

令和5年度高専研究発表会 講演論文集

2023 KOSEN CONVENTION RECORD I.E.E. JAPAN

令和 6 年 3 月 2 日
中央電気倶楽部

主 催 電 気 学 会 関 西 支 部
共 催 関 西 工 学 教 育 協 会 高 専 部 会

令和5年度（第30回）高専研究発表会 世話役構成

近畿地区高専

- 周山 大慶 (明石工業高等専門学校 電気情報工学科 教授)
- 津吉 彰 (神戸市立工業高等専門学校 電気工学科 教授)
- 早川 潔 (大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム学科 電子情報コース 教授)
- 山吹 巧一 (和歌山工業高等専門学校 電気情報工学科 教授)
- 吉川 隆 (近畿大学工業高等専門学校 総合システム工学科 電気電子コース 教授)
- 石飛 学 (奈良工業高等専門学校 電気工学科 教授)
- 七森 公碩 (舞鶴工業高等専門学校 電気情報工学科 准教授)

近畿地区外参加高専

- 加藤 克巳 (新居浜工業高等専門学校 電気情報工学科 教授)
- 吉岡 貴芳 (豊田工業高等専門学校 電気・電子システム工学科 教授)
- 徳光 政弘 (米子工業高等専門学校総合工学科 情報システム部門 教授)

電気学会関西支部

- 総務企画幹事 原田 真 (住友電気工業(株) パワーデバイス開発部 材料開発部 部長)
- 総務企画幹事 薄 良彦 (京都大学 大学院工学研究科 電気工学専攻 准教授)
- 会計幹事 高橋 秀俊 (関西電力(株) イノベーション推進本部検証基盤整備グループマネジャー)
- 会計幹事 木村 共孝 (同志社大学 理工学部 インテリジェント情報工学科 准教授)
- 協議員 山吹 巧一 (奈良工業高等専門学校 電気工学科 教授)
- 事務局 大田垣 文雄 (関西電気関連学会事務センター 理事長)
- 事務局 高嶋 亨 (関西電気関連学会事務センター 理事)

目 次

司会：原田 真（電気学会 関西支部 総務企画幹事）

開会式：会議室 215（13：00～13：15）

電気学会 関西支部長 挨拶 : 弘津 研一（住友電気工業(株)）
スケジュールの説明と発表の諸連絡 : 原田 真

発 表

発表時間：1 件 15 分（発表 12 分+質疑 3 分） * 指導教員

セッション I：会議室 215（13：30～14：45） 座長：奈良高専 石飛教授 時計係：米子高専 徳光教授

1. BxGayIn1-x-yAs 四元混晶のバンドギャップエネルギーと遷移型
山本 太陽 直井 弘之*（和歌山高専） p.1
2. ラインビーム走査光学系を導入したダブルヘテロダイナミックレンジ表面プロファイル測定
田中 大貴 河合 孝太郎*（神戸高専） p.3
3. 表面プラズモン共鳴を用いた蛍光増強の基礎的検討
寺崎 雅人 内海 淳志*（舞鶴高専） p.5
4. 超音波画像のデータ拡張に向けた画像生成モデルの検証
小崎 創生 森 健太郎*（舞鶴高専） p.7
5. 金属の粒界シミュレーションにおける NNP 生成トレーニングセット
村上 宗一郎 中西 寛*（明石高専） p.9

—休憩—（15 分間）

セッション II：会議室 215（15：00～16：00） 座長：神戸高専 津吉教授 時計係：舞鶴高専 七森准教授

6. 帯域除去フィルタによる三相電流形 PFC 整流器の過渡振動抑制法
小林 樹生 茂木 進一*（神戸高専） p.11
7. 非接触給電におけるエネルギー伝送解析
Bat Erdene Shijirbat 石飛 学*（奈良高専） p.13
8. マイクロ波加熱用スイッチング電源システムの実現
一ノ宮 遼 石飛 学*（奈良高専） p.15
9. KOSEN-2R 衛星の海洋観測データ伝送実験のための電力割り当て計画と電源系監視ソフトウェアの開発
加藤 涼那 徳光 政弘*（米子高専） p.17

セッションⅢ：会議室 214 (13:30~14:45) 座長:明石高専 周山教授 時計係:豊田高専 吉岡教授

1. 眉尻に接触したジャイロセンサを用いた瞬き検出
入本 聖也 高田 峻介* (神戸高専) p.19
2. 鉄粉ボンドを手袋に塗布することによる拡張可能なデータグローブ
山岸 真人 高田 峻介* (神戸高専) p.21
3. IoT を活用した橋梁のモニタリングシステムの開発
井上 奈波 早川 潔* (公立大高専) p.23
4. 医療用リハビリマシンにおける IoT システムの開発
吉田 亜太陽 早川 潔* (公立大高専) p.25
5. KOSEN 衛星に搭載される冗長姿勢角検出基板と通信系の検討
窪田 葵 今井 雅文* (新居浜高専) p.27

—休憩— (15 分間)

セッションⅣ：会議室 214 (15:00~16:15) 座長:公立大高専 早川教授 時計係:和歌山高専 山吹教授

6. 推移定理を用いた風車内ダウンコンダクタ断線位置の推定精度向上
上野 稜 山吹 巧一* (和歌山高専) p.29
7. 生体膜および細胞レイヤを微細加工するための新しい距離センサの開発
板東 新太 黄 文敬* (近大高専) p.31
8. 超音波追尾システムを用いた獣害対策
秋戸 健作 齊藤 公博* (近大高専) p.33
9. 電子回路の学習を容易にするための学習支援キットの設計製作
長坂 知賢 吉岡 貴芳* (豊田高専) p.35
10. 2DLiDAR を利用した地域防災倉庫の管理
東 史響 井上 一成* (明石高専) p.37

閉会式：会議室 215 (16:30 開始)

関西工学教育協会 高専部会長 挨拶

齊藤 公博 (近畿大学工業高等専門学校長)

表彰式および交流会：倶楽部大食堂 (17:00 開始)

B_xGa_yIn_{1-x-y}As 四元混晶のバンドギャップエネルギーと遷移型

山本 太陽*, 直井 弘之 (和歌山高専)

Bandgap Energies and Transition Types of B_xGa_yIn_{1-x-y}As Quaternary Alloy

Yamamoto Taiyo, Naoi Hiroyuki (National Institute of Technology, Wakayama College)

1. はじめに

III-V 族四元混晶半導体は、基板に格子整合した状態でバンドギャップエネルギーを調整できるため、結晶欠陥の少ない高効率のデバイスを作製できる可能性がある。しかしながら、現在実用化されている III-V 族四元混晶半導体は、赤外線レーザに使用されている In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y} などごく一部に限られる。その他多くの四元混晶半導体はバンドギャップエネルギーをはじめとする基礎物性すら十分に解明されていない。

本研究では、格子定数を幅広く変化させることが可能であり、基板として主流な Si, GaAs 基板に格子整合し得る点、バンドギャップエネルギーを幅広くとることができ、対応できる光の波長領域が広くとれる可能性がある点、三つの構成二元化合物のうち二つが直接遷移型を示すことから広い組成範囲で発光デバイスとして応用できる可能性がある点から B_xGa_yIn_{1-x-y}As 四元混晶に着目し、そのバンドギャップエネルギーを理論計算により予測することを目的とした。遷移型の判定を行うために直接バンドギャップ (E_F) および間接バンドギャップ (E_L, E_X) について計算し、さらに Si 基板および GaAs 基板に格子整合した状態でのバンドギャップエネルギーについての計算も行った。

2. 計算方法

バンドギャップエネルギーの計算方法として、誘電体法⁽¹⁾を用いた。誘電体法は、混晶を構成する二元化合物の格子定数とバンドギャップエネルギーが与えられれば、混晶のバンドギャップエネルギーを計算できる半経験的な手法であり、本手法による三元混晶の計算方法については詳細な説明がなされている⁽¹⁾。本研究では、この誘電体法を所属研究室にて四元混晶用に拡張したものをを用いて計算を行った。また、計算に必要な構成二元化合物の格子定数とバンドギャップエネルギーについては文献⁽²⁾から引用した。

B_xGa_yIn_{1-x-y}As 四元混晶は式(1)の右辺に示すように、二つの三元混晶 B_xGa_{1-x}As と B_xIn_{1-x}As が $y' : 1 - y'$ の比で化合することによってできたものであると考えることができ、さらに、これら二つの三元混晶はそれぞれ式(2), (3)に示すようにそれらの構成二元化合物が $x : 1 - x$ の比で化合したも

のであると考えることができる。このように四元混晶の構成二元化合物間の構成比で配分可能なパラメータすべてにその配分を施し、そのパラメータを誘電体法の中で与えられている二元化合物のバンドギャップの式に反映させ、さらに同族原子のイオン性の差の効果を加えて、本四元混晶のバンドギャップエネルギーを計算した。

なお、式(1)の右辺に忠実に従ってできる四元混晶の化学式は同式の左辺となるが、ここで $y = (1-x)y'$ とおくと、この左辺の化学式は B_xGa_yIn_{1-x-y}As となる。

$$B_xGa_{(1-y)'}In_{(1-x)(1-y)'}As = y' \cdot B_xGa_{1-x}As + (1-y') \cdot B_xIn_{1-x}As \quad (1)$$

$$B_xGa_{1-x}As = x \cdot BAs + (1-x) \cdot GaAs \quad (2)$$

$$B_xIn_{1-x}As = x \cdot BAs + (1-x) \cdot InAs \quad (3)$$

3. 結果と考察

B_xGa_yIn_{1-x-y}As 四元混晶の E_F, E_L, E_X の計算結果を等エネルギー線図の形式でそれぞれ図 1~図 3 に示す。x, y の定義域は $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, x + y \leq 1$ の三つの不等式を同時に満たす領域であり、それぞれの図の三隅は本四元混晶の構成二元化合物 (InAs(x=0, y=0), BAs(x=1, y=0), GaAs(x=0, y=1)) を表している。

図 1~図 3 に示した E_F, E_L, E_X の大小関係を比較することにより、遷移型を判定し、 E_F の等エネルギー線図上に反映させたものを図 4 に示す。この図中の直接遷移型と示された領域は、 E_F, E_L, E_X の内、 E_F が最小となった組成領域であり、 E_F の値を等エネルギー線図の形式で残している。一方、間接遷移型と示された斜線部の網掛け領域は E_L または E_X が最小となった組成領域である。

直接遷移型となる組成領域における E_F の変域はおよそ -10.2[eV] ~ 1.43[eV] となりこれに対応する波長域は理論上 867[nm] ~ ∞となる。したがって、本混晶は近赤外線域から電波領域にわたる広い波長域の電磁波を発生、吸収するデバイスに応用できる可能性があることを示している。また、バンドギャップが負の値となる組成範囲では半金属的性質を持つと考えられ、電極材料としての応用が可能であると考えられる。次に本混晶の格子定数を Si の 5.431[Å], GaAs の 5.653[Å] に等しく保った状態での E_F, E_L, E_X の計算結果をそれぞれ図 5, 図 6 に示す。図中に挿入した式はそれぞれ Si,

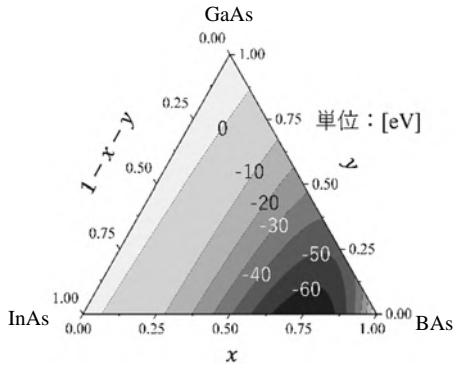


図1 B_xGa_yIn_{1-x-y}As の E_Γ
Fig. 1. E_Γ of B_xGa_yIn_{1-x-y}As

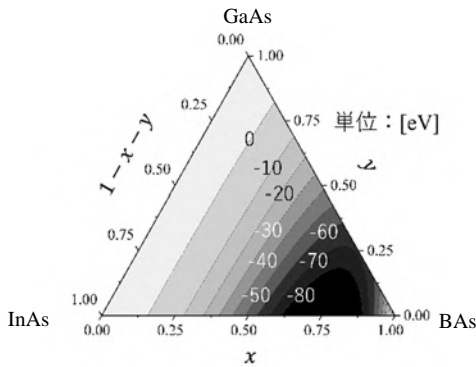


図2 B_xGa_yIn_{1-x-y}As の EL
Fig. 2. E_L of B_xGa_yIn_{1-x-y}As

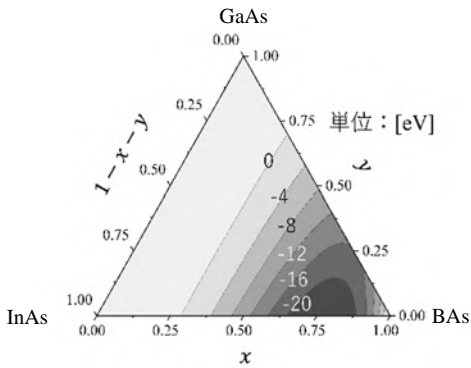


図3 B_xGa_yIn_{1-x-y}As の EX
Fig. 3. E_X of B_xGa_yIn_{1-x-y}As

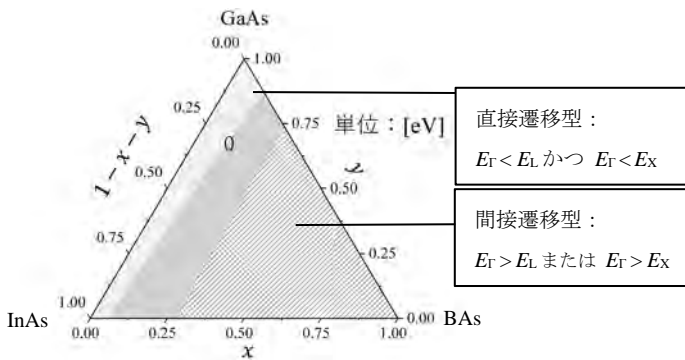


図4 B_xGa_yIn_{1-x-y}As の遷移型と E_Γ
Fig. 4. Transition types and E_Γ of B_xGa_yIn_{1-x-y}As

GaAs に格子整合した場合の x, y の束縛条件を与える式であり、その式の下に示した不等式は x, y の変域を表している。

図5より、Si に格子整合した状態では、バンドギャップが常に負の値となるため、デバイスには応用できないが、電極材料としての応用は可能であると考えられる。

図6より、GaAs に格子整合した状態では、 $0 \leq x \leq 0.279$ の組成範囲で直接遷移型となるが、この中で $0.111 \leq x \leq 0.279$ の組成範囲で E_{Γ} は常に負の値となるため、デバイスには応用できないが、残りの $0 \leq x \leq 0.110$ の組成範囲では E_{Γ} の変域は $0[\text{eV}] \sim 1.430[\text{eV}]$ となり、これに対応する波長域が理論上 $867[\text{nm}] \sim \infty$ となる。これは前述の格子整合の束縛を受けていない場合と同じ変域であるため、前述と同様の応用が見込まれる。

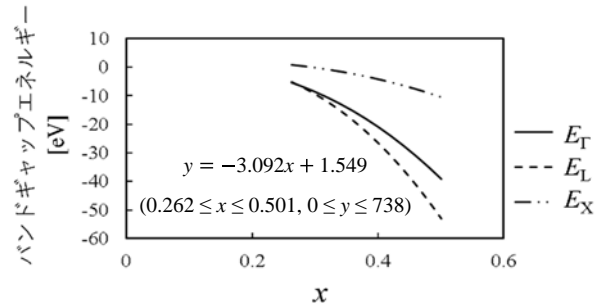


図5 Si に格子整合した場合の E_Γ, E_L, E_X
Fig. 5. E_Γ, E_L and E_X under lattice matching to Si

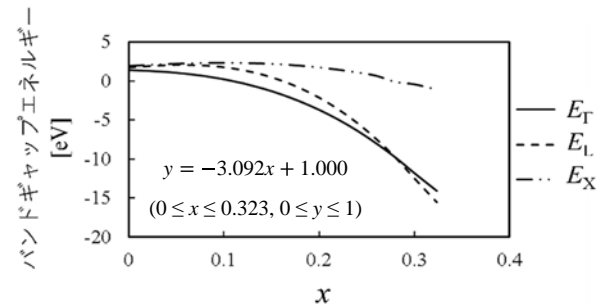


図6 GaAs に格子整合した場合の E_Γ, E_L, E_X
Fig. 6. E_Γ, E_L and E_X under lattice matching to GaAs

4. まとめ

本研究では、B_xGa_yIn_{1-x-y}As 四元混晶半導体のバンドギャップエネルギーを誘電体法により計算した。その結果、本混晶は近赤外線域から電波領域にわたる波長域でのデバイス応用や電極材料としての応用の可能性が見込まれる結果となった。これは GaAs に格子整合した場合も同じである。Si に格子整合した場合はデバイスには応用できないが、電極材料への応用の可能性を示唆する結果となった。

文献

- (1) J. A. Van Vechten and T. K. Bergstresser: Phys. Rev. **B1** 3351(1970).
- (2) Sadao Adachi: *Properties of Semiconductor Alloys: Group-IV, III-V, and II-VI Semiconductors* (WILEY, West Sussex, 2009).

ラインビーム走査光学系を導入した ダブルヘテロダイン干渉による 高ダイナミックレンジ表面プロファイル測定

田中 大貴*, 河合 孝太郎 (神戸市立高専)

High Dynamic Range Surface Profile Measurement Introduced Line Beam Scanning to Double Heterodyne Interference

Taiki Tanaka, Kotaro Kawai (Kobe City College of Technology)

1. はじめに

電子機器の普及によって薄膜材料の利用が進んでおり、例としてスマートフォンなどのタッチパネルの反射防止膜や透明電極が挙げられる。このような場面では、期待していた材料の性質を得るために膜厚は均一であることが求められ、薄膜の正確な厚さを測定することは重要である。光を利用した薄膜の光干渉計測は、非接触・非破壊で計測時間も短いことから、様々な測定手法が提案されている。ただし、従来の光干渉計測では材料を透過することにより生じる位相変化量が光波の1周期を超えると測定が不可になるためレンジが狭いという問題点が存在していた。そこで、先行研究であるダブルヘテロダイン干渉法⁽¹⁾が提案された。この方法では伝搬方向が異なる光波を干渉させる軸外干渉を用いて光波の干渉縞の生成を行う。材料の厚さ測定では、生成される干渉縞の材料の有無による空間的変位量を測定することで材料の厚さを算出する。また、既存の光干渉計測の方法では2光波を軸外干渉させて干渉縞を生成していたが、ダブルヘテロダイン干渉法では干渉縞を生成する4光波を2光波ずつに分けて軸外干渉を行うためnm~mmまでの広範囲レンジで厚さの測定を行うことが可能である。これは既存の測定方法に比べてレンジが非常に大きいという優位性がある。しかし、ダブルヘテロダイン干渉法において一度の光照射で測定が可能なのは照射した1点の厚さのみに限られるという問題があり、この場合光の照射面に凹凸を持つような材料の2次元厚さ分布を測定することが不可能である。光を用いた計測において膜厚ムラを持つような材料に対して通常は、光波の伝搬方向を揃えて干渉させる同軸干渉を行い、材料を光が透過することで生じる光強度変化量から厚さを測定することが一般的である。しかし、本研究においてダブルヘテロダイン干渉では光強度変化量が測定できないことを明らかにしている。

そこで本研究では、一度の光照射で材料全体の2次元厚さ分布の測定が可能なダブルヘテロダイン干渉法を新たに提案し、その確立と実証を目的とした。

2. 理論解析方法

2.1 同軸干渉でのダブルヘテロダイン干渉による光強度

本節では光干渉計測における従来の2次元厚さ分布の測定方法である干渉光の光強度変化量から材料の厚さを測定する方法での本研究における問題点を述べる。ダブルヘテロダイン干渉を同軸で行った場合の光強度を以下のEq.12-1に示す。

$$I = 4 \left\{ 1 + \cos \left[\frac{2\pi\Delta\lambda}{\lambda(\lambda+\Delta\lambda)} z \right] \cos \left[\frac{2\pi\Delta\lambda nd(x,y)}{\lambda(\lambda+\Delta\lambda)} \right] \right\}. \quad (12-1)$$

Eq.12-1において I は光強度、 $\lambda, \lambda+\Delta\lambda$ は光の波長、 $n, d(x,y)$ は測定対象の屈折率、厚さを示している。また、 x, y, z は座標系における値を表しており、測定対象を透過する光の伝搬方向は z である。ダブルヘテロダイン干渉を同軸で行い生じる干渉光の光強度は伝搬方向 z に依存した余弦波で示されており、これは時間に依存していると考えても差し支えない。また、光波の瞬時値は測定できず検出器では、ある時間内での積分値が検出される。よってダブルヘテロダイン干渉での光強度変化量は測定することができない。

2.2 軸外干渉を用いた2次元厚さ分布測定

本研究ではラインビーム走査を導入し、材料の2次元厚さ分布を測定する新たな光学系 (Fig.11) を提案する。この方法では、シリンドリカルレンズにより線状に集光した光を試料に照射し、1次元厚さ分布を反映した干渉縞を生成させる。その後、 x 軸方向にビームを走査することにより試料の2次元厚さ分布の測定を行う。

本節では新たに提案した方法の理論確立のため、1次元方向にのみ凹凸を持つ試料に対してダブルヘテロダイン干渉を実施した場合、その1次元厚さ分布を反映した干渉縞が生成されるかの検証を行った。理論解析では4光波をそれぞれ示すEqs.(2-2),(2-3)の和を求め、その大きさを2乗することで干渉縞の明暗の分布の計算を行った。

$$\mathbf{E}_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} \exp(i\mathbf{k}_{1,2} \cdot \mathbf{r}), \quad (2-2)$$

$$\mathbf{E}_{3,4} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} \exp(i\mathbf{k}_{3,4} \cdot \mathbf{r} + i\delta_{3,4}). \quad (2-3)$$

Eqs.(2-2),(2-3)において \mathbf{E} は各光波を示す電界ベクトル, \mathbf{k} は波数ベクトル, \mathbf{r} は位置ベクトル, δ はサンプルを透過したことにより生じる位相変化量を示す。また, 本理論解析では Fig.12 に示す光学系, サンプルは Fig.B に示す4種類を想定しており, サンプルの屈折率は1.5,1光波の波長 $\lambda, \lambda+\Delta\lambda$ はそれぞれ900,1930[nm]として理論解析を行った。

3. 解析結果

2.3節で示した理論解析の結果を Fig.14 に示す。Fig.14 では黄色の破線がサンプルを透過させずに生成した干渉縞の最小値の場所を示しており, 白色の破線が各サンプルを透過させた後に生成した干渉縞の最小値の場所を示している。sample1~sample4 すべてのサンプルにおいて厚さの値が大きい部分ほど干渉縞全体が左側にシフトしていることが明らかである。これにより光がサンプルを透過した地点ごとの厚さに起因した光波の位相変化量が明暗の分布に影響を与えていることが分かる。よって干渉縞の空間的変位が使用したサンプルの1次元厚さ分布を反映することが分かった。また, これらの結果よりラインビーム走査光学系を導入することによって, 測定対象の2次元厚さ分布測定が可能であることも明らかとなった。

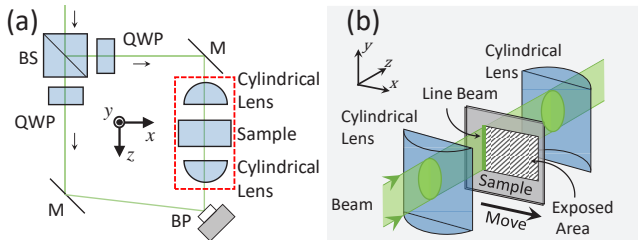


図11 (a)ラインビーム走査光学系図と(b)破線部の拡大図
Fig. 11. Schematic illustrations of (a) optical system for line beam scanning measurement, and (b) expanded illustration of optical system where λ is enclosed by broken line.

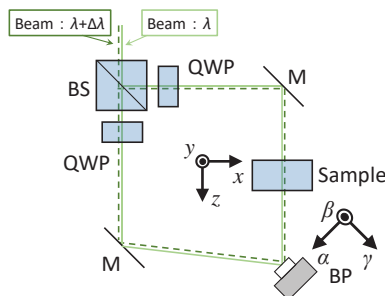


図12 ダブルヘテロダイン干渉光学系の概略図
Fig. 12. Schematic illustration of optical system for double heterodyne interferometry. BS, QWP, BP, and M signify beam splitter, quarter wave plate, beam profiler, and mirror, respectively.

