイメージ変化, 大学体育研究, 33, 11-20
- 生田祐介, 村松常司, 森勇示, 金子修己, 金子恵一, 大河内伸之 (2003): 高校生における柔道授業に関する意識の研究, 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 28, 27-36
- 笠谷和弘 (2013): 大阪中高体連柔道部女子部員アンケート結果報告, 柔道科学研究, 第18号, 30-37
- 文部科学省 (2008): 中学校指導要領解説, 保健体育編
- 尾形敬史 (1978): 柔道に対する意識の研究 (第一報), 中学生を対象として, 茨城大学教育学部紀要, 28号, 35-56
- 尾形敬史 (2009): 小学校における体育授業への柔道導入の実践研究, 講道館柔道科学研究会紀要, 第12輯, 147-170 (2015.9.30受付)

運動部に所属する本校学生の体力と学業成績

大庭 恵一¹・川内谷 一志¹

¹一般科理系

本研究は、運動部に所属する大分高専の学生の新体力テストの結果および定期テストの成績を調査し、運動部の活動が体力や学業成績にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることを目的とした。大分高専の1～4年生531名を対象に、運動部への所属状況、体力テストの8種目の得点合計およびテストの直後に行われた前期中間テストの結果を調査した。その結果、運動部に所属する学生は、そうでない学生に比べ、有意に高い体力テストの点数、および有意に高い学業成績を示した。学年別にみると、2、3年生の学業成績に有意差がみられたことから、活動頻度が高い運動部学生は学業成績も良好な者が多いと考えられる。

キーワード：高専学生 運動部 体力 学業成績

1. はじめに

大分高専の部活動は31部あり、その中で、運動部は17部ある。これらの部活動に、全教員をいずれかの顧問として配置していることから、部活動は高専教育における重要な課外活動として位置づけられているといえる。

運動部に所属する高専生について調査した研究^{1) 2) 3)}において、そのほとんどが、運動部学生は、所属していない学生に比べ、体力が高いと報告している。このことは、運動部に所属する学生の特徴を示しているとともに、その活動により、体力の維持・向上がなされている⁴⁾と考えられる。

さらに、運動部に所属する高専学生の学業成績について、16～18歳を対象にした文部科学省の調査⁵⁾では、運動を含む生活習慣が体力および学力に好影響を及ぼすとしていることから、部活動が学業に対する意欲も向上させている可能性もあると考えられる。一方で、仮に運動部の学生が著しく悪い学業成績を示す傾向であれば、部活動が学業に支障をきたしている可能性があるともいえる。したがって、運動部活動が高専教育に必要な課外活動かどうかを検証していく上で、運動部の学生の学業成績を調査しておくことは重要であると考えられる。

そこで本研究では、本校学生の運動部活動の所属状況、新体力テストの得点合計およびその直後に行われた定期テストの結果から、運動部活動が体力および学業成績にどのような影響を及ぼしているのかを検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 対象者

本校男子学生1～4年生530名を対象に行われた。対象者は、今年度当初に行われた健康診断で異常がみられず、新体力テストを全種目行い、その直後の前期中間テストを全科目受験した学生であった。また、新体力テスト実施時点での運動部への所属の有無は、新体力テストのときにアンケート調査し、部活動名を記入させた。

(2) 体力 (新体力テスト)

体力評価には、文部科学省の新体力テストを用いた。新体力テストは、握力・反復横跳び・上体起こし・長座体前屈・50m走・立幅跳び・ハンドボール投げ・持久走(1,500m走)の8種目であり、その得点合計で評価した。実施時期は、年度が始まって1カ月後の5月に行われた。

(3) 学業成績

学業成績は、新体力テスト直後の6月に行われた前期中間テストの平均点で評価した。

(4) 統計処理

本研究のデータは、平均値±標準偏差で示した。運動部と非運動部との比較は、対応のないt-testを用いた。統計的有意水準は、 $p < 0.05$ とした。

3. 結果

(1) 運動部所属状況

運動部の所属状況(人数)を表-1に示した。全対象者の中で、運動部に所属している割合は58%であった(図-1)。表-2に、各運動部の人数を示した。本校では、サッカー部および野球部の部員の数が多く(図-2)、10名以上の部員がいる部は10部であった。

表-1 学年別の運動部所属状況(人数)

	運動部(人)	非運動部(人)
全体	306	224
1年生	75	52
2年生	74	63
3年生	82	59
4年生	75	50

表-2 運動部別の人数

運動部	人数
サッカー	56
野球	42
バスケット	28
テニス	23
バドミントン	22
卓球	20
ソフトテニス	19
陸上	19
弓道	17
バレー	16
ラグビー	12
剣道	10
その他	23

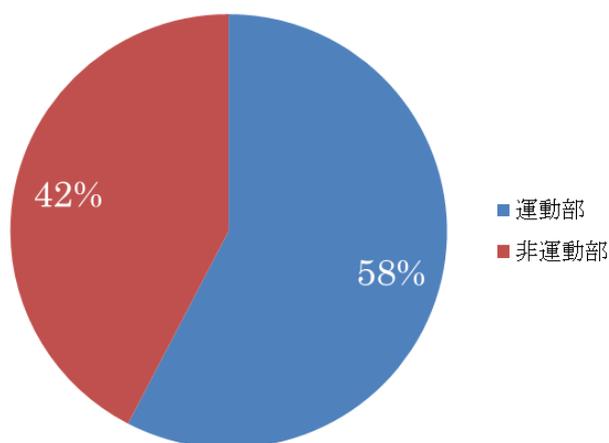


図-1 運動部の所属状況(割合)

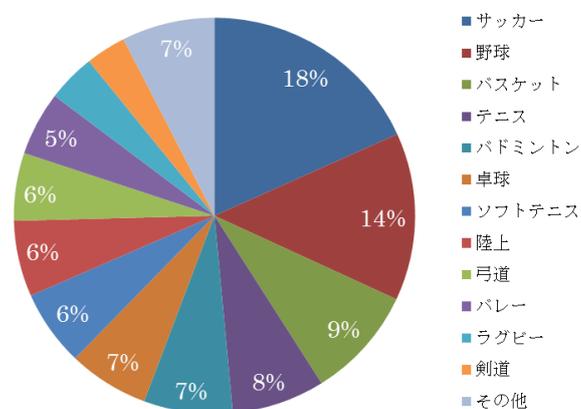


図-2 運動部別の割合

(2) 運動部所属状況と体力との関係

表-3に、運動部に所属している学生と所属していない学生の
新体力テストの得点合計を示した。

全体では、運動部に所属している学生 (53.57±8.58点) は、
していない学生 (44.62±8.68点) に比べ、有意に高い得点合計を
示した (p<0.01)。学年別にみると、1~4年全ての学年におい
て、運動部に所属しているが学生がしていない学生に比べ、
有意に高い点数を示した (p<0.01)。

(3) 運動部所属状況と学力との関係

表-4に、運動部に所属している学生と所属していない学生の
前期中間テストの平均点を示した。

全体では、運動部に所属している学生 (72.68±13.45点) は、
していない学生 (70.28±8.68点) に比べ、高い平均点を示した
(p<0.05)。学年別にみると、2年生および3年生において、
所属している学生が所属していない学生に比べ、有意に高い
平均点を示した (p<0.05)。一方、1年生および4年生におい
て、運動部の所属の有無によって平均点に有意差は認められ
なかった。

表-3 新体力テストの得点合計の学年別比較

	運動部	非運動部
全体	53.57 ± 8.58 **	44.62 ± 8.68
1年生	51.25 ± 7.35 **	44.10 ± 7.52
2年生	53.19 ± 8.09 **	42.91 ± 8.01
3年生	54.35 ± 8.91 **	47.02 ± 8.58
4年生	55.41 ± 9.38 **	44.42 ± 10.23

*:p<0.05 **:p<0.01

表-4 前期中間テスト平均点の学年別比較

	運動部	非運動部
全体	72.68 ± 13.45 *	70.28 ± 12.97
1年生	73.96 ± 10.32	73.14 ± 9.08
2年生	76.19 ± 11.26 *	72.94 ± 10.20
3年生	69.84 ± 15.81 *	64.31 ± 14.20
4年生	71.05 ± 14.67	70.99 ± 14.83

*:p<0.05 **:p<0.01

4. 考察

(1) 運動部所属状況

大分高専の1~4年生における運動部所属状況は、58%で
あり、運動部に所属している学生がしていない学生をやや上
回った。各学年においても同様の傾向であった。また、運
動部別の人数をみると、サッカー部と野球部が多く、これ
ら二つの部で全運動部学生の32%を占めていた。したがっ
て、学校全体では半数を超える学生が運動部に所属し、上
記2つの部に多くの学生が集まっているといえる。

(2) 運動部学生の体力

このような状況において、やはり先行研究と同様に、運
動部に所属する学生が非運動部の学生に比べ、有意に高い
新体力テストの合計点を示し、運動部学生の体力が高いと
いう結果がえられた。

大分高専において、1~4年の体育授業は年間を通して行
われているものの、週1回1コマ (90分) のみである。運
動部に所属していない学生の運動の機会は、その授業のみで
ある可能性が高い⁴⁾ と考えられる。運動部の学生について
は、本研究において運動頻度を調査していないため、実際
の活動状況との関連について明らかにすることはできないが、
運動部の活動によって授業以外での運動の機会が増えて
いる学生が多いと考えられる。よって、運動部の活動が運
動の実施頻度を高め、このことが体力の向上の一要因にな
っていると考えられる。しかし、小野ら³⁾ は、運動部に
所属する4、5年の高専学生は体力テストの合計点は高い
が、運動頻度と体力テストの点数とはあまり関連がみられ
ないと報告している。したがって、運動部学生の高い体力
は、運動頻度が高いことよりもむしろ、運動部に元々体力
の高い学生が集まっていることも要因として考えられる。
運動部活動が体力の維持・向上にどの程度寄与するのかを
検証するためには、運動部に所属する学生における縦断
的な体力調査が必要になると考えられる。

(3) 運動部学生の学業成績

本校では、年4回の定期テストが行われ、本研究で調査
した前期中間テストは、6月の年度の最初に行われるもの
である。このテストの平均点において、運動部に所属する
学生は、所属していない学生に比べ有意に高い点数を示
した。学年別にみると、2、3年生のみ運動部学生が有意
に高く、1、4年生において有意差は認められなかった。
したがって、運動部に所属する学生は全体として学業成
績が高く、特に2、3年生においてその傾向が強いとい
える。

野々上ら⁶⁾ は、中学生を対象としてではあるが、「週3
日以上」運動している者は、「していない」者と比較して
高い学業成績を示し、部活動がバランスのとれた学校生
活を可能にし、学習においてもよい影響を及ぼしている
可能性があると報告している。高専の学生においても、運
動部

活動が運動の実施頻度をあげることに貢献し、心身ともに良好な状態を保ち、学業成績にもよい影響をもたらしている可能性はあると考えられる。

学年別の結果について、2,3年生の運動部の学生がそうではない学生に比べ高い平均点を示したが、1,4年生ではその差が1点以内と、ほとんど差が認められなかった。このように学年によって違いがみられた原因について、学年による部活動の取り組みの違いにあるのではないかと考え、以下のような検証を行った。

高専の運動部活動は、全体として7月の地区の高専体育大会を主な目標として活動している。それ以外の活動として、1~3年生までのいわゆる低学年の学生たちは、高校体育連盟(高体連)の大会にも出場するのが一般的である。例えば、最も部員数の多いサッカー部は、春には全国高校総体の予選があり、秋には全国高校サッカー選手権大会の予選がある。さらには、1年生を中心としたU-16の大会も行われており⁷⁾、低学年の学生たちは1年を通して大会に出場している。

次に部員数の多い野球部は、低学年の学生が高校野球連盟(高野連)主催の全国高校野球選手権大会に出場し、その大会に向けた練習試合も毎週のように組まれている⁸⁾。よって、野球部の低学年の学生も年間を通して非常に活発に活動が行われている。

一方で、これら二つの部において、4,5年生いわゆる高学年の学生は、出場する主な大会は7月の高専体育大会のみである。実際に調査は行っていないが、大会数が少ない高学年になると、低学年のときに比べ、運動の実施頻度も低くなり、運動部に所属していない学生とさほど変わらない運動の実施頻度になっている可能性がある。他の運動部活動においてもほぼ同様の状況で活動が行われており、部員数の多いこれら二つの部において、この傾向が顕著であることから、2,3年生でみられた平均点の有意な差が、4年生になるとみられなくなった一つの要因ではないかと考えられる。

本研究では、運動実施頻度などの実施状況を実際には調査しておらず、高専における運動部活動と学業成績との直接的な関連性を見出すには至っていない。よって、本校の運動部活動への所属と学業成績の向上とを直接結びつけることはできない。しかし、運動部に所属する本校の学生は、大きく学業成績を落とすことなく活動を両立させている学生が多いと考えられる。さらに、活動の実施頻度が高い2,3年の運動部学生は、時間的制約が強くなるにも関わらず、そうでない学生に比べ高い学業成績を有している学生が多いことから、運動部の活動が学習意欲の向上につながっている可能性があると考えられる。

5. まとめ

本研究は、運動部に所属する大分高専の学生の新体力テストの結果および新体力テストの成績を調査し、運動部の活動が体力や学業成績にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることを目的として行われた。本研究により得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 本校の運動部所属率は58%であり、サッカー部および野球部に所属する学生が多く、全体の32%を占めていた。
- (2) 運動部に所属する学生は、所属していない学生に比べ有意に高い体力を有していた。
- (3) 運動部に所属する学生は、所属していない学生に比べ有意に高い学業成績を示した。学年別にみると、高校の大会などにも出場する2,3年生の運動部学生が運動部でない学生に比べ有意に高い学業成績を示した。

以上の結果から、運動部に所属する学生は、そうでない学生に比べ体力が高く、学業成績も高い学生が多いことが明らかとなり、学業成績については活動の実施頻度との関連が示唆された。

6. 参考文献

- 1) 石尾 潤, 中山克彦, 中村貢治: 本校学生の体格, 体力, 運動能力に関する調査研究, 宇部工業高等専門学校研究報告, 第45号, pp.213-218,1998.
- 2) 長田朋樹: 小山高専生の体力水準-2014年度新体力テスト報告-, 小山工業高等専門学校研究紀要, 第47号13-19, 2014
- 3) 小野伸一郎, 梅垣浩二, 田中美奈子, 坂根陽子: 本高専学生の体力の現状と課題, 舞鶴工業高等専門学校紀要, No38,pp108-112,2003.
- 4) 島田 茂, 出村慎一, 長澤吉則, 南 雅樹, 松澤仁三郎: 継続的運動実施頻度の差異が高専男子学生の体格および体力に及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, Vol.11, No2, 2006.
- 5) 文部科学省: 平成26年度全国体力・運動能力, 運動習慣等調査結果報告書, 2014.
- 6) 野々上敬子, 平松清志, 稲森義雄: 中学生の生活習慣および自覚症状と学業成績に関する研究, 学校保健研究, 50:5-17, 2008.
- 7) 大分県サッカー協会高校委員会: 2014年度予定表.
- 8) 大分県高等学校野球連盟: 2015年大会・講習会予定表.

(2015.9.30受付)

5軸マシニングセンタの加工性能を評価するための加工試験

山本 通¹・才川 大地²・藤原 敏博³

¹機械工学科, ²株式会社カンセツ, ³オークマ株式会社

本研究では、簡単にかつ不具合原因特定を行いやすくすることを目的に5軸MCの新しい加工試験を提案し、2種類の5軸MCを使った実験では、回転軸を反転させた位置で不具合が出やすいことを確認した。その他、加工結果から、回転軸と直進軸の同期が始まる位置での振動のような段差、NCの近回りの影響によると思われる大きな加工誤差等、加工機の性能に関わる多くの情報を得ることができた。また提案した数学モデルを使えば、機械の誤差が加工面にどの程度の影響を与えるかを確認するための指針とできることも確認した。この試験を行い、その機械の特性を理解したうえで機械を使えば、加工不具合を減らすことも可能で、本研究で提案した加工試験は有効であることが明らかになった。

キーワード：5軸マシニングセンタ, 加工試験, 回転軸, バックラッシ

1. 緒言

工作機械では送り軸や回転軸の方向が変わる位置(以下、反転位置という)で起こるバックラッシが加工面に悪影響を及ぼすことがある。磨きレス金型のような加工品位が求められる場合、加工機のバックラッシ量を知らなければ、その機械で磨きレスの加工品位を実現できるのか分からない。直進軸のバックラッシについては多くの研究が行われている^{1, 2)}が、それに比べて回転軸のバックラッシに関する研究例は少ない。特に近年リードタイムを短縮する手段として注目されている5軸マシニングセンタ(以下、5軸MCという)が有する回転軸のバックラッシによる影響が加工面にどの程度影響を及ぼすのかを知らずに工作機械を購入し、製品を加工すると、意図せぬ不具合が発生し、それを解決するために工数がかかり、リードタイム短縮が実現できない。

5軸MCの性能評価方法としては、ダブルボールバーや球と変位計を使用した方法が開発され^{3, 4, 5)}、ISO規格原案として採用されるまでになっている。しかしこのような高価な測定機をユーザが購入することはほとんどない。一方、3軸MCでは実際に切削を行い、性能評価を行う方法も既に提案されているが、5軸MC用としては円すい台加工⁶⁾によるものがあるに過ぎない。そこで、本稿では、回転軸と直進軸の同期加工精度や加工面について確認できる新しい加工試験を提案し、その有効性を確認する。

2. 加工機と加工試験

(1) 加工機

5軸MCの構造形態としては、主軸旋回形、テーブル旋回形と混合形の3種類の形態があることが知られている。このうち、最も多くの台数が出荷されているテーブル旋回形5軸MCについて本研究では、取り扱う。実験で使用した機械構成は、図1(a)と(b)に示すタイプの5軸MCである。

(2) 加工試験

加工機の回転軸性能を簡単に評価できるようにするために、以下のような加工試験を考案した。

被削材として直方体もしくは立方体のブロック材を準備しバイスなどでクランプする。これにボールエンドミルで指定した工具姿勢で平面加工を行い、その加工面を評価する。評価方法としては、目視もしくは広く普及している面粗度計を主に用いる。具体的には、図2に示すように、

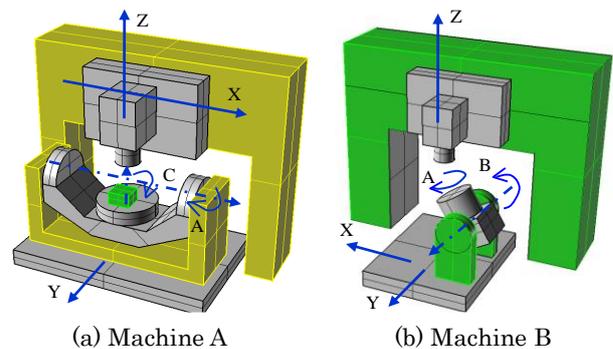


Fig. 1 Experiment environment

直方体形状のワークに一定の切込みを入れ、ワークの上面と平行に回転軸を同期させながらボールエンドミルで平面を加工するものである。例えば、図2に示すA点に角度 θ 傾けた工具を位置決めさせ、B点で傾きがゼロになるように回転軸も回転させながら加工を行う。B点まで到達すると、回転軸の回転方向を変え(反転させ)、C点で角度 θ に戻るよう加工する。このようにすれば、B点で回転軸のバックラッシュによる影響が出ると考えた。また単純な平面を加工するだけなので、プログラム作成、被削材のクランプや測定が行いやすい。なお加工条件は表1に示す通りである。

3. 実験結果

(1) 機械Aの加工結果

提案した加工試験を機械Aで行った結果を図3と図4に示す(ただし図2に示す θ を5度とした)。図3(a)は、回転軸反転位置が発生する位置を上から撮影した写真で、図3(b)はその断面曲線である。回転軸の反転位置でバックラッシュによると考えられる大きな段差が発生していることが分かる。また送り速度で比較すると、1000mm/minに比べ3000mm/minで加工したほうが段差量は大きくなっている。

次に、図4は、送り速度3000mm/min時の加工結果の加工開始位置付近の写真とその断面曲線である。提案した加工試験を行えば、直進軸と回転軸が同期し始める際に、このような加工不具合が起こりやすいかどうか診断できる。

(2) 機械Bの加工結果

提案した加工試験を機械Bで行ったところ、回転軸の反転位置での段差は、図5に示すように機械Aに比べて格段に小さくなった。なお、機械Bの回転軸のストローク制限の関係から機械Aでの加工試験と加工方向が異なるが、それ以外は表1のように機械Aと同じ条件になるように加工を行っている。次に、図6は加工開始位置付近の写真である。機械Aで発生した段差と似た周期的な段差はほとんど

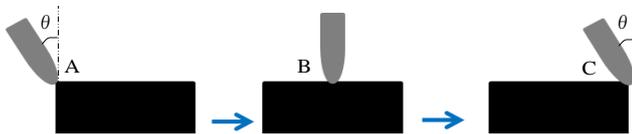


Fig. 2 Machining method

Table 1 Machining condition

Spindle speed	8000 min ⁻¹
Feed rate	1000 or 3000 or 5000 mm/min
Pick feed	0.15mm
Cutting depth	0.03mm
Work material	NAK80 (125×80×50mm)
Tool	R5mm Ball end mill

見られないが、加工開始位置に大きな誤差が発生していることが分かる。送り速度が速いほど誤差量が大きくなっていること等から判断すると、機械が近回りを行っていると考えられるが、その誤差量は驚くべきものであり、このような観点でも機械の評価が行えることが分かる。

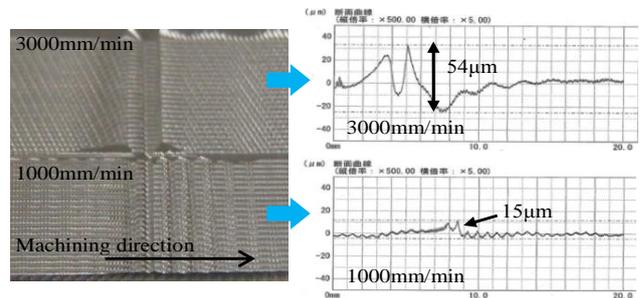
4. 考察

(1) 静的バックラッシュと動的バックラッシュ

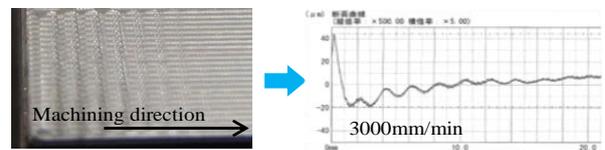
ダイヤルゲージ等の変位計で図7に示す方法で測定した機械的な誤差を、本研究では静的バックラッシュと呼ぶ。

この方法で、回転軸がウォームホイールで構成されている機械Bの回転軸を測定したところ、回転中心から200mm離れた位置で40 μ mの誤差が発生した(これを角度に換算すると、静的バックラッシュは0.011度となる)。

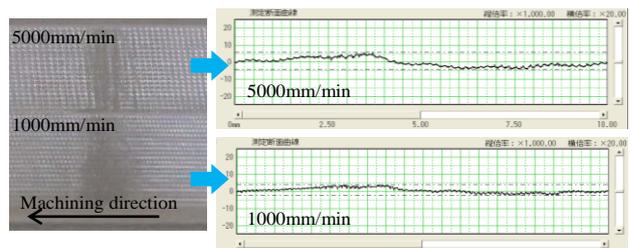
一方、前述したように反転位置の加工面での誤差量は、加工時の送り速度によって異なる結果となった。また機械Bでは、加工面に近い位置で静的バックラッシュが40 μ mあるにも関わらず、加工面での誤差量はそれに比べて少ない。そこで本研究では、このような制御性能も含めたバックラッシュを動的バックラッシュと定義する。



(a) Photograph (b) Profile curve
Fig. 3 Machining result 1 (machine A)



(a) Photograph (b) Profile curve
Fig. 4 Machining result 2 (machine A)



(a) Photograph (b) Profile curve
Fig. 5 Machining result 3 (machine B)

(2) 数学モデル

機械の各誤差が加工面に対しどれだけの影響を与えるかはその誤差の性質と加工面の状況により加工面へ与える度合い(量)は異なる. 本研究で提案した加工試験でもワークの設置位置と, どの加工面を加工するかで同じ誤差や性能の機械でも加工面に与える影響は異なるはずである. つまり, 機械の特性を正確に知るためには極力, 加工面に影響が出るようにワークを設置し, 適切な加工面を加工するのが望ましい. そのために各誤差が加工面にどのような影響を与えるかを求めることができるようになる必要がある. そこで本研究では回転軸のバックラッシュがどのように加工面に影響を与えるかを求める数学モデルを考えた.