4. まとめ

解析結果より, 1次元方向にのみ凹凸を持つサンプルに対して, 生成される干渉縞はその凹凸の形状を反映したものになった。よって, ラインビーム走査光学系の導入により, 2次元厚さ分布測定は可能になることが分かった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 22K14622 の助成を受けたものです。

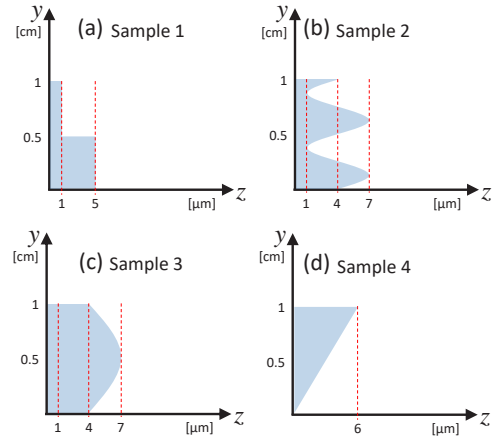


図13 サンプル1~4の概略図

Fig. 13. Schematic illustrations of shapes of (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3, and (d) sample 4.

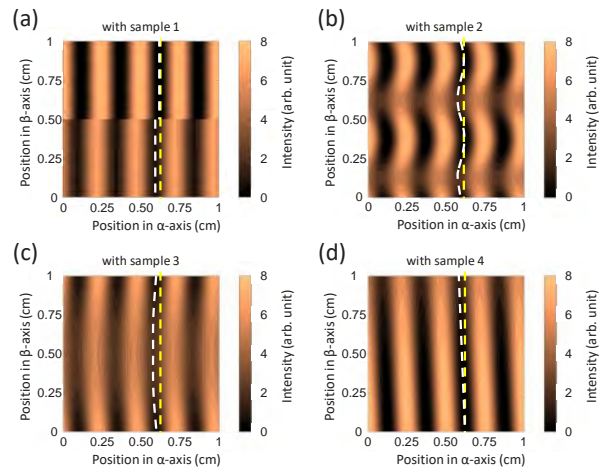


図14 光強度分布の計算結果

Fig. 14. Calculated intensity distributions of the double heterodyne interference field using linearly polarized light observed by the beam profiler. These results stand for (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3, and (d) sample 4 in Fig. 13.

文献

(1) Fuma Wakabayashi, Kotaro Kawai, *Optics Continuum*, Vol. 11, No. 11, pp.2453-2459 (2022).

表面プラズモン共鳴を用いた蛍光増強の基礎的検討

寺崎 雅人*, 内海 淳志 (舞鶴高専)

Fundamental Investigation of Fluorescence Enhancement Utilizing Surface Plasmon Resonance
Terasaki Masato*, Utsumi Atsushi (NIT, Maizuru College)

1. はじめに

蛍光は、物質が光を吸収し、それに続く励起過程で光を放射する現象である。その発光特性は生物学、医学、材料科学、化学などの幅広い分野で活用されており、蛍光の応用範囲はますます広がっている。一方で、表面プラズモン共鳴 (SPR: Surface Plasmon Resonance) は、バイオ分野における表面・界面計測において代表的な計測手法の一つである。表面プラズモン共鳴の利点は微量な結合・吸着物質の検出を高感度に行えるところにあり、これはバイオ分野において生体分子の相互作用解析やバイオセンサーの開発において使用されている⁽¹⁾。この表面プラズモン共鳴を利用した高感度測定手法として、表面プラズモン励起増強蛍光分光がある。本研究では、研究室で開発した表面プラズモン共鳴を発生させるフィルタ (表面プラズモンフィルタ) を用いて、簡易的な方法で表面プラズモン励起による蛍光増強が可能であるか否かの基礎的検討を行う。

2. 表面プラズモン共鳴および蛍光増強の原理

<2・1>表面プラズモン共鳴の原理 表面プラズモン共鳴のイメージを図1に示す。表面プラズモン共鳴は、金属に特定の波長の光を照射することで発生する。金属に光を照射すると、金属内部の自由電子が集団で振動し、粗密波を形成する。この粗密波が特定の波長の光と結合すると、共鳴が発生し金属/誘電体界面に強い電場を発生させる⁽²⁾。この電界を、蛍光物質の励起エネルギーに用いることで、特定波長の条件下で蛍光の増強を可能とする。

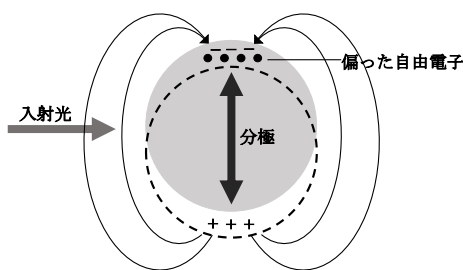


図1 表面プラズモン共鳴のイメージ図

Fig.1. Schematic of surface plasmon resonance

<2・2>蛍光増強の原理 蛍光物質に光を照射すると、その物質の分子構造に基づいて特定の波長を吸収する。これ

は、その分子の基底状態にある電子が光エネルギーを吸収して励起状態に遷移することを示している。その後、励起状態に遷移した分子は、熱や他の分子との衝突などによりエネルギーを失い基底状態に戻る。この過程は無輻射遷移と呼ばれるが、この他に基底状態に戻るときに吸収した光エネルギーを再び光として放射することがある。これを蛍光や燐光という。

蛍光増強は、表面プラズモン共鳴による増強電場を励起場としており、金属薄膜や金属微粒子に光が照射された際に発する近接場光によって、金属近傍に配置された蛍光物質の蛍光を増強する方法である。また、増強の影響は金属近傍に限られるため、近傍の蛍光分子だけを選択的に励起できるのが特徴である⁽³⁾。表面プラズモン励起による蛍光増強が発生するために、表面プラズモン共鳴が発生する波長と、蛍光物質が励起される波長が一致することが条件である。

3. 表面プラズモンフィルタの作製

本研究室でこれまでに開発した表面プラズモンフィルタについて作製方法を説明する⁽²⁾。この表面プラズモンフィルタは、蛍光物質の表面に配置するものである。

表面プラズモンフィルタは、ガラス基板と金微粒子から構成されている。作製方法であるが、有機洗浄をしたガラス基板表面に、膜厚 10 nm の金薄膜をスパッタで形成した。その後、電気炉を用いて、大気中、熱処理温度 550°C で金薄膜の微粒子化を行い、ガラス基板上の金微粒子を作製した。作製した表面プラズモンフィルタは、Hitachi High-Tech 社の紫外可視分光光度計 U-2010 を用いて透過特性を測定し、表面プラズモン共鳴による光の吸収量を確認した。図2に、熱処理時間を変えて作製した表面プラズモンフィルタの透過特性を示す。図2より、30分以上熱処理を行った試料は、入射光波長 550 nm 付近で透過率が低下していることがわかる。形成した金微粒子のサイズから、理論的に予測される表面プラズモン共鳴のピーク波長付近であることから、作製したフィルタ上で表面プラズモン共鳴が発生したと考えられる。さらに同図の透過特性より、熱処理時間が短いと金の微粒子化が十分ではなく、膜厚 10 nm の金薄膜の場合は 30分以上の熱処理を要することがわかる。これらの透過特性の比較から、表面プラズモン共鳴が大きくなる作製条件は、金膜厚が 10 nm、熱処理温度が 550°C、熱処理時間は 30分以上必要であることがわかった。以降の蛍光増強の実験で

は、上記の条件において作製した表面プラズモンフィルタを用いた。

図2 熱処理時間を変化させた試料の透過特性

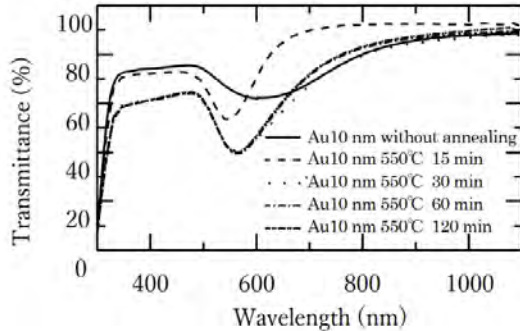


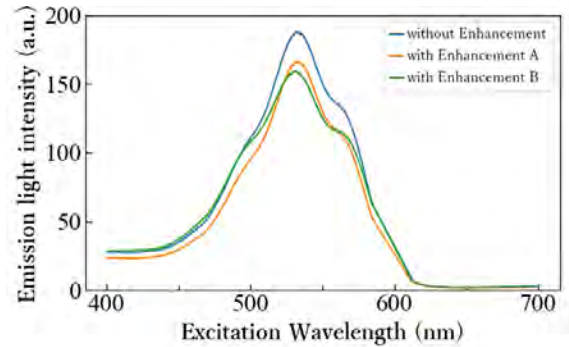
Fig.2. Dependence of transmittance characteristics of samples on heat treatment time

4. 蛍光増強の基礎的検証

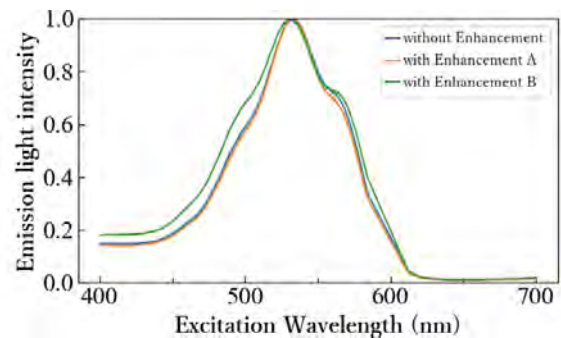
表面プラズモンフィルタによって蛍光物質からの蛍光増強ができるか否かは、励起スペクトルの変化から評価した。蛍光物質には 540 nm 付近で励起する赤色蛍光ペンを用いた。測定のための試料は、蛍光物質をガラス基板上に塗布し、それに表面プラズモンフィルタを密着させて作製した。励起スペクトルの測定には、Hitachi High-Tech 社の分光蛍光光度計 F-7100 を用いた。励起スペクトルは、検出する蛍光波長を固定した状態で励起波長を走査して測定する。このため、励起状態に遷移する際の吸収効率を励起波長ごとに測定することができる。今回は、励起波長 550 nm 付近で蛍光増強が見られると予想して、検出する蛍光波長を 600 nm に固定して測定した。

図 3(a), (b)に蛍光基板と蛍光増強基板のそれぞれの励起スペクトルおよび正規化した励起スペクトルを示す。試料は、ガラス基板上に蛍光物質を塗布したもののみで測定したものを増強無し (without Enhancement) とする。次に、表面プラズモンフィルタの金微粒子を蛍光物質表面に密着させた状態を作り、蛍光物質を塗布したガラス基板裏面から光を照射した場合を増強有り A (with Enhancement A) とし、表面プラズモンフィルタのガラス基板裏面から光を照射した場合を増強有り B (with Enhancement B) とする。光を蛍光物質側から照射した増強有り A と増強無しについて比較すると、図 3(a)では蛍光強度に差は見られたものの、正規化した図 3(b)からスペクトルの形状に差が無いことがわかる。光を蛍光物質側から入射したため、表面プラズモンフィルタまで光が届かなかつたか、あるいは共鳴効果が弱かったものと考えられる。一方、増強有り B と増強無しについて比較すると、図 3(a)より、510 nm から 570 nm にかけてスペクトルのずれが見られ、増強有り B の蛍光強度が低くなっていることがわかる。図 3(b)からもずれは確認できるが、これは励起光を表面プラズモンフィルタ側から照射した際

に、表面プラズモンフィルタで 510 nm から 570 nm の励起光が吸収され、蛍光物質に届く光が減少したためと考えられる。



(a) 励起スペクトル



(b) 正規化した励起スペクトル

図3 励起スペクトルの比較

Fig.3. Comparison of excitation spectrum

5. おわりに

本研究では、表面プラズモン共鳴を用いてガラス基板上に塗布した蛍光物質の蛍光増強を試みた。実験結果においては、期待したように蛍光増強は得られなかった。励起スペクトルの比較からは、特定の波長での蛍光強度の変化が観測されず、表面プラズモン共鳴による蛍光増強の実現には至らなかった。その原因としては、金膜表面の状態や基板間の距離などが影響している可能性がある。

今後の展望としては、金膜表面の状態や基板間の距離の影響を詳細に検討し、蛍光増強のメカニズムを明らかにすることが期待される。

文献

- (1) 梶川浩太郎・高原淳一・岡本隆之・岡本晃一, "アクティブ・プラズモニクス", コロナ社, pp. 1-9, pp. 151-174 (2013)
- (2) T. Eko, A. Utsumi, "Evaluation of the Schottky photodiode with the surface plasmon filter," *Optical Review* Vol. 26, pp. 442-446 (2019)
- (3) 納谷昌之, "プラズモン共鳴を利用した高感度バイオセンサー", *応用物理* 第80巻 第9号, pp. 808-809 (2011)

超音波画像のデータ拡張に向けた 画像生成モデルの検証

小崎 創生*, 森 健太郎 (舞鶴高専)

Validation of image-generation model for data augmentation of ultrasound images
Kozaki Soh, Mori Kentaro (National Institute of Technology, Maizuru College)

1. はじめに

医師による超音波診断は使用コストの低さや人体の影響の少なさから診断において多く用いられるが、目視による確認では見落としや誤診等の問題が生じ得る。問題改善の方法として、画像診断を学習させた AI を医師の診断補助に用いる手法があるが、AI の学習には多くのデータが必要となる一方で、個人情報である医療データは多く確保することが難しい。そこで、既存のデータから新たなデータを作成するデータ拡張という手法が用いられる。特に、過学習による汎用性低下を回避するためにも Diffusion Model のような生成モデルを用いたデータ拡張が望ましい。しかし、超音波画像はノイズが多く、生成モデルを用いたデータ拡張が現状困難である。そのため、超音波画像を少ないデータから高精度に生成できる生成モデルの開発は重要な課題となっている。

本研究では、生成モデルによる超音波画像のデータ拡張手法の確立を目的とする。そこで、脳の MRI 画像生成への応用例もある画像生成モデル Latent Diffusion Model (LDM)⁽¹⁾⁽²⁾を用いた画像生成ソフトである Stable-Diffusion、少量のデータからモデルの追加学習を行うことが可能な LoRA⁽³⁾、ControlNet⁽⁴⁾を超音波画像のデータ拡張に用いる有用性について検証を行う。

2. 理論

2.1. Diffusion Model

Diffusion Model とは、画像生成モデルの一つである。モデルの学習では、図 1 に示すように、学習データに対しノイズを付与し続け、最終的に完全なランダムノイズになるまでの各ステップについて逆変換(ノイズ除去)を行えるようにパラメータを調整する。画像生成時は、乱数により生成されたランダムノイズに対して、学習したノイズ除去を繰り返すことでノイズのない画像、すなわち学習データに似た画像を生成する。また、学習データにラベルを付与したり、生成時に文章を使用できるようにしたりするなど画像以外のデータを使用することで、画像生成時のノイズ除去に方向性を持たせ特定の特徴を持つ画像を生成することが可能となる。

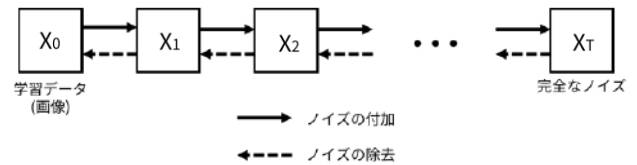


図 1 Diffusion Model の概要
Fig.1. Overview of Diffusion Model

2.2. LDM

LDM とは、Diffusion Model におけるノイズ除去を生成する画像よりも低次元で行うことで、高速な学習・画像生成を可能としたモデルである⁽²⁾。図 2 に LDM の構造を示す。LDM では、まず画像をより低次元の潜在空間に落とし込む Encoder と、潜在空間中の一点から元の画像の次元に復元する Decoder を用意する。次に、学習データを Encoder により潜在空間に落とし込み、潜在空間中でノイズ付与およびノイズ除去の学習を行う。画像生成時には、乱数を用いて潜在空間と同サイズのランダムノイズを生成し、学習したノイズ除去を繰り返していく。その後、ノイズ除去を行ったデータに対して Decoder を用いて元の画像の次元に復元することで、学習データに似た画像を生成する。

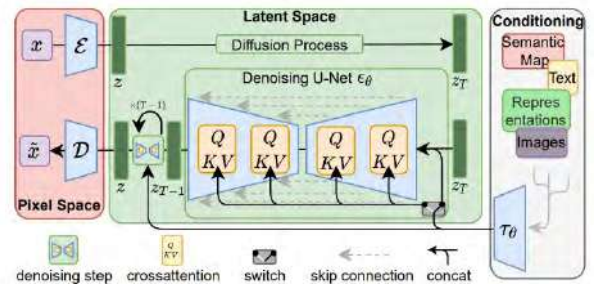


図 2 LDM の構造
Fig.2. Structure of Latent Diffusion Model

2.3. Stable-Diffusion

Stable-Diffusion は、Stability AI が開発する LDM を用いた画像生成モデルである。学習済みのモデルを選択し、生成したい画像の内容を文章(Prompt)として入力することで画像の生成を行える。また、拡張機能として配色を再現できる LoRA や構図を再現できる ControlNet 等を使用できる。

3. 実験

図3に本実験で使用する肝臓の超音波画像を例示する⁽⁶⁾。図3中の赤破線は肝臓の位置を示すために画像に追記したものである。本実験では、Stable-Diffusion、超音波画像を学習したLoRA、およびControlNetを超音波画像のデータ拡張に用いた際の効果を調査する。生成モデルで作成した画像で構成されたデータセットと画像処理によってデータ拡張を行ったデータセットを用意する。これらのデータセットに対して肝臓の位置のアノテーションを行い、YOLOv8x⁽⁶⁾の追加学習を行う。学習の完了後、各データセットで学習したモデルで超音波画像中の肝臓位置の検出を行い、検出結果のIoUを評価することで、生成モデルによるデータ拡張の影響を考える。図4に行う実験の概要を示す。図5にデータ拡張で作成した画像を例示する。

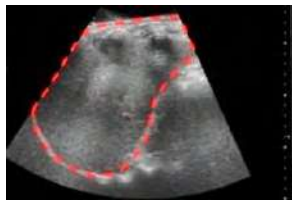


図3 肝臓超音波画像の例

Fig.3. Example of liver ultrasound image

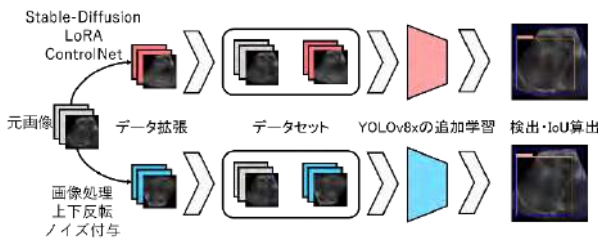
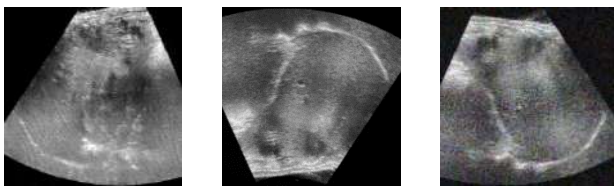


図4 評価実験の方法

Fig.4. Method of evaluation experiment



(a)AI生成 (b)上下反転 (c)ノイズ付与

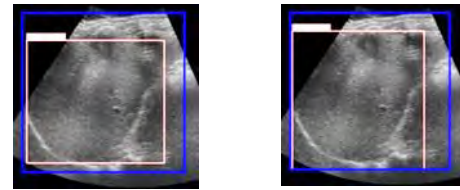
図5 使用するデータ拡張の例

Fig.5. Examples of data augmentations

4. 実験結果

YOLOv8xの学習後、試験データを用いて物体検出およびIoUの計算を行った結果、生成モデルによるデータ拡張を行った場合のIoUは平均0.593、画像処理によるデータ拡張を行った場合のIoUは平均0.698であった。図6に肝臓検出の一例を示す。青枠線は肝臓の位置、ピンクの枠線はYOLOv8xによる検出結果である。

このことから、本研究において作成した生成モデルを用いてデータ拡張を行うと肝臓の検出精度が低下することが分かった。



(a) 生成モデル使用 (b) 画像処理使用

図6 肝臓の物体検出結果

Fig.6. Results of liver detection

5. おわりに

本研究では、Stable-Diffusion、LoRA、ControlNetを用いて肝臓超音波画像の生成を行った。そのなかで、超音波画像の配色を再現できるLoRAの学習、およびControlNetを用いた超音波画像の構図再現が可能であることが分かった。しかし、肝臓を検出するAIの学習に生成した超音波画像を用いると、用いなかった場合と比較して精度が下がった。

この要因として、画像生成に使用したControlNetがCanny法により検出した輪郭画像(例を図7に示す)を使用していること、また、ControlNetに使用した超音波画像にノイズが多いことから肝臓の輪郭がうまく検出できず、生成した画像で肝臓がぼやけてしまったことが挙げられる。

今後は、他の画像生成モデルを用いた超音波画像のデータ拡張について検証し、データ拡張手法の確立を目指す。

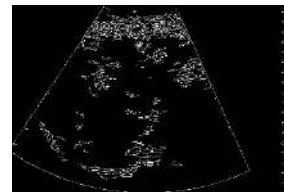


図7 検出した輪郭画像の例

Fig.7. Example of detected contour image

文 献

- (1)Walter H.L. Pinaya, et al., “Brain Imaging Generation with Latent Diffusion Models”, DGM4MICCAI2022 Deep Generative Models, Volume 1, pp.117-126.
- (2)Robin Rombach, et al., “High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models”, arXiv:2112.10752v2.
- (3)Edward J. Hu, et al., “LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models”, arXiv:2106.09685v2.
- (4)Lvmin Zhang, and Maneesh Agrawala, “Adding Conditional Control to Text-to-Image Diffusion Models”, arXiv:2302.05543v1
- (5)Kaggle, 2D Ultrasound Sequences Of The Liver, <https://www.kaggle.com/datasets/aryashah2k/2d-ultrasound-sequences-of-the-liver>, 参照日 2023年4月18日
- (6)GitHub, Ultralytics, <https://github.com/ultralytics/ultralytics>, 参照日 2024年1月19日

金属の粒界シミュレーションにおける NNP 生成トレーニングセット

村上 宗一郎*, 中西 寛 (明石高専)

Training datasets for generating NNP in metal grain boundary simulations
Murakami Soichiro, Nakanishi Hiroshi (NIT, Akashi College)

1. はじめに

計算機ナノマテリアルデザインは量子力学に基づいて要求される性質を持つ物質を設計したり、逆にその設計した物質の妥当性を評価したりといったことを計算機上で行う材料工学等の分野である。しかし巨視的な大きさの物質にまで量子力学を適用しようとする、電子数の多さに起因する計算量の問題が発生する。そこでその対策として、第一原理計算が容易な系のデータを学習させたニューラルネットワーク(NN)から仮想的な原子間ポテンシャルであるニューラルネットワークポテンシャル(NNP)を生成し、それを基に計算が困難な系のエネルギーや原子間に働く力等を予測する方法が提案されている。本研究では計算が困難な系として結晶粒界を選定し、それを再現する NNP 生成のために必要なデータセットの構成を試みた。

2. 粒界の概要⁽¹⁾

金属原子は結晶中において理想的には図 1(a)のように、面心立方構造や体心立方構造といった、その種類ごとに決まった構造をとりながら全ての方向に規則正しく並んでいる(単結晶)。しかし実際には金属中の原子が全て規則正しく並んでいるわけではなく、図 1(b)のように配列の向きが異なる領域(結晶粒と呼ばれる)が複数集まった構造をしている(多結晶)。粒界付近の原子は不規則な配置をとっているのに加え、粒界は結晶中の大きな領域を占めることも多いため、その解析では1節で述べた計算量の問題が顕在化する。

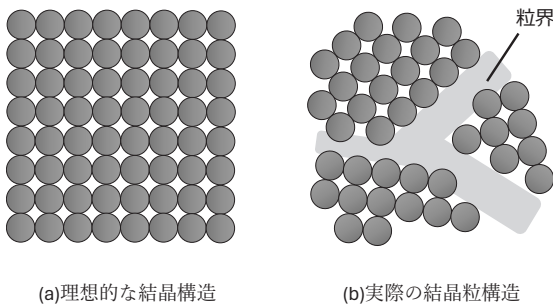


図 1 理想的な結晶構造と実際の結晶粒構造

Fig1 Atomic configurations in crystal structure (a)
and grain structure (b)

3. 検証手法

本研究では学習データとして fcc, bcc, hcp を基本構造とする様々な結晶を使用し、テストデータの粒界として hcp 構造の Ti における $\Sigma 7(0001)$ を用いた⁽²⁾。データセットの具体的な内容と、使用したアプリケーションを示す。

<3・1>学習データセット

第一原理計算で用意した学習データは次の通りである。

- ① 結晶構造
fcc, bcc, hcp 構造において結晶格子定数を数%内で変化した学習データ
- ② 表面構造
fcc および bcc (001), (110), (111)面、hcp (0001)面において格子定数を数%変化した学習データ
- ③ 歪構造
上記①②において一部または全ての原子を格子ベクトルの方向へ格子定数の数%内を目途に移動させた学習データ
- ④ 原子欠損構造
上記①②において原子を一部除いた学習データ
除く原子と数は無作為に選び、数の上限は原子数の 1/4 とした

以上を組み合わせ用意した学習データセットを表 1 に示す。

表 1 学習データセットの内容

Table 1 Contents of training datasets

データセット名	①	②	③	④
Ti_I	○			
Ti_II	○	○		
Ti_III	○		○	
Ti_IV	○			○
Ti_V	○	○	○	
Ti_VI	○		○	○
Ti_VII	○	○		○
Ti_VIII	○	○	○	○

<3・2>テストデータセット

粒界モデルは hcp を形成する原子の層をそれぞれ 8 層ずつ積み重ねた 2 つの結晶粒から構成されており、(0001)面において片方を 21.78° 回転させて接している(図 2)。

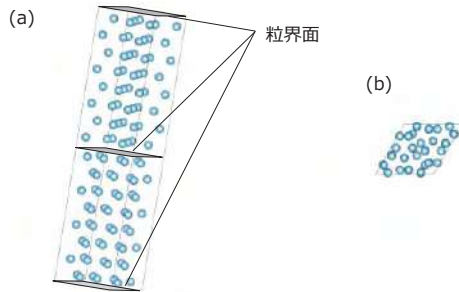


図 2 粒界モデルの側面図(a)と上面図(b)

Fig2 Grain boundary model, (a) side view and (b) top view

<3・3>使用したアプリケーション

学習データおよびテストデータ生成に第一原理計算コード VASP⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾を、NNP 生成に pacemaker⁽⁷⁾を使用した。

4. 検証結果

表 1 におけるデータセットのそれぞれに対して pacemaker を用いて NNP を生成した結果について、実行終了時における NN の誤差関数の大きさに加え、NN の出力値と真値間の二乗平均平方根誤差(RMSE)を力とエネルギーに分けて表 2 に示す。

表 2 誤差関数と RMSE

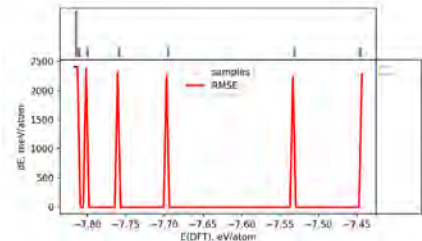
Table2 The values of error function and RMSE

学習データセット	誤差関数		RMSE	
	学習時	テスト時	エネルギー [eV]	力 [eV/Å]
Ti_I	1.38E-7	4.78	2.402	0.910
Ti_II	3.37E-3	4.17	2.339	0.295
Ti_III	2.60E-2	4.53	2.525	0.278
Ti_IV	4.10E-3	4.01	2.323	0.506
Ti_V	8.51E-1	4.31	2.416	0.498
Ti_VI	5.36E-2	4.36	2.466	0.344
Ti_VII	6.92E-3	3.93	2.356	0.212
Ti_VIII	4.26E-2	4.14	2.427	0.131

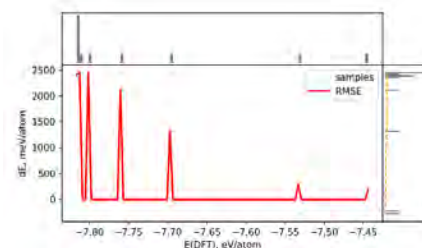
表 2 のテストデータにおける誤差関数の値を比較すると、①結晶構造のみのデータセットに対して、①以外を含んだデータセットの方がより正確に粒界の状態を再現できていることがわかる。さらに Ti_I と Ti_II~Ti_IV における RMSE を比較すると、②表面構造はエネルギーの、③歪構造は力の、④原子欠損構造はエネルギーと力両方の精度上昇に寄与しやすい傾向があると見ることができる。しかしこの傾向はその後のデータセットの追加においても常に成り立つわけではない。

また全体的に力の RMSE はその値に対して大きな振幅で変化しているのに対して、エネルギーの RMSE ではどのデータセットにおいても 2 [eV] よりも小さくできていない。

ここでエネルギーの RMSE が最も大きかった Ti_III と最も小さかった Ti_IV において、エネルギーの大きさと誤差の大きさの関係を示したグラフを図 3 に示す。これによると精度が高いデータセット Ti_IV では高エネルギー状態の誤差を小さくできているが、両者ともに低エネルギー状態の誤差は大きいままである。すなわち低エネルギー状態の再現が必要であることが分かる。



(a) Ti_III



(b) Ti_IV

図 3 エネルギーの分布

Fig 3 The distributions of energy and its error

5. 結論

結晶粒内の構造の描写では、②表面構造もしくは④原子欠損構造が学習データとして必須であり、特に④の方が効果的であることが分かった。これらに比べ、③歪構造が精度向上に果たす役割は低い。ただいづれにしても実用的な精度には程遠いため、更なるデータセットの構築が必要である。

文献

(1) “結晶粒界とは”, 東北大学工学部材料科学工学科, <https://www.material.tohoku.ac.jp/dept/applicants/lecture/lecture04.html>, 閲覧日: 2024/02/15

(2) Hui Zheng et al. Acta Materialia, 2020, pp40

(3) G. Kresse, J. Furthmuller, Phys Rev B 54 (1996) 11169.

(4) G. Kresse, J. Furthmuller, Comput Mater 6 (1996) 15.

(5) G. Kresse, J. Hafner, Phys Rev B 47(1993) 558.

(6) G. Kresse, J. Hafner, Phys Rev B 49 (1994) 14251.

(7) pacemaker 公式サイト, <https://pacemaker.readthedocs.io/en/latest/>, 閲覧日: 2024/01/28

帯域除去フィルタによる三相電流形 PFC 整流器の 過渡振動抑制法

小林 樹生^{*}, 茂木 進一 (神戸市立工業高等専門学校)

A Suppression Method of Transient Oscillation in Three-Phase Current-Fed PFC Rectifier using Band Reject Filter

Itsuki KOBAYASHI^{*}, Shin-ichi MOTEGI (Kobe City College of Technology)

1. まえがき

交流-直流電力変換器は電圧形変換器を用いたものと電流形変換器を用いたものに大別され⁽¹⁾⁽²⁾, 従来から電圧形が広く採用されている. これに対して電流形には, 直流電圧/交流電圧に下限が無い, 始動時の突入電流をソフトウェアで抑制できる, 交流側に大きなインダクタが不要(ただし, 高調波フィルタ用のインダクタは必要), などの電圧形にはないメリットがあるものの, スイッチングデバイスに逆阻止能力が必要, 直流インダクタの重量やサイズが大きい, 電圧形変換器に比べてパルスパターン生成方法が複雑, 電源電流に過渡振動が発生しやすい, といったデメリットばかりが目立っており敬遠されがちである. このうち, 電源電流の過渡振動の抑制手法については, 電源電流の振幅指令値の変化率を抑える方法⁽³⁾, 電源電流の瞬時値指令値から過渡振動の原因を除去する方法⁽⁴⁾, 高調波フィルタのキャパシタにRLCで構成されるダンパ回路を接続する方法⁽⁵⁾, などが提案されている. そこで本稿では, 三相電流形PFC 整流器に文献(4)で提案されている方法を適用する場合について報告する.

2. 主回路構成

Fig.1に本研究で検討の対象とする三相電流形PFC 整流器を示す. 同整流器は6個の逆阻止スイッチで構成される三相電流形ブリッジ(A_P, B_P, \dots, C_N)の交流側に赤破線内に示す高調波フィルタ(L_F, C_F, R_C)を接続している. ここで, 高調波フィルタは, $L_F=0.3166\text{mH}$, $C_F=20\mu\text{F}$ (共振周波数2.0kHz), 定常振動を抑制するダンピング抵抗 $R_C=0.1\Omega$ とする. なお, 抵抗 r_L はインダクタの内部抵抗であり $r_L=10\text{m}\Omega$, 直流インダクタ $L_D=10\text{mH}$, 負荷抵抗 $R_O=5\Omega$ としている.

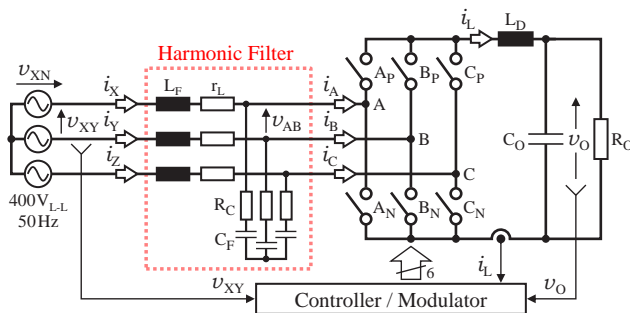


Fig. 1. A three-phase current-fed PFC rectifier.

3. 過渡振動発生メカニズムと抑制原理

Fig.2に高調波フィルタと本研究で適用する帯域除去フィルタの周波数特性を示す. 以下では, 高調波フィルタで過渡振動が発生するメカニズムと, 同過渡振動を抑制するメカニズムを概説する.

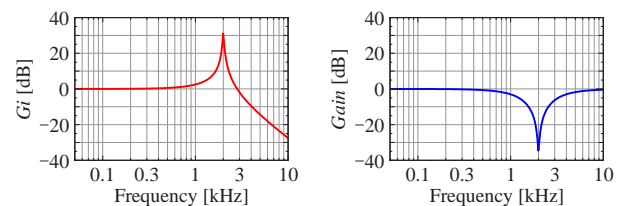
〈3・1〉 過渡振動の発生メカニズム Fig.1に示す高調波フィルタ(L_F, C_F, R_C)の電流増幅度 G_i の周波数特性をFig.2(a)に示す. ここで, 電流増幅度 G_i は,

$$G_i = 20 \log(I_X / I_A) \quad \dots \dots \dots (1)$$

で計算している. なお, 以下の議論では高調波フィルタの入出力電流を, 同フィルタを基準として, 整流器側電流 i_A を入力電流, 電源側電流 i_X を出力電流とする.

Fig.2(a)に示すように, 高調波フィルタの電流増幅度 G_i は, 同フィルタの共振周波数(2.0kHz)で大きくなっている. ここで, 電源電流の振幅指令値がステップ状に変化する場合, 整流器側電流には広い周波数範囲の高調波が含まれる. この電流が高調波フィルタへ入力されることで一部の高調波が増幅され, 大きな振動電流が電源側へ流れる. これが, 高調波フィルタによって生ずる過渡振動の発生メカニズムである.

〈3・2〉 過渡振動の抑制メカニズム 前節で議論したとおり, 電源電流の過渡振動発生の原因は, 高調波フィルタの共振周波数付近の高ゲインにある. 従って, 電源電流の瞬時値指令値から共振周波数付近の成分を除去できれば, 電源電流の過渡振動を抑制できる. そこで本研究では, この機能を帯域除去フィルタ(Band Reject Filter: BRF)により実現する⁽⁴⁾. 具体的には, Fig.2(b)に示すような周波数特性を持つBRFをコントローラ内に設け, 電源電流の瞬時値指令値に含まれる過渡振動を誘発する周波数成分を除去する. なお, 紙面の都合上, BRFの設計方法は省略するが, 稿を改めて報告する予定である.



(a) Harmonic filter (b) Band reject filter (BRF)

Fig. 2. A frequency characteristics.

4. シミュレーション結果

第3章で紹介した過渡振動抑制法を Fig.1 に示す三相電流形 PFC 整流器(主回路定数などは Table 1) に適用した計算機シミュレーション結果を Fig.3, Fig.4 に示す. ここで, Fig.3 が過渡振動抑制法を適用しない場合, Fig.4 が適用した場合である. また, 各 Fig.では

- (a), (e) : 交流電源の相電圧 v_{XN}, v_{YN}, v_{ZN}
- (b), (f) : 電源電流の指令値 i_X^*, i_Y^*, i_Z^*
- (c), (g) : 高調波フィルタの整流器側電圧 v_{AB}, v_{BC}, v_{CA}
- (d), (h) : 電源電流 i_X, i_Y, i_Z

とし, 電源電流の振幅指令値を位相 60[deg](▼) で急変させている. なお, 各スイッチ (A_p, B_p, \dots, C_N) のドライブ信号は, 仮想 Δ 結線電流源による三相 PWM 法を採用して生成(詳細については文献(6)(7)などを参照されたい)し, 帯域除去フィルタ BRF の中心周波数は 2.0kHz (=高調波フィルタの共振周波数), バンド幅は 3.0kHz としている. また, 回路シミュレータには PLECS ver. 4.6⁽⁸⁾ を使用している.

まず, 過渡振動抑制を適用しない場合は, Fig.3(c)(g) に示すように線間電圧に 80V 程度の過電圧が発生している. また, Fig.3(d) に示すように電源電流に 10A 程度の過電流も発生しており, 過渡振動の収束に 20ms 程度の時間を要している. これは第3章でも述べたとおり, 電源電流の瞬時値指令値に含まれる 2kHz 付近の高調波成分が高調波フィルタによって増幅されるためである.

Table 1. Simulation conditions.

AC-Source Voltage	400 V _{RMS} , 50 Hz	
Harmonic Filter	$L_F(r_L)$	0.3166 mH (10 m Ω)
	C_F	20 μ F
	R_C	0.1 Ω
DC-Inductor	10 mH	
DC-Capacitor	3,300 μ F	
Load	5 Ω	
Carrier Frequency f_{CAR}	12 kHz	
Simulator	PLECS ver. 4.6	

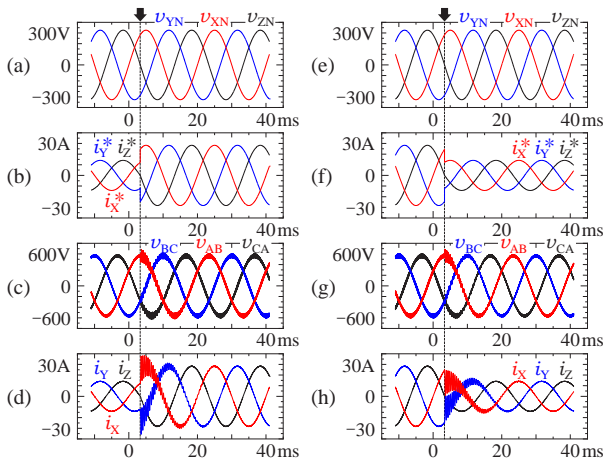


Fig. 3. Simulation waveforms without proposed suppression method ((a)(e) source voltages v_{XN}, v_{YN}, v_{ZN} , (b)(f) source current references i_X^*, i_Y^*, i_Z^* , (c)(g) filter voltages v_{AB}, v_{BC}, v_{CA} , (d)(h) source currents i_X, i_Y, i_Z).

一方, 過渡振動抑制を適用する場合は, Fig.4(c)(g) に示す線間電圧に過電圧が殆ど発生していない. また, Fig.4(d)(h) に示すように電源電流に目立った過渡振動が発生せず 5ms 程度で収束している. なお, 紙面の都合で詳細は割愛するが, 帯域除去フィルタ BRF の追加による定常時における総合効率や総合ひずみ率の悪化は見られない.

5. あとがき

三相電流形 PFC 整流器の高調波フィルタによって引き起こされる過渡振動の抑制法として帯域除去フィルタ (BRF) を用いた方法を紹介し, 一連の計算機シミュレーションの結果からその有効性を検証した. 本手法は, コントローラ内に BRF を追加する非常に簡単な方法であるが, 交流側電圧の過電圧や電源電流の過渡振動を顕著に抑制できる. 今後は BRF の最適値の検討や実機での検証, 三相アクティブパワーフィルタ⁽⁹⁾への適用を実施する予定である.

文 献

- (1) 高効率コンバータの回路方式共同研究委員会:「高効率コンバータ ー回路・制御方式と適用状況の現状と動向ー」, 電気学会技術報告, No. 785, pp. 16-21, 2000
- (2) 佐藤之彦:「技術解説 電流形インバータ」, パワーエレクトロニクスダイジェスト, Vol. 17, pp. 22-23, 2007
- (3) 外山浩司・竹下隆晴・松井信行:「電流形三相 PWM コンバータのオープンループによる入力フィルタ電圧・電流の過渡振動抑制」, 電気学会論文誌 D, Vol. 117, No. 8, pp. 1033-1038, 1997
- (4) 茂木進一・前田明志:「単相降圧形高効率整流器の過渡振動抑制法」, パワーエレクトロニクス研究会論文誌, JSPE-26-10, Vol. 26, No. 1, pp. 71-76, 2000
- (5) 若桑幸尋・茂木進一・吉田俊哉・宮下 収:「単相降圧形整流器における過渡振動の低減法」, 電気学会論文誌 D, Vol. 124, No. 5, pp. 521-522, 2004
- (6) 茂木進一・西田保幸・柁川重男:「三相電圧変換器と三相電流変換器における各種 PWM 法のスイッチング損失に関する一考察」, 電気学会研究会資料, SPC-12-081/MD-12-019, pp. 13-21, 2012
- (7) 茂木進一・西田保幸:「三相電流形高効率整流器における各種 PWM 法の紹介と比較」, 第 63 回自動制御連合講演会, 1H1-3, pp. 150-153, 2020
- (8) <https://www.plexim.com/ja/products/plecs>
- (9) 茂木進一・井上雅文・富田英雄:「補償電流波形を改善した単相電流形アクティブパワーフィルタ」, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J95-B, No. 7, pp. 784-790, 2012

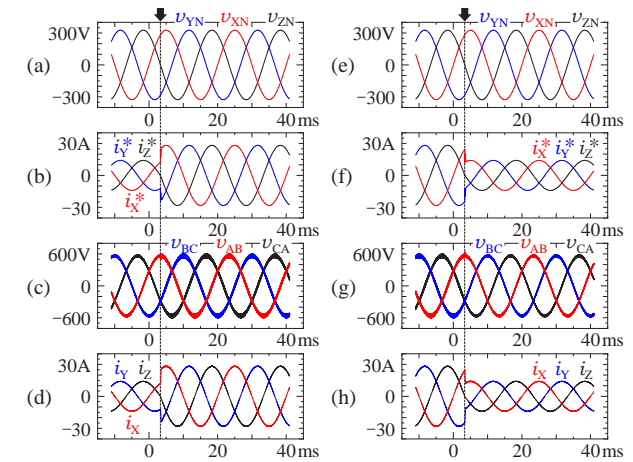


Fig. 4. Simulation waveforms with proposed suppression method ((a)(e) source voltages v_{XN}, v_{YN}, v_{ZN} , (b)(f) source current references i_X^*, i_Y^*, i_Z^* , (c)(g) filter voltages v_{AB}, v_{BC}, v_{CA} , (d)(h) source currents i_X, i_Y, i_Z).

非接触給電におけるエネルギー伝送解析

バトエルデネ シジルバト*, 石飛 学 (奈良高専)

Energy Flow Analysis of Wireless Power Transfer

Shijirbat Baterdene, Manabu Ishitobi (National Institute of Technology, Nara College)

1. はじめに

祖国モンゴルにおいて、鉄道は長距離の都市間を繋ぐ移動手段である。また、冬に -40°C を下回ることが多いため二輪車やEVとの相性が悪く、ハイブリッド自動車が移動手段の大半を占めている。これに加えて、首都ウランバートルでは国内人口の5割以上が居住しており、人口密度の上昇が止まらないため、自動車の大渋滞と大気汚染が大きな問題となっている。モンゴル技術大学の調査によれば、自動車の排ガスが大気汚染の二割を占めており、ガソリン車の削減と渋滞の緩和が緊急に求められている。

特に冬は寒さと大渋滞が重なるため、エアコンを全開稼働させたアイドリング状態の自動車が町を埋め尽くすような状況にある。鉄道インフラの整備や人口集中の緩和は容易でないが、すでにハイブリッド自動車が普及していることを考えると、ハイブリッド自動車への渋滞中非接触給電が効果的であると考えられる。非接触給電レーンを高速道路に設ける試みは各国でなされているが、ウランバートルの場合、自動車が停止もしくは低速移動している状況で給電できるため、特に相性がいいと予想される。一方で、街中に非接触給電の設備を実装する場合、伝送部に金属等が落ちていることも想定される。したがって、安全な給電を実現するには、あまり議論されていない伝送空間中の諸現象に目を向ける必要がある。

そこで本研究では、異物の混入について検討する前に、伝送空間におけるエネルギーの流れを明らかにする必要があると考え、独自の解析手法を用いて解析を試みている。

2. エネルギー伝送解析の方法

<2・1>磁場結合型非接触給電システム 図1に磁場結合型非接触給電システム(直列共振方式)の構成を示す。ここで、 L_1, L_2 は送受電コイルの自己インダクタンス、 r_1, r_2 は送受電コイルの巻線抵抗、 C_1, C_2 は共振キャパシタ、 R_0 は負荷抵抗である。システム前段には高周波インバータが、後段の端子 gh 以降には整流負荷が接続されており、最終段のDC-DCコンバータによって端子 gh 以降の抵抗値が非接触給電に適した値となるように制御されている。このシステムによって、非接触伝送部が粗結合であっても、高効率な電力伝送が可能となる。

<2・2>解析用等価回路 図1のシステムは図2の等価回路に変換できる。また、非接触伝送部(端子 cd-ef 間の二

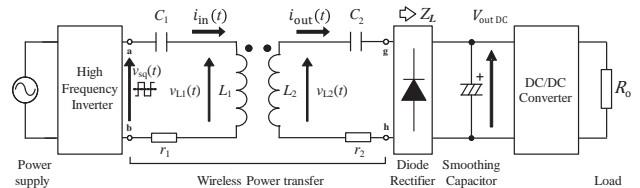


図1 磁場結合型非接触給電システム(直列共振方式)
Fig1. Inductive power transfer system

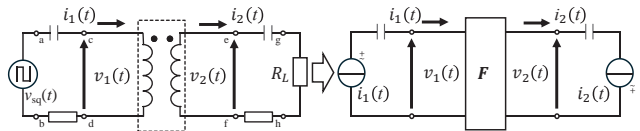


図2 解析用等価回路
Fig2. Equivalent circuit for analysis

端子対網)における入出力特性は式2.1で表現できる。

$$\begin{bmatrix} v_2(t) \\ i_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1(t) \\ i_1(t) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.1)$$

式2.1より、 $v_1(t), v_2(t), i_1(t), i_2(t)$ の4変数のうち2つが定まると残りの2変数が求まる。したがって、図2のように $i_1(t)$ と $i_2(t)$ を与えると4変数が決まり、システム全体の動作が解析可能となる。ここで、与える変数として電流を選択したのは、図2右の回路においてキャパシタを考慮する必要がなくなり、共振現象に左右されない、よりシンプルな解析が可能になると考えたためである。

<2・3>分割ポインティングベクトル

式2.2のように、電場 E は静電ポテンシャル V に依存する E_V とベクトルポテンシャル A に依存する E_A で表すことができる。

$$E = E_V + E_A = -\text{grad}V - \frac{\partial A}{\partial t} \dots\dots\dots (2.2)$$

式2.2とポインティングの定理から式2.3が得られる。

$$\text{div}S = \text{div}\left(E \times \frac{B}{\mu_0}\right) = \text{div}\left(E_V \times \frac{B}{\mu_0}\right) + \text{div}\left(E_A \times \frac{B}{\mu_0}\right) \dots (2.3)$$

また、式2.3の右辺第1項を $\text{div}S_V$ 、第2項を $\text{div}S_A$ とすると、式2.4、式2.5のように変形できる。

$$\text{div}S_V = \text{div}\left(E_V \times \frac{B}{\mu_0}\right) = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{2}\epsilon_0|E_V|^2\right) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{div}S_A = \text{div}\left(E_A \times \frac{B}{\mu_0}\right) = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{2}\frac{|B|^2}{\mu_0}\right) - \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{2}\epsilon_0|E_A|^2\right) (2.5)$$

以上より、電場を E_V と E_A に分けて解析することで、保存場に依存するエネルギー流 S_V と非保存場に依存するエネルギー流 S_A に分けて、エネルギーの流れが観測可能となる。

3. エネルギー伝送解析

<3・1>特徴的な電磁場の状態 図3に送受電コイル対の解析モデルを示す。非接触伝送部の電磁場分布は、コイルを流れる電流に依存するため $i_1(t)$ と $i_2(t)$ の位相差 θ 、振幅および各電流の周波数を変化させることで、全状態を再現可能である。ここで、入出力電流 $i_1(t)$ 、 $i_2(t)$ を周波数 10kHz、振幅 10A の余弦波とし、それぞれの位相差を変化させ有限要素解析 (COMSOL 社製 COMSOL を使用) を行っている。

時間 $t = 0, T/4, T/2$ [s] における B 、 E_A 、 E_V の分布を図4に示す。ただし、受電側コイルの電位が浮遊容量を介して決まるものであるため、 E_V のコイル軸方向の成分は周囲の環境で大きく変化することに注意が必要である。図4(a)に示した位相差 0° の場合、どの時刻においても磁束 B は送受電コイル間を垂直に貫き、電気壁を形成している。このとき E_A はコイル間を円周方向に回転している。一方で図4(b)に示した位相差 180° の場合、どの時刻においても磁束 B は半径方向を向き、電気壁を形成している。このとき、両コイルによる E_A は完全に打ち消し合っている。コイル間の E_V については、前述の理由から一般的な傾向を示すことが困難である。位相差が $0^\circ \sim 180^\circ$ の場合は図4(a)と(b)の間の状態を示す。さらに位相差が $180 \sim 360^\circ$ 、 $t = T/2 \sim T$ [s] の送受電が入れ替わっただけの動作となることを確認している。