その数学モデルでは, 図8に示すように点P1から回転軸を反時計回りに回転させながら平面加工を行い点P2で回転軸の反転が起こるとする. このとき, 回転軸はバックラッシュ θ だけ回転が遅れ, 直進軸のみ点P2' へと移動できると仮定すると, ベクトルB1が機械座標系基準での誤差ベクトルとなる. これを回転した角度 α だけ戻したベクトルB2をワーク座標系基準の誤差ベクトルと定義する. その計算式は次式となる.

$$B2 = R(\alpha) \cdot (R(\theta) \cdot R(-\alpha) \cdot P1 - R(-\alpha) \cdot P1) \quad (1)$$

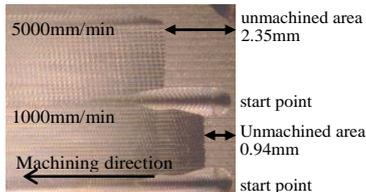


Fig. 6 Machining result 4 (machine B)

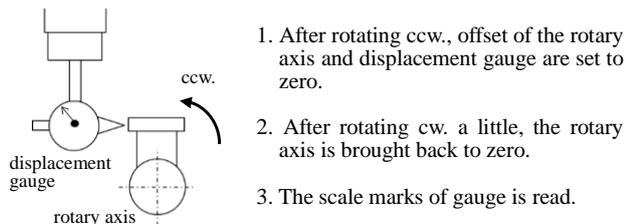


Fig. 7 Measurement method

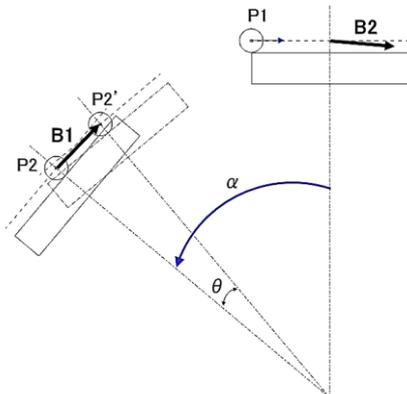


Fig. 8 Mathematical model

ただし, $R(\alpha)$ は, 回転角度 α の回転変換行列である.

ここで, 前述のように求めた静的バックラッシュ0.011度と回転中心基準の加工点座標をこの計算式に代入すると, ワーク座標系基準の誤差ベクトルは $(49, 0, 0) \mu m$ となり, その誤差はワーク上面には発生せず側面に大きく現れることが分かる. 3章の実験結果からも分かるように, 実際の機械では各機械の制御性能により, この計算結果通りの誤差は発生しないわけであるが, 5軸加工を行ううえで, 上式を使えば, どの加工面にバックラッシュの影響がどの程度出やすいか等, 一つの目安とすることはできる.

(3) 確認実験

提案した数学モデルの妥当性を確認するため, 直方体形状のワークの側面に加工試験を行った. その結果を図9に示す. 数学モデルでの予想通り, 同じ機械で加工したにも関わらず図5で示す結果よりバックラッシュによる加工誤差が大幅に大きくなっている. つまり, 数学モデルを使用し, どの加工面をどのように加工すれば, 加工機の実力を評価しやすいかの指針とすることができると言える.

(4) 加工結果の振動解析

図10は主軸回転速度 8000min^{-1} , 送り速度 800mm/min で直進軸のみを使い平面加工を行ったときの送り方向の

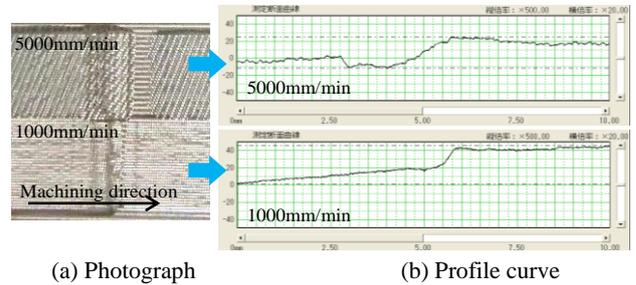


Fig. 9 Machining result 5 (machine B)

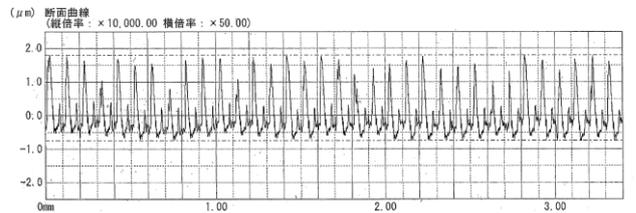


Fig. 10 Profile curve

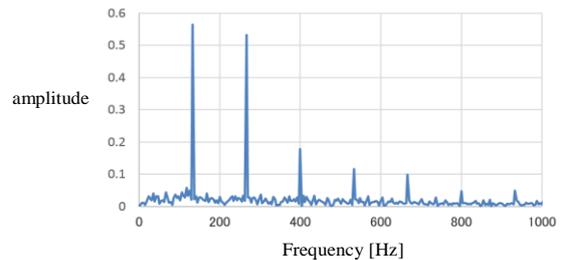


Fig. 11 Frequency analysis

断面曲線である。また図11は図10に示す断面曲線を周波数解析した結果で、133Hzは一回転送り、266Hzは一刀送りに相当し、断面曲線を用いると振動解析が容易に行えることが分かる。ここで図3や図4に示す加工結果を見ると、バックラッシによる加工不具合以外に周期的な振動も見られる。そこで、この振動の周波数が簡単に特定できると、振動源の特定が容易になり、その振動を抑制することが可能になると考え、同様の解析手法を行った。しかし、提案した加工試験のような加工の場合、指定した送り速度が全領域で出ている保証はなく、仮に図11に示すようなピークが出ても信頼に値しない可能性があることが分かった。

(5) ダブルボールバーによる測定結果との比較

堤らが提案した図12に示すようなダブルボールバーによる測定方法⁷⁾で機械BのB軸を測定した得た結果を図13に示す。図13(b)に示す接線方向の測定結果に注目すると、回転方向が変わると約50μmもの半径誤差が発生している。ここで、前述した静的バックラッシの測定は、回転中心から200mmの位置で40μmであった。一方、DBBで測定した回転半径誤差も回転中心から250mmの位置で50μmと角度換算で同じであることから、図13(b)で見られる半径誤差は静的バックラッシの影響によるものであると考えられる。

5. 結言

本研究では、簡単にかつ不具合原因特定を行いやすくすることを目的に5軸MCの新しい加工試験を提案した。本研究で得られた結果を以下に示す。

1) 提案した加工試験により、回転軸を反転させた位置で不具合が出やすいことを確認した。その他にも回転軸と直進軸の同期が始まる位置での振動のような段差、NCの近回りの影響によると思われる大きな加工誤差等、加工試験の結果から加工機の性能に関わる多くの情報を得ることができた。

2) バックラッシに限定したものだが、提案した数学モデルを使えば、確認したい誤差を効率良く確認するための指針とできることも確認した。

3) 本加工試験は平面を加工するだけなので、加工や測定が容易に行え、CAMや高価な測定機も不要である。本加工試験を実施し、その機械の特性を理解したうえで機械を使えば、加工不具合を減らすことも可能で、本研究で提案した加工試験は有効であると考ええる。

4) 加工中に指定した送り速度で必ずしも機械が動いているとは限らないので、加工結果からの振動周波数特定は、簡単ではないことが分かった。

参考文献

- 1) 上田真大, 下田博一: ボールねじの玉挙動とロストモーション (第1報) -実験装置および玉公転挙動とロストモーションの測定結果-, 精密工学会誌, 76, 12, pp.1371-1376, (2011)
- 2) 杉江弘, 岩崎隆至, 中川秀夫, 幸田盛堂: 工作機械における漸増型ロストモーションのモデル化と補償5, システム制御情報学会論文誌, 14, 3, pp.117-123, (2001)
- 3) 松下哲也, 沖忠洋, 松原厚: テーブルチルト形5軸制御工作機械によるテーパコーン加工精度, 精密工学会誌, 74, 6, pp.632-636, (2008)
- 4) 内海敬三, 小杉達寛, 齋藤明德, 堤正臣, 5軸制御マシニングセンタの静的精度測定方法(基準球と変位計を用いた測定方法), 日本機械学会論文集 (C編), 72, 719, pp.2293-2298, (2006)
- 5) S. Weikert: R-Test, a New Device for Accuracy Measurements on Five Axis Machine Tools, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 53, 1, pp.429-432, (2004)
- 6) NAS 979, Uniform cutting tests - NAS series, metal cutting equipment specifications, (1969)
- 7) 齋藤明德, 堤正臣, 牛久健太郎: 5軸制御マシニングセンタのキャリブレーション方法に関する研究(第2報) -同時3軸制御運動を用いた位置偏差および角度偏差の推定-, 精密工学会誌, 69, 2, pp.268-273, (2003)

(2015.9.30受付)

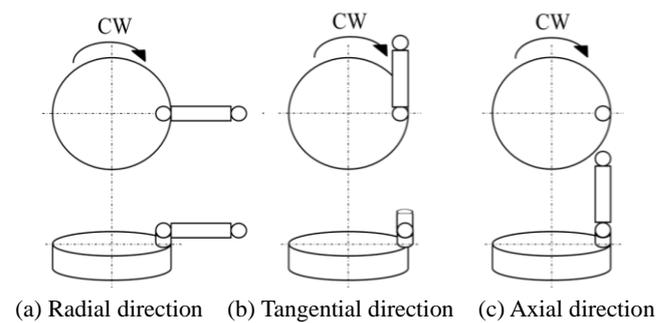


Fig. 12 Measurement method

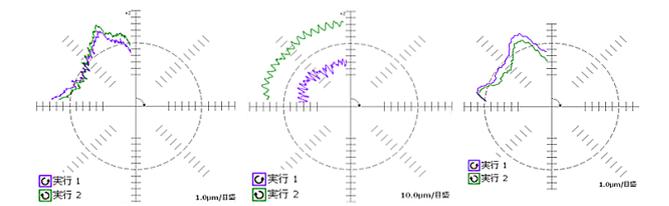


Fig. 13 Result of measurement

電気回路における相反性と相反定理についての考察

佐藤秀則

電気電子工学科

相反性は、電磁気学、構造力学、熱力学の分野でそれぞれの言い回しで知られており、それぞれの学問の基礎を支える重要な概念である。本小論では、電気回路における相反定理について主だった多くの教科書を比較し、相反性の定義が明確でないものや、その適用範囲について混乱を引き起こしやすいもの、証明が十分であるとはいえないものがあることを示すとともに、相反性の定義と相反定理、素子の相反性とを分離して明確にし、利用しやすいように新たに記述した相反定理についてその証明を与える。

キーワード：相反定理、可逆定理、多ポート回路、テレヘンの定理

1. はじめに

電気回路の中にはいくつかの重要な定理があり、それらの中に電気回路の重要な概念、性質が内包されている。ところで電気回路と言っても、直流回路、交流回路、過渡回路、非線形回路など幅が広く、どの定理がどの範囲で利用できるのかについて明確に学習できる教科書は意外に少ない。例えばテレヘンの定理は非線形回路でも成り立つ。重ね合わせの原理は線形回路特有の定理であるが、テブナンの定理は外部回路が非線形であっても、置換する多ポート回路が線形であれば成り立つなどがある。

相反性は線形回路でもある限られた適用範囲での性質であるが、回路理論の基礎的な性質として重要である。ところがこの適用範囲について誤解があったり、証明が十分ではないテキストがある。

本小論では、まず相反性の定義、新たな表現の相反定理を紹介し、これらの意味を説明する。その上で電気回路における相反定理について主だった多くの教科書を検討し、相反性の定義が明確でないものや、その適用範囲について混乱を引き起こしやすいもの、証明が十分であるとはいえないものがあることを示す。さらに、掲げた新たな記述の相反定理についてその証明を与える。

2. 電気回路の相反性と相反定理

まず本小論では、相反定理および相反性の定義を次のように定式化して議論を始めることとする。相反定理は最後の章で証明する。

相反定理：

相反回路を接続して構成される全体の多ポート回路は相反回路である。

相反性の定義：

n 個のポートをもつ多ポート回路 N に、ある外部回路 N_0 を接続したときの各ポートの電圧、電流をそれぞれ $(V_1, I_1), \dots, (V_n, I_n)$ とし、別の外部回路 \hat{N}_0 を接続したときの各ポートの電圧、電流を $(\hat{V}_1, \hat{I}_1), \dots, (\hat{V}_n, \hat{I}_n)$ とする。この多ポート回路 N は次の条件を満たすとき相反性をもつといい、相反性をもつ多ポート回路を相反回路という。

$$V_1 \hat{I}_1 + V_2 \hat{I}_2 + \dots + V_n \hat{I}_n = \hat{V}_1 I_1 + \hat{V}_2 I_2 + \dots + \hat{V}_n I_n$$

上記相反性の定義によれば、線形1ポート素子は、 $V + ZI = 0$ 、 $\hat{V} + Z\hat{I} = 0$ が成り立つから、相反性をもつことがわかるが、線形性がわかればわざわざ相反性を持ち出すまでのことはないともいえる。

相反性の性質が顕著に表れるのは2ポート以上の相反回路である。その例を図2(a)(b)に示す。中央の2ポート回路は線形抵抗だけから構成されており、相反定理から相反性をもつといえる。一方、これらの回路では

$$V_1 \hat{I}_1 + V_2 \hat{I}_2 = 120 \hat{I}_1 + 0 \times \hat{I}_2 = 120 \hat{I}_1$$

$$\hat{V}_1 I_1 + \hat{V}_2 I_2 = 0 \times I_1 + 120 I_2 = 120 I_2$$

であるから、相反性により $\hat{I}_1 = I_2$ が成り立つことがわかる。相反性を利用すれば、図(a)の回路の I を求めるのに、より簡単な図(b)の回路の \hat{I} に帰着させて次のように解くことができる。

$$I = I_2 = \hat{I}_1 = \hat{I} = \frac{120}{10 // 10 + 15} = 6[A]$$

実際電流 I は6[A]であることが計算でき、相反性からの

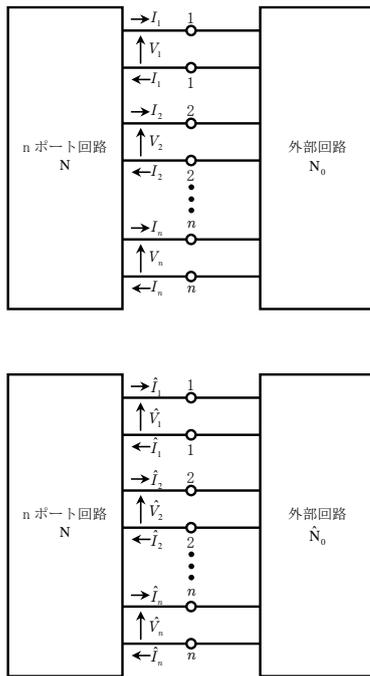


図 1 相反性

結果が確認できる。

これを一般化すると、図 3 (a)(b)の回路で中央の回路Nが相反性を満たすならば、図(a)のように一方のポートに電圧を加えたときのもう一方のポートの短絡電流 I と、電源と短絡辺とを入れ替え、逆に接続した図(b)の回路の短絡電流 \hat{I} とが等しいことになる。

ところで相反性は上記の例のように電圧源を電源とする場合だけではない。双対な回路である図 4 の回路については以下ようになる。図(a)のように一方のポートに電流を流したときのもう一方のポートの開放電圧 V と、電源と開放辺を入れ替えて、逆に接続した図(b)の回路の開放電圧 \hat{V} とは等しい。このことは相反性の定義の条件式から簡単に帰結できる。

では具体的にどのような多ポート回路が相反性をもつのか。上記に掲げた相反定理によれば回路を構成するそれぞれの素子が相反性をもてばよいといえる。

先に述べたように線形の抵抗、インダクタ、キャパシタは線形 1 ポート素子であるから相反性をもつ。1 ポートの電源は独立であれ、従属であれ相反性をもたないことは外部に抵抗を接続して考えればすぐにわかる。

多ポート回路は多くの場合インピーダンス行列をもち次のように表すことができる。

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} = 0$$

外部回路が異なる二つの場合を考えて、行列を用いれば次

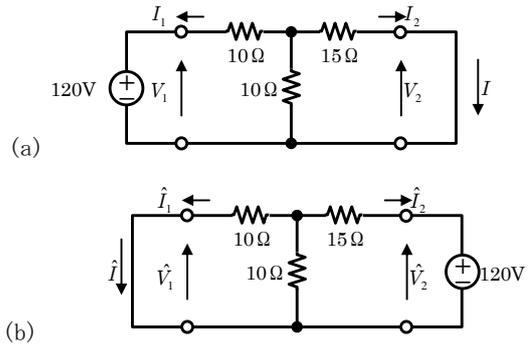


図 2 具体的な回路例

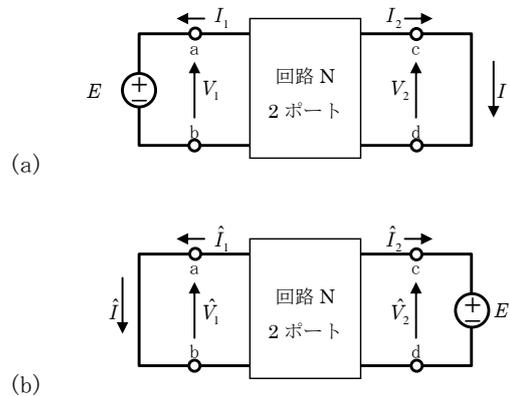


図 3 電圧源を接続した場合

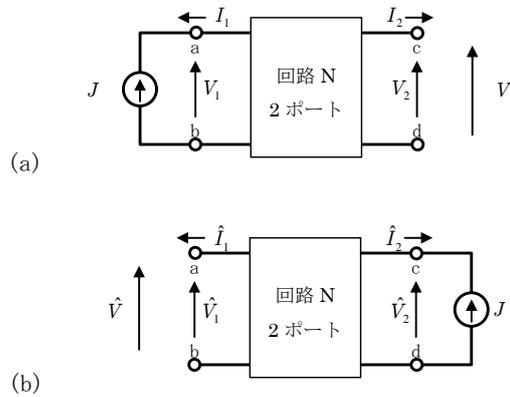


図 4 電流源を接続した場合

のように表現できる。

$$\mathbf{V} + \mathbf{Z}\mathbf{I} = 0 \quad \hat{\mathbf{V}} + \mathbf{Z}\hat{\mathbf{I}} = 0$$

これから、

$$\begin{aligned} & (V_1\hat{I}_1 + V_2\hat{I}_2 + \cdots + V_n\hat{I}_n) - (\hat{V}_1I_1 + \hat{V}_2I_2 + \cdots + \hat{V}_nI_n) \\ &= \mathbf{V}^t\hat{\mathbf{I}} - \mathbf{I}^t\hat{\mathbf{V}} = (-\mathbf{Z}\mathbf{I})^t\hat{\mathbf{I}} + \mathbf{I}^t\mathbf{Z}\hat{\mathbf{I}} = -(\mathbf{I}^t\mathbf{Z}^t)\hat{\mathbf{I}} + \mathbf{I}^t\mathbf{Z}\hat{\mathbf{I}} \\ &= \mathbf{I}^t(\mathbf{Z} - \mathbf{Z}^t)\hat{\mathbf{I}} \end{aligned}$$

したがってこの多ポート回路が相反性をもつための必要十分条件はインピーダンス行列が対称であることがわか

る。

n ポートの結合インダクタ(変成器)は、インピーダンス行列において $Z_{ij} = j\omega L_{ij}$ であり、対角項の L_{ii} は自己インダクタンス、それ以外の L_{ij} は相互インダクタンスである。インダクタンスの表式である Neumann の公式

$$L_{ij} = \frac{\Phi_{ij}}{I_j} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{C_i} \int_{C_j} \frac{1}{r} dl_j \cdot dl_i$$

によれば、 $L_{ij} = L_{ji}$ であることから、結合インダクタは相反性をもつことがわかる。

しかし理想変成器はインピーダンス行列そのものが存在せず、そのため構成要素から外されて証明されていることが多々ある。理想変成器は結合インダクタの特殊な場合の極限であるから、相反性をもつことが予想されるが、極限操作では思わぬ不連続性が生じることもあるので確認が必要である。

n ポートの理想変成器の基本式は次のように表される。

$$V_1 : V_2 : \dots : V_m = n_1 : n_2 : \dots : n_m$$

$$n_1 I_1 + n_2 I_2 + \dots + n_m I_m = 0$$

ここで、 n_i は各コイルの巻数である。第一式の比を k とすれば、

$$V_1 \hat{I}_1 + V_2 \hat{I}_2 + \dots + V_n \hat{I}_n = kn_1 \hat{I}_1 + kn_2 \hat{I}_2 + \dots + kn_n \hat{I}_n$$

$$= k(n_1 \hat{I}_1 + n_2 \hat{I}_2 + \dots + n_n \hat{I}_n)$$

$$= 0$$

となつて、相反性をもつことがわかる。

一方、電圧と電流に関して次の関係をもつジャイレータは相反性をもたない。

$$\begin{cases} V_1 - RI_2 = 0 \\ V_2 + RI_1 = 0 \end{cases}$$

しかし、ジャイレータを 2 つ縦続接続された 2 ポート回路は理想変成器等価で相反性をもつことが簡単にわかる。

線形の抵抗、インダクタ、キャパシタ、結合インダクタ、理想変成器は相反性をもつことがわかった。上に掲げた相反定理からこれらによって構成される多ポート回路が相反性をもつことが帰結できる。この他にも結合インダクタに双対な結合キャパシタが相反性をもつが、利用されることが殆どないのでここでその相反性を説明することは省略する。

一方、非線形素子、従属電源、独立電源、ジャイレータは相反性をもたない。従って、独立電源やダイオード、トランジスタを含んだ回路は一般には相反性をもたないが、先に示したジャイレータの例にもあるように、非相反素子の結合により全体として相反性をもつこともありうる。

相反性は先に示した例題のような回路問題の解法に利用されるにとどまらない。回路の電力の非負値性や、回路設計法の指導原理になる回路合成を考える際に重要な概念である。

3. 教科書の相反定理の記述

高等学校では電気回路は「電気基礎」の中で取り扱われるが、文部科学省の学習指導要領のなかには相反性を取り上げることになっていない。相反性が電気回路の合成理論など高度な内容において重要になってくる概念だけにこれは致し方ないと思われる。

ここでは参考論文にあげる 18 件の大学等で使用される電気回路の教科書及び演習書について、相反定理の説明の在否、定理の表現方法、どのような回路に当てはまるかの適用回路についての言及、証明方法、相反性の定義について検討することにする。

18 件の中でより初心者向けと思われる 4 件の著作については相反性もしくは相反定理についての記述がそもそもなかった。残る 14 件については演習書も含め何らかの説明があった。中には「可逆定理」という名称で紹介しているものもあるが殆どは相反定理と称している。