<3・2>エネルギー流解析 図5に電磁場分布から導出されるエネルギー流の様子を示す。位相差 0° の場合、 S_V 、 S_A とともにコイルの半径方向を示すベクトルとなり、半周期で向きが逆転する。つまり、送電側と受電側で独立したエネルギーの循環が起こり、電力伝送には行われぬ。位相差 180° の場合、 S_V はコイルの軸方向を示すベクトルとなり、半周期で向きが逆転する。一方で S_A はほとんど存在しない。したがって、この場合もエネルギー流は送電側と受電側で独立したエネルギーの循環が起こり、電力は伝送されない。位相差が $0^\circ \sim 180^\circ$ の場合、 S_V および S_A にコイルの半径方向と軸方向の成分が現れ、エネルギー流の循環が崩れることで電力は伝送される。なお、 $0^\circ \sim 180^\circ$ の中間である 90° のとき、エネルギー流の循環が最も崩れ、電力伝送に適した状態となる。

4. まとめ

本研究では、これまで扱われてきた非接触給電の解析モデルを再考し、共振現象に左右されないシンプルなモデルを提案した。また、ポインティングベクトルを分割して伝送空間中のエネルギー流を解析し、以下のことが明らかとなった。従来の報告にある磁気壁、電気壁が現れる伝送モードでは、送電側、受電側ともに独立してエネルギーが循環して

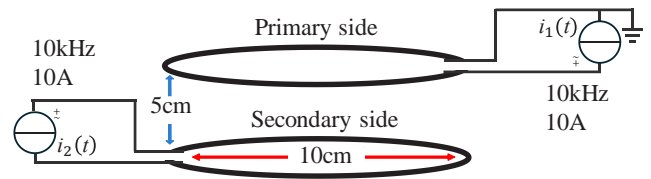


図3 送受電コイル対の解析モデル
Fig3. Analysis model of power transmitting, receiving coil pair

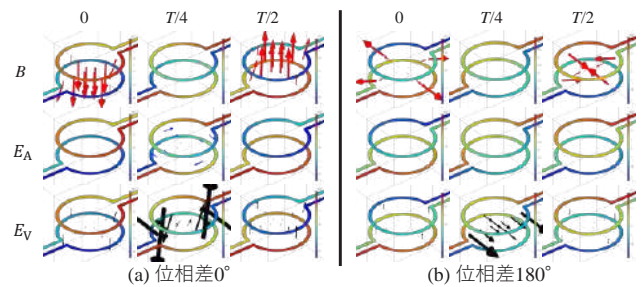


図4 伝送空間中の電磁場分布
Fig4. Electromagnetic field distribution in transmission space

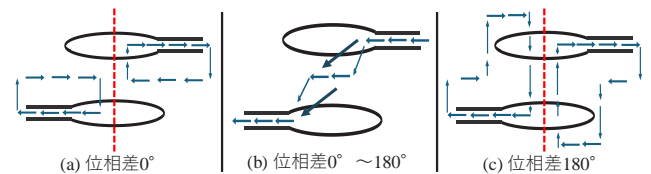


図5 伝送空間中のエネルギー流
Fig5. Energy flow in transmission space

いた。また、エネルギーの循環が崩れることで、受電側へ向かうエネルギー流が発生し、電力伝送できることがわかった。この研究が進み、いずれ祖国に貢献できることを期待している。

文献

- (1) 増田樹：「非接触給電における電磁場とポインティングベクトル」, 令和4年度度奈良工業高等専門学校 専攻科特別研究論文, pp.1-38, (2023)
- (2) 居村岳広：「走行中ワイヤレス給電とスマートグリッドの融合による未来ビジョン」, 2019年電気学会産業応用部門大会, 4-S9-5, (2019)
- (3) I. Awai, "New Expressions for Coupling Coefficient between Resonators," IEICE Transaction on Electronics, Vol. E88-C, No. 12, pp.2295-2301, (2005)
- (4) 井上季樹, 石飛学：「磁束が見える等価回路を用いた磁場共振型非接触給電の伝送解析」, 電学研資, マグネティクス研究会, MAG-15-12, pp.7-12, (2015)
- (5) 居村岳広：「共振を用いた磁界結合回路における電力伝送と磁束の関係」, 電学論D, Vol.136, No.10, pp.811-818 (2016)
- (6) 清水修, 永井栄寿, 藤田稔之, 藤本博志, 角谷勇人, 高橋英介, 山口宜久, 谷恵亮, 佐藤正憲：「コイルをアスファルト内に埋設した磁界共振結合型走行中給電回路での電力伝送評価」, 自動車技術会論文集, Vol.52, No.5, pp.1095-1100, (2021)

マイクロ波加熱用スイッチング電源システムの実現

一ノ宮 遼*, 石飛 学 (奈良高専)

Building of Switching Power Supply System for Microwave Heating
Ichinomiya Ryo, Ishitobi Manabu (National Institute of Technology, Nara College)

1. はじめに

2019年5月, アメリカ合衆国は有人の月面基地を建設する「アルテミス計画」を発表した⁽¹⁾。月面基地建設にあたり, 全ての建設資材を地球から輸送すると, 輸送コストとエネルギー消費が莫大になる。そのため, 月面に豊富に存在する砂「レゴリス」をマイクロ波で焼結して建材にする技術⁽²⁾⁻⁽⁶⁾が注目されている。一般的にパワーマイクロ波はマグネトロンで発生させるが, フィラメントの熱電子放出を利用するため寿命が短く, また入力電力の30%以上が熱になるため, 対流放熱できない宇宙空間において不向きである。近年, 高速スイッチング可能なワイドバンドギャップ半導体が登場し, 上記課題を解決できる技術として期待されている⁽⁶⁾。しかしながら, 集中定数領域で進化してきたスイッチング電源を波長の影響が見える領域で動作させるのは難しく, 未だ技術が確立されていない。

そこで本研究室では, 線路長と反射を考慮の上, 損失の抑制が可能なスイッチング電源システムの構成について検討を行ってきた。しかし, 低周波モデルを用いた評価しかできていなかったため, 本研究では実際に2.45GHzで動作するシステムを構築し, 提案システムの評価を試みている。

2. パワーマイクロ波発生システム

<2・1>パワーマイクロ波発生システムの構成 先行研究で提案されたパワーマイクロ波発生システム⁽⁷⁾の概略を図1に示す。図1のシステムは直流電源, 高周波インバータ, バンドパスフィルタ(BPF), インピーダンス変換回路, 伝送線路, 整合回路および負荷で構成されている。ここで, 負荷前段の整合回路は, 反射波による伝送線路上の損失を抑制するために設けており, この損失が整合回路の損失と比べて小さい場合必要ない。また, インピーダンス変換回路は高周波インバータを最適動作させるために設けており, BPFは, 伝送線路で損失となる直流電流と整合回路などで損失となる高調波を遮断するため挿入している。

<2・2>評価用試作システムの構成 構築した試作システムの構成を図2に, 外観を図3に示す。ここで, 図1のシステムにおける整合回路と負荷を, 50Ωの同軸負荷で模擬している。また, 負荷に供給される進行波電力は, パワーラインの同軸ケーブルに方向性結合器を挿入し, アッテ

ネータを介してスペクトラムアナライザで測定している。なお, スwitching動作が行えているのか負荷部のスペクトルを確認するため, 今回はインピーダンス変換回路を取り除いて実験を行っている。

高周波インバータ部分の詳細を図4に, 製作した回路の外観を図5に示す。駆動信号はシグナルジェネレータ(SG)を使って発生させ, プリアンプで増幅⁽⁸⁾⁽⁹⁾の上, 整合回路を介してGaN-HEMTのゲート-ソース間に入力する。ここで, プリアンプを挿入しているのは, GaN-HEMTの飽和電圧領域を使ってスイッチング動作させるためで, 整合回路を挿入しているのは, 過大な反射波をプリアンプに返して壊さ

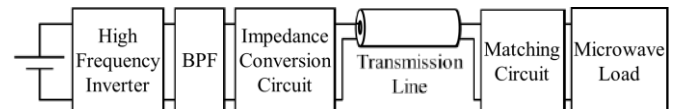


図1 パワーマイクロ波発生システム⁽⁷⁾
Fig.1. Power microwave generation system

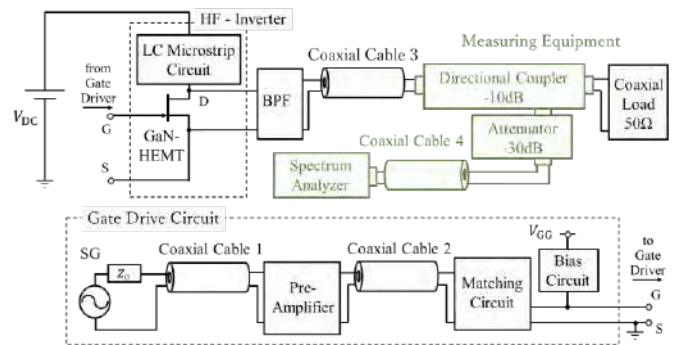


図2 評価用試作システムの構成
Fig.2. Microwave generation system with measuring instrument

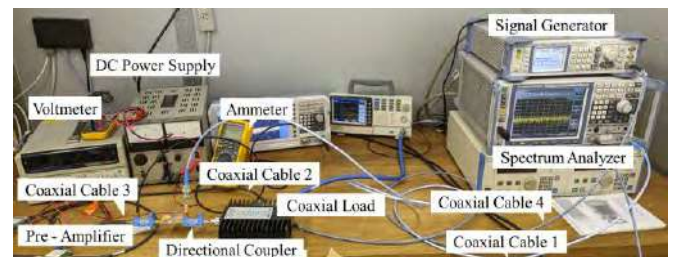


図3 システム評価用実験系の外観
Fig.3. Appearance of microwave generator

ないためである。

ベクトルネットワークアナライザ (Keysight 社製, P9370A) を用いて測定した試作整合回路の反射特性を図 6 に示す。図 6 より, インバータ駆動周波数 2.45GHz における反射ゲインは-6.75dB であり, 反射電力が抑制されていることがわかる。

3. 試作システムの評価

試作システムにおける出力電力スペクトルを図 7 に示す。ここで, V_{GG} を -2.6V, V_{DC} を 5V とし, SG から 0dBmW (1mW) の信号電力を供給している。図 7 より, 入力信号の基本波スペクトルに加えて, 2 次高調波である 4.90GHz のスペクトルが確認できる。これは小電力であるが, 提案システム構成によってマイクロ波出力が得られたことを示しており, また GaN-HEMT が飽和電圧領域を使ったスイッチングに成功したことを裏付けている。

5. まとめ

本研究では, 先行研究で提案されたマイクロ波加熱用スイッチング電源システムをもとに, 実際に 2.45GHz で動作するシステムを構築した。試作実験の結果, GaN-HEMT を 2.45GHz でスイッチングさせることに成功し, 小電力ではあるものの, 先に提案していたシステム構成でマイクロ波を発生させることができた。レゴリスの加熱には kW 級のマイクロ波電力が必要であるため, 今後, 出力を増加させる方法について検討を進める予定である。

文 献

- (1) National Aeronautics and Space Administration: "NASA's Lunar Exploration Program Overview" p.15 (2020)
- (2) 齊藤亮介, 鶴山尚大: 「宇宙とコンクリート～月面基地建設～」, コンクリート工学, Vol.54, No.9, pp.971-975 (2016).
- (3) 金森洋史, 篠田佳彦: 「月資源からの建設資材の製造に関する基礎検討」, 第 34 回宇宙エネルギーシンポジウム (2015)
- (4) 金森洋史: 「月面開発と建設機械」, 「建設の施工企画」, No.670, pp.12-17 (2005)
- (5) 田島孝敏, 森拓雄, 笠井泰彰, 小熊直樹, 甚野智子, 石川洋二: 「惑星基地建設材料の製造に関する基礎的研究」, 大林組技術研究所報, No.81, pp.1-8 (2017)
- (6) 篠原真毅: 「マイクロ波によるワイヤレス給電システム設計」, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.21, No.5, pp.416-419 (2018)
- (7) 井上水輝, 一ノ宮遼, 石飛学: 「パワーマイクロ波発生用ソリッドステート型電源システムの構成」, 電気学会産業応用部門大会 Young engineer Poster Competition, pp.Y-19, (2023)
- (8) E. McCune, "Fundamentals of Switching RF Power Amplifiers", in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.25, No.12, pp.838-840 (2015)
- (9) Steve C. Cripps: 「ワイヤレス通信用 RF 電力増幅器の設計」, CQ 出版社, pp.127-132 (2012)

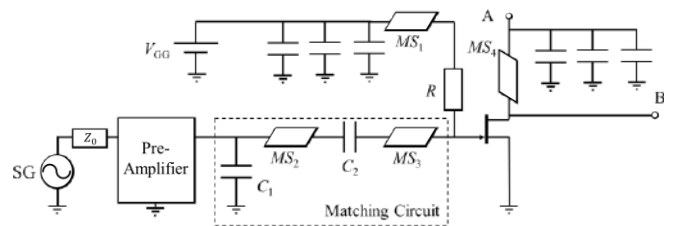


図 4 高周波インバータの構成
Fig.4. Circuit configuration of High Frequency Inverter

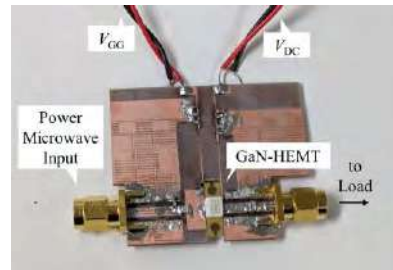


図 5 高周波インバータの外観
Fig.5. High Frequency Inverter

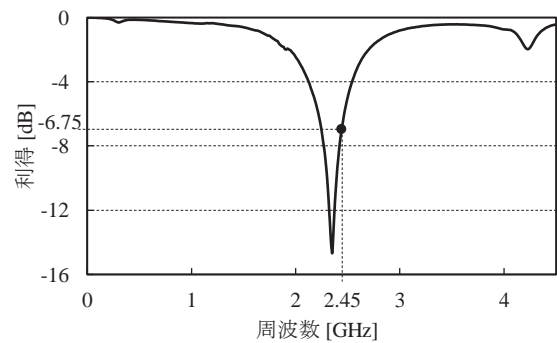


図 6 高周波インバータ回路入力側の反射特性
Fig.6. Input reflection characteristic of GaN-HEMT

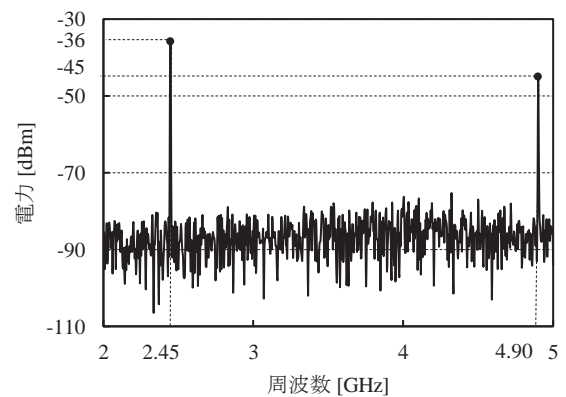


図 7 負荷端における出力電力スペクトル
Fig.7. Output power spectrum of microwave generator

KOSEN-2R 衛星の海洋観測データ伝送実験のための電力割り当て計画と電源系監視ソフトウェアの開発

加藤 涼那*, 徳光 政弘 (米子高専), 西尾 正則 (愛知工科大), 今井 一雅 (高知高専)

Power Allocation Planning and Power System Monitoring Software Development for Seafloor Geodetic Observation Data Transmission Experiment of KOSEN-2R Satellite Mission

Suzuna Kato, Masahiro Tokumitsu (NIT (KOSEN), Yonago College), Masanori Nishio (Aichi University of Technology), Kazumasa Imai (NIT (KOSEN), Kochi College)

1. はじめに

KOSEN-2R⁽¹⁾は、JAXA・革新的衛星技術実証 4 号機⁽²⁾に搭載される実証テーマの一つとして、2025 年度に打ち上げが計画されている超小型衛星である。図 1 は KOSEN-2R の軌道上の想像図で、衛星の質量は約 3kg、大きさは 10cm×10cm×20cm の 2U キューブサットである。

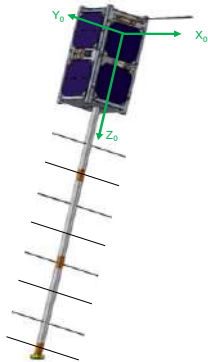


図 1 KOSEN-2R の軌道上想像図

KOSEN-2R の軌道投入後の運用に向けて、人工衛星の電力収支を考慮する必要がある。衛星の発電電力と消費電力の電力収支の見積もりは重要である。太陽光発電での発生電力と搭載機器の消費電力のバランスが崩れれば、ミッションの運用ができなくなる。そのため、それぞれの機器の消費電力と運用時間より電力量を計算し電力収支を見積もる。また、電池残量に応じた動作を行う電源系監視ソフトウェアを開発して、衛星の電源周りの模擬回路で使い実験し電源を制御することで、電力量不足を原因にした衛星の機能停止をなくすことを実証する。本研究では、発生電力量と消費電力量のバランスを見積もり検証し、KOSEN-2R1 の電源監視ソフトウェアの開発を目的とする。

2. 電力収支の見積もりの概要

KOSEN-2R1に取り付けられた太陽電池の発電電力、発電効率、太陽光に対する投影面積の平均などから、1 周回あたりの発生電力の最大、最小、平均を求めた。KOSEN-2R

表 1 KOSEN-2R の発生電力・電力量

Table 1. Power generation and the amount of electricity generated by KOSEN-2R

最大発生電力 [W]	6.43
最小発生電力 [W]	2.30
平均発生電力 [W]	3.90
1 日あたりの発生電力量(平均) [Ws]	1.6×10^6
周回あたりの発生電力量(平均) [Ws]	1.1×10^5

表 2 1 日あたりの電力量バランス

Table 2. Daily power balance of KOSEN-2R

消費電力量 [Ws]	1.3×10^5
発生電力量 [Ws]	1.6×10^5
電力マージン [Ws]	2.4×10^4

表 3 1 周回あたりの電力量バランス

Table 3. Power balance per orbit of KOSEN-2R

消費電力量 [Ws]	1.3×10^5
発生電力量 [Ws]	1.6×10^5
電力マージン [Ws]	-123

の太陽電池パネルは 1 セルを単位として、 $\pm X$ 面・ $\pm Y$ 面に 14 枚、 $\pm Z$ 面に 2 枚、合計で 20 枚を搭載する。実際の発電は、太陽方向の面に向いている太陽電池セルが発電に使われる。これらの値や電圧変換回路効率、日照率などの値から 11 日あたりの発生電力量と 11 周回あたりの発生電力量を表 1 に示す。

次に、電力量バランスが保たれているかについて、表 1 の発生電力量と搭載機器の消費電力を用いて、表計算ソフトウェアに整理して評価した。11 日の発生・消費の電力量バランスを調べた結果、表 21 に示すとおり発生電力量が消費電力量より大きく、電力量バランスが保たれていることがわかった。

KOSEN-2R にはコンピュータ、姿勢制御、ミッション機器等のさまざまな機器をと際している。搭載機器で消費電力が支配的に多いのは、無線機、オンボード・コンピュータ (OBC)、磁気トルカ・リアクション・ホイール (RW)

である。その中で無線機、OBC1は常時稼働させる必要がある。姿勢制御機器である磁気トルカ・RW1の運用計画を電力量に注意して表計算ソフトウェアでまとめて整理して評価した。その結果、磁気トルカの X1軸、Y1軸、Z1軸をそれぞれ 201分ずつ動作させる運用計画とすると、表 31のとおり、11周回で考えると稼働時間の運用方法次第では消費電力量が発生電力量を上回る時間が発生する可能性があることがわかった。そのため、実際の衛星運用では、ミッションに必要な姿勢制御が実行できるようにまた、突発的な電源系の異常に対して搭載機器および衛星搭載のオンボード・コンピュータの制御できるソフトウェアが必要である。

3. 電源制御システムの開発と評価実験

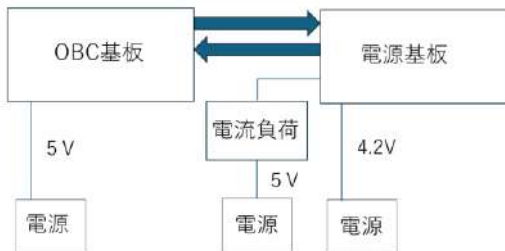


図2 検証実験用電源制御システムの構成

Fig. 2 Configuration of power management system for experiment

運用方法次第では消費電力量が発生電力量を上回る時間が発生する可能性があることがわかったため、この問題を

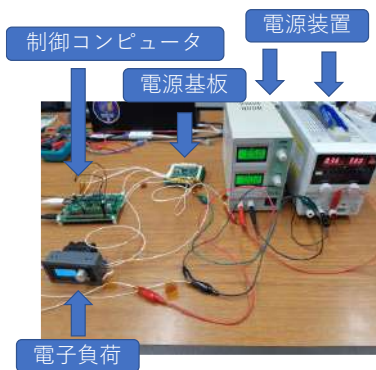


図31評価実験用電源制御システムの実験構成

Fig. B Experiment configuration of power management system

各種機器の電源を制御して解決する。KOSEN-2R1の電源基板は、電源基板の制御マイコンにシリアル通信を使ってコマンドを送ることで電源電圧・電流、搭載機器の電源オン・オフを制御できる。そのことからコマンドで得た電源状態によって電源制御のコマンドを送信する OBC1向けのプログラムを作る。電源制御プログラムで電池残量が一定値より少ないときに充電に移行するシステムを実現できる。

今回の試作では、OBC1基板としてマイコンボードである Raspberry Pi Compute Module II (CM1)1を使い、I2C1を使って電源基板と通信する仕様とした(図2)。図3は、実際の試作システムの構成である。OBC(制御コンピュータ)1から電源基板にコマンドを送信することで、電源基板からのデータ取得と機器制御ができることを確認した。

図4は供給電圧の変化を示しており、3.6V以下でOBCが電源オフになるようにプログラムを作成した。実験した

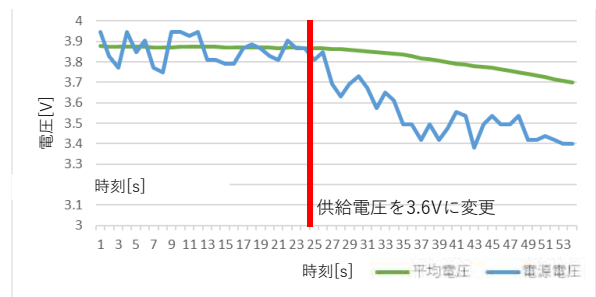


図41電源基板に供給される電圧の変化

Fig. 4 Plot of monitored voltage of power supply from 1 power control unit

結果、供給電圧が3.6VになったところでOBCの電源がオフになることを確認した。

4. まとめ

本研究では、人工衛星KOSEN-2R1の電力収支の検討として、電力の割り当て計画、姿勢制御系の機器である磁気トルカの運用案を作成した、また、それらに基づき電源を制御する電源系監視ソフトウェアの開発した。今後は受け取ったデータからの機器の電源制御を実装する必要がある。

謝辞

本研究開発は総務省SCOPE1(受付番号JP235008002)の委託を受けたものです。

文献

- (1) 徳光政弘他, 高専連携技術実証衛星3号機「KOSEN-2R」の軌道上実証と宇宙工学技術者育成(1), 第67回宇宙科学技術連合講演会, 3B01, 2023年10月
- (2) 宇宙航空研究開発機構, 革新的衛星技術実証プログラム革新的衛星技術実証4号機1革新的衛星技術実証4号機に搭載する実証テーマ, <https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/kakushin04.html>(2024年2月20日閲覧)
- (3) 電源系設計標準, JAXA, <https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JERG-2-214A.pdf>, 平成28年5月20日A1改訂(2024年2月20日閲覧)
- (4) 柴垣龍之介, 高電圧技術実証衛星「鳳龍式号」の電源システムの開発と検証第41章, https://kitsat.net/documents/shibagaki_part4.pdf(2024年2月20日閲覧)

眉尻に接触したジャイロセンサを用いた瞬き検出

入本 聖也*, 高田 峻介 (神戸高専)

Blink Detection Using a Gyro Sensor Touched on the Outer End of the Eyebrow
Irimoto Seiya, Takada Ryosuke (Kobe City College of Technology)

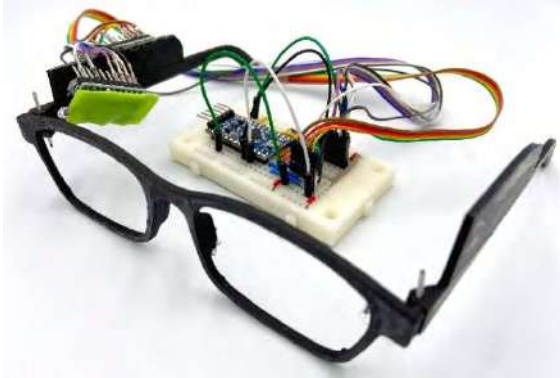


図1 実装したハードウェア
Fig.1. Implemented hardware



つるタップ ぐりぐり スライド

図2 3種類のタッチジェスチャ
Fig.2. 3 Types of touch gestures

1. はじめに

瞬きを検出することで、疲労度測定やそれに伴う居眠り運転の防止ができる。瞬きの検出には、カメラ⁽¹⁾や赤外線センサ⁽²⁾、眼電位センサ⁽³⁾が用いられる。しかし、プライバシーやオクルージョン問題、視線移動による誤検知、汗の影響が問題である。本研究はメガネのつる上に1基、眉尻付近に接触するように1基ジャイロセンサを搭載し、瞬き検出手法を提案する。眉尻付近のセンサは、瞬き時の皮膚の変形を認識する。つる上のセンサは運動時の振動成分除去を行う。これにより運動時も瞬きを検出できる。さらに、眉尻周辺へのタッチジェスチャも認識できる。

2. 解説

<2・1>実装 図1に実装したハードウェアを示す。つる部分は垂直に延長し、2基のセンサを取り付けた。1基は延長部に固定し、もう1基はばねを経由し、眉尻付近に接触させる。図1の緑色はゴムシートで、瞬き時の皮膚に摩擦で追従させる。Arduino Pro Miniに125spsで角速度を計測

するジャイロセンサ(MPU9250)を2基接続し、PCへ送信する。各センサ軸で後述の処理を行う。

<2・2>2基のジャイロセンサの利用 歩行時や顔の動きによる振動を取り除くために2基のジャイロセンサを使用し、差分を取得した。しかし、センサの個体差により静止時も常に差分値が変化する。そこで簡易LPF(式: $y_n = \alpha u + (1 - \alpha)y_{n-1}$; $0 < \alpha < 1$)、移動平均フィルタ、微分の3種類で問題解決を試みた。

<2・3>入力インタフェース化のための機械学習 本研究はタッチジェスチャ認識も検証する。図2に示す3つのタッチジェスチャと静止時をセンサの差分結果で学習し、認識する。サポートベクタマシン(SVM)モデルを利用した。

3. 検証と結果

<3・1>2基のジャイロセンサの利用 本節にて著者実験した結果を記載する。図3に、静止時のZ軸の取得結果と $\alpha = 0.05$ の簡易LPF処理結果を示す。「つるセンサ」はつる上のセンサで、「眉尻センサ」は眉尻接触のセンサである。矢印は実際の瞬き箇所である。図4のように加速度を取り閾値を決め、瞬き判定を行う。 $+50$ 以上で認識精度は75%である。これは、加速度の方が瞬間的な瞬きの動きを捉えられるためである。図5に静止時の瞬きのZ軸の取得結果と、 $N=8$ の際の移動平均フィルタ処理の結果を示す。差分値が立ち上がっていることがわかる。図6のように「差分($N=8$)」を取ると、 $+100$ で77.8%となった。図7、図8に座席の上で縦に揺れながら瞬きをしている場合の、 $\alpha = 0.05$ の簡易LPFと微分の結果を示す。微分結果より、つるセンサが運動時の値を打ち消し、瞬き成分のみとなっている。 $+100$ で85.7%となった。

<3・2>ジェスチャ入力への認識精度 実験協力者5人(平均年齢19.6歳、男性4人、女性1人)を対象に図2の3つのジェスチャと静止時の認識精度を評価した。簡易LPFで処理後差分したX,Y,Z軸各20回分を教師データとしてSVMモデルを生成した。1.024s間のサンプルでリアルタイム認識可能か検証する。タッチジェスチャの各10回をランダムに検証し、図9に5人の結果を合算して得られた混同行列を示す。実験の結果、認識精度の平均は74.3%となった。「スライド」は「ぐりぐり」と認識されることが多く、ジェスチャの動きが似ていることが結果に示されている。次に、全実験協力者の学習データをまとめて、汎化したSVMモデ

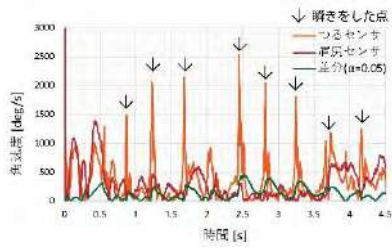


図3 簡易LPF(静止時)瞬き取得
Fig.3. Blink detection by simple LPF (at rest)

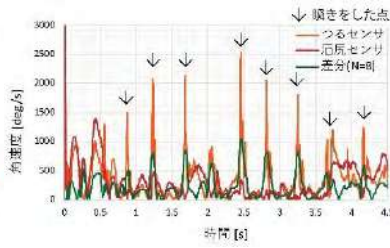


図5 移動平均フィルタ(静止時)瞬き取得
Fig.5. Blink detection by Moving average filter (at rest)

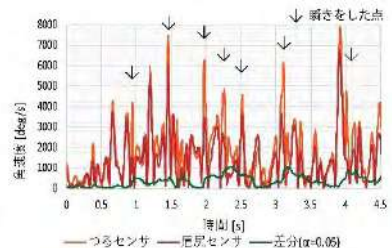


図7 簡易LPF(縦揺れ)瞬き取得
Fig.7. Blink detection by simple LPF (vertical swing)

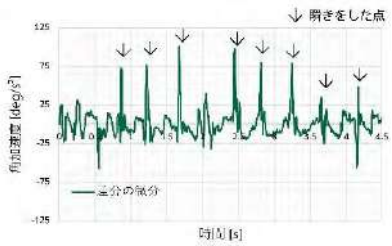


図4 簡易LPF(静止時)微分
Fig.4. Simple LPF (at rest) derivative

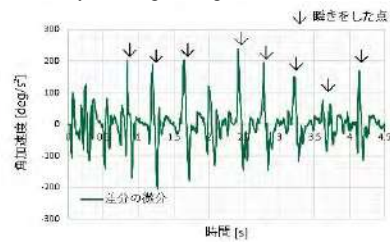


図6 移動平均フィルタ(静止時)微分
Fig.6. Moving average filter (at rest) derivative

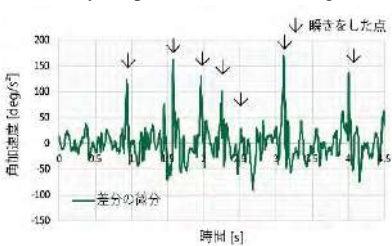


図8 簡易LPF(縦揺れ)微分
Fig.8. Simple LPF (vertical swing) derivative

実際の値	予測値			
	静止	つる タップ	ぐりぐり	スライド
静止	500	0	0	0
つる タップ	26	344	86	44
ぐりぐり	24	6	381	89
スライド	24	5	264	207

図9 各個人の機械学習の結果
Fig.9. Results of each individual machine learning

実際の値	予測値			
	静止	つる タップ	ぐりぐり	スライド
静止	469	27	1	3
つる タップ	23	361	89	27
ぐりぐり	10	11	364	115
スライド	17	22	170	291

図10 汎化した機械学習の結果
Fig.10. Results of generalized machine learning

ルを生成した。各個人でキャリブレーションをした認識実験の後、もう一度汎化モデルを使い認識実験をした。図10に汎化モデルを用いた際の5人の結果を合成して得られた混同行列を示す。実験の結果、認識精度の平均は71.6%となった。各個人のモデルで実施したときより「スライド」、「つるタップ」の認識精度が大きく減少している。これは、各個人のつるの叩き方や皮膚のなぞり方が異なる点、特に「スライド」、「ぐりぐり」はジェスチャが類似しているためと考えられる。

4. 今後の課題

運動時の差分取得は現状、縦揺れのみ打ち消すことができる。横揺れはノイズも多く混在している。原因としてばねの振動がある。ばねは停止後も慣性が残る。誤差をなくすには、皮膚の変形を追従できるものを検討する。ゴムシート以外に接触部で滑らない材質も検討する。

簡易LPFの $\alpha = 0.05$ 、移動平均フィルタの $N = 8$ はソフトウェア実装中の経験的に決定したパラメータである。今後、基準を決定し統計を取り、最適な α を調査する。

各個人のモデルはジェスチャを学習させる手間がある。汎化モデルを共有すれば最初に学習する手間がない。今後、実験協力者を増やした場合の汎化モデルの認識精度を検証する。

文献

- (1) Hu Z. et al., ICRAI '20, 35~40 (1965)
- (2) Chen R. et al., iScience Vol.24 (2021)
- (3) Abbas N. et al., Biometric Security and Privacy, 121~140 (2017)

鉄粉ボンドを手袋に塗布することによる 拡張可能なデータグローブ

山岸 真人*, 高田 峻介 (神戸高専)

Applying Iron Powder Bond to a glove for a customizable data glove
Yamagishi Masato, Takada Ryosuke (Kobe City College of Technology)

1. はじめに

鉄粉とボンドを混ぜ合わせた「鉄粉ボンド」を手袋に塗布することで、指の曲げを計測する手法を提案する。鉄粉ボンドは導電性、柔軟性を持つ磁性体であり、曲げ伸ばしすると抵抗値が変化する。この特性を利用し、自由にセンサ形状を設定可能な曲げセンサとして活用する。また、鉄粉ボンドは磁石を用いてアタッチメントを装着できる。鉄粉ボンド表面から磁石を介してアタッチメントへ分圧することで、分圧量からアタッチメントの装着位置や種類を判別する。

2. 関連研究

指の曲げセンシングには圧電素子⁽¹⁾、導電繊維⁽²⁾などが用いられているが、センサ形状を自由に設計するのは難しい。Koelleらは、導電性バイオプラスチックを用いて自由に形状設計可能な曲げセンサを開発した⁽³⁾。提案手法はさらに磁石を用いたアタッチメントによる拡張ができる点で異なる。Haconiwa⁽⁴⁾ではアタッチメントの拡張用接続端子としてスナップボタンを用いている。スナップボタンはアタッチメント取り付け位置を変えられず、装着に手間がかかる。提案手法は作製が容易であり、素材上のどこにでもアタッチメントを接続、固定でき、アタッチメントの種類や位置を判別できる点で異なる。

3. 提案手法

曲げセンサの原理を述べる。指を曲げるにより手袋の外側に塗布した鉄粉ボンドが引き延ばされ、断面積も小さくなる。したがって、式(1)に基づいて抵抗値が増加する。ここで、 ρ は抵抗率、 l は長さ、 S は断面積である。

アタッチメントの接続位置および種類判別の原理を述べる。接続位置によって分圧回路におけるアタッチメントの抵抗が変化するため、分流量から位置を計測できる。また接続位置が同じであれば、アタッチメントごとに異なる抵抗値を計測することで種類を判別できる。

$$R[\Omega] = \rho[\Omega \cdot m] l[m] / S[m^2] \quad (1)$$

4. 実装

<4・1>鉄粉ボンドの体積比の検討 鉄粉とボンドを混ぜ合わせることで、導電性、柔軟性を持った鉄粉ボンドを作製した。鉄粉ボンドの特性を調べるために、鉄粉とボンドの体積比を変えた表を4種類作製し比較した。ボンド作製時からの経過時間と抵抗値の関係を表1に示す。標本aは3日目に標本が割れ、抵抗が測定不能になった。標本dは2日目になると絶縁した。柔軟性の実験で、標本cは10回ほど90度に折り曲げることで割れたが、標本dは100回以上折り曲げても割れることはなかった。よって一定の抵抗を維持しており、曲げることが可能である標本cをプロトタイプに使用した。

表1 抵抗値と時間経過

Table 1. Resistance value over time

標本	体積比		経過日数ごとの抵抗(k Ω)					
	鉄粉	ボンド	1	2	3	4	5	6
a	5	5	0.83	0.11	×			
b	4	6	3.4	2.3	0.64	0.22	1.7	0.93
c	3	7	230	28	22	23	23	20
d	2	8	5300	×				

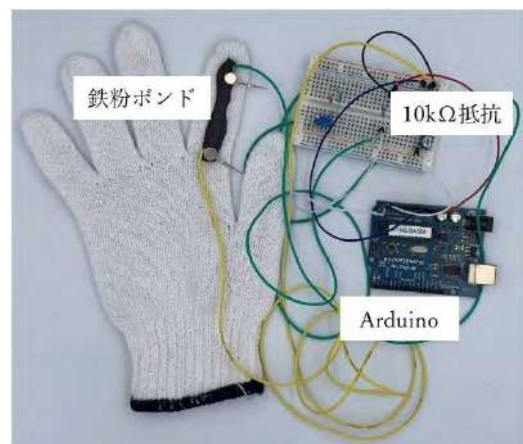


図1 実装したプロトタイプ

Fig.1. Implemented prototype

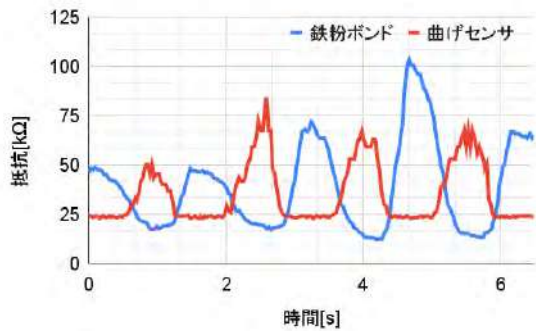


図2 指を曲げた時の抵抗
Fig.2. Resistance value when bending the finger

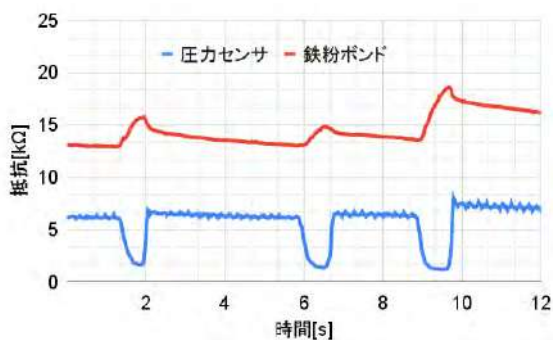


図3 押下時の抵抗値
Fig.3. Resistance value when pressing the sensor

<4・2>プロトタイプ作製の鉄粉ボンド（鉄粉:ボンドの体積比 3:7）を用いてプロトタイプを作製した。手袋は軍手を用い、人差し指部分に鉄粉ボンドを塗布した。曲げ計測には Arduino Duemilanove を使用した。鉄粉ボンドの抵抗計測には分圧回路を用い、分圧抵抗には 10kΩ を使用した。作製したプロトタイプを図1に示す。

5. 実験

<5・1>指を曲げた時の抵抗の変化 比較のために曲げセンサを取り付けたプロトタイプを着用した状態で人差し指を曲げ、各抵抗値の変化を調べた結果をグラフに描画した。図2に鉄粉ボンドと曲げセンサの値の変化を示す。

指を曲げるにより鉄粉ボンドは抵抗値が小さくなり、曲げセンサは抵抗値が大きくなった。

<5・2>鉄粉ボンドへの押下時の抵抗の変化 プロトタイプと圧力センサを重ねた状態で押下し、各抵抗値の変化をグラフに描画した。図3に鉄粉ボンドと圧力センサの値の変化を示す。押下によって鉄粉ボンドは抵抗値が大きくなり、圧力センサは抵抗値が小さくなった。押下した鉄粉ボンドを離れたとき、圧力センサと比べて値が戻りにくかった。

<5・3>アタッチメント装着時の抵抗の変化 鉄粉ボンドにアタッチメントを接続し、接続位置ごとの抵抗値と電

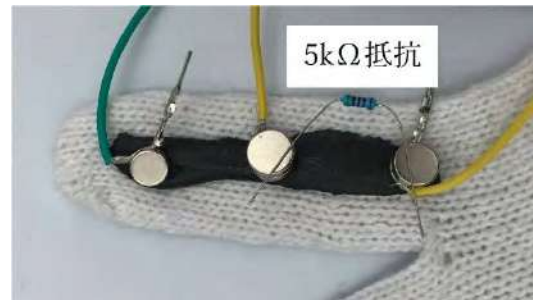


図4 アタッチメント接続の様子
Fig.4. Connected attachment

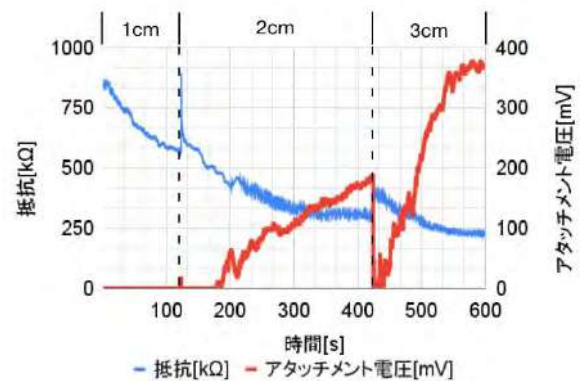


図5 接続位置変化時の抵抗と電圧

Fig.5. Variations in resistance and voltage when moving the attachment

圧を測定した。アタッチメントとして 5kΩ の抵抗を使用した。接続の様子を図4に示す。接続位置は GND から 1cm-3cm で変化させ、結果をグラフに描画した。計測結果を図5に示す。

6. 今後の課題

図5のように、アタッチメントの位置判別時に遅延が発生した。回路を改良することで解決を図る。また、指を曲げた時に抵抗値が減少したが、想定していた原理では抵抗値は増加するはずであった。原因は鉄粉ボンド作製時に発生する空洞にあると考え、調査を進める。さらに、鉄粉ボンド作製時に時間経過によって抵抗値が変化した。この原因も調査する。

現在使用しているプロトタイプは指を曲げるために必要な柔軟性が十分であるといえない。今回使用した木工用ボンドの代わりに、より柔軟性の高い接着剤であるシリコンボンドなど、新しい材料の検討を行う。

文献

- (1) Srijan B. et al., AIR'15, (2015)
- (2) Ryosuke T. et al., CHI EA '19,1~4 (2019)
- (3) Marion K. et al., UIST'22, (2022)
- (4) Saki S. et al., IEEE, 531~532 (2015)

IoT を活用した 橋梁のモニタリングシステムの開発

井上 奈波*, 早川 潔 (大阪公立大学高専)

Development of a bridge monitoring system using IoT
Inoue Nanami, Hayakawa Kiyoshi (Osaka Metropolitan University College of Technology)

1. はじめに

現在, 日本では橋梁の老朽化が問題となっている。日本には橋梁が約 73 万橋ある。橋梁の耐用年数は 50 年であり, 2022 年時点で 34% の橋梁が耐用年数を経過している。また, 2032 年には, 半数以上の 59% の橋梁が耐用年数を経過した状態になると予想される⁽¹⁾。本研究のモニタリング対象としている支承は, 橋桁の荷重, 回転を橋脚に伝わらないように分散させる機能を持つ。

本研究では, 共同研究を行う株式会社川金コアテックで行われる計測に大型な機器を使用されているため, IoT を用いた小型で長時間駆動するシステムを開発することを目的としている。

2. 橋梁のモニタリングシステム

<2・1> 支承 本研究のモニタリング対象である支承は世界中で古くから使用されている密閉ゴム支承板(BP-B)支承である⁽²⁾。支承のイメージ図を図 1 に示す。支承には, 橋桁の温度による伸縮, 走行車両の活荷重によるたわみなどの荷重や回転を橋脚に分散させて伝達する荷重伝達機能, 水平移動機能, 回転機能を持つ。橋桁と橋脚の間に設置されるため橋の建設が終わると支承の内部の動きは見る事ができなくなります。そのため, 橋桁に連動する支承の上唇部分の振動や変位でのモニタリングを行う。

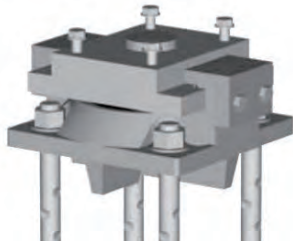


図 1 BP-B 支承
Fig. 1. BP-B bearing

<2・2> モニタリングシステムの全体概要 モニタリングシステムの全体概要を図 2 に示す。接触式変位センサではセンサデータを Raspberry Pi Pico W で受信し, Bluetooth Low Energy で Raspberry Pi 4 に送る。超音波センサと 6 軸センサではセンサデータを ESP32 で受信し WiFi の UDP 通信で Raspberry Pi 4 に送る。どちらも Raspberry Pi 4 で受信

したデータは csv ファイルにし保存する。

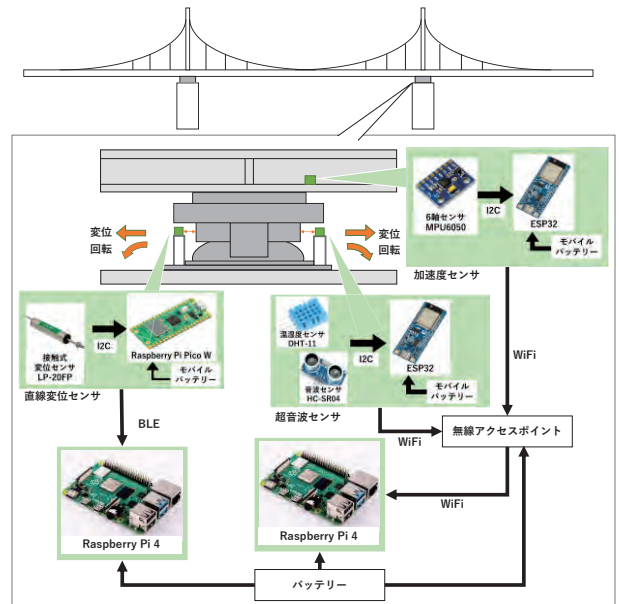


図 2 モニタリングシステムの全体概要
Fig. 2. Overall overview of the monitoring system

<2・3> 動作方法 システムの動作の流れを図 3 に示す。センサデータをマイコンで受信し, Bluetooth Low Energy または WiFi の UDP 通信で Raspberry Pi 4 に送る。この時, マイコンで値のキャリブレーションを行う。Raspberry Pi 4 で受信したデータは datetime で取得した現在時刻ともに csv ファイルに書き込む。

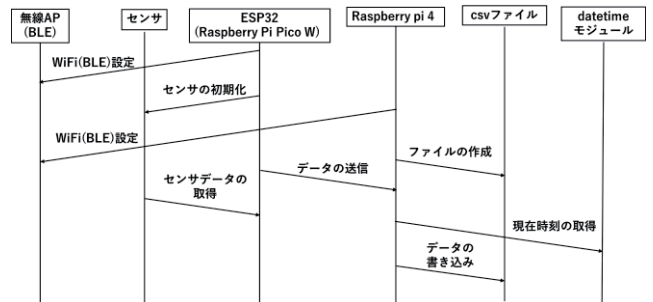


図 3 システムの流れ
Fig. 3. System flow

3. モニタリング実験

<3・1>実験方法 超音波、6軸センサのサンプリング周期はそれぞれ0.002[s]および0.004[s]とし、1分計測、1分休憩を繰り返した。接触式変位センサはサンプリング周期を1[s]にした。設置から約1日の計測を行い、同じ支承で企業の点検装置も取り付け企業のデータも取得した。企業のセンサのサンプリング周期は0.01[s]である。

<3・2>設置 実際の設置を図4に示す。支間側に超音波センサを桁橋側に接触式変位センサを設置した。6軸センサは支承の上の鉄骨部分に取り付けた。設置後 Raspberry Pi 4の時刻を合わせ、プログラムを実行した。



図4 実際の設置

Fig. 4. Actual installation

<3・3>結果 計測時間は超音波および6軸センサが約18時間9分であり、接触式変位センサが約21時間22分であった。6軸センサおよび接触式変位センサの水平方向の計測結果を図5、6に示す。変動の幅には違いがあるものの初めはさがり6時ごろはどちらも値が上がっている。

水平、鉛直方向および角度の測定結果を約22秒間抽出し企業データと比較した。

水平方向では6軸および接触式変位センサで企業データと同様の変位が見られた。また、水平方向の安定部分で超音波センサの計測結果を比較すると超音波センサには大きな変位が見られ値が安定しなかった。

鉛直方向および角度では企業データには変動があったが6軸センサのデータでは同様の変動は見られなかった。

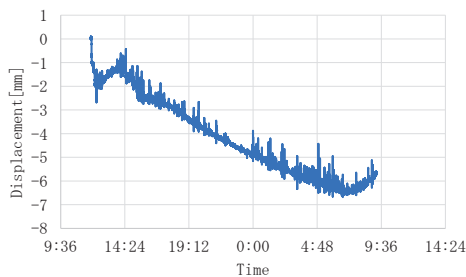


図5 接触式変位センサの計測結果

Fig. 5. Measurement results of contact displacement sensor

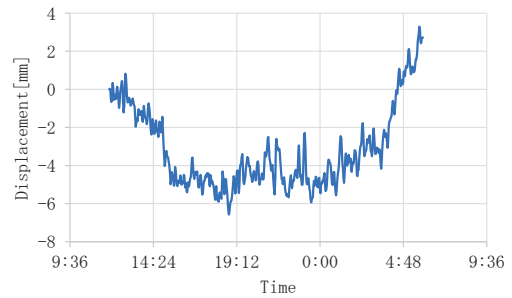


図6 6軸センサの計測結果

Fig. 6. 6-axis sensor measurement result

4. 考察

接触式変位センサの計測時間に対し超音波センサ、6軸センサでの計測時間が短かった原因として通信方式とサンプリング周期があげられる。超音波センサ、6軸センサの通信にはWiFiを使用しているが接触式変位センサではBLEを使用している。また、サンプリング周期が超音波センサ、6軸センサの方が短く通信回数が多いこともモバイルバッテリーの消費が早い原因だと考えられる。このことから、超音波センサ、6軸センサとRaspberry Pi 4の通信方法をBLEに変更し、サンプリング周期は企業の計測と同じ0.01[s]が良いことが分かった。