相反定理の表現は大きく 4 つに分類される。

(P1) 本小論と同様に多ポート回路のポート電圧・ポート電流に対して次式が成り立つとする表現

$$V_1 \hat{I}_1 + V_2 \hat{I}_2 + \dots + V_n \hat{I}_n = \hat{V}_1 I_1 + \hat{V}_2 I_2 + \dots + \hat{V}_n I_n$$

(P2) 回路の閉路電流 I_i と閉路起電力 E_i について次式が成り立つとする表現

$$E_1 \hat{I}_1 + E_2 \hat{I}_2 + \dots + E_n \hat{I}_n = \hat{E}_1 I_1 + \hat{E}_2 I_2 + \dots + \hat{E}_n I_n$$

(P3) 図 3 の 2 ポート回路を想定し、一方のポートに電圧源 E を接続したときのもう一方のポートの短絡電流が、電圧源と短絡辺を入れ替えても同じになるとする表現

(P4) (P3) の双対で、図 4 の 2 ポート回路を想定し、一方のポートに電流源 J を接続したときのもう一方のポートの開放電圧が、電流源と開放辺を入れ替えても同じになるとする表現

多いのが(P3)の表現で 6 件あった。その双対の(P4)は 1 件。また双対であることを簡単に説明し、両方の表現があったのが 1 件、(P3)(P4)にさらにもう一つの同類の表現を加えたものが 1 件あった。次いで多かったのが(P2)の表現で 4 件あった。文献 1)は文献 2)の大幅改定版であるが、後者では(P2)であったものが、改訂版では(P1)で表現されている。

次に適用範囲であるが、構成要素を RLC とするもの 1 件、これに変成器を加えるもの 3 件、さらに理想変成器を加えたもの 2 件である。驚いたことに線形回路だという断りしかないものが 8 件あった。前にも書いたようにジャイレータは線形素子であるが相反性は持たないからこれは明らかに誤りである。

次に証明について検討する。6 件は閉路方程式の係数行列が対称であること、1 件は多ポート回路のアドミタンス行列が対称であることをよりどころにしている。2 件はテレヘンの定理を元にしている。1 件は線形回路であるから

としているが、これはもちろん誤りである。演習書では証明がないのは当然かと思われるが、標準的な教科書と思われるものの中にも証明をしていないものが 2 冊あった。

閉路方程式の係数行列や多ポート回路のアドミタンス行列を利用する証明では、それらの対称性を前提にしているが、理想変成器も含めてなぜ対称であるかについてのきちんとした説明がないものが殆どであり、不親切に思われ

る。

どの書も定理の中に相反性を組みこんで述べられているため、相反性が何なのかが不明確であり、その定義が示されているものは皆無であった。

以上多くの教科書と演習書の中での相反定理の取り扱いについて検討してきたが、これほどの違いがある定理は他にはないのではないかと思われる。これらの相違点に加え、明らかな間違いも含まれており、読者を混乱させているのではないかと危惧する。

これらの検討を踏まえ、改善すべきことをまとめると次のようになる。(1)相反性の定義をはっきりすべきで、そのためには多ポート回路を前提とする。(2)多ポート回路が相反性をもつためにはその構成素子がどんなものであればよいのかを示すべき。(3)理想変成器も含め証明をわかりやすくする。

本小論ではこれらの改善点を考慮して、まず相反定理とは独立して相反性の定義を述べ、この中で相反性をもつ主体は多ポート回路であることをはっきりさせた。改善点(2)については構成素子に限定するのではなく、構成ブロックとしての多ポート回路が相反性をもてばよいとして再帰的な表現をとった。非相反のジャイレータの例でみたように相反回路の構成素子が相反である必要はないのである。このことも考慮して、本小論の冒頭に新たな表現の相反定理を紹介した。この定理の表現により、定理の中で構成要素を明らかにせずとも、理想変成器そのものが相反性を満たせばこれが含まれてよいことがわかりやすくなったと考える。

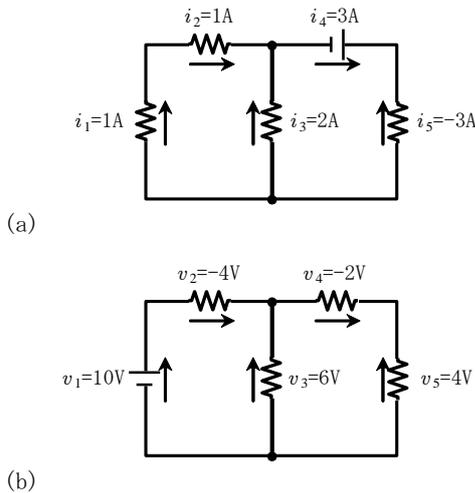


図 4 テレヘンの定理の例題

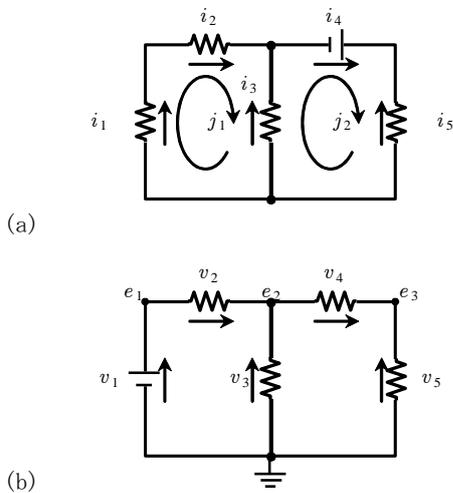


図 5 閉路電流と節点電位

4. テレヘンの定理とその証明

相反定理の証明において利用される定理として、次のテレヘンの定理がある。

テレヘン(Tellegen)の定理
 枝の数が b 個の同じ接続関係にある二つの回路があり、一方の回路の枝電流 $i_k(k=1,2,\dots,b)$ が KCL を満たし、もう一方の回路の枝電圧 $v_k(k=1,2,\dots,b)$ が KVL を満たすとき、

$$\sum_{j=1}^b v_j i_j = 0$$

具体例を図 4 に示す。二つの回路は接続関係が同じであれば素子は異なってもよい。図(a)は KCL を満たし、図(b)は KVL を満足している。枝電流、枝電圧の向きは同じ向きにしている。次式に示すようにテレヘンの定理が成り立っていることがわかる。

$$\sum_{j=1}^5 v_j i_j = 10 \times 1 + (-4) \times 1 + 6 \times 2 + (-2) \times 3 + 4 \times (-3) = 0$$

テレヘンの定理がどうして成り立つかを図 5 (a) (b) を用いて簡単に説明する。図(a)では KCL から、図(b)では KVL からそれぞれ次の節点方程式、閉路方程式が得られる。

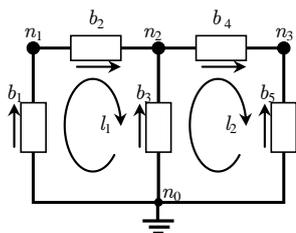


図 6 回路の節点と閉路

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \textcircled{1},$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \textcircled{2}$$

一方、図 5 (a) (b) のように閉路電流 j_1, j_2 , の節点電位 $e_1 \sim e_3$ を定めると、枝電流、枝電圧は次のように表される。

$$\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j_1 \\ j_2 \end{pmatrix} \quad \textcircled{3}, \quad \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} \quad \textcircled{4}$$

式①と式④、式②と式③とを対比すると、それぞれの式の中に現れる係数行列が互いに転置になっていることがわかる。このことを図 4, 5 の各部の名称を定義した図 6 を用いて説明する。各素子が配置する枝を図のように $b_1 \sim b_5$, 各素子の接続される節点を $n_0 \sim n_3$, 独立した二つの閉路を l_1, l_2 とする。

式①の左辺の係数行列の (k, m) 要素は節点 n_k と枝 b_m との接続関係を表しており、枝 b_m が節点 n_k に向かっていけば +1, 逆を向いていけば -1, 接続していなければ 0 となっている。一方、式④の左辺の係数行列の (k, m) 要素は節点 n_m と枝 b_k との接続関係を表しており、枝 b_k が節点 n_m に向かっていけば +1, 逆を向いていけば -1, 接続していなければ 0 となっている。つまりこれらの係数行列が転置関係にあることがわかる。

式②の左辺の係数行列の (k, m) 要素は閉路 l_k と枝 b_m との接続関係を表しており、枝 b_m が閉路 l_k に含まれており同じ向きをもつならば +1, 逆を向いていけば -1, 含まれていなければ 0 となっている。一方、式③の左辺の係数行列の (k, m) 要素は閉路 l_m と枝 b_k との接続関係を表しており、枝 b_k が閉路 l_m に含まれており同じ向きをもつならば +1, 逆を向いていけば -1, 含まれていなければ 0 となっている。つまりこれらの係数行列も転置関係にあることがわかる。

一般に電気回路では、行列やベクトル記号を用いると次のように表現できる。

$$\mathbf{A}\mathbf{i} = \mathbf{0} \quad \textcircled{1}', \quad \mathbf{B}\mathbf{v} = \mathbf{0} \quad \textcircled{2}' ,$$

$$\mathbf{i} = \mathbf{B}^t \mathbf{j} \quad \textcircled{3}' , \quad \mathbf{v} = \mathbf{A}^t \mathbf{e} \quad \textcircled{4}'$$

理論的には枝電流に関する条件を表す式①' から閉路

電流の存在が証明でき、枝電圧に関する条件を表す式②' から節点電位の存在が証明できるが、ここでは詳述を控える。

これらの式から、次のようにテレヘンの定理の結論が得られる。

$$\sum_{j=1}^b v_j i_j = \mathbf{v}^t \mathbf{i} = (\mathbf{A}^t \mathbf{e})^t \mathbf{i} = (\mathbf{e}^t \mathbf{A}) \mathbf{i} = \mathbf{e}^t (\mathbf{A} \mathbf{i}) = \mathbf{e}^t \mathbf{0} = 0$$

$$\sum_{j=1}^b v_j i_j = \mathbf{i}^t \mathbf{v} = (\mathbf{B}^t \mathbf{j})^t \mathbf{v} = (\mathbf{j}^t \mathbf{B}) \mathbf{v} = \mathbf{j}^t (\mathbf{B} \mathbf{v}) = \mathbf{j}^t \mathbf{0} = 0$$

以上テレヘンの定理を証明したが、証明に用いられたのは KCL と KVL のみであり、それぞれの素子特性は全く考慮しなくてよい。したがって直流回路、交流回路、任意に時間的に変化する回路でも成り立ち、素子の線形性をも必要としない。また、結合インダクタや結合キャパシタ、理想変成器などの多ポート素子を含んでいても、ポート毎に考えれば成り立つことを注意しておく。接続関係の同じ二つの回路を考えたが、同一の回路でも構わず、その場合は電力保存則を意味する。

5. 相反定理の証明

相反性を証明したい対象となる m 個の相反回路からなる n ポート回路を N とする。これから、図 7 (a)(b) のように m 個の相反回路 N_1, \dots, N_m を引き出し、残りの接続だけの回路を N_0 とする。相反性を証明するための二つの外部回路をそれぞれ N_E, \hat{N}_E とし、それぞれのポートで

の電圧、電流の記号を図のように定める。

まず、相反回路 N_1, \dots, N_m において、

$$N_1 : V_{1,1} \hat{I}_{1,1} + \dots + V_{1,p_1} \hat{I}_{1,p_1} = \hat{V}_{1,1} I_{1,1} + \dots + \hat{V}_{1,p_1} I_{1,p_1}$$

:

$$N_m : V_{m,1} \hat{I}_{m,1} + \dots + V_{m,p_m} \hat{I}_{m,p_m} = \hat{V}_{m,1} I_{m,1} + \dots + \hat{V}_{m,p_m} I_{m,p_m}$$

一方、図 8 (a)(b) に示すように単純に接続だけの回路 N_0 には、各ポートの電流、電圧を変えることなく外部に 1 ポートの負荷もしくは電源を配置することが可能である。この二つの回路にテレヘンの定理を適用すると、

$$\begin{aligned} & (V_1 \hat{I}_1 + \dots + V_n \hat{I}_n) + (V_{1,1} \hat{I}_{1,1} + \dots + V_{1,p_1} \hat{I}_{1,p_1}) \\ & + \dots + (V_{m,1} \hat{I}_{m,1} + \dots + V_{m,p_m} \hat{I}_{m,p_m}) = 0 \\ & (\hat{V}_1 I_1 + \dots + \hat{V}_n I_n) + (\hat{V}_{1,1} I_{1,1} + \dots + \hat{V}_{1,p_1} I_{1,p_1}) \\ & + \dots + (\hat{V}_{m,1} I_{m,1} + \dots + \hat{V}_{m,p_m} I_{m,p_m}) = 0 \end{aligned}$$

これらの式から、次の結論が得られる。

$$V_1 \hat{I}_1 + \dots + V_n \hat{I}_n = \hat{V}_1 I_1 + \dots + \hat{V}_n I_n$$

6. おわりに

相反性は電気回路の中でも基礎をなす重要な概念であり、多くの電気回路のテキストで相反定理が紹介されているが、理想変成器についての証明が十分でなく適用範囲について混乱しやすい点を指摘した。さらに相反性と相反定理とを分離した新たな表現の相反定理を掲げ、その証明を添えた。以上の提案により、次の特徴をもたせることができた。①相反性を多ポート回路の性質として双対な関係も含んだ形で包括的に定式化された、②相反定理が再帰的に述べられており、構成要素についての説明が容易になった。また、証明では閉路方程式の係数行列やインピーダンス行列の対称性を利用することなく、テレヘンの定理および素子の双方向性ともいうべき性質がその根幹にあることを改めて示すことができた。

参考文献

- 1) 平山博, 大附辰夫: 電気学会大学講座電気回路論, 社団法人電気学会, 2008.
- 2) 平山博: 電気学会大学講座電気回路論, 社団法人電気学会, 1970.
- 3) 川上正光: 電子通信学会編基礎電気回路 I, コロナ社, 1960.
- 4) 大野克郎, 西哲生: 大学課程電気回路(1), オーム社, 1999.
- 5) C.A.Desoer, E.S.Kuh: Basic Circuit Theory, McGraw-Hill, 1969.
- 6) 石川順也: 回路理論, コロナ社, 1977.
- 7) 小郷寛: 交流理論, 電気学会, 1986.
- 8) 田中幸吉ら: 朝倉電気工学講座電気回路 I, 朝倉出版, 1966.
- 9) 鍛冶幸悦ら: 新編電気工学講座電気回路(I), コロナ社, 1965.
- 10) 南谷晴之ら: 詳しく学ぶ電気回路-基礎と演習-, コロナ社, 2005.
- 11) 堀浩雄: 例題で学ぶ優しい電気回路交流編, 森北出版, 2004.
- 12) 高田進ら: 専門基礎ライブラリー電気回路, 実教出版, 2008.
- 13) 大下眞二郎: 詳解電気回路演習(上), 共立出版, 1979.
- 14) 山口勝也ら: 詳解電気回路演習(1)直流回路と交流理論, コロナ社, 1969.
- 15) 西巻正郎ら: 電気回路の基礎(第 2 版), 森北出版, 2004.
- 16) 安居院猛ら: エッセンシャル電気回路, 森北出版, 2004.
- 17) 吉野純一ら: 電気回路の基礎と演習, コロナ社, 2005.
- 18) C.K.Alexander: Fundamentals of Electric Circuits, McGraw-Hill, 2000.

(2015.9.30 受付)

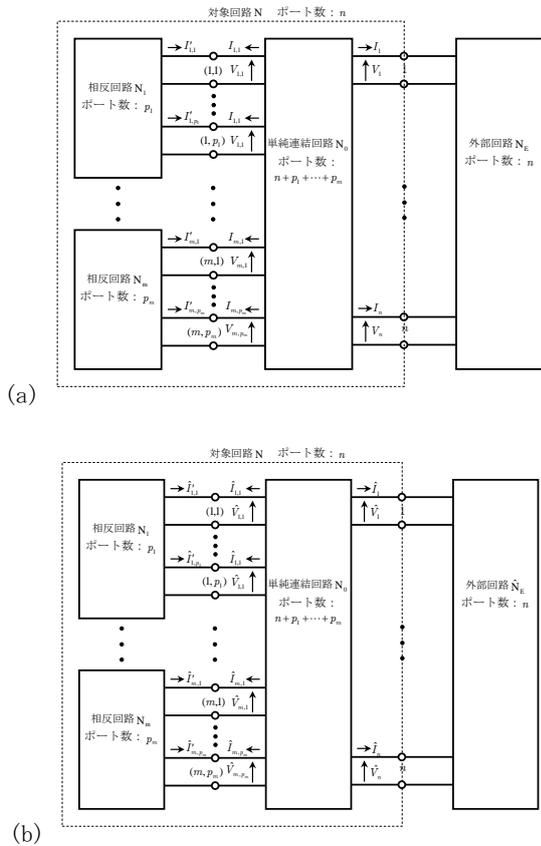


図 7 証明に用いる回路 (1)

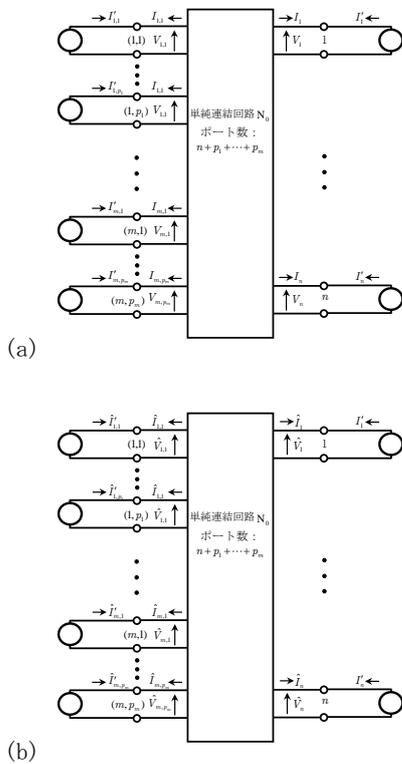


図 8 証明に用いる回路 (2)

全教室設置型でWOLによって電源管理する 電子掲示板の改良と更新

木本 智幸¹・木村 健一²・衛藤 賢一²

¹電気電子工学科, ²技術部

大分高専では、全教室に電子掲示板を設置してクラス別に掲示が可能で、かつWake on LANによってクラス別の電源管理が可能なシステムを自主開発し、2001年から2014年まで14年間の運用を行ってきた。長期運用によって、ハードウェア老朽化による故障やOSのサポート終了によるセキュリティレベルの低下などの問題点が生じてきた。そこで2014年度後期に半年間かけて新システムの開発を行い、2015年度当初から運用を開始した。本紀要では、新システムの機能の改良内容、低コスト化の工夫と要したコスト、そして更新において発生した問題点とその対処法について報告する。

キーワード：電子掲示板, 教室設置, Wake on LAN, 集中管理, メンテナンスフリー

1. はじめに

最初に、本システムの特徴と開発の歴史から説明する。多くの高専ではクラス毎に割り当てられた教室があるため、各教室に電子掲示板を設置して、そのクラスに関連する情報だけを表示すれば、学生個人が自分に関係ある情報を容易に確認できるようになり、周知を高速かつ効果的に行うことができる。そこで、大分高専では2001年に電子掲示板システムを自主開発し、全22教室に設置した¹⁾。2001年当時では、学生課前などに大型電子掲示板を設置して、全校学生向けの情報を発信するものが主流で、大分高専型の掲示板システムは大変珍しいものであった。

電子掲示板を22教室に分散設置するため、朝夕に電源オンオフを手動で行うことは不可能である。そこで、サーバを1台立ててWake on LANで電子掲示板の電源オンオフを集中管理する仕組みも開発した。電源オンオフは、サーバに年間行事予定を入れておくことで、自動で行わせるようにした。この電子掲示板は伝達性が高かったため運用開始直後から多く利用され、また、他高専から問い合わせがあったり、県内の高校から見学があったり、認証評価での実地検査で評価して頂いたりなど、外部からも興味を持たれ、本校の売りのひとつになってきた。現在では、校内放送と並ぶ重要な情報伝達の手段となっている。

次に、2001年からの運用で実際に起きた故障内容について説明する。運用開始当初における故障の多くは、教室で学生がボール遊びをして、ディスプレイに当ててしまうことであった。運用が10年を経過した頃から、経年変化によるパソコン本体の故障が目立ち始めた。10年を経過すると、

部品の交換では修理ができず、本体を新品に置き換える必要も生じてきた。その場合は、開発当初に利用していたWindows98SEが動くパソコンは無いため、Windows7等のパソコンに入れ替えを行うこととなり、22台のパソコンに複数種類のOSが使われて管理を複雑化してきた。Windows98SEのような古いOSを使い続けることは、セキュリティ面で問題もあった。

2001年の開発当時は、ディスプレイがブラウン管から液晶へ移行が進みはじめた時代で、15インチ型ディスプレイが実用サイズで、これを超えるサイズは高価であった。そのため、全教室に設置するパソコンのディスプレイは15インチが選定され、そのサイズゆえに1行の表示文字数は35文字で、1ページの表示行数が14行と少なかった。書き込める文字数が少ないことで冗長性のないメッセージとなり、学生たちに分かりやすい面もあったが、35文字ではどうしても文字数が不足して2行や3行に分けて記入しなければならないこともあった。また、1ページの掲示可能行数である14件を超える書き込みがあると複数ページによる切り替え表示を行うようになっていたが、学生自身によるページ切り替えを行えず、予め設定されている時間間隔での切り替えとなっていたため、自由にページを切り替えができるようにしてほしいとの要望もあった。

こうした背景から、14年目を迎えた2014年に、システム更新の準備を開始することとなり、この機会に改良も行うことにした。本紀要では、新システムの改良内容、低コスト化の工夫と要したコスト、更新において発生した問題点とその対処法について報告する。

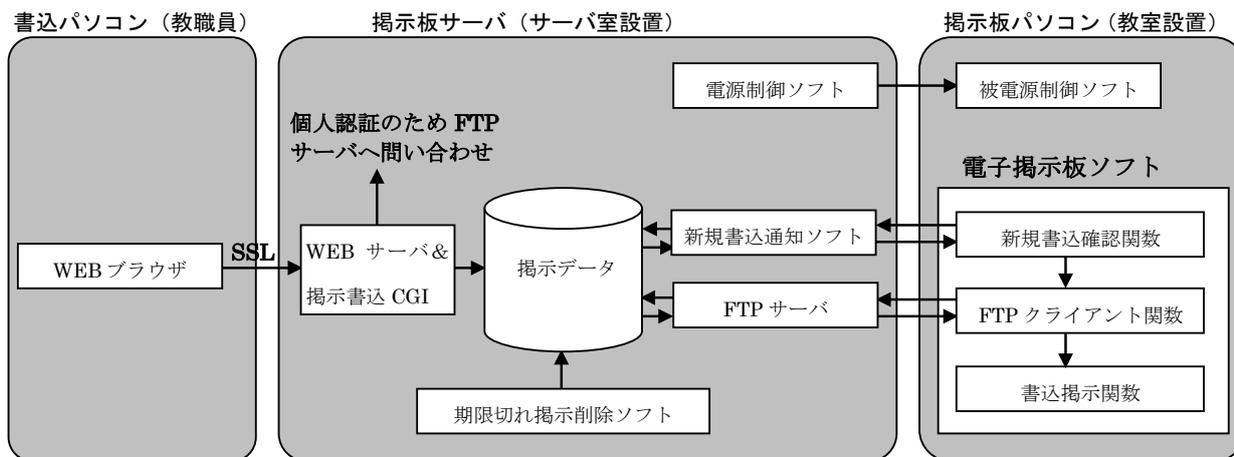


図-1 システム構成の概要

表-1 システム構成の概要

掲示板サーバ	掲示板パソコン
CentOS release 6.4 (Final)	PC : LIVA-C0-2G-64G-W
Apache/2.2.15 (Unix)	OS : Windows8.1
開発環境 : gcc	LCD : 24 インチ FullHD
台数 : 1 台	※一部 27 インチ FullHD
	開発環境 : C++Builder XE2
	台数 : 22 台