水平方向の変位での基準データとの差の平均を比較すると企業データとの差の平均を比較したところ接触式変位センサでは0.02821[mm]であったのに対し、6軸センサでは0.0715[mm]であった。このことより、変位のセンサは接触式センサを使用することが良いと考えた。

6軸センサに鉛直変位、角度で値の変動が見られなかったのは、変動の値が小さく感知しにくいこと、または設置場所の差が考えられる。設置場所は支承に直接取り付けるように変更する必要がある。

5. むすび

本研究では、橋梁の一部である支承のモニタリングシステムの開発を行った。実際に橋梁での計測を行った結果、変位には接触式変位センサが有効であることがわかった。しかし、低消費電力化および長時間の計測が今後の課題となる。

文献

- (1) 国土交通省 老朽化の現状・老朽化対策の課題(torikumi.pdf)
<https://www.mlit.go.jp>
- (2) 株式会社川金コアテック BP・B 密閉ゴム支承板支承(BP・ABP・BLB (A4) 20140930. pdf)
<https://kawakinect.co.jp>
- (3)小嵯泰造, 早川潔 IoT デバイスによる橋梁の遠隔モニタリングシステムの開発(2022)

医療用リハビリマシンにおける IoT システムの 開発

吉田 亜太陽*, 早川 潔 (大阪公立大学高専)

Development of IoT system in medical rehabilitation machine

Yoshida Asahi, Hayakawa Kiyoshi (Osaka Metropolitan University College of Technology)

1. はじめに

現在、小中学校の不登校生徒数が増え続けている。その不登校生徒の約 3 割から 4 割が起立性調節障害を発症する。起立性調節障害とは、自律神経系の異常によりめまいやふらつき、頭痛など様々な症状を起こす病気である⁽¹⁾。この症状を改善するために、寝ながら足を動かすリハビリマシンが開発されている。リハビリを効果的に行うために、マシンに関するデータが必要となる⁽¹⁾。

そこで、本研究では、リハビリにおいて医療従事者をサポートするシステムの開発を行う。リハビリマシンのデータとして、加速度、圧力、速度に注目し、それらの可視化を行う。加速度からまた、リチウムポリマ電池による機器の小型化を目的とする。

2. 機器の全体構成

リハビリマシンの全体構成を図 1 に示す。リハビリマシンのペダル部分に 6 軸の加速度センサ・圧力センサ・リチウムイオン電池・マイコンをまとめたケースを取り付ける。MPU6050 という 6 軸の加速度センサで X 軸、Y 軸、Z 軸の加速度・角速度のデータを取得する。FSR-406 という圧力センサで圧力データを取得する。2つのセンサからのデータを I2C 通信・アナログ電圧信号で RaspberryPi Pico W というマイコンに送信する。プログラムはマイコン自体に保存しており、電力供給と共にデータ取得・BLE 通信を開始する。各データを PC へ送り、リアルタイムグラフを表示する⁽²⁾。PC では、リハビリ時にデータをグラフとしてのみ確認するのではなく、患者個人の記録として保管できるよう CSV ファイルとしてデータを出力する機能やタイマーなどが備わっている。



図 1 機器の全体構成図

Fig.1. Overall configuration diagram of the equipment

将来的には、サーモカメラで漕ぐ様子を撮影し、AI を用いた非接触測定を考える。

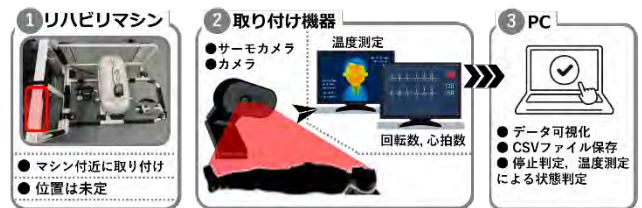


図 2 将来的な機器の全体構成図

Fig.2. Overall configuration diagram of future equipment

3. 使用した機器

<3.1>MPU6050 MPU6050 は、3 軸のジャイロスコープと 3 軸の加速度センサを組み合わせた 6 軸の動き検出デバイスである。動き、加速、回転の変化を検出することが可能である。加速度や角速度等の慣性力を内部に搭載されたコンデンサの静電容量の変化を利用し検知している。

<3.2>FSR406 センサ部に圧力を加えると、抵抗が減少し、出力値が増加する。圧力感知範囲は 10g から 10kg(0.1N から 100N)である。

<3.3>RaspberryPi Pico W この Pico W は、RaspberryRP204-マイコンを中心に構築された Pico プラットフォームの無線対応バージョンである。Wifi と BLE の無線通信が可能である。本研究では、BLE のみ使用する。

<3.4>DTP502535 3.7V、400mAh のリチウムイオンポリマー電池である。過充電、過放電、過電流の保護回路を内蔵している。

4. リアルタイムグラフ出力画面

医療従事者が患者のリハビリ時に患者のリハビリをサポートするシステムのリアルタイムグラフが表示される画面をデザインした。実際の画面は見えにくい図 3 を使用する。左上から圧力、加速度、速度のグラフが表示される。圧力の単位は無く、0 から 65535 の値で表示される。加速度の単位は[G]、速度の単位は[m/s]である。患者は 30 分間リハビリマシンを漕ぎ続けるため、時間計測のためタイマーを表示している。また、画面下部に 5 つのボタンを設けている。

- <4.1>Start 周囲の BLE デバイスの表示・接続・通信開始・一時停止・再接続をするボタン。
- <4.2>Record 各データを記録して CSV ファイルとして出力するボタン。記録中は Recording となり、点滅する。
- <4.3>Reset BLE 接続・BLE 通信をすべてリセットする Reset ボタン。
- <4.4>Value センサから取得しているデータや停止判定を表示するボタン。モーダルウィンドウで表示する。
- <4.5>Details BLE デバイスとの接続状況、BLE 接続デバイス名、UUID を表示するボタン。



図3 PC上の画面デザイン
Fig.3. PC screen design

5. 測定

本研究では、Pico W と PC での BLE 通信において、加速度センサ MPU6050 及び圧力センサ FSR406, 加速度から求めた速度のデータをリアルタイムでグラフ上に出力する。今回は試験的に 5 分間リハビリマシンを漕いだ。そしてそのデータを CSV ファイルに出力した。

6. 測定結果

圧力のグラフを図4, 加速度のグラフを図5, 速度のグラフを図6に示す。

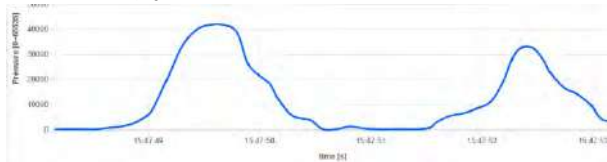


図4 圧力のリアルタイムグラフ
Fig.4. Real-time graph of pressure

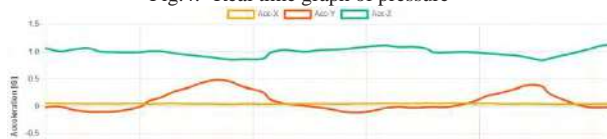


図5 加速度のリアルタイムグラフ
Fig.5. Real-time graph of acceleration

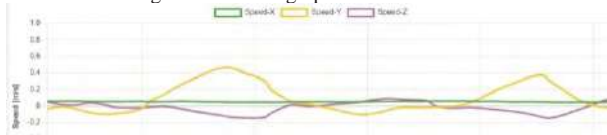


図6 速度のリアルタイムグラフ
Fig.6. Real-time graph of speed

7. データ出力結果

データをリアルタイムグラフのみではなく、リハビリ後のデータ解析・データ記録に使えるように CSV ファイルとして出力できるようにした(図7参照)。左から圧力, 3 軸の加速度, 3 軸の速度, 3 軸の角速度を記録した。得られた

値から、計測時間におけるグラフを作成した。図8からより、Y 軸, Z 軸どちらも赤線で示されている軸を基準にして波に近い形をしていることがわかる。

Pressure	Axis-X[G]	Axis-Y[G]	Axis-Z[G]	Speed-X[m/s]	Speed-Y[m/s]	Speed-Z[m/s]	Gyro-X[Degree/s]	Gyro-Y[Degree/s]	Gyro-Z[Degree/s]
224	0.051838	-0.06677	1.016641	0.050217	-0.05029	0.002795	-0.15267	0.030534	0.065702
178	0.051914	-0.059604	1.017912	0.049578	-0.02981	0.001979	-0.14804	0.048902	0.061069
224	0.051819	-0.05787	1.018166	0.050697	-0.03039	0.002692	-0.15267	0.030534	0.065702
256	0.051758	-0.06812	1.019309	0.050217	-0.03136	0.003352	-0.14504	0.048502	0.053435
224	0.05159	-0.06628	1.017149	0.050217	-0.03059	0.002873	-0.15267	0.030534	0.061069
272	0.051392	-0.06677	1.018166	0.050697	-0.02993	0.002324	-0.14794	0.038168	0.076396

図7 CSV出力ファイル
Fig.7. CSV output file

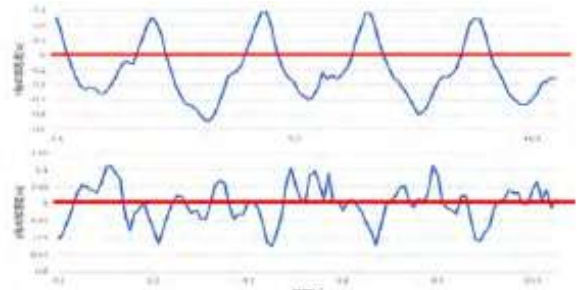


図8 CSV出力ファイルのグラフ(上:Y軸, 下:Z軸)
Fig.8. A graph of CSV output file (Top: Y axis, bottom: Z axis)

8. 考察

図4から図6のPC上のグラフは波のような形をしていた。実際に計測したCSVファイルのデータから作成した図でも赤軸を基準に波の形をしていた。これは、ペダルに付けたセンサの前向きY軸の正, 上向きをZ軸の正としているため、半円回転するごとに向きが逆になるためである。

図8よりY軸のグラフが正の方向に増加するとき,Zは負の方向に減少している。これは、時計回りに回転するペダルの上半円でペダルを前向きに動かすときに力が加わり、Y軸の値が増加している。前向きに動かすとき,Z軸は下向きに動くため、負の値に変化している。つまり、Y軸が正に増加するときが上半円, 下半円では負方向に減少すると考えられる。また、そのグラフの振幅が小さいのは、上半円で押し出す場合はペダルに力を加えやすいが、下半円では後ろ向きに力を加えにくい。よって、振幅が小さくなる。

図4から図6は同じ時刻のグラフであるが、図4のグラフからも圧力が加えられている部分と図5, 図6でY軸が増加している部分が一致していることが分かる。

9. むすび

本研究では、加速度センサ・圧力センサから取得した加速度・速度・圧力の値を同時に取得できた。また、その値をWeb上でのリアルタイムグラフ表示が可能となった。

また、軽量化・小型化のためにリチウムイオン電池とユニバーサル基板を用い、ペダル部分に取り付けやすくなるよう改良した。これにより、患者が漕ぐ際、比較的漕ぎやすくなり、患者のリハビリをサポートする医療従事者の方々にも扱いやすいものになったと考えられる。

文献

(1) 石崎優子:「起立性調節障害児の正しい運動のためのエルゴメーターの開発」, ライフサイエンス新技術説明会, 2019

(2) ものもののテック Bluejelly って何だよ! 参照日:2024/1/20

URL:https://monomonotech.jp/kurage/webbluetooth/getting_started.htm

KOSEN 衛星に搭載される 冗長姿勢角検出基板と通信系の検討

窪田 葵*, 河上 京介(新居浜高専), 宮崎 想也(筑波大学), 今井 雅文(新居浜高専),
今井 一雅(高知高専), 徳光 政弘(米子高専)

A study of a redundant attitude angle detection system and communication system onboard the KOSEN CubeSat
Aoi Kubota, Kyosuke Kawakami (NIT, Niihama College), Souya Miyazaki (University of Tsukuba), Masafumi Imai (NIT,
Niihama College), Kazumasa Imai (NIT, Kochi College), Masahiro Tokumitsu (NIT, Yonago College)

1. はじめに

2021年にJAXAのイプシロンロケット5号機で超小型衛星KOSEN-1が打ち上げられ、現在も地球低軌道上を周回している⁽¹⁾。超小型人工衛星の姿勢角は角速度・磁場から推定されており、指向性のあるセンサーにとって、必要不可欠な情報である。一方、KOSEN-1衛星の通信は430[MHz]帯のアマチュア無線を使用しており、使用可能周波数帯域が狭帯域になるため、9.6[kbps]までの通信しか行うことができない。それ以上の通信を行うためには、使用可能周波数帯域が広帯域になる5[GHz]帯のアマチュア無線を使う必要がある。また、超小型衛星に搭載される送信機は高価な専用機であり、入手や取り扱いが難しい場合がある。そのため、KOSEN衛星プロジェクトでは将来開発される超小型衛星には、送信機を民生品のSDR (Software Defined Radio) を用いることを検討している。SDRはソフトウェアを用いて様々な通信方式を実現することができる送信機であり、超小型衛星専用の送信機と比べて安価で入手可能であることや、通信システムの実装が容易になることが利点である。本研究の目的は、(1)KOSEN-2R衛星に搭載される冗長姿勢角検出基板の開発を行うこと、(2)今後開発が予定されている、SDRを搭載した次世代KOSEN衛星の開発へ向けた通信系のシミュレーションや実験である。

2. KOSEN-2R衛星に搭載する冗長姿勢角検出基板

冗長姿勢角検出基板は、2022年に軌道投入に至らなかったKOSEN-2衛星に搭載されたミッション支援基板⁽²⁾を再開発しているものである⁽³⁾。主な変更点は、GPSコンパイナを取り除き、生産終了となったStrawberry Linux社製の9軸センサーMPU-9250の後継機ICM-20948を組み込みことである。また、ミッション支援基板に引き続き、Raspberry Pi 2040ベースのマイコンであり、Pimoroni社から発売されているTiny 2040が搭載されており、姿勢角の検出プログラムや補助プログラムを実行することができる。現在開発している基板は、OBC (On-Board Computer) にも9軸センサーMPU-9250が搭載されていることから、冗長姿勢角検出基板と呼び、そのブレッドボードモデルの外観を図1に示す。

また、冗長姿勢角検出基板のミッションは衛星の姿勢角の検出だけでなく、OBC基板が使用不可能になった場合の、OBCに代わる冗長送信系としての活用も検討されている。

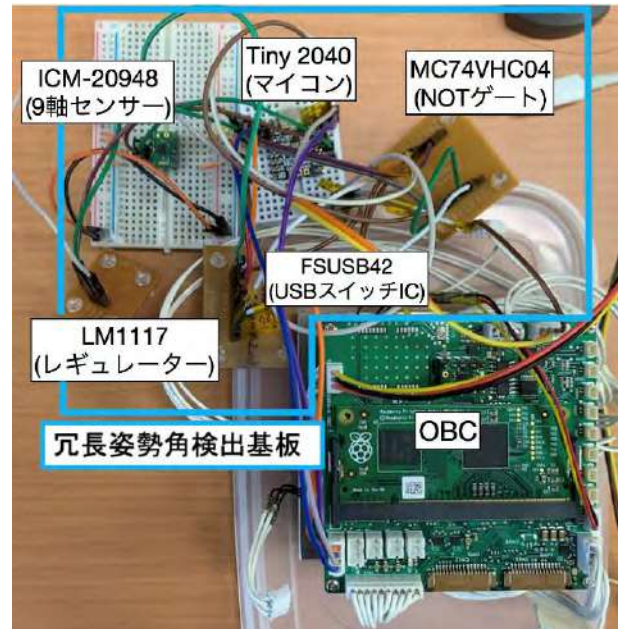


図1 冗長姿勢角検出基板のブレッドボードモデル

Fig.1. A bread-board model of redundant attitude angle detection system

3. 9軸センサーの角速度データの解析

9軸センサーは加速度、角速度、磁場のそれぞれ3成分を取得することができる。本研究では、2つの異なる9軸センサー(MPU-9250とICM-20948)で取得した角速度データを回転数に変換して比較した。具体的には、冗長姿勢角検出基板上の9軸センサーICM-20948の角速度データを用いて衛星の回転数を取得するプログラムを開発し、センサーの静止状態での測定結果と回転状態での測定を5回ずつ行った。その結果を、単位は[rpm] (回転毎分)として表1に示す。これより、静止状態と回転状態では、MPU-9250とICM-20948の角速度データはほぼ同等の性能が得られることがわかった。そのため、生産が終了となったMPU-9250の代わりに、安価な9軸センサーとしてICM-20948を使用できることを確認できた。

表1 2種類の9軸センサー測定した回転数の比較

Table.1. A comparison of rpm measured by 2 types of 9-axis sensor

	静止状態[rpm]	回転状態[rpm]
MPU-9250	0.12~0.26	19~26
ICM-20948	0.02~0.19	20~25

4. 5GHzの通信実験

<4・1>リンクバジェット計算 SDRを搭載した次世代 KOSEN 衛星の開発に向けて、現在考案中である衛星局と地上局の通信系の構成を図2に示す。送信機には National Instruments 社の SDR である USRP-2900 を、受信機には Great Scott Gadgets 社の HackRF One を使用する。また、送信機とアンテナの間にはパワーアンプが配置され、アンテナと受信機の間には LNA (低雑音増幅器 : Low Noise Amplifier) が配置されている。

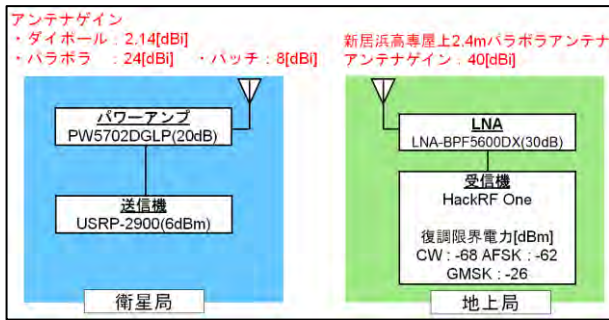


図2 衛星局—地上局の構成案

Fig.2. A configuration of satellite and ground stations

また、送信プログラムは GNU Radio を用いて開発される。GNU Radio は SDR に対してプログラミングを行うことができるオープンソースな開発キットであり、ブロックを組み合わせることでプログラミングを行う。GNU Radio は Python とも互換性が高いため、Python スクリプトで新しいブロックを作成することや、GNU Radio で作成したフローグラフを Python スクリプトとして出力することも可能である。本研究で考案した通信系において、リンクバジェットの計算を行うことで、通信回線が成立する可能性を検証した。リンクバジェットは通信路内において全ての利得[dB]と損失[dB]を合計することで得られ、回線成立のための許容可能な損失量を意味する。本研究では、この値は受信電力-復調限界電力[dBm]で定義し、リンクバジェットが 0[dBm]を超えていれば通信が成立する可能性があり、0[dBm]を下回っている場合は通信が成立する可能性は低いと考えられる。図3に、3種類の通信方式 (CW, AFSK, GMSK) に対して、衛星局と地上局間の距離や送信アンテナの種類を変えた条件で計算したリンクバジェットの結果を示す。まず、送信アンテナをパラボラアンテナやパッチアンテナとして、衛星局と地上局間の距離が 500[km]と 2500[km]の場合では、CW や AFSK を用いた通信が成立する可能性が高い。一方、現状の構成では GMSK を用いた通

信では難しいことがわかった。

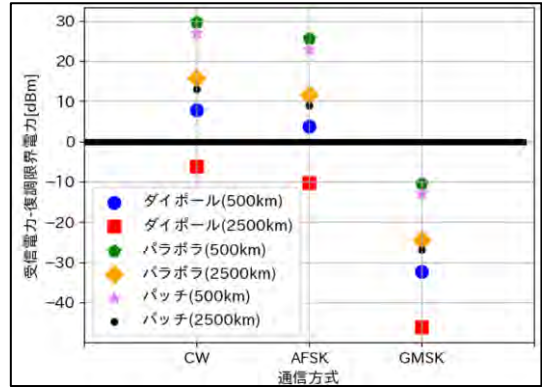


図3 リンクバジェットの計算結果

Fig.3. A result of calculation of link budget

<4・2>パワーアンプと LNA の動作確認 図2内のパワーアンプや LNA と同様のものを用いて、5[GHz]帯において AFSK(1200[bps])と GMSK(9600[bps])で電波の送信と受信時の復調が可能であるかを調べるために、パワーアンプの有無による送信電力や復調限界電力をスペクトラムアナライザ (RSA306B) で測定した。実験の結果、AFSK と GMSK の両方の通信方式において、パワーアンプや LNA を用いて電波の送信や受信時の復調ができた。具体的には、パワーアンプの有無により送信電力が最大で 25.84[dB]変化したことや、LNA の有無により復調限界電力が最大で 29.37[dB]変化し、製品カタログ値とほぼ一致した。

5. おわりに

本研究は、(1) KOSEN-2R 衛星に搭載される冗長姿勢角検出基板の検討と(2) SDR を搭載した次世代 KOSEN 衛星の開発へ向けた通信系のシミュレーションや実験を目的とした。(1)に関しては、提案した冗長姿勢角検出基板で、KOSEN-2 衛星に搭載されたミッション支援基板からの回転数検出プログラムの換装を達成できた。(2)に関しては、リンクバジェットの計算による回線成立の可能性の検討や、パワーアンプや LNA の動作確認の結果から、実際に近い衛星局と地上局間の通信系の構成で、CW と AFSK では通信可能性が高いことを示した。通信可能性が低い GMSK は今後の検討課題である。

文献

- (1)今井一雅他, 『高専連携技術実証衛星 KOSEN-1 について(5)』, 第 67 回宇宙科学連合講演会, 2B17, 2023
- (2)今井雅文他, 『高専連携技術実証衛星 KOSEN-2 に搭載されるミッション機器制御・支援基板の開発』, 第 66 回宇宙科学連合講演会, 1N01, 2022
- (3)窪田葵他, 『KOSEN-2R 衛星に搭載する冗長姿勢角検出基板の検討』第 67 回宇宙科学連合講演会, P069, 2023

推移定理を用いた 風車内ダウンコンダクタ断線位置の推定精度向上

上野稜*, 山吹巧一 (和歌山高専)

Improvement with Locating Accuracy of Down Conductor Break Points in Wind Turbines Using the Transition Theorem

Ryo Ueno, Koichi Yamabuki (National Institute of Technology, Wakayama College)

1. はじめに

IEA (International Energy Agency) 発表の "World Energy Outlook 2023" [1] によると、主要化石燃料の需要は今後減少するとされており、再生可能エネルギーの活躍、特に風力発電は大きな期待が寄せられている。

しかし、風車への雷被害が大きな問題となっている。被害レベル拡大の要因としてブレード内部のダウンコンダクタの断線がある。断線位置の推定法として、パルス応答波形のより断線位置推定を行うパルスレーダ法 [2] が実用に供されつつある。しかし、波形から詳細な伝搬時間を読み取ることが容易ではなく、ラプラス変換及び推移定理を用いて詳細な伝搬時間情報を抽出する方法について検討する。

2. パルスレーダ法

図 1 にパルスレーダ法の例を示す。パルスレーダ法は事故ケーブルにパルス電圧を送出し、健全なケーブル長 L [m] と断線位置 l [m] で反射が起きた際の伝搬時間の変化を利用して、事故点までの距離を求める方法である。事故点までの距離 l は以下の式で求められる。

$$l = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

ただし、 v : ケーブル内サージ伝搬速度 [m/s]

Δt : 伝搬時間 [s]

反射係数 r は異なる特性インピーダンスの境界面で生じる反射の程度を示す [3]。

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2)$$

Z_1 : 伝送路の特性インピーダンス

Z_2 : 負荷側の特性インピーダンス

断線は開放状態と見なされるため、 $Z_2 = \infty$ となり反射係数は 1 となる。

図 2 に断線している線路での反射の様子を格子図で示す。時刻 $t = \tau$ のとき、断線位置の反射波 1 は等しい大きさのまま反射する。時刻 $t = 2\tau$ の測定点では、反射波 2 に測定

点での反射係数 K ($0 \leq K \leq 1$) が掛けられ反射波が生成される。

図 3 に図 2 を基にしたパルスレーダ法で得られる波形の模式図を示す。伝搬時間で反射波が上乘せされることにより反射波の到来時刻に波形の立ち上がりが観測されることとなる。しかしながら、実フィールドでは立ち上がりが不明瞭となり伝搬時間を読み取ることが困難になることがある。原因としてはノイズや、信号がケーブル内で変歪することが挙げられる。