2. 電子掲示板システムの構成と動作

更新後の電子掲示板のシステム構成を図-1と表-1に示す。図-1に示すシステム構成の概要は、2001年当時と大きくは変わっていない。図-1の左枠が掲示書き込みを行う教職員のパソコンを、中央の枠が掲示データを保持するサーバを、右枠が全教室に設置し、そのクラスの掲示内容を表示するパソコンを示している。図-1では、教室設置のパソコンが1台だけ記述されているが、実際には22台設置されている。各パソコンやサーバは、汎用コンピュータで、表-1は更新で採用した物品である。以後、このサーバを掲示板サーバ、教室設置のパソコンを掲示板パソコンと呼ぶことにする。次節から、システムの具体的な動作について説明する。

教職員は各自のパソコンからWEBブラウザを通して、サーバ室に設置している掲示板サーバにアクセスして書き込みを行う。通信内容はSSLによって暗号化されている。教職員が掲示書き込みホームページにアクセスすると、図-2のログイン画面が表示される。ログインIDとパスワードでアクセス可能ユーザーを教職員に制限しており、学生がログインすることはできない。掲示板サーバは、個人認証をFTPサーバで行っている。

ログインすると、図-3の画面が表示される。画面上部は掲示を確認するフォームである。クラスのボタンが並ん

でおり、クラスを選択することでそのクラスへの掲示一覧を確認することができる。確認を行う画面の詳細は後述する。画面下部は掲示を書き込むフォームである。掲示するクラス、お知らせ(普通)・お知らせ(緊急)・呼び出し(普通)・呼び出し(緊急)の区分、掲示者名、メッセージ、掲示期間(掲示開始日と掲示日数)が入力できる。掲示するクラスはチェックボックスになっており、複数クラスを選択することができる。メッセージは最大50文字(全角)で、制限を超えた書き込みを行って掲示ボタンを押すと、入力文字数と文字数が制限を超えているために書き込めない旨の警告が表示される。掲示開始日を未来に設定しておくことができるため、数ヶ月先に掲示したいことを設定しておくことができる。掲示期間が終了すると自動削除される。

図-3の確認フォームにあるクラスのボタンを押すと、図-4に示すように、そのクラスの掲示一覧が表示される。掲示日と掲示期間、普通・緊急の区分、掲示者名、メッセージが表示される。自分の書き込みであれば、右端に削除ボタンが表示され、削除することができる。画面上部がお知らせの掲示で、画面下部が呼び出しの掲示である。



図-2 ログイン画面



図-3 掲示の書き込みを行う画面



図-4 掲示一覧の確認画面

掲示日	区分	掲示者	**** お知らせ **** (1/1)
4/3(木)	普通	学生主事室	4/11 新入生校内オリエンテーション(第1合併講義室:9:15)
	普通	学生主事室	4/11 対面式(第1体育館:8:30~9:10)
4/4(木)	普通	木本智幸	電子回路 楽しく勉強しよう。
4/3(火)	緊急	担任	始業式は第1体育館で9:30から行います
	緊急	担任	今度、明日の特活では席替えを行います。
	緊急	担任	特活のアイデアを募集しています。
	緊急	木本智幸	これは3Eに表示しています
掲示日	区分	掲示者	**** 呼び出し **** (1/1)
4/3(火)	普通	担任	3E00君、本日昼休み12時40分に研究室まで来てください
	普通	担任	3E00君、本日昼休み12時40分に研究室まで来てください
	普通	担任	3E00君、本日昼休み12時40分に研究室まで来てください
	緊急	木本智幸	これは全室に表示しています

図-5 教室設置の掲示板パソコンの表示画面

図-5は、教室に設置した掲示板パソコンのディスプレイ画面を示している。紙面の大きさの都合上、実際よりも行数を減らして示しているが、実物は図-6に示すように、画面上半部にお知らせ区分の掲示が10行、画面下半分に呼

び出し区分の掲示が10行、合計20行の掲示が表示される。教室に設置した掲示板パソコンは、掲示板サーバに対して定期的に新規書き込みの有無を確認し、あればFTPを利用して掲示データを取りに行き、そのクラスの該当情報だけを掲示日順でディスプレイに表示する。掲示が1ページに収まらない場合は、自動的に2ページ以降へ切り替わっていく。掲示初日は、背景に色がついて強調表示される。掲示板サーバは、掲示データの内容を1日に1回確認し、掲示機期間が過ぎた内容は削除するため、画面からも削除される。

授業の邪魔にならないよう授業中は掲示板パソコンをスタンバイ状態に移行させて表示を消したり、消費電力を抑えるために電源を入れるのは平日の始業前から放課後までにしたりなどの制御を行っている。この制御命令は、掲示板サーバがWake on LAN(以後、WOL)で全22教室の掲示板パソコンに送ることで実現している。開発当時、WOLは世に出たばかりの技術であったため、WOL対応のパソコンを探すのに苦労したが、現在では、多くのパソコンがWOLに対応している。掲示板パソコンの制御スケジュールは、管理者が年度初めに、学校の年間行事予定表を元に掲示板サーバに設定することになっている。よって、スケジュール設定さえすれば、メンテナンスフリーとなる。

故障に対しては、できるだけ停止時間を短くして連続的運用ができるよう、掲示板パソコンがスケジュール通りにWOLによって起動しなければ、管理者にメールで知らされる仕組みとなっている。なお、WOLは電源オンを行うためのプロトコルであるため、シャットダウンやスタンバイを行う機能は、電源管理ソフト内に別途が作り込んでいる。

3. 電子掲示板システムの改善内容

本章では、更新後の掲示板システムに施した具体的な改良内容を説明する。

第1章で記述した通り、更新前は教室設置の掲示板が15インチ型のディスプレイであったため、表示できる文字数が少なかった。そこで更新時に本科20台を24インチFullHDディスプレイへ、専攻科2台を27インチFullHDディスプレイへ交換し、表示できる1行文字数を35文字から50文字へ増やした。我々が実機で実験を行い、1行50文字が掲示の読みにくくならない限界文字数であると判断した。わずか15文字の増加であるが、利用者にとっては大きな変化であると思われる。また、1ページ行数も14行から20行へ増やした。これも、我々が実機で実験を行い、20行が掲示の読みにくくならない限界行数であると判断した。文字数や行数の変更を行うとともに、OSがWindows98SEからWindows8.1へバージョンアップしたことで色合いなどの影響を受けたため、掲示板の文字が見やすいように色の調整も行った。

掲示書き込み者にとっての利便性向上は、1行文字数が

増えたこと以外にもう一つある。掲示期間を確認できるようにした点である。図-4の掲示一覧画面には、掲示日の右側に、掲示期間を“8/8(土)まで10日間”といった形で示すように追加している。従来は、掲示日のみであったため、何日間の掲示に設定したかを書き込み後に確認することができなかった。併せて、図-2～図-4のWEBデザインが、2001年当時のWEBブラウザやパソコン画面サイズに合わせたものであったため、新たに追加されたHTMLタグを利用して、WEBデザインも作り替えている。

教室のディスプレイが大型化して1行文字数や1ページ行数が増えた結果、教室の掲示板が1ページを超えることが減り、ページ切り替えを起きにくくなった。しかし、新学期などは大量の書き込みがあり、掲示が2～3ページに渡ることもある。従来は時間によるページ切り替えを行っていたため、学生が自由にページを切り替えることができず、長時間、掲示板パソコンの前で見続けなければいけなかった。そこで、図-6のように、ディスプレイ中央下部にタッチセンサを設置し、時間による自動ページ切り替えに加えて、学生自身でもページ切り替えを行えるようにした。



図-6 教室設置の掲示板の画面
(画面下中央の白く見える金属片がタッチセンサ)

タッチセンサには、USB接続のタッチスイッチが市販されているが、コストが高い上に、センサーのサイズが大きいためにディスプレイから手前に大きく飛び出して構造上の親和性が悪いなどの問題があった。そのため、我々はコストが安く、構造上の親和性が高いタッチセンサを開発することとした。更新するパソコンには、入力端子として、USB以外にヘッドホン・マイク共用ジャック(図-7)がさせる端子がある。このうちマイク用端子を使ってタッチした際のノイズを取り込むこととした。通常環境下では商用電源による50Hzや60Hzの環境ノイズが飛び交っており、ヒトの体にはノイズ電流が流れている。これをタッチセンサとなるディスプレイ下部の小さい金属片で拾ってマイク用

端子からパソコンに送り込む。ただし、ヒトの体から取り出せるノイズは、パソコン内部のマイクアンプで発生するノイズと比べて十分なレベルがない。特に、ゴム製の履物を身に付けていると、絶縁性の高さからタッチしても体を通してノイズ電流が流れにくく、タッチ検出が難しいことが分かった。そこで、タッチセンサでノイズを拾った直後に、図-8のA級アンプで増幅し、レベルを上げてパソコンに送り込むこととした。

マイク用端子からはコンデンサマイクが利用できるように直流電圧が出力されている。マイク用端子から送られてくる直流電源を5.6kΩを通してアンプに供給し、アンプで増幅したタッチセンサのノイズは10μFの電界コンデンサを通してマイク用端子に送る。アンプはケースに入れて、ディスプレイの裏に貼り付けた。タッチセンサから、アンプの入力までは非シールド線を利用したため、近くにディスプレイの電源線があるところの非シールド線に商用電源ノイズが乗って誤動作を起こす場合があった。我々は短い線で対処したが、シールド線を利用することが望ましい。アンプの出力からマイク用端子までは距離が長いので、シールド線を利用した。ディスプレイの電源線と同一モジュールにおさめて配線したが誤動作を起こすことはなかった。

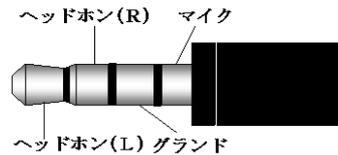


図-7 ヘッドホン・マイク共用ジャック

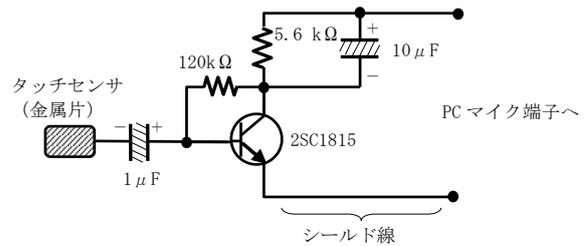


図-8 タッチセンサとアンプ

タッチセンサで検出したノイズは商用周波数ノイズで、マイク用端子から音声信号として入力される。よって、パソコン内部のソフトウェアにおいて、Windowsのオーディオ用Win32APIを用いて取り込んでいる。タッチしたときだけでなく、商用周波数のノイズがマイク用端子から入ってくるのが望ましいが、稀に、非タッチでもサージ状のワンショットノイズが自然に入る場合があり、これをタッチしたと誤認識する可能性がある。商用周波数ノイズとワンショットノイズを区別するために、3回の振動がなければタッチしたと見なさないようにソフトウェア側で判断している。また、タッチセンサで検出する商用周波数ノイズ以外

をできるだけ取り込まないように、ソフトウェア側で200Hzのサンプリングを行って、100Hz以上のノイズは取り込まないようにしている。

タッチセンサの金属片は小さいため、非タッチ時に拾うノイズは、タッチ時のノイズに比べれば十分小さい。しかし、非タッチ時でも商用周波数ノイズを拾っており、そのノイズの大きさは掲示板パソコンを設置している環境に大きく依存する。よって、タッチによるノイズか、非タッチ時のノイズかを区別するには、非タッチ時のノイズレベルを予め知っておく必要がある。そこで、パソコンが起動した後の5秒間、非タッチにおけるノイズを測定し、タッチしているか判断するしきい値を決定するようにしている。

また、閲覧者がタッチした状態を継続しても、ページ切り替えが連続して起きないように、1タッチにつきページ切り替えは1回だけとし、手を離さない限り次のページ切り替えを実行しないようにソフトウェア側で処理している。

4. 低コストでのシステム更新

今回の更新では、低コストで抑えるよう最大限の工夫を行った。掲示板パソコンはベアボーンキットと呼ばれる手のひらサイズの廉価なパソコンである、LIVA-C0-2G-64G-W(以下、LIVA)を採用した。掲示板パソコンに必要な仕様は、WOLによって電源オンができること、Windowsが動作すること、低消費電力で価格が安いものであることである。LIVAはWOLに対応し、かつWindows8.1が動くための最低限かつ不足のないスペックを備えており、クロック周波数が低いため消費電力は通常時10W以下と低消費電力である。また、低消費電力であるためファンレス構造で、機械部分がないため故障率も低いことが想定される。よって、導入コストだけでなくランニングコストを最大限に抑えられると考えた。重量は190g、サイズは118mm×70mm×56mmと軽量コンパクトであるため、故障時の取り換えが容易で、故障に備えるバックアップ用LIVAの保管も場所を取らない。従来は、デスクトップパソコンを保管場所から教室まで持って行き、教室の天井付近に設置しているパソコン収納ボックスに抱え上げて取り換えていた。教室設置用に22台、故障時のバックアップ用に3台の合計25台をOS無し状態で購入した。価格は1台1万7千円程度で、2014年においては、WOLを備えてWindows8.1が動作可能な最も安いパソコンであった。

OSはパッケージ版のWindows8.1を設置台数分の22本のみ購入した。パソコンとセット販売のWindowsでは、ライセンス規定によって、パソコンを廃棄するときWindows自体も使えなくなる。そこで、パッケージ版のWindowsを掲示板パソコンの動作台数分のみ購入することで、故障時にOSライセンスを引き継がせられ、無駄なWindowsライセンスを購入する必要がないようにした。価格は1本1万3千

円程度であった。

本科用ディスプレイは、普及サイズの24インチFullHD液晶とし、故障時のバックアップを含む23台を購入し、専攻科用ディスプレイには27インチFullHD液晶を2台購入した。価格は、それぞれ1台2万円と3万円であった。

コスト削減のためには、故障用バックアップは1台だけで十分である。しかし、今回3台のバックアップを購入したのは、急な故障に対応するためだけではない。コンピュータの機種が混在すると設定が個々に異なり、管理が大変になる。LIVA-C0-2G-64G-Wは、定期的に仕様変更を行っており、将来買い増すことが不可であるため、これまでのパソコン故障率を想定して3台のバックアップを購入した。また、ディスプレイについてもバックアップを3台用意したのは、急な故障に対応するためだけではない。既設のディスプレイアームはVESA75規格であるが、近年主流の24インチ型ディスプレイはVESA100アームの対応品となっている。24インチ型ディスプレイでVESA75アームに対応している機種は、今回購入した1機種しか存在しないため、この機種が製造中止となると、ディスプレイ交換時にアーム交換も生じて大きなコストアップとなる。そこで、保管場所に考慮して3台のバックアップを購入した。これで、管理コストが抑えられる。

パソコン収納ボックス22台、ディスプレイ設置VESAアーム22台、掲示板サーバマシンは学内既設品をそのまま利用した。バックアップ用を含む掲示板パソコンと掲示板ディスプレイ各25台、Windowsライセンス22本、さらに接続用のHDMIケーブルなどの部材で、更新費総額はおよそ130万円であった。

5. LIVAの設定における問題点と対処法

LIVAはWOLに対応しているが、初期設定のままではWOLが動作しない。2005年に欧州議会で正式採択された環境負荷を掛けないためのモノづくりの指令(Directive on EcoDesign of Energy-using Products, 略称EuP)に合せてLIVAも設計されており、電源オフ時もLANを監視し続けるWOLは無効にされている。そこで、BIOSでEuP機能をdisabledに変更し、WOLを有効にする必要がある。多くのパソコンでEuPは採用されているため、この設定はLIVAに限らず多くのパソコンで必要と考えられる。この設定は試行錯誤で探し当てた。

LIVAはOS自身によってシャットダウンした場合は、その後にWOLによって電源オンすることが可能である。しかし、停電等の無通電状態を経由すると、通電回復後もWOLによって電源オンができなくなる。この仕様はLIVAに特有のもので、こうした仕様で設計している理由は分からない。このままでは、学内で停電が生じると、通電回復後に全教室を回って手作業で20台のLIVAを起動させてやらなければならない。これに対処するためにいくつかの改良を行った。

まず、通電回復時にLIVAが自動起動するよう、BIOSのResume by PMEをenabledに変更した。そして、起動1分後に自動的にシャットダウンするようにLIVA内の電源管理ソフトに作りこみを行った。これでWOLを受け付ける状態に戻すことができる。通電回復による起動ではなく、WOL命令による起動の場合は、起動1分後に自動的にシャットダウンさせてはならない。そこで、掲示板サーバはWOL命令送信後に起動継続命令パケットを送り、LIVA内の電源管理ソフトがこれを受け取ると、自動シャットダウンを行わないようにした。

以上で開発は完了となり、実稼働を想定した運用実験を開始した。運用実験で、ディスプレイが消灯したままの掲示板パソコンが不定期に出現することが分かった。Windows UpdateによってOSの電源管理モードが一時的に高パフォーマンスモードに移り、高パフォーマンスモードの電源管理設定では5分間でスタンバイに移行するように設定されていたためであった。通常の電源管理モードはバランスモードで動作しており、バランスモードでは時間が経過してもスタンバイに入らないように設定していたが、高パフォーマンスモードでもスタンバイに入らないように設定することで、この問題に対処できた。これはLIVAの問題ではなく、Windows7や8の仕様による問題である。Windows UpdateでOSが予期せぬ動作をすることがあり、今後も、様子をみていく必要がある。

6. 設置工事

2001年に新規設置した際は、設置工事は外注で行った。今回はコスト削減のために、22台の取り換え工事はすべて我々で行った。本科20教室では、パソコン収納ボックスから古いパソコンを取り出して新パソコンに取り換え、ディスプレイをVESAアームから外して新しいディスプレイに取り換えることである。1ヶ所90分程度の交換時間で、台数が多いことでかなりの時間を要した。専攻科では、天井裏の配線を取り換える必要があり、本科に比べて大掛かりな工事となった。なお、専攻科では、HDMIケーブルの長さが15mと長く、デジタル信号が途切れることなく伝わるか心配されたが、問題なく接続できた。更新前はアナログ信号での伝送であったため15mの伝送で文字がぼやけていたが、デジタル信号での伝送になり掲示の文字が鮮明となった。

7. おわりに

電子掲示板システムは、2001年から14年間の運用で老朽化し、ハードウェア故障へ対応するための労度が大きくなっていった。今回の更新で、故障が減ることで労度が軽減されると共に、教室の掲示板パソコンの仕様が揃うことで管

理しやすくなった。また、ディスプレイの大型化によって書き込み文字数を増やすことができ、使い勝手も改善することができた。今回の更新で130万円の費用がかかったが、今後15年間程度使うと想定すれば、投資効率は高いと考えられる。また、更新によって電気使用量も減り、ランニングコストも下がると考えられる。

謝辞: 本システムの開発するに際し、設置環境準備に協力して下さった技術部の高倉慎氏、回路製作やアンブレケース作りに協力して下さった技術部の後藤加代氏に感謝致します。また、配線部材を提供して下さった電気電子工学科に感謝致します。

参考文献

1) 木本智幸：全教室に設置されWOLによって電源管理された電子掲示板システムの開発，論文集「高専教育」第33号、pp. 899-904, 2010

(2015. 9. 30受付)

定常状態視覚誘発電位を用いたブレインコンピュータインタフェースの 性能向上と測定システムに関する研究

松井 大輔¹・鶴 浩二²

¹電気電子情報工学専攻 (2015年3月修了), ²情報工学科

身の回りの電子機器の高機能化が進み, タブレット端末に用いられているタッチパネルのように一般の人でも直感的に使うことのできるインタフェースの開発が進められてきた. 一方で, このようなマンマシンインタフェースは, 筋萎縮性側索硬化症などの重度の身体障害者やデジタルデバインドと呼ばれる高齢者などには扱うことが難しいデバイスである場合が多い. そこで, 新たなインタフェースとして注目されているのがブレインコンピュータインタフェース(BCI: Brain Computer Interface)と呼ばれる脳波を用いたインタフェースである. 本研究では SSVEP(steady state visual evoked potential)を使った BCI の研究を行った. SSVEP についての研究報告は様々あるが, 提示する光刺激の大きさやその輝度など, まだ不明な部分も多い. これらの特性を明らかにし, 被験者ごとに最適な条件を設定することで BCI に使用される SSVEP の判別率を上げることに繋がると考えた. また, 脳波測定は有線で行っており, BCI においては使用者の行動を制限してしまうという問題がある. そこで, 新たな BCI 脳波測定システムを考案し, その性能を明らかにした.

キーワード : 脳波, SSVEP, 視角, スマートグラス, Brain Computer Interface

1. 序論

身の回りの電子機器の高機能化が進み, タブレット端末に用いられているタッチパネルのように一般の人でも直感的に使うことのできるインタフェースの開発が進められてきた. 一方で, このようなマンマシンインタフェースは, 筋萎縮性側索硬化症などの重度の身体障害者やデジタルデバインドと呼ばれる高齢者などには扱うことが難しいデバイスである場合が多い.

そこで, 新たなインタフェースとして注目されているのがブレインコンピュータインタフェース(BCI: Brain Computer Interface)と呼ばれる脳波を用いたインタフェースである. 脳波とは, 脳の微弱な電気活動を専用の電極で測定した電位信号のことである. 身体的な障害を持っている人に限らず, 誰でも脳波は常に発生しているため, 障害者や健常者も簡単に扱うことのできるインタフェースとして広く研究されている.

外部刺激により発生する脳波は事象関連電位と呼ばれ, P300, 運動想起, 定常状態視覚誘発電位など様々な種類が存在する. 中でも我々が注目したのが定常状態視覚誘発電位(SSVEP: Steady State Visual Evoked Potential)を使ったインタフェースである. SSVEP とは, チェッカーパターンを用いて視覚を刺激するパターンリバーサル

刺激という方法や, LED ライトなどを点滅させて視覚を刺激するフラッシュ刺激によって誘発させる脳波のことである. 点滅する光刺激と同じ周波数で脳波に現れるため, フーリエ変換することによって簡単に確認することができる. そのため, 事前のトレーニングがほとんど必要無く, 脳波の測定方法が非侵襲であることから誰でも容易に使うことのできるインタフェースとして広く研究が進められている^{1,2)}.

パターンリバーサル刺激を用いた BCI の研究をいくつか挙げると, 拡張現実による SSVEP の誘発を検証した研究¹⁾, SSVEP を使った車椅子の制御の研究²⁾などがある. これらの研究を含めた SSVEP を用いた BCI の研究における課題点として, SSVEP 誘発に使用されるパターンリバーサル刺激の詳しい特性が十分に明らかになっていないこと, 有線の測定によって被験者の自由度が低下してしまうことなどが挙げられる. SSVEP の特性の必要性として, SSVEP の誘発電位の大きさが BCI の判別率に影響する. BCI に使われる SSVEP の誘発電位の大きさは輝度やコントラストなどの刺激の強度によって左右され, これらのパラメータの違いによって SSVEP の誘発は大きく変化する. 例えば, 低頻度の刺激においてはコントラストによる影響を強くうけるが, 色の違いによる影響はほとんど受

けないなどの特性が明らかになっている³⁾。しかし、輝度や刺激に使用するチェッカーパターンの大きさなどについての詳しい研究は行われておらず、SSVEPを使ったBCIの研究報告でもそれらのパラメータについては詳しく明記されていない場合が多い。また、SSVEPの測定は基本的に有線による脳波測定の方法が用いられる場合がほとんどであり、先に述べた2つの研究も有線による測定でSSVEPの計測を行っている。有線での測定は信頼性の高いデータを得ることができるが、測定場所が固定されてしまうという問題点がある。そのため装置はできるだけ小規模で、配線は全く無いという測定システムが汎用のインタフェースとして好ましい。

そこで、本研究ではBCIに使用するSSVEPの判別率を上げることが目的として、SSVEPを誘発させる際の光刺激の大きさの違いによる視界依存性、及び光刺激を提示する画面の輝度の違いによる特性を明らかにした。また、実際に現実世界で使用するインタフェースを想定した4クラスの判別実験も行った。そして、被験者ごとに光刺激の大きさと輝度の最適値を設定し、SSVEPの判別率を上げることができることを示した。更にSSVEPを使用したBCIの問題点である有線による脳波計測を、無線での脳波測定に変えてBCIの自由度の改善を行った。その際、光刺激の提示方法も変える必要があるためスマートグラスを用いた。その結果、有線での測定よりはSSVEPの強度が落ちるが、判別を行うには十分な強度で誘発させることができた。

2. 概要

2.1 脳波

脳を構成する神経細胞(ニューロン)は、刺激が入力されると活動電位を発生させ、他の細胞へと電気信号を伝達する。この時細胞が発する微弱な電気活動を、電極を使って測定した信号が脳波である。脳波は、自発脳波と誘発脳波に分けることができる⁴⁾。

自発脳波とは、何もせずとも常に発生している脳波のことである。周波数によって呼び方があり、1~3Hzをデルタ波、4~7Hzをシータ波、8~13Hzをアルファ波、14Hz以上をベータ波と呼んでいる。周波数は活動状態によって変化し、一般の健康者は覚醒時の安静時や閉眼時にはアルファ波が多く発生し、精神的活動すなわち注意を向けたり集中したりするときにはベータ波が増加する。また、覚醒状態から睡眠状態に入る傾眠時にはシータ波が増加し、深い睡眠状態に入ると自発脳波は50%以上をデルタ波が占めるといわれている。

次に誘発脳波とは、なんらかの外部からの刺激によって誘発される脳波のことである。誘発脳波は内因性誘発脳波と外因性誘発脳波に分けることができる。内因性誘発脳波とは、実験課題を被験者が能動的に処理を行う際に発生する脳波である。P300や、運動想起などがこれに含まれる。

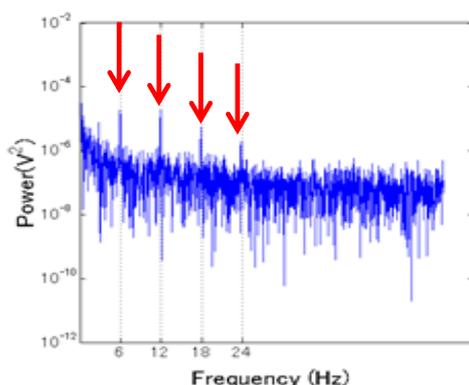


図-1 定常状態視覚誘発電位 (SSVEP)

外因性誘発脳波とは、被験者に対して感覚刺激が与えられた時に受動的に脳が処理を行う際に発生する脳波である。これには、光を見た時に発生するのが視覚誘発電位、音を聴いたときに発生するのが聴覚誘発電位、なにかに触れたり触れられたりしたときに発生する体性感覚誘発電位がある。

2.2 BCI

脳波はこれまで、医学での臨床応用などで利用されることが主であり、てんかんなどの診断や治療で役立ってきた。一方で、脳波を信号としてコンピュータに入力することで人と機械間の通信手段に利用しようとする研究が行われている。脳波を使用したインタフェースということで、これをブレインコンピュータインタフェース(BCI)と呼んでいる。問題点として健康者であっても脳波に個人差があり、汎用的なBCIのシステムを作ることは難しいことやBCIの種類によっては訓練が必要なものもあることが挙げられる。BCIの分類は、視覚や聴覚に提示される情報への注意・非注意によるもの⁵⁾、動作イメージによる自発脳波の変化を利用したもの⁶⁾、刺激の周波数に対応した誘発脳波の変化を利用したものなどがある。本研究では、刺激の周波数に対応した誘発脳波の変化を利用したBCIに使用される、SSVEPについての研究を行っている。SSVEPを用いたBCIの利点としては誘発が他の脳波よりも比較的ロバストである点、事前訓練が必要ない点などが挙げられ、簡単に入力操作を行うことができる。

2.3 定常状態視覚誘発電位

誘発脳波のうち、視覚を刺激したときに誘発される電位のことを視覚誘発電位(VEP: Visual Evoked Potential)という。VEPの潜時は300msである。視覚刺激が300msよりも短い間隔で与えられた場合、視覚誘発電位が発生している間に再び視覚誘発電位が発生し、視覚刺激と同じ周波数で誘発される。これを定常状態視覚誘発電位(SSVEP)と呼ぶ。また、提示した視覚刺激の整数倍の周波数でも同様にしてSSVEPの高調波が誘発される。例えば6Hzで点滅する光刺激を注視した場合、図-1に示すように基本周波数の6Hzに加え12Hz、18Hz、24Hzという基本周波

数(6Hz)の整数倍の高調波も誘発される。VEPの振幅は小さいため、刺激を複数回与えそれらの脳波を加算平均しなければ確認することは難しい。しかしSSVEPではこれが必要無く、測定した脳波をフーリエ変換するだけで簡単に確認することができる。また、視覚刺激への集中度を高めることで刺激に対する位相同期度及び振幅の大きさが増加する⁷⁾。そのため、信頼性のあるデータを得るためには静かな暗室などで行うことが望ましい。更に、潜時が300msであることから3.3Hz以下の提示間隔ではSSVEPは誘発されない⁸⁾。

2.4 光刺激の種類

SSVEPを誘発させる光刺激の種類はフラッシュ刺激と、パターンリバーサル刺激の2種類がある。フラッシュ刺激はLEDやカメラのフラッシュのように一瞬だけ光る光源を用いた刺激方法である。この方法は簡単に刺激を用意することができるためよく用いられるが、個人だけでなく同一個体でも再現性に問題があることが分かっている⁶⁾。そこで、新たに考案されたのがパターンリバーサル刺激である。パターンリバーサル刺激は白と黒のチェッカーパターンを交互に反転させることで刺激を与える方法である。これは、網膜に与える刺激が単一の刺激よりもコントラストのある刺激のほうがニューロンを強く刺激することを利用した刺激方法である。パターンリバーサル刺激がフラッシュ刺激よりも優れている理由として、人間の網膜にある神経節細胞の構造が関係している⁹⁾。

人間の神経節細胞は図-2に示すように同心円状の受容野をもっている。内側と外側で反応する刺激が異なり、明るい光を照射した時に興奮応答するON領域と暗い光を照射した時に興奮応答するOFF領域が常に拮抗している。



図-3 神経節細胞の受容野



図-2 パターンリバーサル刺激と受容野の関係

中心に明るい光で刺激を与えた時に反応を示す細胞をON中心型受容野といい、中心に暗い光を当てた時に反応を示す細胞をOFF中心型受容野という。これらの構造的特徴からフラッシュ刺激による一様な刺激は、ON領域の反応とOFF領域の反応とで打ち消し合ってしまう結果的に反応は弱くなってしまふ。パターンリバーサル刺激は図-3のようにこれら2つの領域を刺激することができるため、フラッシュ刺激に比べ大きな反応を得ることができる。

2.5 線形判別分析

線形判別分析とはデータの分離度を最も大きくするような部分空間に特徴空間を変換する方法である。以下に2クラスの判別の原理を説明する。

クラスの変動を表す行列 S_i を以下のように定義する。 m_i はクラスの平均、 \mathbf{x} は特徴ベクトル、 N は全てのデータ数である。

$$S_i = \sum_{\mathbf{x} \in X_i}^N (\mathbf{x} - m_i)(\mathbf{x} - m_i)^t \quad (1)$$

次に式(1)からクラス内変動行列 S_W とクラス間変動行列 S_B を式(2),(3)のように定義する。

$$S_W = \sum_{i=1,2} \sum_{\mathbf{x} \in X_i} (\mathbf{x} - m_i)(\mathbf{x} - m_i)^t \quad (2)$$

$$S_B = \sum_{i=1,2} n_i (m_i - \bar{\mathbf{x}})(m_i - \bar{\mathbf{x}})^t \quad (3)$$

n_i は i 番目のデータ数、 $\bar{\mathbf{x}}$ は特徴ベクトル全体の平均である。ここで、 d 次元特徴空間を1次元空間へ変換する行列を \mathbf{A} とすると変換後の S_W と S_B は式(4),(5)のようになる。

$$\widetilde{S}_W = \mathbf{A}^t S_W \mathbf{A} \quad (4)$$

$$\widetilde{S}_B = \mathbf{A}^t S_B \mathbf{A} \quad (5)$$

線形判別の考え方はこの \widetilde{S}_W をなるべく小さくし、 \widetilde{S}_B をなるべく大きくするような変換行列 \mathbf{A} を求めることにある。クラス内変動、クラス間変動比を $J_S(\mathbf{A})$ とすると式(6)が得られる。

$$J_S(\mathbf{A}) = \frac{\mathbf{A}^t S_B \mathbf{A}}{\mathbf{A}^t S_W \mathbf{A}} \quad (6)$$

式(6)をラグランジュ未定乗数法で解くと式(7)が得られる。

$$\mathbf{A} \propto S_W^{-1} (m_1 - m_2) \quad (7)$$

こうして求まる、 \mathbf{A} によって変換された特徴空間に識別のための判別関数を定めることで、2つのクラスの境界を決定することができる。

3. 実験概要

本研究では、脳波測定において 2 つの測定方法を用いている。1 つは有線による測定方法で、信頼性の高いデータを得ることを目的として用いた。主に視角や輝度の違いによる SSVEP の特性を調べ、4 クラスの判別分析を行う際の学習データを得るために使用した。もう 1 つは無線による測定方法である。これは BCI として使用することを考え、有線による配線を無くすことで自由度を高めた。無線による測定では、電極の違いや、装置の性能の違いによって、有線の測定に比べデータの信頼性がわずかに低くなる。

3.1 有線脳波測定方法

有線による脳波測定は図-4 に示すブロック図の方法で測定を行った。被験者は電極を装着し、光刺激を観察する。測定中は当研究室で作製したシールドルーム⁹⁾に入り測定を行った。このシールドルームは暗室の役割も果たしており、周囲の明るさの条件を一定にし、明暗の違いが SSVEP に影響しないようしている。大きさは大人が一人入れる程度の広さで、奥行きが 2m、高さが 2m、幅が 1m となっている。シールドルームの前面には 0.6m 四方の視覚提示用スクリーンを用意し、プロジェクターによって被験者へ光刺激を提示した。シールドルーム内での表示機器の使用はノイズ源となる可能性があるためである。

また、人間の筋肉の運動によって発生するアーティファ

クトと呼ばれるノイズも SSVEP の誘発を妨げ、解析を困難にする。例えば、眼球運動や唾を飲み込むなどの行為がアーティファクトの発生要因である。測定中は、被験者にできるだけ唾を飲み込んだり身体を動かしたりしないように注意を促しアーティファクトを抑えた。

電極の位置は国際 10-20 法¹⁰⁾に従い配置した。国際 10-20 法とは、鼻根と後頭結節、及び左右耳介前点を計測しそれぞれの中点から Cz を求め、鼻根(Nasion)と後頭結節(Inion)の間、左右耳介前点の間を 10%, 20%, 20%, 20%, 20%, 10%に分割し図-5 のように電極を配置した方法である。さらに電極数を増やした図-6 に示す拡張 10-20 法¹¹⁾もある。有線脳波測定では、使用した電極は 2 つ、それぞれ O1, O2 に配置した。O1, O2 は視覚を司る後頭葉に位置する。また、GND 電極と参照電極をそれぞれ電位の変動が少ない場所を取るため、右耳朶と左耳朶に配置した。

電極によって得られる細胞の活動電位は非常に小さいため、この電位を 8ch 生体アンプで増幅し、増幅された信号は、NATIONAL INSTRUMENTS 社製の A/D コンバータ (USB6218) を計測制御用ソフトウェアである Labview で制御して、アナログ信号からデジタル信号に変換し、USB 経由で測定用パソコンのハードディスクに記録した。

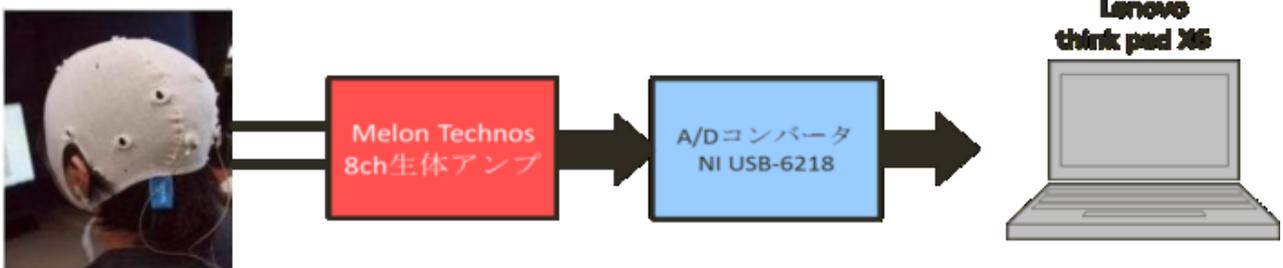


図-4 有線脳波測定の流れ

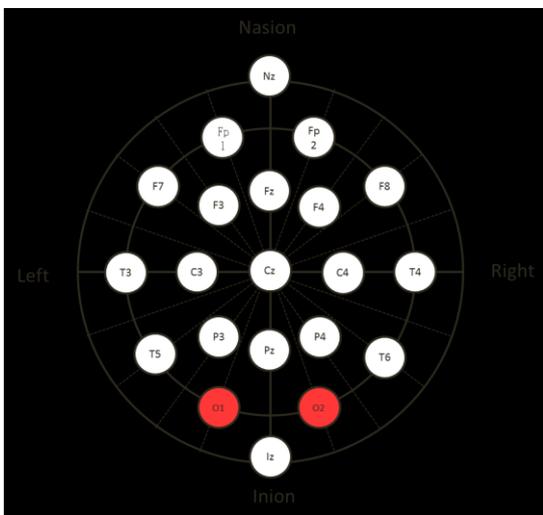


図-5 国際 10-20 法

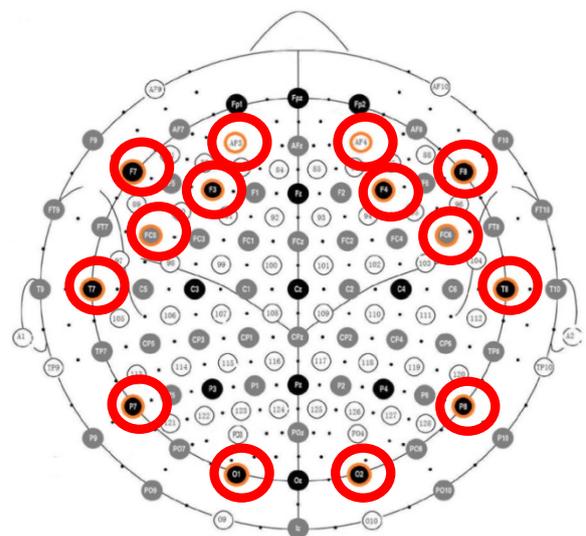


図-6 拡張国際 10-20 法¹¹⁾

3.2 8ch 生体アンプ

今回信号を増幅するのに、Melon-Technos 社製の 8ch 生体アンプを用いた。生体アンプには接続されたアクティブ電極の信号が入力される。今回は 1ch と 2ch にそれぞれ O1,O2 の電極を装着した。生体アンプの出力は O1,O2 電極とリファレンスとの電位差であり、これが脳波としてデータに記録される。また、生体アンプは増幅率、時定数、ローパスフィルタを設定することができ、それぞれ 2000 倍、0.16s、100Hz に設定し測定を行った。

3.3 無線脳波測定方法

無線による脳波測定は Emotiv EPOC(Emotiv 社製)で行った。無線通信インターフェースによって PC へ測定データの送信を行っている。Emotiv に使用される電極は測定を行う電極 14 個、基準電極に使用される OMS, DRL と呼ばれる電極 2 個の計 16 個であり、図-6 の赤丸で示した電極を測定に用いる¹¹⁾。これらは、国際 10-20 法を多チャンネルに対応させた拡張 10-20 法に基づいて配置されている。装着時は有線での測定のように電極と頭皮の間に導電性のジェルを塗布する必要がなく、生理食塩水で湿らせたコットンを使用する。そのため、被験者の不快感を抑えることができる。Emotiv によるサンプリングレートは 128Hz で、50Hz と 60Hz のノッチフィルタを持っているため、有効な帯域幅は 0.2 から 45Hz となっている。

光刺激の提示媒体にはスマートグラスの moverio(BT-200,EPSON 製)を用いた。moverio は、レンズに映像を投影することで現実の風景と映像を重ねあわせることができる AR デバイスである。そのため、周囲の状況を把握しながら BCI の操作を行うことが可能である。光刺激は有線の測定で使用した光刺激を動画にしたものを moverio で再生した。動画はスクリーン上を撮影し動画にするソフト amarecco¹²⁾を使用し作成した。また、moverio は mp4 の動画ファイルしか再生することができないため、撮影した動画ファイルの変換を行った。無線脳波測定の様子を図-7 に示す。有線による測定に比べ簡易になり、配線による行動の障害が無いように自由に移動することができる。



図-7 無線脳波測定の様子

4. 実験方法

本研究では大きく分けて 4 つの実験を行った。実験 1, 2 では、SSVEP 誘発の強度を上げることが BCI の判別率を向上させるためのひとつの要因であると考え、光刺激に使用するパターンリバーサル刺激の視角及び輝度の変化による SSVEP の特性を明らかにする実験を行った。実験

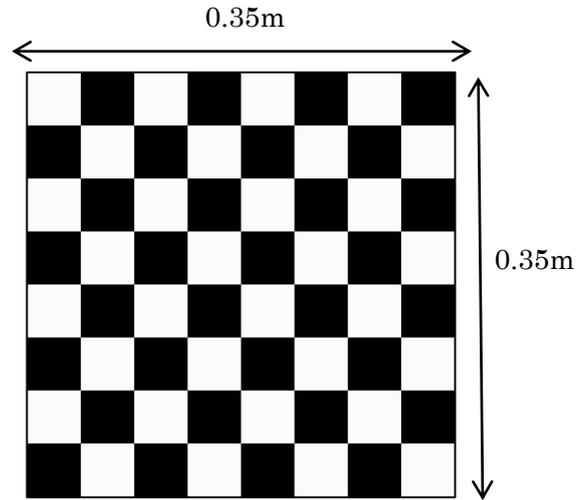


図-8 チェッカーパターン

3 では、実際に使用することを想定したインターフェースを用いて、実験 1, 2 の結果から最適な条件で光刺激を提示したときの判別率の比較を行った。実験 4 では、有線による測定の問題点である使用者の自由度の低下を改善するための測定システムを考案し、実際に SSVEP を測定及び判別を行った。

4.1 実験 1

パターンリバーサル刺激に使用するチェッカーパターンの最適な格子サイズを明らかにすることを目的として、格子サイズを変化させ脳波測定を行った。格子サイズの大きさは視角を基準に設定した。視角の算出には式(8)を用いた。被験者から提示刺激までの距離が $D[m]$ 、チェッカーパターンの 1 マスの大きさが $S[m]$ 、 $v[分]$ が視角である。

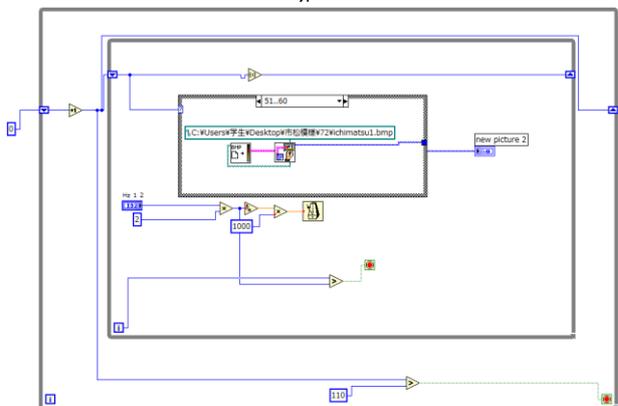


図-9 光刺激のブロックダイアグラム (LabVIEW)

提示刺激は v を 6 分から 486 分の間で変化させる。使用した格子サイズは 11 種類で 6 分, 12 分, 20 分, 24 分, 42 分, 54 分, 78 分, 88 分, 120 分, 252 分, 486 分の大きさを用意した。光刺激の大きさは、 $0.35\text{m} \times 0.35\text{m}$ である。実際に使用したチェッカーパターンを図-8 に示す。これらの刺激を 14Hz で点滅させ、10 秒間隔で v を 486 分から 6 分へ連続的に変化させるプログラムを LabVIEW で作成した。ブロックダイアグラムを図-9 に示す。周波数は自由に変更することができ、点滅させる画像も任意に設定することが可能である。また、疲労による影響で後半の刺激に対する反応が鈍くなると考え、 v を 6 分から 486 分へ変化させた場合の測定も行った。更に、測定と測定の間には 1 分間のブレイクタイムを設けることで、長時間の測定でも被験者に負担がかからないようにした。測定は 1 人の被験者に 3 回試行した。協力していただいた被験者は、健常な 20 代の男性 14 人、健常な 20 代の女性 1 人の計 15 人である。

4.1.1 実験結果

視角を変化させたときの SSVEP の強度の SN 比を算出しグラフ化した。SN 比に使用した SSVEP の強度は、110 秒の長さのデータを 10 秒間隔で FFT を行った際の、基

本周波数である $14\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ と第二高調波である $28\text{Hz} \pm 0.5$ の範囲で最も大きい値を用いた。ノイズは SSVEP が誘発される周波数とその高調波が現れる周波数の $\pm 1\text{Hz}$ の範囲及び FFT 時の直流成分と交流電源の 60Hz を除いた値を加算平均したものを使用した。FFT のサンプリング周波数は 1024Hz, 点数は 8193 点である。15 人のうち 2 人のグラフを図-10 と図-11 に示す。縦軸が SSVEP の SN 比、横軸が視角となっている。また、チェッカーパターンの格子サイズを視角 486 分から 6 分へ減らした時が 'X' 印のグラフ、6 分から 486 分へ増やした時が '+' 印のグラフである。全員のデータをグラフにした結果、被験者によってピークを持つ場所が異なり視角 24 分から 88 分間でピークをもつ被験者が 11 人と多くを占めていた。また、2 つの折れ線に違いが少ないことから疲労による影響はほとんど無かった。また、図-11 の被験者 B の視角 24 分と 88 分のときの FFT 後の波形を図-12 に示す。14Hz のパワースペクトルを見ると、視角が変わるだけで大きく値が変化しているということが分かった。次に、全員分の SSVEP の強度を視角ごとに平均したグラフを図-13 に示す。このグラフからも視角 24 分から 88 分間でピークを持っており、この値で最適値となる被験者が多いことがわか

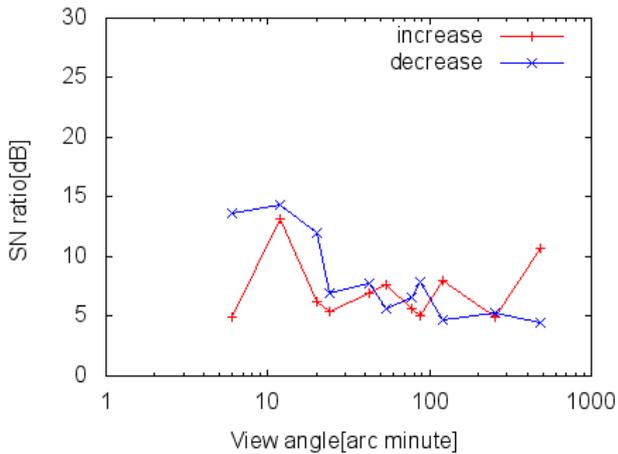


図-10 SSVEP の視角依存性(被験者 A)