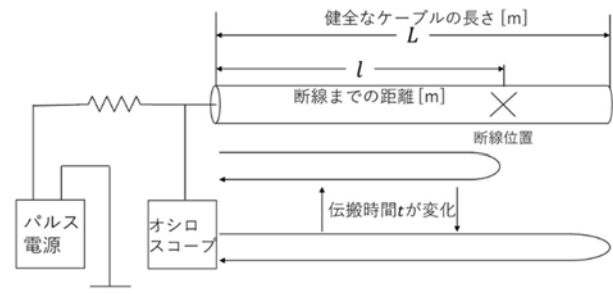


図 1 パルスレーダ法の適用例

Fig.1. Example of Pulse Radar Method

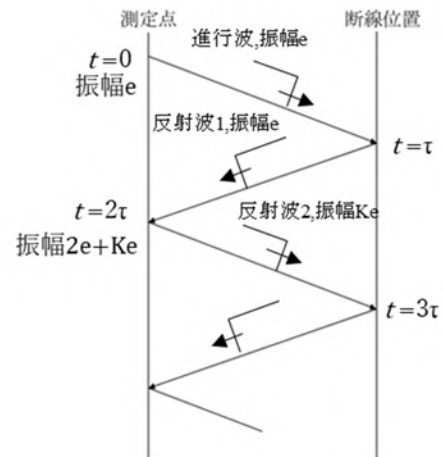


図 2 断線している線路での反射

Fig.2. Reflection on a disconnected line

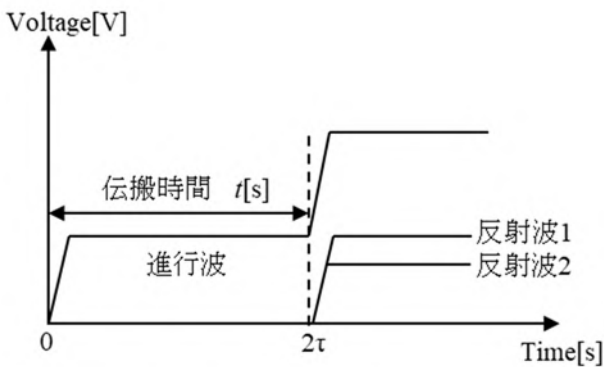


図3 パルスレーダ法で得られる波形の模式図

Fig.3.Schematic diagram of waveform obtained by pulse radar method

3. 波形の改良方法

波形の改良のために推移定理とラプラス変換を用いる。

^[4] 推移定理とは時間領域の遅れ波形に適応されるラプラス変換の公式である。

$$\mathcal{L}\{f(t - a)u(t - a)\} = e^{-as}F(s) \quad (3)$$

ただし、 $F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$

図5に図3を用いた推移定理の適応例を示す。伝搬時間 τ で上乘せされる反射波は、元の波形との相似関係となる。よって、②の波形は①の波形より伝搬時間だけ遅れていると捉えることができ、推移定理が適応できる。

パルスレーダ法で得られる波形に順ラプラス変換を行うと、推移定理とオイラーの式により伝搬時間 τ に対応する振動成分を含む波形を周波数領域で得られる。この波形にさらにラプラス順変換を行うことにより、時間領域で伝搬時間に対応する振動成分がピークとして表わされる。

$$\mathcal{L}\{f(t - 2\tau)\} = e^{-2\tau s}F(s) = e^{-j\omega 2\tau}F(s) \quad (4)$$

$s = j\omega$ より、

$$e^{-j\omega 2\tau}F(s) = F(s)(\cos\omega 2\tau - j\sin\omega 2\tau) \quad (5)$$

4. 実験

図4に実験に用いた回路を示す。図5に実験で得られた波形および2回ラプラス変換した結果を示す。図5より伝搬時間付近でピークが立つことが確認できた。

本実験で求めたい伝搬時間は式(1)から約45nsだが、ピークは約60nsで立っているため約15ns遅れて表示されている。約15ns遅れている場合、断線位置から約4.5m離れた場所を指すため正確性に欠ける結果と言える。

原因は波形の歪みや、ノイズの影響で反射波の到来時に図5のような相似関係の認識が困難であったと考えられる。よって、伝搬時間に対応する振動成分を正しく取得出来なかったと考えられる。

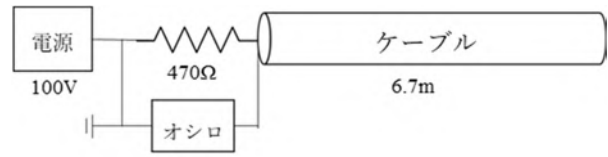


図4 実験回路

Fig.4. Experimental circuit

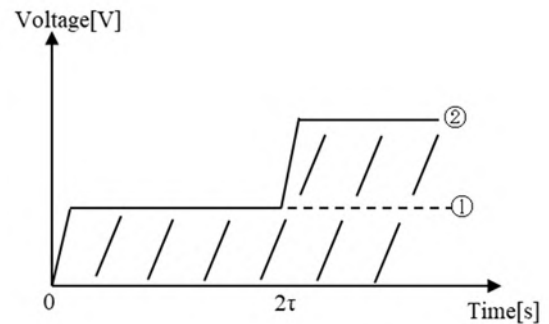


図5 推移定理の適応例

Fig.5. Examples of Adaptations of the Transitivity Theorem

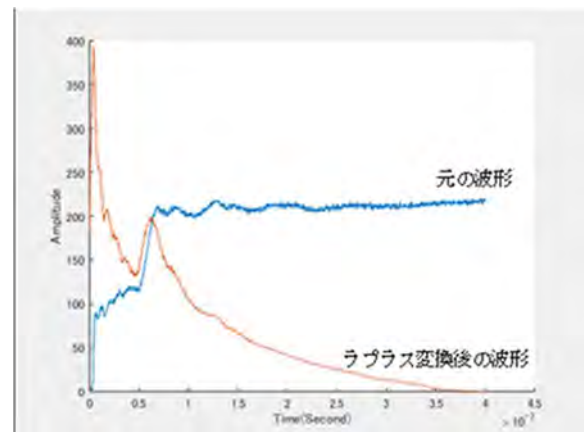


図6 実験結果

Fig.6.Experimental results

5. 結言

本研究では、パルスレーダ法の欠点である詳細な断線位置を読み取ることが困難という問題は、ラプラス変換を応用することで改良できることがわかった。一層の精度の向上のためにさらなる検討が必要である。

参考文献

- [1] Executive summary – World Energy Outlook 2023 – Analysis - IEA
- [2] パルスレーダ法とは - E&M JOBS
- [3] 雨谷昭弘: 「分布定数回路論」 コロナ社
- [4] 佐藤,高遠,西垣,濱口,前田,向山: 「新応用数学」, 大日本図書

生体膜および細胞レイヤを微細加工するための 新しい距離センサの開発

板東 新太*, 黄 文敬 (近畿大学高専)

Development of a novel distance sensor for microfabrication of biomembranes and cell layers

Bando Arata, Huang Wenjing (Kindai University Technical College)

1. はじめに

現代では様々な現代では様々な種類の病気や生活習慣病の増加に伴い、医学分野における発展が望まれている。その中でも動物の生体や細胞を用いたモデルはヒト無しで効率的に実験をすることができるため、様々な研究が行われている。ヒトの細胞を移植出来る動物の一つにニワトリ胚のしょう尿膜(chorioallantoic membrane: CAM)がある。CAM はがん細胞を移植するといった薬学的実験が多く行われている⁽¹⁾。ニワトリ胚のしょう尿膜は外科的網膜研究のシミュレーションのためのモデルとして使用されている⁽²⁾。例えば角膜表層切除の際には、表層にある上皮細胞を取り除く必要がある⁽³⁾。

これをニワトリ胚のしょう尿膜というモデルを応用し、マイクロバブルを発生する針⁽⁴⁾を用いて表層細胞を取り除く技術を開発する。以上の背景から、本研究では液体中にある表面からの距離を正確に計測するセンサの原理を確立することを目的とする。このセンサは電極を導電性の高い物質に接触した時、電極間に存在する抵抗は小さくなり急激に電流が流れるという原理を用いている。この原理を検証するために図1のようなシステムを作成した。このシステムを用いてアルミ板、PDMS膜、CAM、細胞パターンニングを施したPDMS膜の4つに対して計測した。測定結果から原理が適応可能であるかを明らかにし、新たな測定方法を確立する。

2. 方法

<2・1>新しい距離センサの原理 本研究で開発する新しい距離センサの原理図を図2に示し、原理を説明する。片方の針をプラス極、もう片方をマイナス極とし電圧を印加する。針に印加する電圧は生体を傷つけないと思われる5Vとする。針の間に流れる電流は電流計を用いて計測する。2つの針のうち片方を液体中に、もう片方を降下させていく。降下していく針が膜に触れた瞬間急激に電流が増加するであろうから、この時の針の位置を膜の位置とすることができる。さらにセンサの計測精度は、降下させていくモータの移動精度と同じである。その後、針を膜から所定の位置まで移動させるが、この移動距離は膜との距離と同じである。

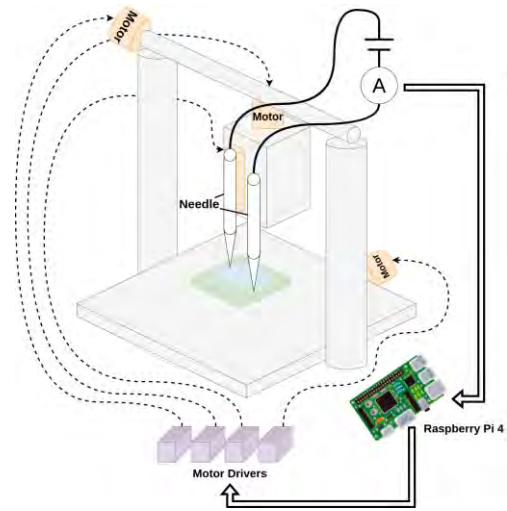


図1 計測システムの構成図
Fig.1. Measurement system diagram

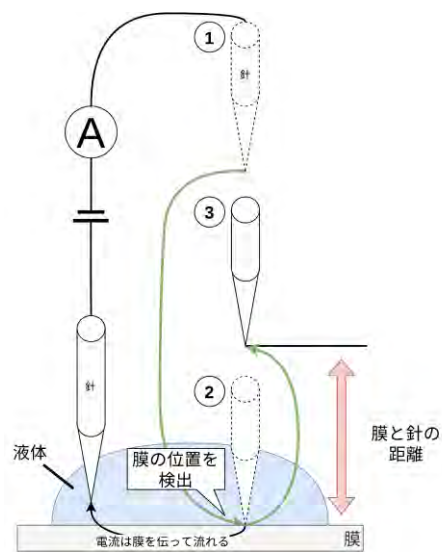


図2 新しい距離センサの原理図
Fig.2. Diagram of the novel distance sensor

<2・2>測定方法 測定する試料と電極を2つ(以下、「電極A」「電極B」とする)用意する. 本研究では手術用針を電極として用いる. これは膜を加工する際にマイクロバブルを発生させる必要があり, 発生装置には手術用針が使用されているためである. 次に電極Aを液体中まで降下させた後, 電極Bの降下を始める. この時, 電極Aの位置が液体中にあるかどうかは目視で判断する. また, 電極間は空气中を経由して接続するためほぼ電流は流れないと考えられる. 電極Bを降下させていくと液体に接触する. 電流は液体を伝って流れるため急激に増加する. 更に液体中へ電極Bを降下させていくと電極Bが試料に近づき, 電極と試料の間の抵抗は減少し電流は大きくなっていくと想定する. 最後に電極Bが試料に接触する. 電極に流れる電流は試料を直接伝って流れ電流は急激に増加するであろう.

<2・3>測定する試料 最初にアルミ板のような導電体を用い, 原理が適応可能であるかを検証する. 次にポリジメチルシロキサン(polydimethylsiloxane, PDMS)のような誘電体を膜状に加工し, 原理が適応可能であるかを検証する. 更に実際に人口殻⁽⁵⁾に入れたニワトリ胚のしょう尿膜に対して計測を行う. 最後にPDMS膜に細胞パターンニング⁽⁶⁾を施し, 細胞の接着箇所と非接着箇所計測を行う.

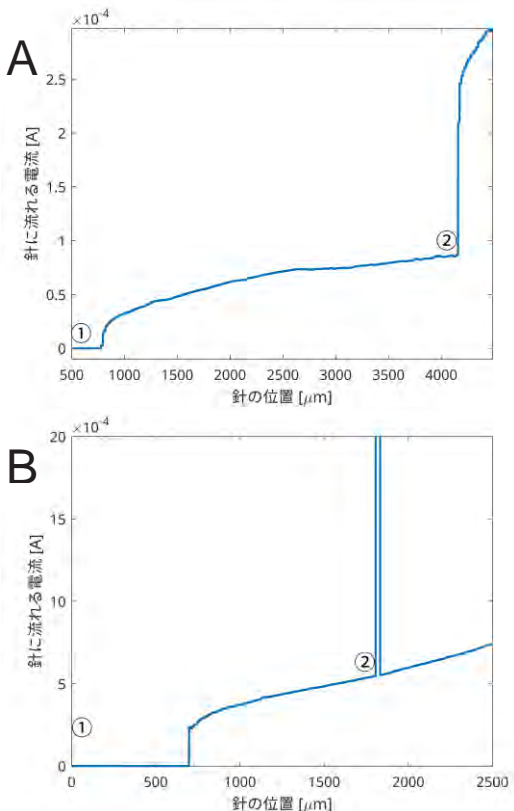


図3 計測結果. 縦軸は針に流れる電流, 横軸は降下する針の位置.
 Fig.3. Measurement results. The vertical axis represents the current flowing through the needle, and the horizontal axis represents the position of the descending needle. (A) Measurement results with aluminum plate. (B) Measurement results with chicken embryos.

3. 結果

アルミ板での計測実験では想定した原理に沿った電流の増加が見られた(図3A). PDMS膜での計測実験ではアルミ板とは異なり, 試料に接触しても電流の急激な増加は見られなかった. ニワトリ胚のしょう尿膜での計測実験ではしょう尿膜に接触した瞬間, 電流の急激な増加が見られた(図3B). 細胞レイヤでの計測実験では, 細胞の非接着箇所では電流の急激な増加は見られなかったが, 接着箇所においては電流は急激に増加した(資料未記載).

4. 考察

生体膜および細胞レイヤを微細加工するための新しい距離センサの原理を確認した. このセンサは計測精度がステップモータの移動精度と電流計の計測精度に依存しているため, 低コストでAFM⁽⁷⁾と同等の精度を実現することが出来と考えられる. 実際にこのセンサを用いて生体膜を加工し精度を確認する必要がある. また, 現在は1 μ mの移動精度を持つステップモータを使用しているが, 今後は高い精度を持つピエゾ素子を用いたモータに変更し精度をたしかめる.

5. 結論

本研究では, マイクロバブル発生装置を応用し生体膜から表層細胞を取り除く加工をする際に必要となる, 新たな距離センサの原理を確立した. 実験結果より, 液体中にある生体膜との距離を計測するセンサを開発することができたと言えるだろう. また細胞レイヤにおいて細胞の存在を明らかとすることができるため, 生体膜の構成を把握できるであろう. さらにマイクロバブルの発生は手術用針を用いるため, 距離センサと微細加工ツールの両方として使える効率的なセンサである.

文献

- (1) Pawlikowska, P. et al. *Sci Rep* 10, 16876 (2020)
- (2) Leng, T. et al. *Retina* 24, 427–434 (2004)
- (3) uperficial keratectomy and alcohol delamination
<https://www.uhsussex.nhs.uk/resources/superficial-keratectomy-and-alcohol-delamination-2/>
- (4) Ichikawa, K. et al. *Journal of Microelectromechanical Systems* 27, 305–311 (2018)
- (5) Huang, W. et al. *PLOS ONE* 12 e0175595 (2017)
- (6) Yokoyama, S. et al. *Current Protocols in Cell Biology* 75, 10.21.1-10.21.8 (2017)
- (7) Binnig, G. et al. *Phys. Rev. Lett.* 56, 930–933 (1986).

超音波追尾システムを用いた獣害対策

秋戸 健作*, 齊藤 公博 (近畿大学高専)

Animal damage measure using ultrasonic tracking system

Kensaku Akido, Kimihiro Saito (Kindai University Technical College)

1. はじめに

近年、地球温暖化や森林破壊などの影響により、山や森で生息している鹿や猪などの野生動物が町を徘徊し、農作物や草花を食い荒らす被害が深刻な問題となっている。獣害被害の拡大によって「駆除」という方法では手に負えなくなりつつある。そのため、「駆除」するのではなく「侵入させない、追い払う」ための獣害対策が必要となっている⁽¹⁾。

そこで本研究では、獣害が嫌う超音波を用いた獣害対策装置の実現を検討する⁽²⁾。しかし、獣害は音や光などに慣れるのが早いため、常時照射をしても効果がなくなるというデメリットがある。そこで、害獣の位置を検出してその場所へ追いかけるように集中して超音波を照射する方法を提案する。

カメラによる獣害の検出と、可動部のないスピーカー追尾機構を連動することによる自動監視・追い払い機能を有したシステムを開発し、獣害の位置を検出してその場所へ追いかけるように集中して超音波を照射する獣害被害対策技術を実現することを最終目標とする。



図1 超音波追尾を用いた獣害対策装置

Fig.1. Animal repellent system using ultrasonic

2. 理論

2.1 複数のスピーカー(同位相)による音波干渉⁽³⁾

図2に示すように、複数のスピーカーを並べることで音波同士が干渉し合う。各スピーカーに同位相駆動を与えると、

垂直に音波が伝搬することになり、ある距離で強まる部分と弱まる部分を作り出すことができる。

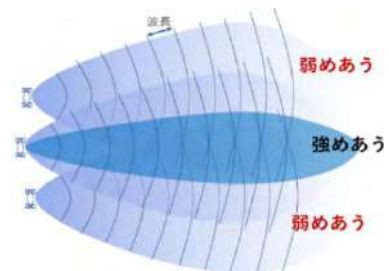


図2 複数スピーカー(同位相)の音波干渉

Fig.2. Sound wave interference of multiple speakers (same phase)

2.2 複数のスピーカー(位相ずらし)による音波干渉

図3示すように各スピーカー駆動波形に位相を与える。位相(x 波長)分ずれた配置となるため、傾いた音波が伝搬し、集音位置を正面からずらすことができる。

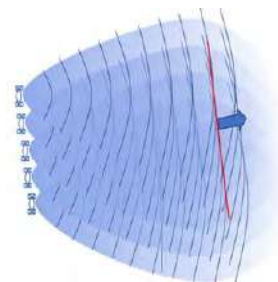


図3 複数スピーカー(位相ずらし)の音波干渉

Fig.3. Sound wave interference of multiple speakers (phase shift)

3. システム構成

図4に本研究で作製した音波の方向制御を行うマルチスピーカー駆動装置を示す。

ESP32 マイコンのGPIOピンから駆動波形を出力し、ロジックICにより波形を整形する。その後にオーディオアンプを各チャンネルを通してスピーカーを駆動する。40kHz, 12Vの矩形波とした。

スピーカーの配置は7×7(15mm 間隔)とし、プログラミングによって縦の各列の駆動の位相を変えられるようになっている。



図4 マルチスピーカー駆動装置

Fig.4.Multi speaker drive device

4. 実験

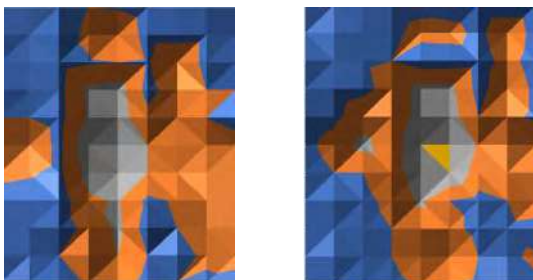
4.1 実験内容

ESP32 と PC を接続し、MicroPython を用いた装置制御を行った。装置から約 2m 離れた距離、約 1 m²の範囲の音場分布を超音波マイクで測定し、集音位置が変化したことを確認するとともに、Python を用いた音場シミュレーションと照らし合わせ、正しく集音位置が変化していることを確かめた。

4.2 実験結果

図 5(a)に複数スピーカーを同位相駆動させた場合の音場分布結果、図 5(b)に位相をずらして駆動させた場合の音場分布結果を示す。また、図 6(a)は縦の各スピーカー列の駆動波形(4ch まで)の同位相の場合、図 6(b)は各スピーカー列の位相をずらして駆動した場合の波形である。

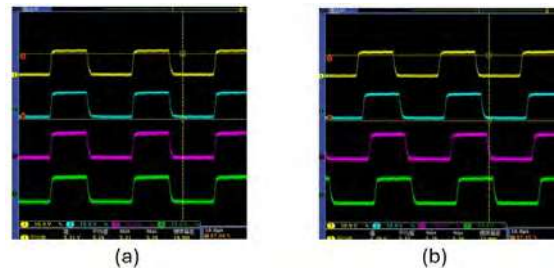
図 5 から、複数のスピーカーの音波を干渉させることで音波に強弱が生まれ、集音できたことが分かる。また、図 6 に示すように、プログラミングによって位相に違いを与えることで集音位置が中心から右にずれていることが分かる。



(a) (b)

図5 音場測定結果 (a)位相なし (b)位相あり

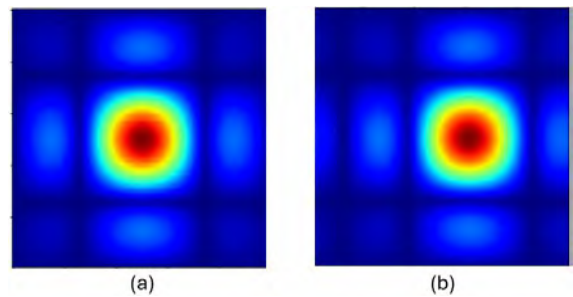
Fig.5.Measured sound field (a)w/o phase (b)with phase



(a) (b)

図6 スピーカー駆動波形 (a)位相なし (b)位相あり

Fig.6.Driving signals of speakers (a)w/o phase (b)with phase



(a) (b)

図7 シミュレーション結果 (a)位相なし (b)位相あり

Fig.7.Simulation results (a)w/o phase (b)with phase

図7に Python を用いて行った複数のスピーカーの音場のシミュレーション結果を示す。これらの結果は図 5 の実験結果通りに変化しており、正しく集音位置を変化させることができたことが確かめられた

5. おわりに

害獣被害への対策として可動部のないスピーカーによる追い払い装置を提案し、超音波を集音する技術として約 2m 離れた位置における集音と、集音位置を変更できることを確認した。

今後の課題として、スピーカー構成の再検討を行い、目標として遠方数 10m で 1m 四方程度に音波を絞れるようにすること、また、獣害の位置(方向)を画像認識で確認するシステムを構築することである。現在は、yolo ライブラリを用いて画像認識ができることを確認したところである。

参考文献

- (1) 仲森昌也 他: 近畿大学工業高等専門学校研究紀要 (14), 39-42, 2021
- (2) Paul D. Curtis: Proc. East. Wildl. Damage Manage. Conf. 7:172-176. 1997
- (3) 溝口博: 計測と制御 No.46,2007

電子回路の学習を容易にするための 学習支援キットの設計製作

長坂 知賢*, 吉岡 貴芳(豊田高専)

Design and Development of a Learning Aid Kit to Facilitate the Learning of Electronic Circuits

Nagasaka Tomomasa*, Yoshioka Takayoshi (National Institute of Technology, Toyota College)

1. はじめに

現在、初心者向けの電子工作キットが増えている。しかし、その多くはプログラミングに力を入れており、電子回路の学習が十分でないと考えられる。また電子回路の学習は難易度が高く、初心者が始めるには使い方が複雑である。例えば、ジャンパー線やブレッドボード上の配線ミスなどがあった際、最悪の場合部品の破損や怪我につながってしまう。そこで本研究では、失敗する可能性を抑え、かつ手軽で拡張性のある電子回路学習を目指し、学習支援キットの設計製作を行った。今年度製作したキットでは、電子回路になじみの少ない中高生や高専生向けのものとした。

2. 概要

今回の学習支援キットは大きく分けて1)メインとなるスロット基板、2)学習する回路が搭載された学習基板、3)プログラミングの学習を行えるようにするためのマイコンを搭載したマイコンボードの3種類の基板を使用することとした。

基本的な使い方としては、1)のスロット基板の対応するコネクタに、2)の学習基板を物理的に挿入し電氣的に接続するだけであり、これにより学習基板上の回路を学習することができる(図1)。これにより学習基板上の各回路素子の動作を、実際の動作をスロット基板上の表示用ディスプレイ等で確認しながら学習することができる。

これに加え、専用のスロットに3)のマイコンボードを差し込むことで、プログラミングを用いた高度な学習も行えるようになる。これによりパソコンが必要になってしまうことで使い方が複雑になってしまうが、学習基板上の回路を制御する学習内容を提供することができる。プログラムにはあらかじめ用意したサンプルプログラムを使うこともできるようにする。