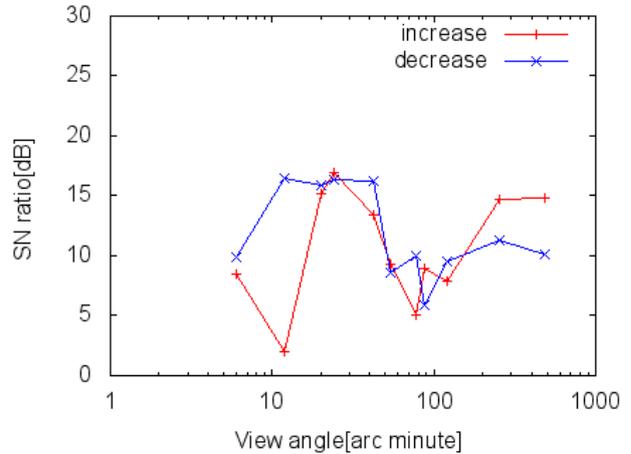


図-11 SSVEP の視角依存性(被験者 B)

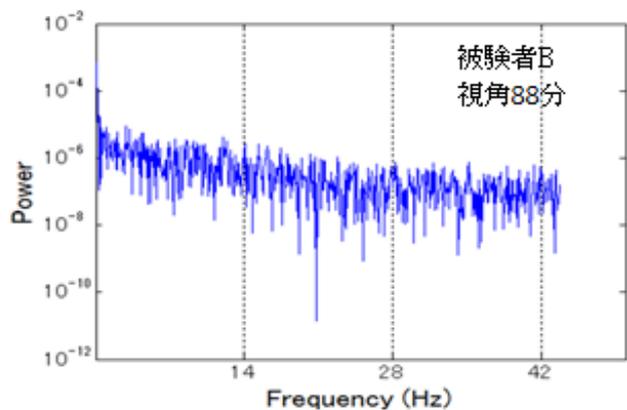
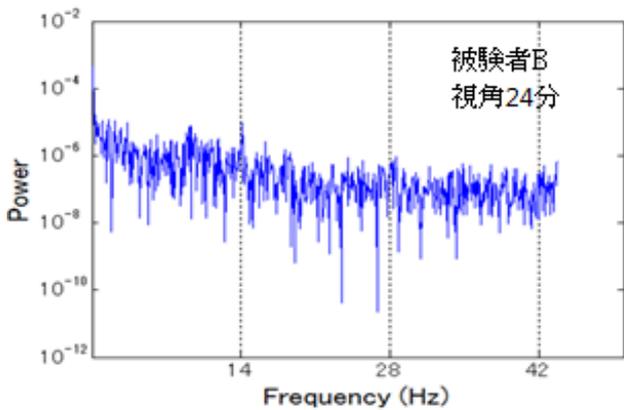


図-12 被験者 B による視角の違いによる SSVEP の比較

った。

4.1.2 考察

視覚を変化させて SSVEP の強度を調べた結果、中視角側(24 分から 88 分の間)で SSVEP を強く誘発している被験者が最も多いという傾向が見られた。この理由として低視覚側では格子サイズが小さすぎると刺激が弱くなりその結果 SSVEP の誘発も弱くなったということが考えられる。また、高視角側では格子サイズが大きくなるため、受容野を一様に刺激するフラッシュ刺激に近い刺激となる。その結果、SSVEP の誘発が弱くなったことが考えられる。これらが、中視角側で最も強い SSVEP を誘発する被験者が多かった理由であると考えている。

4.2 実験 2

視角を変化させた時の SSVEP の測定と平行して、提示刺激の輝度の変化による特性を調べた。使用した輝度は、プロジェクターの最大輝度の 80%、50%、20%である。輝度の値については、照度計を用いて測定した。それぞれ 80%(235lx)、50%(119lx)、20%(75lx)である。視角はそれぞれの輝度で 486 分から 6 分へ変化させた。また、実験 3.1 と同様に ν を 6 分から 486 分へ変化させた場合の測定も行い、疲労によって SSVEP に影響が無いかを確認した。輝度 50%のときが実験 3.1 に相当する。被験者は実験 1

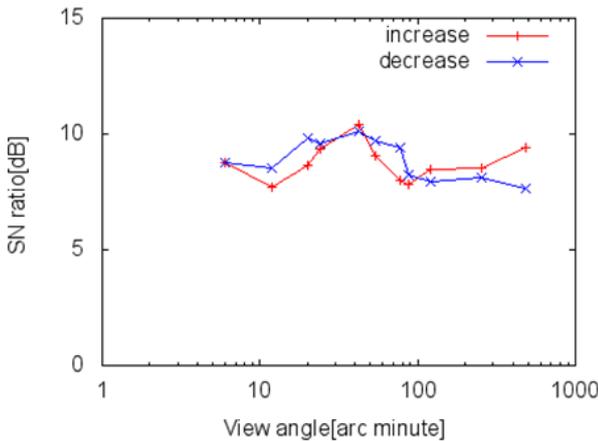


図-13 SSVEP の視角依存性(全被験者の平均)

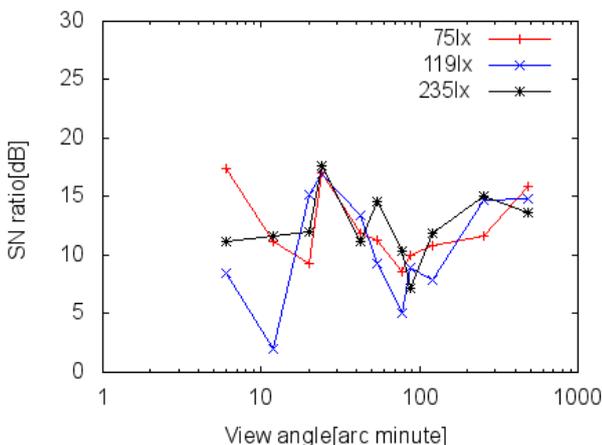


図-14 輝度を変化させたときの SSVEP 視角依存性(被験者 A)

と同じ 15 名である。

4.2.1 実験結果

輝度を変化させたときの被験者 A の SSVEP の強度のデータを図-14 に示す。また、SSVEP の強度を平均し、もっとも強い反応を示した輝度を被験者ごとに調べた。グラフからは輝度の違いによって大きな傾向は見られないが、平均をとると 75lx の時の輝度で強い反応を示している被験者が多いという結果が得られた。

4.2.2 考察

輝度を変化させる実験を行った結果、輝度 75lx の時に最も SSVEP が強く誘発した。75lx というのは実験に用いた輝度の中で最も小さい値であった。これは、おそらく周囲の明るさや提示刺激との距離、画面の大きさなどが影響していると考えられる。脳波の測定は暗室内で行われており、内部は外部からの光をほとんど遮断している。そのため画面は見やすく、輝度を上げる必要がなかった。また、提示刺激から被験者までの距離は 1.2m であり、更に画面は 0.6m×0.6m の大画面であったため、やはり輝度を上げる必要が無い環境であった。このように輝度が不要な環境では、輝度を上げて良い SSVEP を得ることはできず、見やすい範囲で輝度を低く設定した方が強い SSVEP を誘発させることができることが分かった。また、屋外での使用を目的とした SSVEP の特性も得る必要があるため、屋外での実験も行う必要がある。

4.3 実験 3

SSVEP の特性を調べる実験から得たデータを元に BCI を使い比較検証を行った。使用した BCI は実際に生活の中で使用することを想定して作成した。実際に使用したインタフェースを図-15 に示す。画面に、点滅する光刺激を四隅に 4 つ配置した。提示する刺激の大きさは 0.09m 四方の正方形、互いに 0.29m の間隔を開けて配置した。光刺激にはチェッカーパターンの格子サイズ及び輝度を最適値に設定した場合と、白と黒の単一模様を反転させたフラッシュ刺激の場合を用いた。使用した周波数は関連研究を参考にした¹³⁾。その周波数特性を図-16 に示す。縦軸が SSVEP の平均電力を Z 検定により評価した値である。5.6Hz~15.3Hz の間で強く SSVEP が誘発されるという結果から、10Hz、11Hz、13Hz、15Hz の 4 つの周波数を用いた。インタフェースの使用方法は、いずれかの周波数で点滅する光刺激を注視する。その際光刺激と同じ周波数の SSVEP が誘発されるため、そのときの SSVEP を判別分析によってどの周波数に属するか判別を行った。この実験には、視角の特性として ν が 24 分から 88 分でピークを持つ被験者の中から健常な 20 代の男性 2 人、健常な 20 代の女性 1 人の計 3 人に協力していただいた。

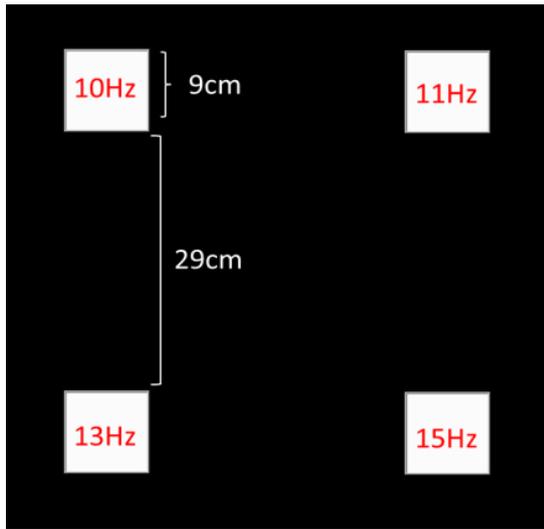


図-15 4クラス BCI の提示

測定はそれぞれの周波数につき 20 回、計 80 回行った。注視時間は 10 秒、疲労による影響を抑えるために周波数を変える度にブレイクタイムを 1 分間入れた。これをチェッカーパターンの場合とフラッシュ刺激の場合で行ったため 1 人の被験者につき 160 回の測定を行った。

また、判別分析には LDA を用いた¹⁴⁾。特徴量は点滅周波数の 10Hz, 11Hz, 13Hz, 15Hz に加えて、それぞれの周波数の第 2 高調波である 20Hz, 22Hz, 26Hz, 30Hz の合計 8 つを用いた。また、脳波測定データは被験者への負担を考慮しなければならないため多くは得ることができない。そのため、少ない学習データでも判別の性能を下げないために交差確認法¹⁵⁾を用いた。交差確認法とは、n 個のデータを k 個に分割し、分割したうちの 1 つを評価用データ、残りを学習データとして使い判別率を出す。これをすべてのデータに対して行い、各判別率の平均を学習データに対する評価とする方法である。これにより見かけ上、元データの n-1 倍の件数の学習データを用いたことになり、少ない測定データでも正確な判別率を出すことができる。この実験では最も精度の高い、分割の要素数を 1 にする 1 つ抜き法により判別率を出した。

4.3.1 実験結果

インタフェースを用いて脳波測定を行い、判別分析を行った結果を図-16 に示す。被験者ごとに判別率を出し、棒グラフにした。左の棒グラフが輝度を 119lx、光刺激にフラッシュ刺激を用いた場合の判別率、右の棒グラフが最適な輝度と格子サイズに設定した時の判別率である。被験者

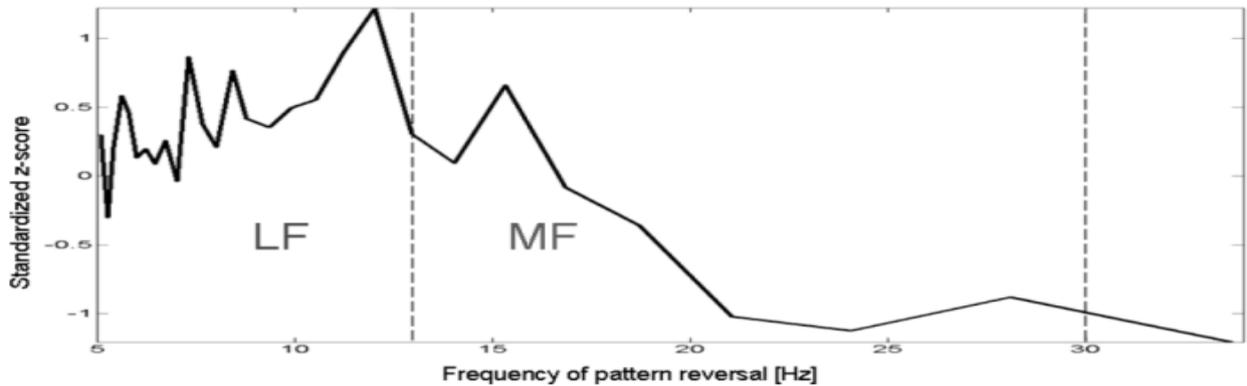


図-16 周波数による SSVEP 特性¹³⁾

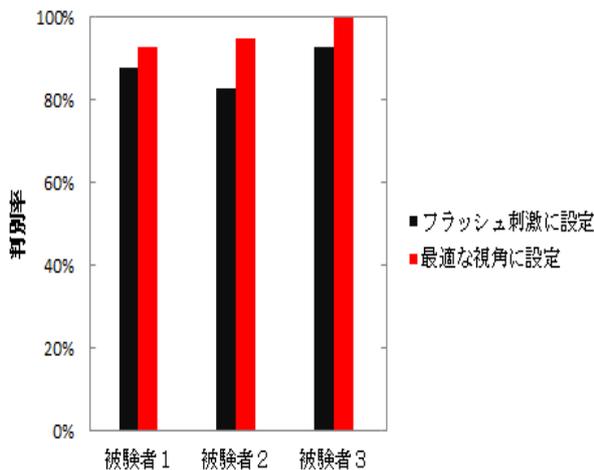


図-17 4クラス BCI の被験者ごとの判別率

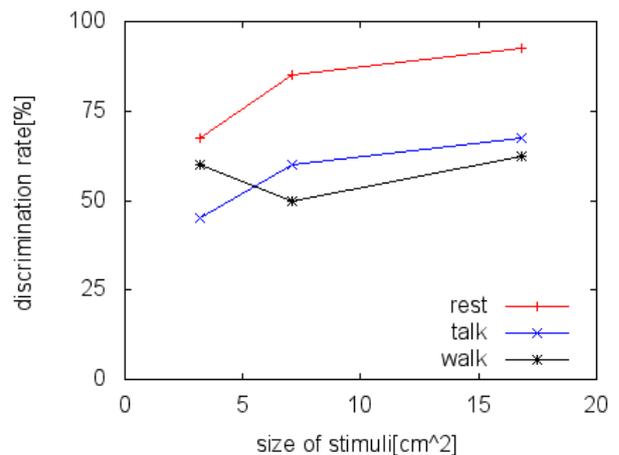


図-18 スマートグラスを用いた SSVEP 測定の判別率

ごとの、最適な視角は24分(被験者 B),42分(被験者 C),78分(被験者 D), 最適な輝度は235lx(被験者 B), 75lx(被験者 C), 235lx(被験者 D)であった。このグラフから、全ての被験者で最適値に設定した時に判別率が上がることが分かった。

4.3.2 考察

実際に BCI を用いて脳波測定を行った結果、視角を最適値に設定することで全ての被験者で判別率が上がった。これは、視角の違いによる SSVEP の強さが大きく関係していると考えられる。図-13にも示したように、視角が変化するだけで SSVEP の値は10倍近くの差が出るのが明らかになっている。このことから視角及び輝度の最適値を設定することで、SSVEP をより強く誘発させることができ、それによって SSVEP の判別率を上げることができたと考えられる。

4.4 実験4

有線脳波測定装置による問題点を解決する方法として、無線脳波測定装置 Emotiv Epoc による測定方法を使い SSVEP の測定を行った。SSVEP の測定方法としては、スマートグラスとして使用した moverio に2種類の異なる周波数で点滅する光刺激を投影し、どちらかの刺激を注視することで SSVEP を誘発させる。使用した周波数は左が10Hz、右が14Hzである。また光刺激の提示領域はなるべく小さい方が好ましいため、提示領域の面積を変化させて測定を行った。提示領域の面積は3.2cm², 7.1cm², 16.8cm²の3種類を用意した。測定秒数は1回の測定につき15秒、これを安静時、歩行時、会話時に分けてそれぞれ10回行った。更に、O1, O2 のデータを学習データとして線形判別を行い、それぞれの動作で判別率を比較した。学習データの数は O1, O2 で40個使用し、交差確認法を用い1つ抜き法で判別率を出した。

4.4.1 実験結果

SSVEP の測定を行った結果、強度は有線の測定に比べ小さくなるが問題なく判別を行うことができた Emotiv Epoc と moverio による測定の結果を図-18に示す。SSVEP 動作の中では安静時の測定が最も高い判別率を出し、提示領域が最大の時92.5%であった。サイズが小さくなるにつれ判別率は低下し、提示領域最小の時67.5%であった。また動作においては、安静時が最も高い判別率を記録し、会話、歩行時には判別率が低下した。

4.4.2 考察

無線脳波測定装置での測定では、光刺激の提示領域が小さくなるにつれ判別率が下がり、会話および歩行時にも判別率が下がった。これらの理由として、提示領域が小さくなることで刺激の強さが下がったこと、動作や顔の筋肉の動きによって脳波測定用電極の接触が影響を受けたことが考えられる。また、光刺激の提示にスマートグラスを用いた場合の問題点として、刺激を提示できる領域が狭いことが挙げられる。現在は2クラスで行っているが、BCI

として使用するには最低3,4クラスのインタフェースが必要になり、視界を遮らないためにも1つ1つの刺激を小さくしなければならない。そのため、小さい光刺激でも SSVEP を出す方法、または解析の方法を工夫し SSVEP の誘発が小さくても判別率が高くなるように検討する必要がある。

5. 結論

本研究では、視角と輝度の違いによる SSVEP の特性を明らかにする実験、無線脳波測定装置による SSVEP の測定を行った。実験の結果、以下のようなことが明らかになった。

- (1) 視角24分から88分の間で SSVEP が最大になる傾向をもつ被験者が11人と最も多かった
- (2) 75lxの時に SSVEP の強度が最も高くなる傾向の被験者が10人と最も多かった
- (3) 視角及び輝度を最適値に設定し SSVEP の判別を行うと全ての被験者で判別率を上げることができ、最大で12%改善した
- (4) 無線での SSVEP の測定は有線に比べると SSVEP 強度が下がるが問題なく誘発させることができ、2クラスでの動作ごとの判別では安静時の提示領域が最大の時で92.5%の判別率を得た

(1), (2)では視角及び輝度の変化による特性が明らかになった。更にこれらの結果から本研究の目的の1つである、提示刺激の最適な条件を設定し SSVEP の判別率を向上させることができるか確かめるために、4クラスでの SSVEP 測定を行った。その結果(3)のように判別率を改善することができた。また、有線脳波測定で問題点となる自由度の低下を改善するために無線脳波測定装置での SSVEP の測定を行った。その結果、2クラスの判別ができることを示した。

本研究の実験結果から、SSVEP を用いた BCI では、有線および無線脳波測定装置を用いた測定システムでの使用方法を構築した。更に、提示する光刺激の条件を個人によって最適値に設定することで、判別率を向上することができることを明らかにした。

謝辞：本研究の機会を与えていただいた専攻科長 薬師寺輝敏先生、情報工学科 学科長の岡 茂八郎先生をはじめ諸先生方に感謝いたします。また、脳波測定方法などを一緒に構築した平岡 基様、板井亮介様、萩原亮太様、三浦晴成様に感謝いたします。同じ研究室のメンバーとして被験者を快く引き受けていただいた平井悠規様、後藤達哉様、長生まゆみ様、藤原康雅様、山本耀悟様、中根丈司様、堀将道様、牧 和弥様およびクラスメイトの皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 鎌谷 祐貴, 中内 茂樹, 北崎 充晃「AR-SSVEPの基礎検討: 実写画像のコントラスト変調による定常視覚誘発電位」, TVRSJ, vol.18, No.1, pp.55-62, 2013.
- 2) S. M. T. Müller, W. C. Celeste, T. F. Bastos-Filho, M. Sarcinelli-Filho, "Brain-computer Interface Based on Visual Evoked Potentials to Command an Autonomous Robotic Wheelchair" Journal of Medical and Biological Engineering, 30(6), pp.407-415, 2010.
- 3) 東 広志, 「脳マシンインタフェースのための信号処理」, 東京農工大学大学院工学府電気情報工学専攻, 2012.
- 4) 脳科学の世界 <<http://brainsc.com/eeg/>> (2014/9/1 アクセス)
- 4) 諸富 隆「視知覚と視覚誘発電位」北海道大學教育學部紀要,1992
- 5) 継岡 恭子, 高橋 弘武, 吉川 大弘, 古橋 武, 「文章入力速度向上を目的としたP300 spellerに対する入力文字予測システムの実装とその検討」 Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics 24(1), 553-559, 2012.
- 6) 中村 翔太郎, 高橋 弘武, 吉川 大弘, 古橋 武「脳波を用いた手足の運動想起判別における準備電位の傾きを用いた特徴抽出法に関する検討」名古屋大学, 2010.
- 7) 吉村奈津江, 「非直視型視覚刺激による transient 型 VEP を用いた脳波入力インターフェースの研究」電気通信大学大学院電気通信学研究科 博士学位申請論文, 2009.
- 8) 飛松 省三「誘発電位解釈のポイント」九州大学大学院医学研究院脳研臨床神経生理, 2006.
- 9) 板井 亮佑「SSVEP 検出を目的とした低雑音測定環境の検討」大分工業高等専門学校制御情報工学科卒業論文, 2013
- 10) 脳波測定マニュアル <<http://eeg.cloudcomputing-navi.com/>> (2015/1/16 アクセス)
- 11) Emotiv wiki <http://emotiv.wikia.com/wiki/Emotiv_EPOC> (2015/1/9 アクセス)
- 12) アマレコ TV 公式ホームページ <<http://www.amarectv.com/>> (2015/2/14 アクセス)
- 13) Bakardjian Hovagim, "Optimization of steady-state visual responses for robust brain-computer interface"東京農工大学学術リポジトリ, 2011.
- 14) 荒木 雅弘「フリーソフトでつくる音声認識システム」, 森北出版, 2007-2012.
- 15) mathworks-判別分析 <<http://jp.mathworks.com/help/stats/discriminant-analysis.html>> (2015/1/16 アクセス)

(2015.9.30受付)

GENERATION OF STONE-STRIPE-LIKE COLOR IMAGES BY BILATERAL MINIMUM AND MAXIMUM FILTERS FOR NON-PHOTOREALISTIC RENDERING

Toru HIRAOKA

Dept. of Information Eng., National Institute of Technology, Oita College

In the past, a number of non-photorealistic rendering methods that generate stone-stripe-like images from gray-scale photographic images have been proposed. In this paper, the conventional method is extended to a non-photorealistic rendering technique that generates stone-stripe-like color images from color photographic images. In order to validate the effectiveness of the proposed method, examination is conducted using several color photographic images, and the attractiveness of the stone-stripe-like color images generated by the proposed method is evaluated visually.

Key Words : non-photorealistic rendering, bilateral minimum and maximum filters, stone stripe

1. INTRODUCTION

Among the various image processing techniques currently in use¹⁾⁻⁴⁾, non-photorealistic rendering (NPR) is a field of computer graphics in which photographed images are processed and converted to images that resemble paintings, illustrations, or sketches. Such NPR-converted images are frequently seen in our daily lives in television programming, magazines, and web pages.

Among the available NPR techniques, this paper focuses in particular on a method of generating stone-stripe-like⁵⁾ color images. Images of this type imitate the striped patterns that appear when natural rock like malachite or Laguna Agate is cut, as shown in Figure 1. Since striped layers appear along the contour lines of such photographic images as stone-striped patterns, the resulting image allows the viewer to imagine, to some extent, what the original image was like. Moreover, stone-stripe-like images show concentric stone-striped patterns generated at locations other than the contour-line portions of the images (Figure 1, right). The conventional method, which generates stone-stripe-like images through iterative processing employing bilateral minimum and bilateral maximum filters⁶⁾, has previously been applied to gray-scale photographic images.

This paper proposes an extended method that can be used to apply the conventional method to color photographic images. Using this technique, the stone-stripe-like color images show multiple



Fig.1 Examples of stone-striped patterns.

naturally colorful and overlapping stone-striped patterns that have their contour-line portions well preserved, and which are considerably more attractive than gray-scale stone-stripe-like images. In order to validate the effectiveness of the proposed method, examination is conducted with several color images, and attractiveness of the color images generated by the proposed method is evaluated visually.

2. METHOD

Red, green, and blue pixel values in 256 gradations (integer values from 0 to 255) of a color image of $I \times J$ pixels are defined as $f_{R,i,j}$, $f_{G,i,j}$, $f_{B,i,j}$ ($i=1,2,\dots,I$; $j=1,2,\dots,J$), respectively.

First, the mean $f_{i,j}$ of red, green, and blue pixel values is determined as

$(f_{R,i,j} + f_{G,i,j} + f_{B,i,j})/3$, and then, after applying the bilateral minimum and bilateral maximum filters, the pixel values of the image $f_{\min,i,j}$ and $f_{\max,i,j}$ are respectively determined by Equations (1) and (2).

$$f_{\min,i,j} = \frac{\sum_{k=-w}^w \sum_{l=-w}^w e^{-\alpha f_{i+k,j+l} - \beta(k^2+l^2) - \gamma(f_{i,j} - f_{i+k,j+l})^2} f_{i+k,j+l}}{\sum_{k=-w}^w \sum_{l=-w}^w e^{-\alpha f_{i+k,j+l} - \beta(k^2+l^2) - \gamma(f_{i,j} - f_{i+k,j+l})^2}} \quad (1)$$

$$f_{\max,i,j} = \frac{\sum_{k=-w}^w \sum_{l=-w}^w e^{\alpha f_{i+k,j+l} - \beta(k^2+l^2) - \gamma(f_{i,j} - f_{i+k,j+l})^2} f_{i+k,j+l}}{\sum_{k=-w}^w \sum_{l=-w}^w e^{\alpha f_{i+k,j+l} - \beta(k^2+l^2) - \gamma(f_{i,j} - f_{i+k,j+l})^2}} \quad (2)$$

In these equations, α , β , and γ are positive constants, and w is the window size. With $f_{\min,i,j} - f_{\max,i,j}$ as $d_{i,j}$, and the minima and maxima within $d_{i,j}$ as d_{\min} and d_{\max} respectively, $f_{i,j}$ is updated using Equation (3).

$$f_{i,j} = 255 \frac{f_{i,j} - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \quad (3)$$

Gaussian noise is applied selectively to the red, green, and blue pixels of a color image if $f_{i,j}$ is less than S (sites where variation in luminance value of image is small). Following, $f_{R,i,j}$, $f_{G,i,j}$, and $f_{B,i,j}$ respectively represents the red, green, and blue pixel values of color images augmented with Gaussian noise. Gaussian noise is applied in order to produce stone-stripped patterns even at sites where variation in luminance value of image is small. The reason for extracting sites with small luminance variations by employing the mean of red, green, and blue pixel values rather than the respective red, green, and blue of the color image is as follows. Since contour-line portions are different for red, green, and blue, extraction of the mean reduce the possibility of disruption to the contour-line portions when stone-stripped patterns are generated.

Next, $f_{i,j}$ is changed respectively to $f_{R,i,j}$, $f_{G,i,j}$, and $f_{B,i,j}$ in Equations (1) and (2), and then derive $f_{R,\min,i,j}$, $f_{R,\max,i,j}$, $f_{G,\min,i,j}$, $f_{G,\max,i,j}$, $f_{B,\min,i,j}$, and $f_{B,\max,i,j}$. $d_{R,i,j}$, $d_{G,i,j}$, and $d_{B,i,j}$ were respectively derived from $f_{R,\max,i,j} - f_{R,\min,i,j}$, $f_{G,\max,i,j} - f_{G,\min,i,j}$, and $f_{B,\max,i,j} - f_{B,\min,i,j}$. Finally, $f_{R,i,j}$, $f_{G,i,j}$, and $f_{B,i,j}$ are updated with Equation (3). By repeating this iterative calculation T times, the stone-stripe-like color image is generated.

Furthermore, to improve the reproducibility of the colors in the stone-stripe-like color image at the time of the conversions of red, green, and blue using Equation (4) in place of Equation (3), the smaller sum of the absolute pixel value differences between

the generated and original images are adopted.

$$f_{i,j} = 255 \left(1 - \frac{f_{i,j} - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \right) \quad (4)$$

The image generated in this way is called a modified stone-stripe-like color image.

3. EXPERIMENTS

The proposed method is applied to six color images, each 512×512 pixels with 256 color levels, as shown in Figure 2. The following examinations are based on Reference 5), using the values $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.1$, $\lambda = 0.001$, $w = 5$, $S = 1$, and $T = 5$. The standard deviation for Gaussian noise is 20.

First, the stone-stripe-like color images generated according to the proposed method are shown in Figure 3. As we can be seen in this figure, stone-stripped patterns are generated as striped layers along the contour lines of the photographs, while concentric stone-stripped patterns are generated at other places in the images. Furthermore, the



Fig.2 Input color images.

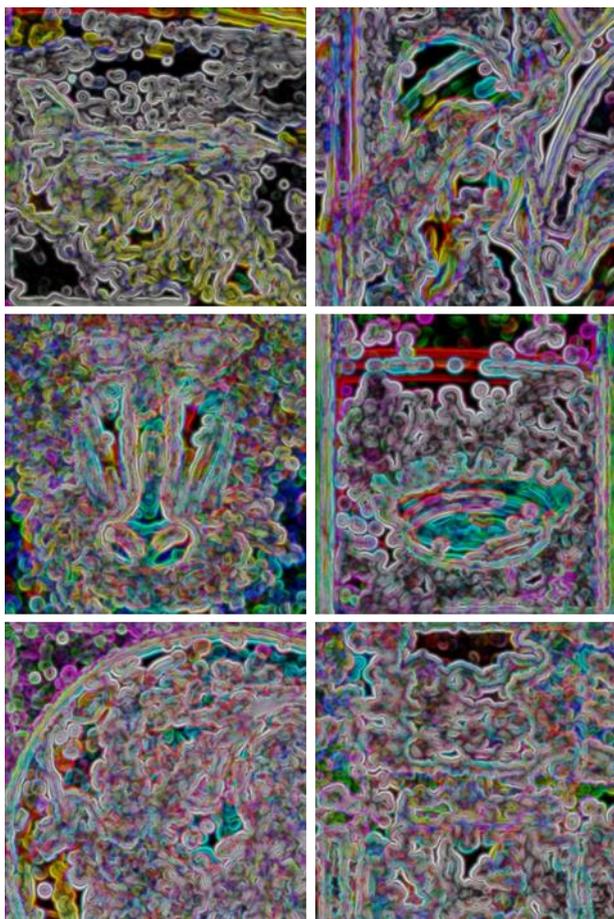


Fig.3 Stone-stripe-like color images.

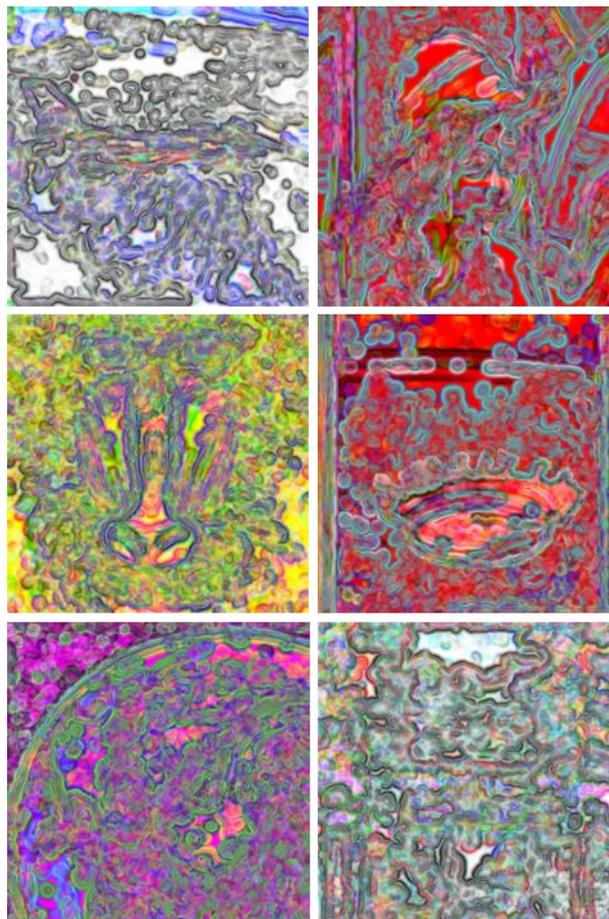


Fig.4 Modified stone-stripe-like color images.

stone-stripe-like color images appear colorful since patterns are naturally overlapping.

As a final examination, we compare stone-stripe-like image generated from a gray-scale image (Figure 5) and stone-stripe-like color images at the upper right of Figure 3 and Figure 4. We conclude that colorizing stone-stripe-like images could improve image attractiveness.

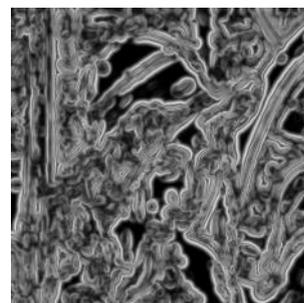


Fig.5 Stone-stripe-like image.

4. CONCLUSION

In this paper, a NPR method that generated stone-stripe-like color images from color photographic images was proposed. In order to validate the effectiveness of the proposed method, examination was conducted with several color images and the attractiveness of the color images generated by the proposed method was evaluated visually. We found that the color images generated by the proposed method had natural overlapping multiple stone-striped patterns, were colorful, and had their contour-line regions preserved. In future

work, we intend to study the changes in the generated stone-stripe-like color images by varying the parameter values.

REFERENCES

- 1) D. L. Way and Z. C Nakajima: Wrinkle Rendering of Terrain Models in Chinese Landscape, *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol.E89-D, No.3, pp.1238-1248, 2006.
- 2) D. Kang, S. H. Seo, S. T. Ryoo, and K. H. Yoon: A Parallel Framework for Fast Photomosaics, *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol.E94-D, No.10, pp.2036-2042, 2011.
- 3) K. Inoue and K. Urahama: Halftoning with Weighted

Centroidal Voronoi Tessellations, *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E95-A, No.6, pp.1103-1105, 2012.

- 4) T. Wang, Z. Hu, and K. Urahama: Anisotropic L_p Poisson Disk Sampling for NPR Image with Adaptively Shaped Pieces, *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol.E96-D, No.6, pp.1406-1409, 2013.

- 5) K. Miyashita and T. Hiraoka: Generation Method of

Ston-Stripe-like Images by Bilateral Minimum/Maximum Filters, *20th Kosen Symposium in Hakodate*, A-1, 2015.

- 6) Y. Zihan and K. Urahama: Image Enhancement with Bilateral Minimum and Bilateral Maximum Filters, *Technical Report of IEICE*, PRMU, Vol.113, No.431, pp.19-24, 2014.

(Received September 30, 2015)

我が国の農業の将来を高専の工学教育で支える

Future of Japan's Agriculture supported by Engineering Education in KOSEN

吉澤 宣之¹・高橋 徹²・松本 佳久³・小西 忠司³・軽部 周³・尾形 公一郎³
中野 壽彦³・佐藤 秀則⁴・山口 貴之⁴・上野 崇寿⁴・田中 大輔⁴
岡 茂八郎⁵・鶴 浩二⁵・プロハースカ ズデネク⁵・平岡 透⁵
一宮 一夫⁶・田中 孝典⁶・高見 徹⁶・薬師寺 輝敏⁷
穴井 孝義⁸・佐藤 達郎¹・古川 明德⁹

¹一般科理系, ²教務主事, ³機械工学科, ⁴電気電子工学科, ⁵情報工学科, ⁶都市・環境工学科,
⁷元専攻科長・寮務主事, ⁸一般科文系, ⁹校長

—校長からの提言—

-Proposal from the President of ONCT-

高専制度設立50年を経過し、これまで、高専の工学教育は工業の発展を支える人材育成に貢献し、製品や技術の開発を通して我が国の繁栄に寄与してきた。今日では、発展途上国の成長に伴って我が国の国際競争力強化のためイノベーションとグローバル教育の推進が叫ばれている。このことは、科学技術立国と謳う我が国の工業と申せども安穩としていては輸出産業としての危機を迎えることを意味し、我が国の更なる繁栄には工業や情報産業とともに別の新たな輸出産業を興すことが緊急課題であることを示している。では、「新たな輸出産業には何があるか」と考えたとき、<1>我が国には緑と水が豊かな国土があること、<2>我が国の人口減に伴って2040年までに896の自治体が消滅するといわれ、その打開策として「地方創生」が唱えられていること、そして<3>近隣諸国の工業化に伴う成長は、少なからず自国の農業を犠牲し、農産物輸入国となるであろうこと、などから新たな輸出産業として「農業」が頭に浮ぶ。しかし今、我が国の農業は、(1)農業従事者が高齢化し、後継者がいない、(2)農業従事者一人当りの耕作面積が狭い、(3)農産物の生産に要した費用に比べて価格が低い、などの課題が山積し、「輸出産業化」には程遠い現状である。

それには「大胆な農業政策の転換」と「経済的に潤っている工業系企業の農業への参入と農業の工業化」が不可欠である。農業先進国としてのオランダは、国土が我が国の1/9と狭いにもかかわらず、農産物輸出額は世界第2位（第1位はアメリカ）の約10兆で我が国の20倍である。そこで我が国政府も、「ICT農業」や「農業の省力化」等の研究プロジェクト支援を行い、農業の発展を図ろうとしている。しかしその研究成果を農業技術に取り込むだけでは、農業の輸出産業化は難しいと考える。農業に参入した工業系企業で働くエンジニアこそが、これまで、製品や技術の開発を行ってきたのと同様に、自ら工学的に農業技術を開発していける状態になっておくことが農業の発展には大切と考える。すなわち、これが「アグリエンジニア教育の導入」である。農業系高校や大学校での農業従事者の育成、そして大学の農学部における農業・生物・地球環境に関する高度な研究において農業の発展に貢献してきた。工業高専の実践教育を受けたエンジニアは、「既存技術を巧みに組合せてニーズに合致した機械やシステムを作り上げる」ことを得意とする。そこで、工業高専での「アグリエンジニア教育の導入」こそ、我が国の農業の将来を支えるとの考えに立ち、本校の先生方に平成26年度高専改革推進事業として行って頂いた調査研究の成果を、以下に3編に纏めて戴いたので、ここに報告する。

一その構想と高専としてのアイデンティティー

- Concept based on Self Identity of KOSEN -

1. はじめに

我が国が戦後の混乱から技術立国へと躍進する過程で、即戦力となる中核技術者育成のための高等教育機関として高専は大きな役割を担ってきた。その高専制度設立から50年以上が過ぎてなお、世界的にも例を見ないユニークな高等教育機関として高専の存在価値は大きい。我が国が得意とした第二次産業における高品質で安価な製品の大量生産時代は科学技術の進歩と世界情勢の変化に伴い「ものづくり」に生き残りのための戦略が必要な時代へと変わり、情報技術を組み込んだ第六次産業への再編成が必要になっている。高専はこうした「ものづくり」でのグローバル変化にも十分対応可能な技術者を育成してきた。

一方、自然に大きく支配され、土地に縛られ、経験知識に頼る第一次産業の古いイメージは工学技術と直接結びつくことが難しく、高専も第一次産業支援を自覚してはこなかった。我が国の工業化と共に食料やその生産に必要な物資の多くを海外に頼るようになり、食料自給率も低迷を続けている。第一次産業従事者も高齢化・激減し、青年人口を含めた大都市と地方との様々な格差や休耕地や山林等の国土の荒廃や鳥獣被害が問題となっている。世界的にも食糧危機や焼畑・畜産からの温暖化ガス放出等の地球環境問題、遺伝子組み換えや生産・加工・流通段階での食の安全性、次代を担う子供への食育の重要性、TPP問題など、現代は第一次産業と関係する多くの重要な問題や課題が浮き彫りになっている。

2. 農業の工業化への動き

最近になってこうした状況にビジネスチャンスを見出し特に農業を工業的な視点から捉え自社技術を応用し基幹事業のサポート事業という経営戦略から始まり、農業を基幹事業とする工業系や情報系企業が現れるようになった。こうしたノウハウを蓄積し、農産物の生産・加工・販売までを一貫して行う第六次産業展開を始めた企業も現れている。

また、大学の農学部等でも孤立系の植物工場システム技術を開発し、原発事故後の農業ができなくなった地域にこ

のタイプの植物工場を建設することで食料の供給、復興支援や地域おこしに貢献すると同時にその技術を国外に輸出している例もみられるようになった。

オランダはこうした産業を組織的に展開しており、国内のみならず海外への農産物の輸出だけでなく、生産技術や大規模な生産システムそのものを製品として輸出しており、ブラックボックス化したシステムのモニター管理や栄養液成分をオランダ本国でコントロールすることで継続的な利益を追及しており、この分野でのトップを走っている。

また、アジア諸国では日本を含め海外の企業の資本で大規模な植物工場が建設されており、中国ではアメリカの研究者が2005年に発表した発想を取り入れ、鉛直方向に栽培面積を稼ぐため大都市に巨大なビル型野菜工場を建設することで食料確保と周辺農村から流入する住民の雇用の両立を目指す「都市型垂直農園」を政策に掲げる都市も出てきている(図-1)。^{1) 2)}

企業の生き残りや収益拡大の方策であれ、また農学部の使命としても我が国の農業の技術的・戦略的進展に貢献し、前述の第一次産業に関係する多くの問題や課題を解決してゆくことは、「衣食足りて礼節を知る」細やかな感性と人間性を備えた次世代を、そして彼らに引き継ぐ持続可能な日本や地球を再生する基盤事業のように思える。



図-1. 近未来農業のイメージおよびその基本概念の解説書であるディクソン・デボミエ著「垂直農場」

3. アグリエンジニアの育成

企業や大学等で始まっている農業やその工業化に関係した取り組みに対し、第一次産業を工学的な視点で捉えるというアグリエンジニアリングの視点での技術者教育の在り方や育成技術者像に対する議論は高等教育機関においてほ

とどなされていなかったように思われる。播種・育苗・施肥・手入れ・収穫などの一連の農作業を一連の「いきものづくり」工程として生産・情報・在庫・出荷等が計画に基づいてシステムティックに行われる本来の意味の「植物工場」を設計・建設・運営・維持管理するには、それ相当の工学技術が必要であり、技術者が不可欠である。オランダに代表される「植物工場」に見られるシステム中枢をコントロールする技術者と工場内労働者の棲み分けがあまり明確でないのが現状であり、生産規模自体がまだ小さく、「工場」と呼べる規模に至っているものは少ない。また、「いきもの」を扱うことから、このような規模での成功例をそのまま相似的に拡大できる可能性は低いと考えられ、「いきもの」特有の原因で発生する問題解決のための新しい技術開発が必要になることが予想され、成功している植物工場の多くはそうした問題を克服する人材と技術を持ったところである。科学技術の進歩は当時とは格段の差はあるが、こうした状況を50年前に我が国の工業化のために高専が設立された時代の再来と考えると、既存工学技術やそれらの統合技術を農業生産へ応用し、大規模化や「いきものづくり」に伴い発生する新たな問題の解決を専門とするアグリエンジニアとして活躍できる人材を高専が育成する意義は十分にあると思われる(図-2)。

大学の工学教育 : 学年が上がると専門分野へ特化し、技術者より専門研究者の育成の色が濃くなる

高専の工学教育 : 15歳から、豊富な実験・実習を通じて広く浅く工学の基礎を身に付け、実践技術者として世に出てゆく

⇒ 現在の農業への工学的支援(農工連携)のステージは高専設立時と同様の段階と思われ、既存の技術をアレンジしたりシステム化することの得意な高専卒業生に農業(第一次産業)の分野で活躍する場が再び巡ってきたと考えられる

図-2. 高専の工学教育が第1次産業分野でも活躍しうる技術者の育成に適した理由

4. 高専における人材育成

我々は高専の生き残り策の一つとして農専になると主張しているのでも、本来の意味の農業技術を高専が積極的に開発すると言っているのでもない。

この後の一連の報告に見られるように、現段階でも農業の工業化に伴う多くの工学的解決策が期待できる問題が知

られている。また、オランダにはない火山国というエネルギー面での利点やオランダが輸入に頼る植物の育成に必要な二酸化炭素を既存技術や開発途上技術の複合的応用による効率的なマルチ気体成分分離技術から得ることで、生産コストや地球温暖化という環境問題に対する対処の糸口も見えてくる。

意識や価値観が変わり、働くために食べる時代から、「食」を楽しむために働く時代の到来に伴う新しい光が当たると、高付加価値の高価な作物の生産がこれまで以上に進み、それを支える工業技術も進歩してゆくと考えられ、こうした農業に関係する様々な分野において身に着けた工学技術を相応しい形でシステム化する仕事は高専卒業生が得意とするところであり、「いきものづくり」の基礎を身に着けた工学技術者を育成し世に送り出すことは現行の高専教育に内包された使命の一つだと再認識すべき時と思われる(図-3)。

高等専門学校改革推進事業
 テーマ: 今後の産業構造の変化等を踏まえた高専における課題整理
 取り組み課題: 「高専教育を基盤として、農林水産業に貢献し得る技術者を育成する教育と研究の必要性及び地域貢献の可能性に関する調査」

第1次産業に直接従事するための教育をすることではなく、高専の工学教育で得た知識・技術力で第1次産業をも支援できる学生を育成する!

図-3. 高専教育の使命

5. 高専としてのアイデンティティー

高専機構の支援で行われた九州3高専による「高専改革推進事業」の調査報告書³⁾を纏めるにあたり(図-4)、高専においてアグリエンジニアとなる人材の育成構想に関し重要だと思える以下の5項目が挙げられている。

「我が国の農業の将来を工業技術で支える！」

- 「農業において実際に工学が必要とされているのか？」
- 「農業のどの部分にどのような工学的な課題があるのか？」
- 「農業に必要とされる具体的な工学技術とは？」
- 「農業支援のために工学系教育プログラムに必要なことは何か？」

⇒ 国内外を多面的に調査し、実情を明らかにする必要がある

図-4. 高専改革推進事業の調査目的

- 1) 農業に特化した技術者教育ではなく、現行の高専の立ち位置で、本来の工学教育の一環として「いきものづくり」の基本素養を身に着けさせる教育の必要性
- 2) 工学技術者の視線で第一次産業を捉える力と、そこに新

しいビジネスチャンスや付加価値を創造できる教育の必要性

- 3) こうした教育理念を学内、受験生とその保護者、地域住民に広く理解し協力して頂く体制の整備
- 4) 従来の企業に加え、第一次産業に関係するような分野へ就職先を開拓すること
- 5) 高専が立地する地域の問題解決を目指した研究・開発を目指すことによる地域との連携強化

望まれる人材の育成に向けた「いきものづくり」とそれに関わる技術者としての「意識改革」に必要な多少のカリキュラムの改訂は必要となるが、アグリエンジニアとなる資質の獲得は基本的に現在の高専の教育システム内で十分に可能であり、高専としては第一次産業もまた高専出身者の技術力で支えてゆく、というアイデンティティーの再認識を行うことに他ならない。

一方、就職率の面でも産業界からの期待もいまだに高いといわれつつも高専の個性が見えづらくなり、ともすれば受験倍率でのみで評価される時代に、日本独自の高専という教育システムで農業の将来を支えるためには、高専自体のイメージの変革も求められるように思える。

我が国のかつての農業のイメージがそうであったように、イメージの固定化は没個性をもたらす。高専は工学技術で支えられるすべての産業に人材を送り出す高等教育機関として、各高専が得意分野で活躍する必要がある。その中で共通分野があれば高専間や大学、地方自治体、企業と連携して地域に貢献できることが望ましい。その産業分野の一つとして、これまで意識の薄かった第一次産業が高専の支援を待っているということである。

参考文献

- 1) NHKBS,世界のドキュメンタリー“空中農園”が人類を救う!?, 2015,3.11,0:00-0:50 放送.
- 2) デイクソン・デポミエ: 垂直農場—明日の都市・環境・食糧—, 依田卓巳訳, NTT 出版, 2011.
- 3) 調査は「高専改革推進事業」の一環として高専機構より支援を受け3高専共同で実施された.