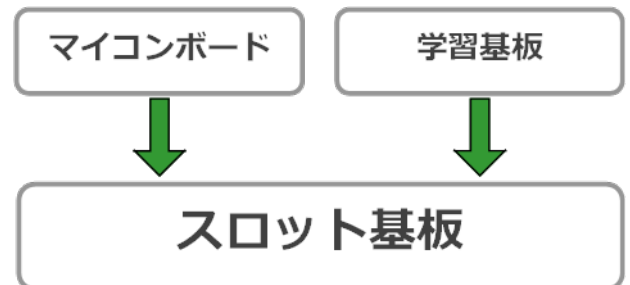


図1 各基板の接続

3. 各基板の仕様

3.1 スロット基板

スロット基板には、学習基板やマイコンボードの二つの基板を同時に接続することができる(図2)。また、電源管理回路や各IOピンの状態表示用ディスプレイも搭載しており、このキットの中核を担っている。

学習基板やマイコンボードの基板を接続するコネクタには、次に示すような異なった種類のものを採用した。学習基板用のコネクタにはピンソケットを採用したことで、ケーブルを使用せず容易な基板対基板接続を可能にした。スロット基板はこのコネクタを3つ搭載しており、どのコネクタに接続しても学習可能になっている。マイコンボード用のコネクタはパソコンのメモ리카ードの規格であるDDR3用のスロットを採用した。(「3.3 マイコンボード」)



図2 スロット基板

3.2 学習基板

図3に示す学習基板には、同図左よりLED、可変抵抗による分圧回路、タクトスイッチによる入力回路、論理回路など、ユーザが学習するための基本的な回路を搭載している。学習基板はマイコンボードがなくても動作可能であるが、マイコンボードを接続することでより高度な学習をすることができる。



図3 学習基板

3.3 マイコンボード

マイコンボードは学習を拡張するためのマイコンが搭載されており、パソコンのDDR3メモリ基板と同じ形状とした(図4)。基板の形状にDDR3を採用した理由は、スロット基板側のコネクタに合わせてピン配置を固定することで、異なる種類のマイコンボードをスロット基板の同じコネクタで使用可能になるからである。これによりユーザが様々なプログラム言語や動作環境を使用できるようになる。なお、今回設計した基板ではATmega328をマイコンに使用し、マイコンボードをArduino UNOとして使用できることを目指した。



図4 マイコンボード

4. 動作確認

今回のキットを実際に動作させた時の様子を以下図5に示す。

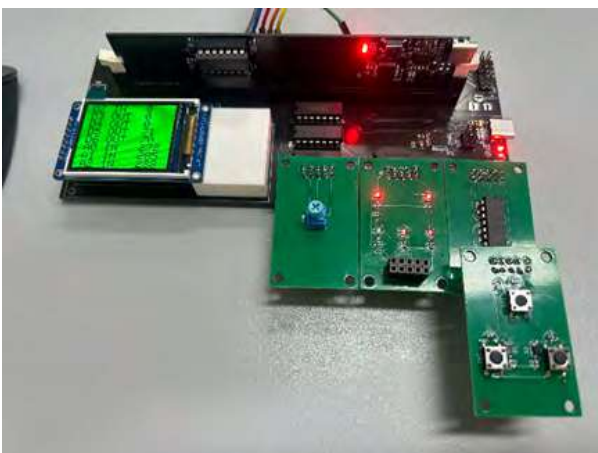


図5 実際に動作させた様子

図5では、学習基板上的可変抵抗(写真中央)がマイコンボ

ード上のマイコンのアナログ入力ピンであるA0に入力されており、その値に応じてそのすぐ右側の学習基板上的LEDが、デジタルアウトプットであるD5からのPWM出力により点滅している。

5. 考察

今回製作したキットではジャンパー線やブレッドボードを使用せず、特定のコネクタに接続するだけで回路を動作させることができる学習支援キットとして、スロット基板、学習基板、マイコンボードの3種類の基板を製作した。これにより、ユーザが実験を失敗する可能性を抑えることに成功したと考える。

しかし、今回の研究では最低限の回路のみの実装となってしまった。特に学習基板は4種類のみであり、実用的な実験を行えるようにするためには種類を増やす必要があると考える。主な回路の案としては、ダイオードやコンデンサ、リレーなどの回路素子の基本動作を行うための回路や、ブザーやモーターなど制御しやすい素子の駆動回路を検討している。ただ、学習基板を増やすことで、意図されていない組み合わせにより問題が発生する可能性が考えられる。そのため、ユーザに危険が及ばないような安全装置をスロット基板に組み込む必要がある。まずは、この問題の解決を最優先に行っていく予定である。

その他の問題として、マイコンボードのUSBシリアルICの変更と、スロット基板と学習基板間のコネクタの変更が挙げられる。

現在、USBシリアルICは、ATmega16U2を使用しているが、正常な動作をしておらず、このICを通してのパソコンからのプログラムの書き込みができていない。よってICをFT232に変更する予定である。実際に現在の回路にFT232を接続した結果、パソコンからの書き込みに成功している。

さらに、スロット基板と学習基板間のコネクタに関してはピンヘッダとピンソケットを使用しているが、これではユーザによる挿し間違いが起きかねないため、当該コネクタの変更を検討している。まだ適切な代替となるコネクタが見つからないが、M.2SSDのコネクタを使えないか検討中である。適切な代替コネクタが見つからなかった場合は、ピンソケットの周りにフレームのように配置する治具を3Dプリンタにより製作することも検討している。

6. まとめ

今回製作した学習支援キットの一連の動作確認が終了し、当初想定していた動作を行うことができることが分かった。当初の目標であった、失敗する可能性を抑え、かつ手軽で拡張性のある電子回路学習を実現可能だと確認することができた。今後はさらなる設計の改善と新たな学習基板の設計や、考察で述べた問題点の解決を行っていく。また、このキットの新たな問題点の発見や、実際のユーザからの意見をもとにフィードバックを行うため、第三者による実証実験も行っていく。

2DLiDAR を利用した地域防災倉庫の管理

東 史響*, 井上 一成 (明石高専)

Using 2DLiDAR to Manage a Local Disaster Prevention Warehouse
Shion Azuma, Kazunari Inoue (NIT, Akashi Collage)

1. はじめに

当研究室では、地域課題の解決に向けた研究に取り組んできた。地域課題は様々であるが、共通する問題として人材、期間、費用の不足が挙げられる。このような背景のもと、地域課題を効率的に解決するため「マルチユースに適合可能な地域 IoT」の研究を行う。提案する地域 IoT は、① Edge ② Network ③ Cloud の 3 つのドメインで構成する。特に、① Edge におけるセンサは、課題ごとに異なる特性を要求されるため、共通化が最も困難なドメインであることに注意されたい。

環境センサやカメラが広く用いられる中、本研究では新たな試みとして 2DLiDAR センサの利用を提案する。兵庫県明石市の防災倉庫における備蓄物資の管理を事例として取り上げ、2DLiDAR の導入実験と評価からマルチユースの適合性と有用性を示す。また、2DLiDAR センサについて、粗粒度分析と細粒度分析の違いを踏まえ、他事例への拡張性についても考察する。

2. マルチユースに適合可能な地域 IoT アーキテクチャ

<2・1>3 つのドメイン構成

地域 IoT をその特性から 3 つの技術ドメインに分割する。

- ① Edge : データ収集
各種センサによりデータを収集
- ② Network : データ伝送
①のデータを集約して③に送信
- ③ Cloud : 最終集約
データを処理、加工して管理
可視化とサービスの提供

<2・2>概要

防災、減災、環境、交通、等々の様々な地域情報を集約して可視化する地域 IoT について、マルチユースで解決にあたる。

<2・3>特徴とスケーラビリティ

システムの柔軟性と拡張性を重視している。一般的には、地域課題ごとに新たなシステムの開発が行われるが、技術的要素を十分に流用できないことで、期間、予算、人員を圧迫し、地域 IoT の普及を阻害している。3 つのドメインか

らなる地域 IoT アーキテクチャを基盤とすることで、異なるシステム間で各要素の共通化が図れ、様々な地域課題に対応出来る。以上よりマルチユースを実現する。

<2・4>共通化が困難な技術

② Network と ③ Cloud については、データサイズや可視化要素(グラフ・表)がある程度限られているため、共通化が図りやすい。しかし、① Edge におけるセンサは、地域特有の課題の解決と密接に関係し、異なる役割を担うため、共通化が困難な技術である。地域 IoT における新たなセンサ利用については研究の余地が多分にある。

3. 明石市防災倉庫管理システム

<3・1>経緯

当研究室では、昨年度より明石市防災倉庫における備蓄物資管理の研究に取り組んでいる。特に、管理に手間と人件費がかかる点、リアルタイムで一斉に点検ができない点、災害時の情報共有が難しい点が問題であり、これらの改善を目的とする。

昨年度は、重量センサ(ロードセル)を用いて棚上の重量情報を取得し、物資の種類と数を判別することによる管理を目指した。しかし、全ての棚に重量センサを設置する必要があり、電力供給が難しく、大きな予算が必要である。さらに、重量情報だけでは、物資の判別に限りがあることが分かった。このような背景から、今年度は新しく 2DLiDAR を導入した。

備蓄物資の管理において、場所や詳細情報を常に監視し続けるのは非常にコストがかかる。本来、常に監視し続ける必要があるのは、予期せぬ侵入者や備蓄物資の落下や移動など、状態に異変が生じたことで防災倉庫の使用可否が不明となる場合のみと考えた。ここで、2DLiDAR を倉庫の床上に設置し、定期的に周囲をマッピングすることで状態の変化を検知、さらに大まかな形状識別(粗粒度分析)により対象物の種類を特定するというアイデアが生まれた。

LiDAR センサは非常に高価なものとなるが、安価な 2D360°LiDAR であっても広範囲を測定できる。本研究で使用した RPLiDAR A1M8 は 1.7 万円で 12m まで測定できる。

以上により、昨年度の問題は解決できると考えた。

<3・2>全体構成

本システムでは、2D360°LiDAR と ESP32 のセットで建物内の点群データを取得し、Raspberry Pi 4B に送信する。Raspberry Pi 4Bには環境センサとRFIDリーダが接続されており、それらで他データを取得する。これらをSigfoxでAWSに送信し、処理を行うことで倉庫状況を可視化する。

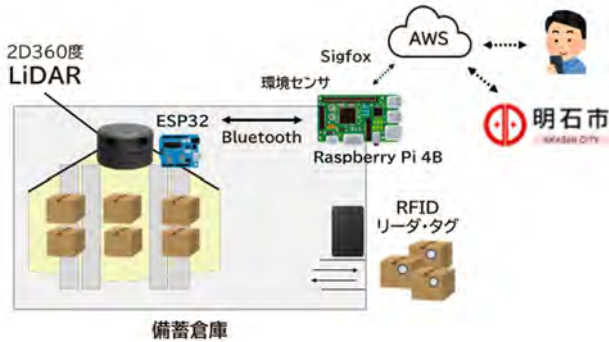


図1 明石市防災倉庫管理システム構成図
Fig.1. Akashi City Disaster Prevention Warehouse Management System Configuration Diagram

従来のカメラを用いた画像処理を細粒度分析と称し、本研究の2DLiDARを用いた点群データ処理である粗粒度分析と対比する。物資管理目的において認識精度に著しい差異が無ければ、データ量や費用の面で有利である。

<3・3>2DLiDARの利用

2DLiDAR(RPLiDAR A1M8)とESP32にて点群データ取得装置を作成した。



図2 点群データ取得装置
Fig.2. Point Cloud Data Acquisition Device

これを用いて点群データを取得し、差分検知もしくは形状検出もしくはその両方を用いることによって状態の変化と対象物の種類を特定する。

4. 2DLiDARの検証・比較

<4・1>性能検証

通常、2DLiDARは連続的に撮影することで自己位置推定などに用いるが、今回は物体の検知に特化する。2DLiDARの物体の読み取り能力を検証したい。

明所、距離、材質、配置など様々な状況においても正しい結果が得られるか、計81パターンの実験を行い確認した。

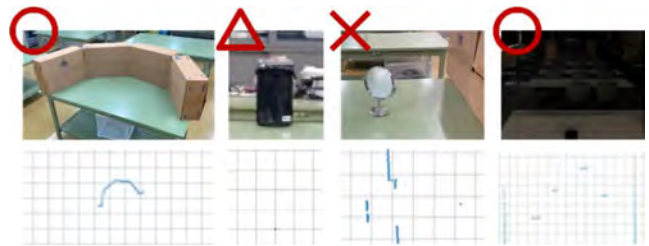


図3 検証の様子と結果抜粋
Fig.3. Verification Process and Summary of Results

表1 検証の結果と概要

検証項目	結果	概要
距離・角度	○	安定した正しい距離と角度
明るい・暗い	○	差は無い
高い透明度	△	ビニール袋は測定可能 ボックスは不安定
高い反射率	×	鏡は正しい距離とならない
物体の色	△	黒いものを遠くに置くと不安定

<4・2>比較

カメラによる細粒度分析と2DLiDARによる粗粒度分析の比較を以下に挙げる。

表2 カメラと2DLiDARの比較

	カメラ	2DLiDAR
費用	大	小
情報量	大	小
暗所	適用困難	適用容易
距離	近距離	360° 10m超
人の視覚	わかりやすい	わかりにくい

5. 有用性と今後の展望

まず、防災倉庫管理システムにおいては、防災倉庫に備蓄している、段ボール、ビニールシート、スコップが全て正しく認識でき、2DLiDARは有用であることが分かった。

次に、本論の主張するマルチユース(2DLiDARの更なる用途)について検討する。様々なコストが発生するカメラによる細粒度分析でなくとも2DLiDARによる粗粒度分析で対応できる地域課題は多い。

例えば、広い建物内の侵入者検知はどうだろう。これは人が侵入してはいけない位置に入ったか否かを検知するものであり、粗粒度分析で問題ない。さらに、2DLiDARは暗所に強く夜間の監視も可能である。また、老人ホームの廊下徘徊の検出はどうだろう。これも侵入者検知と同様に粗粒度分析で問題ない。さらに、2DLiDARは人間の顔や体の形まで認識しないためプライバシーに配慮できる。

新たな選択肢である2DLiDARも用いて、より地域IoTの研究をより深めていきたい。

広 告 企 業 一 覧

(1) 三菱電機株式会社

ホームページ <https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate>



(2) KDDI アジャイル開発センター株式会社

ホームページ <https://kddi-agile.com/>



(3) 株式会社村田製作所

ホームページ <https://www.murata.com/ja-ip/>



(4) 株式会社オートリテール

(5) アイテック阪急阪神株式会社

ホームページ <https://itec.hankyu-hanshin.co.jp/>



三菱電機 電子通信システム製作所

『宇宙』と地球を結ぶ超微細精密技術から情報化社会を支える技術まで
『安心』『安全』『グローバル』をキーワードに、社会インフラ・安全保障分野で幅広く貢献

1. 三菱電機 電子通信システム製作所ってどんなところ？

兵庫県尼崎市(大阪駅から15分)にある三菱電機の製造・開発拠点で、
主に**防衛・宇宙・社会インフラ・デバイス事業**に
関する製品を製造しています。

通信・電波・レーダ等の最先端の技術を駆使し、
数々の大型国家プロジェクトに貢献しています！



2. 製品紹介

～天文学発展や宇宙状況把握を支える望遠鏡～

すばる望遠鏡



©国立天文台
©National Astronomical Observatory of Japan

TMT(Thirty Meter Telescope)



©国立天文台・TMT推進室/4D2U プロジェクト
©National Astronomical Observatory of Japan TMT
Promotion Office/4D2U Project

～身近な宇宙利用を支える地上管制システム～

美笹深宇宙探査用地上局



～技術とものづくりの力で安全保障を支える～

対空レーダー装置JTPS-P25



©陸上自衛隊 ©JSSDF

固定式警戒管制レーダー装置



©航空自衛隊 ©JASDF



詳細は製作所 HP
をご覧ください。

3. 採用・インターンシップ情報

25年4月入社採用募集中(WEBセミナー・工場見学実施中)

26年入社対象者向けインターンシップも受付中

<問合せ先>

三菱電機 電子通信システム製作所 人事研修課 福富 快

MAIL:Fukutomi.Kai@cw.MitsubishiElectric.co.jp

TEL : 06-6495-5500

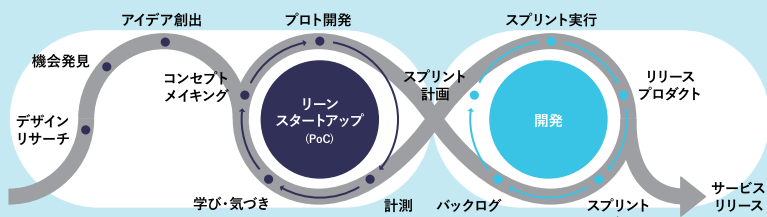


re-INNOVATE YOUR BUSINESS

“Be Agile, Update Culture”

アジャイルに力を与え、共に成長し続ける社会を創る

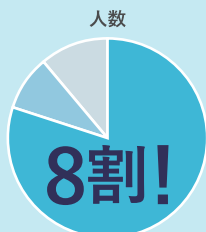
一人一人が、本当に実現したい豊かな未来へ自由に挑戦できる社会の実現をめざします



アジャイル開発専門の エンジニア組織です!!

リーンスタートアップ型でのアジャイル開発を提供し、サービスの企画から開発、リリース後のアップデートまで一貫して対応。お客様の課題にあわせてどのフェーズからでも柔軟に対応し伴走・支援しながら開発を行います。

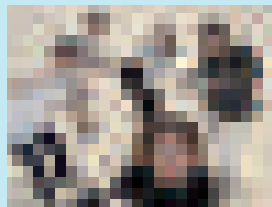
社員の8割がエンジニアです!!



● エンジニア ○ UI/UXデザイナー ○ その他

スクラムチームを組み、スムーズにアジャイル開発を行うため、フルスタックエンジニアも多数在籍。(UI/UX デザイナーも活躍中!) そんなエンジニアたちが自分らしく働き、創造的に価値を生み出せるよう、組織・文化・環境の改善を継続的に行っています。

ワーケーション制度



沖縄でワーケーション

社外活動もサポート



有志でハッカソンに参加

全国7地域に拠点を展開!!

日本全国どこからでも勤務OK!

東京の本社以外にも、舞鶴、三島、那覇、秋田、高崎・前橋、札幌、福岡と全国7つの地域で拠点を展開。フルリモート勤務が可能なので日本全国どこからでも働くことができます。拠点は今後も拡大予定です!



舞鶴オフィス



#MAIZURU





ムラタは、これからも。
部品は小さく、夢は大きく！

1940年代のスーパーヘキサロダイナラジオにはじまり、今に至るまで、
新たなデバイスが登場するたびに、
人の暮らしは、豊かになってきました。
ムラタは、その進化を、より小型で、高性能な部品を開発することで、
こっそりお手伝いしています。
次は、どんな暮らしを叶えよう？どんな世界にしていこう？
ムラタはいつも、小さな部品で、大きな夢を見ている。

muRata

村田製作所

中から、
世界をよくしよう。



あった！あった！ムラタの、暮らしを支えるチカラ



Auto-Retail Co., Ltd.

株式会社オートリテール

パワーエレクトロニクス・電力変換などの研究・受託開発はお任せください

- (現在までのご案件例)
- : スイッチングモジュール試験用35 kW級インバータ装置の製作
 - : 研究・実験用1 kW級フルブリッジインバータ回路の開発・製造
 - : 非接触給電向け13.56 MHz級高周波電源回路の開発・製造

〒636-0341 奈良県磯城郡田原本町薬王寺316-1
電話: 0744-33-9624 メール: office@auto-retail.co.jp



アイテック阪急阪神 株式会社

阪急阪神東宝グループ

information
intelligence
international
innovative
integrated
interface



“**1**”からはじまる豊かな未来へ。私たちがご案内します。

IT最前線に挑む専門家集団、それがアイテック阪急阪神です。

都市機能の根幹をなすシステムやネットワーク、ITを基盤とした多様なソリューションなど、新しい価値の創造に果敢にチャレンジ。

阪急阪神東宝グループの一員として、そして、ダイナミックかつ信頼性に富んだ企業として、皆様に豊かな未来へのご案内いたします。

【事業内容】 ●社会システム事業（交通関連システム / ビル関連システム） ●インターネット事業 ●医療システム事業
●ソリューション事業 ●システム開発受託事業 ●技術サービス事業

アイテック阪急阪神株式会社

本社 〒553-0001

大阪市福島区海老江1丁目1番31号 06-6456-5200(代)

東京支社 〒108-6308

東京都港区三田3丁目5番27号 住友不動産三田ツインビル西館8階 03-6740-6000(代)

<https://itec.hankyu-hanshin.co.jp>

中部支社 〒450-0003

名古屋市中村区名駅南1丁目24番30号 名古屋三井ビルディング本館 052-589-1306(代)



電気学会への入会のご案内

電気学会は、1888年に創設された学者・技術者で構成される会員組織の学術法人です。すでに一世紀以上の歴史を有する伝統ある学会ですが、一方では、たえず革新を求め事業活動の活性化につとめています。また、電気学術の全分野を専門領域に分けることにより、それぞれの専門分野で一層きめ細かな活躍ができるように配慮しています。今後も、研究・調査活動やその成果の発表を通じ、更なる社会貢献をしていきます。皆様の積極的なご加入とご支援をお願いいたします。

会員の特典

会員だけが受けられる主な特典

- 毎月、電気学会誌をお届けします。
- 電子ジャーナル版の学会誌・論文誌（所属部門誌）が閲覧できます（学生会員は全ての論文誌が閲覧できます）。
- 共通英文論文誌を会員料金で年間購読できます。
- ご希望により本会ドメイン名のメールアドレスを差上げます。
- メールマガジン等のE-mailを用いた各種情報サービスを受けることができます（部門・支部の大会・研究会・講習会・講演会など各種イベントのご案内がタイムリーに入手できます）。
- Webを通じて「Myページ」に入り、ご自身の会員登録情報・委員履歴などの閲覧ができるとともに、ご自身のキャリアデータベースを管理できます。
- 電気学会発行の出版物が会員割引価格で購入できます。
- 各種大会、講演会、講習会、公開講座、見学会、セミナー等の参加費が割引されます。
- 国際会議出席に要する費用の助成を受けることができます。
- 論文誌（部門誌）の掲載料が会員料金になります。
- 優秀な論文、研究活動に対する表彰を受けることができます。
- 在会10年以上の正員の方は、「IEEJプロフェッショナル」としてご申請できます。IEEJプロフェッショナル制度は、専門的技術力・豊富なご経験を生かし、企業向けの技術コンサルタント、セミナーや講習会等の講師、理数科教師補助や実験指導員などとしてご活躍頂く機会を提供していく制度です。
- 事務所内の会員談話室を利用できます。

入会の手続き

電気学会にご入会なさるには

● Webからのお申込み

下記のURLからオンライン申込みいただけます。お申込みを受付次第、払込用郵便振替用紙を郵送しますので、お払込みください。クレジットカード払いもご利用頂けます。

http://www.iee.jp/?page_id=375

● 電話によるお申込み

お気軽に「電気学会入会のおすすめ」をご請求ください。「電気学会入会申込書」と「払込用郵便振替用紙」をお送りします。

電話：03-3221-7312

E-mail：member@iee.or.jp

ただし、入金の確認をもって申込み完了となります。

申込み完了の翌月中旬頃、会員番号の通知が送付されます。

	正員	准員	学生会員
入会金	1,200円	800円	—
年会費	10,000円	5,400円	4,800円

学生会員：現在在学中の方は学生会員として登録できます。大学院生で学生会員として登録を希望される方は在学証明書または学生証の写しを添えてお申し込みください。なお、大学院修了後は、准員を飛び超え正員となります。

准員：大学学部卒業後2年間、高専・短大卒業後4年間（高専専攻科卒業後は2年間）、高校卒業後6年間、その他はこれに準じます。

正員：准員の年限をこえた方

他の学協会にすでに入会されている方

電子情報通信学会、照明学会、映像情報メディア学会、情報処理学会およびIEEEにすでに入会されている方は、入会金が相互に免除されます。また、日本工学会に加入している学協会（詳しくは、日本工学会ホームページをご覧ください）および日本技術士会に入会されている方も入会金が免除されます（本会へ入会する場合のみ適用）。

その学会の在会証明書または会員証のコピーを、入会申込書に添付してください。

プライバシーポリシー（電気学会個人情報保護ポリシー）一部

平成18年4月26日（理事会制定）

■個人情報の利用

電気学会は、収集した個人情報については、その目的を達成するために必要な範囲で利用いたします。ただし、次のいずれかに該当する場合は、収集目的以外に利用あるいは情報提供を行うことがあります。

- 法令の規定にもとづくとき
- 情報提供者の同意が得られたとき
- 電気学会事業目的の達成に必要な範囲内において、個人データの取り扱いの全部あるいは一部を外部の業者に委託する場合（例えば、会誌の発送、会費の請求などでは、これに必要な情報を業務委託した会社に託すことがある）
- その他、電気学会の総会あるいは理事会において、正当な理由があると認められたとき

プライバシーポリシーの全文は、電気学会のホームページをご覧ください。