(文責: 吉澤 宣之)

—農業技術に関する海外動向調査と高専での工学教育—

- Foreign Affairs on Agri-Engineering and Engineering Education in KOSEN -

1. はじめに

本報告は「農林水産業等で活躍し得る技術者像を調査し、その結果をカリキュラムや教育システムに反映するのにはどうしたら良いかの検討」を目指した取り組みの一つとして実施¹⁾し、これを海外動向調査と工学教育への提言として纏めたものである。オランダの完全にシステム管理された農業、グリーンハウス、世界戦略の実態を調査し、日本の農業技術との相違に加えて、「農業において実際に工学が必要とされているのか」、「工学的な課題は何であるか、また何処にあるのか」、「工学系教育プログラムとして取り込む場合には何が欠けているのか」、「工学のどの部分が必要とされているか」、「これからの農業はどのような方向に向かっているか」の各視点で情報を得ることを目的に、農業技術に関する海外動向調査を行った。

世界的な花卉の栽培と種子の改良の実績を持つオランダが、現在のような形で農業大国に成長した大きな理由の一つは、そのエネルギー源を地熱に求めたことにある。火山の無いオランダでは地下約 3,000m まで掘削することで熱源を得ている。しかしながら、火山国日本では東日本大震災、津波による福島原発の事故以来、自然エネルギーへの回帰が叫ばれ、地熱利用の関心も再び高くなっている。掘削技術等も含めこうした技術開発も必要となるが、ふんだんにある地熱は第一次産業にも重要なエネルギー源となっている。大分県でも現在地熱利用を強力に押し進めようとしており、今後は地方自治体と連携することで、その農業政策にあったカリキュラムを考える必要がある。

このような背景のもと、農業における工学教育の観点から、海外におけるシステム管理された農業、植物工場、世界戦略等の現状を調査するために、オランダ、韓国および米国を訪問視察した。本報告ではその視察結果を報告するとともに、そこで感じた技術的課題と工学教育への導入について考察し、高専教育での在り方を論じる。

2. 調査方法

工学教育の観点から海外におけるシステム管理された農業、植物工場、世界戦略等の現状を調査するために、オランダ、韓国および米国の先進農業とアグリエンジニアリング教育の実態を調べることにした。

2.1 オランダ先進農業技術と教育環境の視察

オランダのデルフト市に近い、施設園芸・農業拠点として知られる西部のウェストラント市の先進農業の実態とその技術、作物の生育コンセプトと技術設備に対する開発のための教育センターの実態を視察した（図-1）。



図-1 オランダへの視察団（PRIVA 社にて）

2.2 韓国の農業における技術的課題の現地調査

韓国金海市にて農業における技術的課題の現地調査を熱流体、機械力学、情報工学分野の教員で実施した（図-2）。



図-2 韓国金海市への視察団

2.3 米国大学でのアグリエンジニアリング教育調査

米国の大学の農業分野における工学的カリキュラムに関する調査を行うため、将来の高専専攻科の教育プログラムへの組み込みを視野に入れて、ケンタッキー大学バイオシステム・農業工学学科のカリキュラム調査、実験室見学、ABET 認定教育プログラム調査等を行った（図-3）。



図-3 米国ケンタッキー大学への視察団

3. 技術的課題と工学教育への導入

農業先進国オランダでの調査により、以下の点についての率直な感想を得た。

・「農業」に対するイメージが大きく変わった。工学と技術を学ぶ者にも先端農業の体験をしてもらいたい。高専や大学工学部でも先端農業の実態を教える必要がある。オランダのように「工業化」出来れば（図-4～図-7）、日本も農業分野で工学技術者が活躍できる。



図-4 工業技術が駆使されたオランダの農業法人の Greenhouse 内パプリカ栽培の様子



図-5 Greenhouse の養液供給・循環ポンプシステム



図-8 Greenhouse の環境計測制御モニター



図-6 有機栽培 Greenhouse 内の暖房用送風機システム



図-9 照明等の開発・実証試験



図-7 Greenhouse への地熱システム熱交換器



図-10 GreenQ 社（オランダ）のコンサルティング研修のイメージ²⁾

・環境制御システム構築では電気、制御、機械、建築、環境系、また制御ソフト開発には電気・情報系の工学技術者が活躍出来（図-8 および図-9）、オランダではこれら分野の専門企業や教育機関（図-10）が多数農業に参入していることから、今後日本でも彼らの力が発揮できるであろう。

・農業の最先端化に従事するためには「問題解決能力、柔軟な発想力、他分野との連携に必要な英語を含むコミュニケーション能力」を身につける必要がある。

農業はまさに「ものづくり」の延長上にある「生（いき、なま）ものづくり」であることを実感した。オランダは人口1,600万人で国土が九州より少し広い程度でありながら、平坦な国土を最大限有効利用することで今日の地位を築い

ていた。それには工業技術と農業との融合が不可欠であった。オランダ的農法への転換が必要かどうかは議論の余地があるとしても、我が国においてもこうした方向性は重要であり、それが十分に可能な国土と技術を既に有している。食料を輸入に頼ることが保障されているという錯覚にとらわれず、我々が第一次産業に工学技術を積極的に導入する必然性に気づくことが重要である。

次に韓国での調査では、国として情報関連技術への投資もあり、典型的なオランダ式水耕栽培にスマートフォンを利用したシステム管理が行われ(図-11)、農作、工学、社会情勢に精通したアドバイザーの育成が行われており、日本でもこうした「農業コンサルタント」の育成が望まれること、また問題点としてこの分野の人材不足があり、オランダ式農業が中心ではあるものの韓国独自先進的農業政策があることなどを感じ取った。



図-11 韓国農業における ICT 利用制御システム

海外で始まっている農業分野における工学分野(アグリエンジニアリング)のカリキュラム調査については、米国と韓国で実施したが、両国ともオランダ同様に既存の農業を、科学技術を使ってより効率的、システム化した産業に発展させていくための教育が既に大学の学科単位で始まっていることを知った。

米国ケンタッキー大学では 1991 年にカリキュラム改正を行い、既存の伝統専門分野と 7 つの必修選択科目を修得することで農業工学の学位が取得可能となった(図-12 および図-13)が、その後も小規模なカリキュラム改訂を行っており、学部の導入教育から高度で専門化した授業がな

れ、エンジニアとして必要な資質を身に付けさせるためのアイデアを取り入れた授業が行われていた(図-14)。

農業工学・生物工学系大学は米国に 55、カナダに 8、アイスランドに 1 あるが、中国ではオランダ人研究者を招いて都市に高層菜園を建築し、都市の需要と雇用を解決する研究が大学等を巻き込んで行われている。

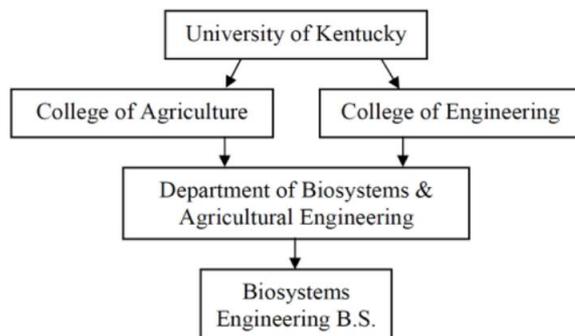


図-12 米国ケンタッキー大学のバイオシステム工学

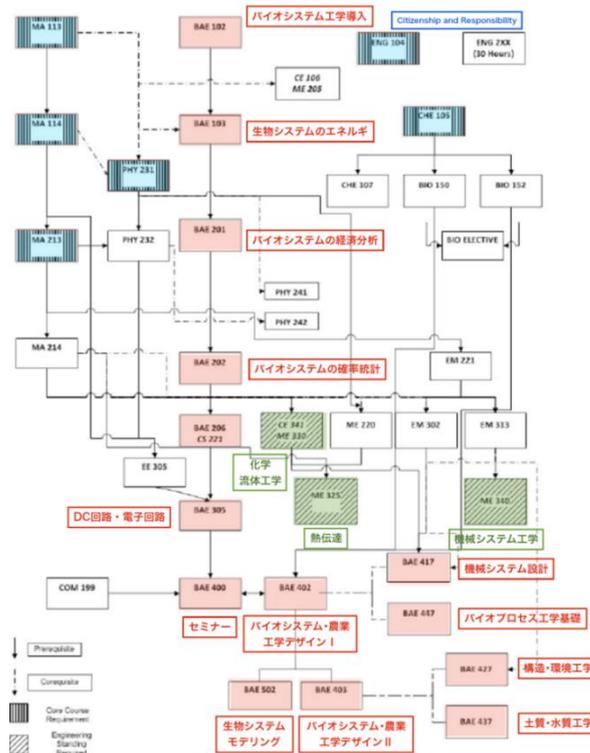


図-13 ケンタッキー大学バイオシステム工学の必修科関連図



図-14 キャップストーンプログラム（牛舎風洞実験）の実施

4. おわりに

農業技術に関する海外動向の調査を行った結果、第一次産業改革には分野の異なる工学や技術を円滑に融合して新しいものを創造していくようなプロジェクトマネージャーとしての資質をもった技術者の育成が重要であると考えられていることが分かった。このような資質に加えて、工学を基礎とした上で農業や生物に関する知識も必要であるため、今後我が国農業の将来を支えるための高専や大学工学部教育での具体的授業内容の検討が必要であると考えられる。

謝辞

オランダ先進農業技術と教育環境の視察については、機械工学科の松本を視察団長として、都市・環境工学科の田中孝典教授および電気電子工学科の田中大輔助教の協力を得て実施された。また、韓国の農業における技術的課題の現地調査については、機械工学科の小西忠司教授を視察団長として、同学科の軽部周准教授ならびに中野壽彦助教の協力で実施された。さらに、米国大学でのアグリエン지니어リング教育調査においては、機械工学科の小西忠司教授を視察団長として、情報工学科のプロハースカ・ヅデネク准教授の協力のもと行われたものである。ここに記して感謝の意を表する。

注および参考文献

- 1) 本調査は、「高専改革推進事業」の一環として高専機構より支援を受け3高専共同で実施された。
- 2) GreenQ, Horticultural Expertise Group リーフレットまたは <http://greenq.nl/en/education/seminars>

(文責：松本 佳久)

－農学の素養を持つ工業技術者の育成－

- Education for the Engineer with Knowledge of Agriculture -

1. はじめに

全国の農業従事者が減少の一途をたどり¹⁾、各県では農業高校や林業高校が消えていくなか、農業の工業技術による支援あるいは新農業の構築は国を挙げての課題の一つとなっている。農業の工業化や農業への工業技術の利用により農業を成長産業あるいは輸出産業にしようとする場合には、農業・農学の素養を持った技術者が不可欠である。このような状況を踏まえて、工業の中核となる技術者の養成を掲げる高専教育において、専門工学の技術者として育成しつつ農学の素養も持たせる教育を行うことによって我が国の農業の発展に貢献するという考えのもと、鹿児島高専、都城高専、大分高専の3校合同で、「高専教育を基盤として、農林水産業に貢献しうる技術者を育成する教育と研究の必要性および地域貢献の可能性に関する調査」を行った。本調査においては特に、①農林水産業等で活躍し得る技術者像、②そのような技術者を育成するカリキュラムや教育システム、③教育における連携、という点に注目して調査した。この調査結果を報告し、工学教育において農業の将来に貢献するための教育として取り組むべき課題を整理する。

2. 農業の工業化や工業技術利用の現状と課題

日本国内においても農業を工業化することによって事業を成功させている企業がすでに複数あるが、これらの先進事例における技術はオランダやスウェーデンで開発された技術を利用したものが多く、特にオランダの農業は約7年前にスマート農業への進展が図られ大きな成果をあげており、その技術を輸出しオランダ式農業管理を世界的規模で展開しつつある。地熱を利用してコストを削減し、薬液や湿度温度などを完全管理して生物生産を工業化する体制を整えている。また、農業に従事する事業者の育成を専門的に取り組む大学が国家戦略の一つとして設置されている。農業の工業化の先進的な一つのモデルであり、農業に希望を持つことができるため、次世代の農業従事者の育成に成功しつつある点でも重要である。

一方、我が国では農林水産業の従事者が減少の一途をたどっている。生産物の値段については、人件費が高いため労働生産性の向上や生産コストの削減だけではアメリカやオーストラリアなどの大型農業の生産物に対して勝ち目はない。日本の高い品質管理能力などをはじめとする新技術や新方式の開発などにより²⁾、次世代の農業従事者の参画意欲を高め、「もうかる」農林水産業の構築が望まれている。前述のオランダ式農業技術のなかには日本の風土と整合性が悪い事案や、ビニールハウスの劣化の問題や土壌性質の違いの問題などの様々の工学的な課題が散見される。また、オランダ方式では稲や麦などの土地生産型作物の育成を行うことができない、工業化の技術が比較のおおざっぱであり日本的緻密さに欠ける部分もあるなどの問題も有している。これらの技術的な課題を克服することのできる日本独自の農業工業技術の育成が待たれるところである。また、日本特有の山地性や小規模農業などに対応できる新しい技術やしくみが求められていることもわかった。

学域への調査やインタビューからも、農業への工業技術の導入および工業技術者の農業への参画についての期待が聞かれた。農学部では工学基礎を徹底して教育するわけではないので、農業の工業化においては工業技術者の必要性が必然的に生じることになる。また、いきものを扱う難しさとおもしろさ、いきものを扱うセンスの重要性について指摘された。現状ではいきものづくりを完全にはコントロールできないという事実をきちんと踏まえておく必要がある。これは、従来の工業生産とは異なる視点であるため重要である。

また、農業が日本の自然を守る役割も果たしているという指摘を受けた。この点に関する工業化あるいは工業との連携は、端緒についたばかりのようである。農業関係者からのインタビューにおいて、土とともに生きる逞しさが感じられ、熱く語られている姿を目にすることが多かった。今後、農業のイメージが一新されても根本にこのような熱い思いを持つことは、いのちを扱う農業として大切なことであると思われる。

農業の工業技術利用について、我が国の現状調査、海外調査、学域へのインタビュー調査、講師招請学習会などから明らかになってきたことは、大きく2つある。1) 工場

化によって無農薬を実現するとともに環境を完全にコントロールして農業生産を行う、という方向性を指向した農業の工業化は特定の農産物についてある程度実現しつつある。ただし様々の技術的な課題も多い。また、科学的に不明な点も多く、それらを踏まえた上での生産技術や管理流通技術が必要とされている。2) いわゆる露地物(動物植物を含めて)の工業化は組織的にはあまり行われていない。ただし、気象・栽培・生育情報のフィードバックシステムの導入や生産におけるトレーサビリティの導入、自然環境の再構築など、その端緒となる試みは始まっている。

3. 望まれる技術者像と教育カリキュラム

調査結果から導かれた農業分野で活躍する技術者像としては、工学と技術をしっかり学習し修得した技術者であると同時に、農業の情報化技術、システム設計、農業機械技術などの農業の工業化に関する技術理解に加え、植物生理や作物学などの農業基礎学の知識を持ち、「いきものづくり」のセンスを持った技術者であることが望まれている。また、これからの農業従事者には経営の視点が重要な柱となると思われるが、農業分野で活躍する技術者にとっても経営的視点に触れることは大切な教育項目の一つであろう。すなわち望まれる技術者像とは、「専門性のある工学技術の基礎の上に、農学の素養といきものづくりのセンスを持ち、いきものの生産をシステム全体としてコントロールしデザインする工業技術者」である。

このような素養を持った技術者を育成するためには、1) 農業の工業化の息吹・胎動や実例を実地に見学体験させ、これまで視野に入っていなかった農業の工業技術による進展という分野への知見を高め関心を誘起すること、2) いきものづくりの簡易な実験・実習を行い、「いきものづくり」へのセンスを育成すること、「いきものづくり」のむつかしさとおもしろさを体験させること、3) 農学の基本やそれぞれの専門工学の農業への応用例などについての素養を学ぶ機会を提供すること、の3点を実現するカリキュラムが少なくとも必要となる。特に2) について、「もの」の声を聞くセンスを培うことのできる高専教育の特徴を活かせば「いきもの」の声を聞くセンスも磨く教育ができるのではないかと、また3) の達成のためには、「工業技術者のための

農学概論」などのテキストを作成しこれを共有し更新していく仕組みづくりも必要となってくる。テキスト案の例として、岩手大学の高木浩一教授によるテキストの目次案を図-1に示す。

1章 農業概要：エネルギー循環、窒素循環と植物サイクル
2章 植物のミクロと育種：細胞の構造、遺伝仕組み換え
3章 発芽：ストレスレスポンス、休眠打破、
4章 土壌と環境：pH、土壌生態系、ECコントロール
5章 生育と窒素サイクル：リン、窒素肥料、葉の働き、光合成、水循環
6章 結実と収穫：種子形成、シグナル伝達、糖度
7章 農業生産制御：育種機器、土壌機械、植物工場、収穫機械、農業散布
8章 集荷と保存：CA貯蔵、温度と鮮度保持、環境と呼吸
9章 輸送と経済：流通、保存、輸出と薬品規制、検疫
10章 計測・評価：コロニーカウント、寒天培地と生育菌種、統計処理、電気泳動と染色（SDS-PAGE）、PCR、SEM
11章 食品加工：液状食品、発酵食品、有用成分抽出、機能食品
12章 畜産・水産：畜産サイクル、水産畜養、鮮度保持、加工
13章 農業経済：6次化、コスト計算、TPP、食品生成法（規制）

図-1 工業技術者のための農学概論目次案。岩手大学工学部高木浩一教授案。

高専教育は、具体化（実習）と抽象化（理論）の両方を大切に早期技術者教育を行うという特徴を有しており、4年生（大学1年生）段階で各専門の基礎科目教育がほぼ修了しているため、専門教育に付加する横系教育を実現することにもたいへん好都合な教育システムとなっている（図-2）。

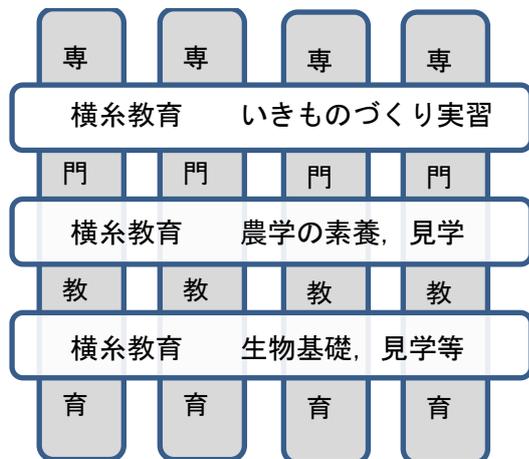


図-2 高専教育に横系教育を実現する

この特徴を活かした教育システム的具体例として次のよ

うなシステムが考えられる（図-3）。高専本科において基礎生物学に対応する講義を実施し、本科高学年もしくは専攻科において工業技術者のための農学概論や各専門工学の農業利用についての講義を実施する。

カリキュラム例

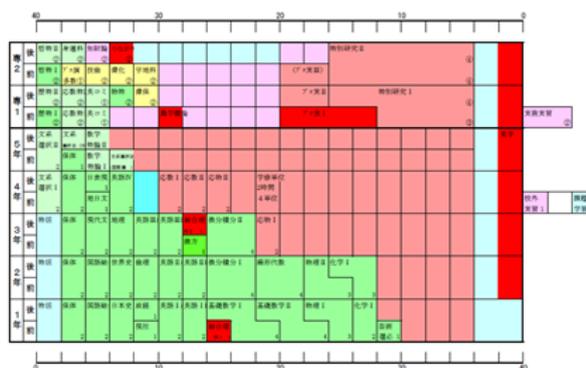


図-3 大分高専におけるカリキュラム組み込み案例。赤色で示した部分が本カリキュラムに相当する部分

これと並行して県域や近隣県域における農業の工業化実例の見学を組み込む。適切な講師を招請しての講演会や学習会も有効である。高専専攻科において簡易なプロジェクト型の実験・実習を行う。さらには各専門学科において工業技術の農業分野への利用に関する特別研究を設ける、などが考えられる。

4. 高専・大学連携

高専や大学工学部において、農業の素養を持った技術者を養成する教育は、これからの工学教育の挑戦的課題の一つである。このためには、高専・大学工学部における問題意識の幅広い共有と教育ノウハウの蓄積が重要となる。農業工業化の実例見学や、実習の連携、さらには、共通講義やeラーニングなどによる協力も視野に入れて良いのではないか。たとえば、農業への工業技術の応用例などにおいては、高専・大学連携によって実施例の蓄積を大きく増やしていくことができ、近隣であればお互いに見学することも可能である。工学的見地から積極的に農業技術の課題解決に当たるためには農業技術課題を網羅して管理するHP等を立ち上げ、その課題を一つ一つ解決していきこれを広く共有していく場が必要となるであろう。また、テキ

ストについても、農学概論などの共通化できる部分もあるので、よりよいものに日々更新するためには高専・大学連携が大きな力になると思われる。

5. おわりに

農業の工業化のためには、工学技術者が必須であり、このため工学技術を深く学習し修得した技術者への期待が大きいこと、そのような技術者には「いきもの」を扱うセンスとある程度の農学的素養が求められることが調査の結果判明した。従って、1) 農業の工業化の胎動を実際に見聞きする機会を提供すること、2) いきものを扱う簡易な実習を行うこと、3) 農学の基本的な素養について教授すること、の3点がカリキュラム化において重要な要素となる。このような工学教育は、早期技術者教育を行う高専教育に付加する横糸教育として実現できる。「いきものづくり」を活性化できる工業技術者を育成する教育が高専教育の発展の一つとして広く実現されることを期待したい。

参考文献

1) 農林水産省「農業労働力に関する統計」

<<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>>、

2015.9.24 現在。

2) 高木浩一，“プラズマの農業利用”，J. Plasma Fusion Res.

Vol.90, No.9 (2014)531-533.

(文責： 高橋 徹)

謝辞

平成26年度高専改革推進事業の調査研究結果を纏めるにあたり、以下の方々に多大なご協力を頂きましたことを深く感謝いたします。

総務課：安部義博，藤田敏之

図書館長：山田繁伸，図書館長補佐：北川友美子，

学生課：若林薫

編集委員

山田 繁伸 (図書館長・一般科文系) 北川 友美子 (図書館長補佐)
木本 智幸 (教務主事補) 古川 隼士 (学生主事補・都市・環境工学科)
二宮 純子 (寮務主事補)
山本 通 (機械工学科) 田中 大輔 (電気電子工学科)
プロハースカ・ズデネク (情報工学科) 東木 雅彦 (一般科理系)

平成 27 年 11 月 20 日 発行

発行 〒870-0152 大分県大分市大字牧 1666 番地

独立行政法人 国立高等専門学校機構

大分工業高等専門学校

National Institute of Technology, Oita College

TEL (097) 552-6084 (ダイヤルイン)

FAX (097) 552-6786

本誌に記載の論文は発行者の承諾なくして他に記載することを禁ずる
